



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



Schlussbericht zum Thema

Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATopti) zur nicht- chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia spp.*) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen

FKZ: 2819NA057 und 2819NA119

Projektnehmer/Projektnehmerin:

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

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 ineinander greifende 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

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Abschlussbericht zum Thema

Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems zur nicht-chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia* spp.) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen (SWATopti)

FKZ: **Teilvorhaben 1 / JKI:** **2819NA119**
 Teilvorhaben 2 / LWK: **2819NA057**

Laufzeit: 01.03.2022 – 31.10.2025

Projektnehmer:

Julius Kühn-Institut (JKI)
Bundesforschungs-Institut für Kulturpflanzen
Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und urbanem Grün
38104 Braunschweig
Projektleitung: **Dr. Quentin Schorpp**
Projektbearbeitung: **Dr. Antonio Peréz, Catharina Riggers**

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK)
Pflanzenschutzaamt
30453 Hannover
Projektleitung: **Dr. Alexandra Wichura**
Projektbearbeitung: **Arne Römer**

Unter Beteiligung von:

Manuela Schieler, Dr. Paolo Racca, Dr. Juliane Schmitt, Dr. Benno Kleinhenz (ZEPP)
Dr. Manfred Röhrig (ISIP e.V.)

Kurzfassung:

Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATopti) zur nicht-chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia spp.*) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen (SWATopti)

Ziel des Projektes war die Entwicklung praxistauglicher Monitoring- und Entscheidungshilfesysteme (EHS), die ein wichtiger Baustein im nicht-chemischen Pflanzenschutz sind. Die Forschungsarbeiten zielten dabei auf eine Verbesserung der Regulierungsmöglichkeiten von Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), Kleiner Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia spp.*), insbesondere der Bohnenfliege (*Delia platura*) im Freilandgemüsebau ab. Die erarbeiteten EHS, denen jeweils ein Prognosemodell zugrunde liegt, wurden validiert und für professionelle Anwender und Anwenderinnen auf der ISIP-Plattform verfügbar gemacht. Ein wichtiges Arbeitspaket im Projekt war dabei die Auswahl eines geeigneten Prognosemodells. Dafür wurden die beiden Modellsysteme SWAT und PhenoLogit anhand von Monitoringdaten aus dem Freilandgemüseanbau validiert und die Ergebnisse miteinander verglichen und bewertet. Die Monitoringdaten wurden sowohl während der Projektlaufzeit erhoben, als auch aus Datensammlungen verschiedener Einrichtungen bezogen. Zusätzlich wurden bestehende und neue Monitoringmethoden für die drei Gemüsefliegenarten überprüft und bewertet. Im Bereich Risikoanalyse wurden Untersuchungen zur Wirtspflanzenpräferenz durchgeführt. Hierbei wurde die Attraktivität der Entwicklungsstadien (BBCH-Stadien) der Kulturen, verschiedene Kulturarten oder Sorten auf die Möhrenfliegen und Kleine Kohlfliegen getestet. Weiterhin wurde ein GIS-Modul entwickelt, das das Entscheidungshilfesystem der Möhrenfliege ergänzt und sich für konkrete räumliche Anbauplanungen anwenden lässt. Für die Entwicklung eines Modells für die Bohnenfliege *D. platura* wurden physiologische Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Entwicklungsstadien durchgeführt, um ein Prognosemodell parametrisieren zu können.

English summary:

Development of a web-based management system (SWATopti) for non-chemical control of carrot fly (*Chamaepsila rosae*), cabbage fly (*Delia radicum*) and vegetable root flies (*Delia spp.*) using SWAT and risk analysis (SWATopti)

The aim of this project was the development of a monitoring and decision support system for the practical use as an important component of non-chemical plant protection. It was focussing on improved regulation of carrot fly (*Chamaepsila rosae*), cabbage fly (*Delia radicum*) and root flies (*Delia spp.*), especially the bean seed fly (*Delia platura*) in open-air horticulture. The developed decision support systems (DSS), which include temperature-based models, were published on the ISIP platform that can be used by professionals. One important work package was the choice of a suitable prognosis model. Therefore, we validated the model systems SWAT and PhenoLogit with monitoring data and compared as well as evaluated the results. The used monitoring data were on the one hand collected during the project and on the other hand received from former projects and other institutes. Additionally, we checked and evaluated old and new monitoring methods. We analysed the risk of preferred host plants by different reasons. In doing so, we tested the attractiveness of different development stages (BBCH-Stages), different crops and different varieties on carrot and cabbage fly. We added a GIS module to the decision support system for the carrot fly that supports the spatial cultivation planning. Finally, we investigated the temperature dependent development of the bean seed fly to extract suitable parameters for a DSS for the bean seed fly.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	9
1 Einführung	10
1.1 Gegenstand des Vorhabens	10
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts	10
1.3 Planung und Ablauf des Projektes	11
2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	12
2.1.1 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Möhrenfliegen	12
2.1.2 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Kleine Kohlfliegen	13
2.1.3 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Wurzelfliegen	13
2.1.4 Das Simulationsmodell SWAT und Modellierung des Befallsrisikos	14
3 Material und Methoden	15
3.1 Kulturbegleitende Erfassungen	15
3.1.1 Möhrenfliege	15
3.1.2 Kleine Kohlfliege	17
3.1.3 Wurzelfliegen	19
3.2 Feld- und Klimakammerversuche	21
3.2.1 Vorarbeiten	21
3.2.2 Wirtspflanzenpräferenz der Möhrenfliege	22
3.2.3 Wirtspflanzenpräferenz der Kleinen Kohlfliege	23
3.2.4 BBCH-Stadien-Präferenz der Möhrenfliege	25
3.2.5 BBCH-Stadien-Präferenz der Kleinen Kohlfliege	25
3.2.6 Temperatureinfluss auf die Entwicklung von <i>D. platura</i>	26
3.2.7 Tracermethode mit Stabil-Isotopen	26
3.3 Modellvergleich	27
3.3.1 SWAT	27
3.3.2 PhenoLogit	28
3.3.3 Datenakquise	28
3.3.4 Modellvalidierung	30
3.3.5 Modelloptimierung	32
4 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	32
4.1 AP 1: Möhrenfliege	32
4.1.1 Kulturbegleitendes Monitoring	32
4.1.2 Vergleichende Modellvalidierung SWAT und PSIOPRO (UAP 1.3)	35
4.1.3 Erarbeitung ergänzender Daten zur Risikoanalyse (UAP 1.1)	36

4.1.4	Implementierung in ISIP (UAP 1.5).....	39
4.1.5	Räumliche Darstellung von Risikogebieten (UAP 1.4).....	41
4.2	AP 2: Kleine Kohlfliege.....	42
4.2.1	Kulturbegleitendes Monitoring.....	42
4.2.2	Vergleichende Modellvalidierung SWAT und SIMDERA (UAP 2.3, UAP 2.4).....	48
4.2.3	Erarbeitung biologischer Daten zur Risikoanalyse (UAP 2.1)	50
4.2.4	Untersuchungen zum Ausbreitungsvermögen der Kleinen Kohlfliege	53
4.2.5	Implementierung in ISIP (UAP 2.5).....	54
4.3	AP 3: Wurzelfliegen.....	54
4.3.1	Durchführung von Monitorings (UAP 3.2)	54
4.3.2	Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von <i>D. platura</i> (UAP 3.1)	57
4.3.3	Entwicklung eines Basismodells für <i>D. platura</i> (UAP 3.3).....	57
5	Diskussion der Ergebnisse.....	58
5.1	AP 1: Möhrenfliege.....	58
5.1.1	Auswahl des Modells.....	58
5.1.2	Nutzen der Entscheidungshilfe für den Ökolandbau	58
5.1.3	Monitoring-Empfehlungen	59
5.2	AP 2: Kleine Kohlfliege.....	60
5.2.1	Auswahl des Modells.....	60
5.2.2	Nutzen der Entscheidungshilfe für den Ökolandbau	60
5.2.3	Monitoring-Empfehlungen	60
5.3	AP 3: Wurzelfliegen.....	61
5.3.1	Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von <i>D. platura</i> (UAP 3.1)	61
5.3.2	Mit Kulturmaßnahmen Schäden vermeiden	61
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	62
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen	62
8	Zusammenfassung	63
9	Literaturverzeichnis	64
10	Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse.	67

Abkürzungsverzeichnis

AP Arbeitspaket

BBCH Skala zur Beschreibung der Pflanzenentwicklung entwickelt von der Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundessortenamt, Chemische Industrie

EHS Entscheidungshilfesystem

ISIP Informationssystem integrierte Pflanzenproduktion, ISIP e.V.

JKI Julius Kühn-Institut

KW Kalenderwoche

LfULG Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

LWK Landwirtschaftskammer Niedersachsen

m Meter

NI Niedersachsen

NW Nordrhein-Westfalen

PSA Pflanzenschutzamt

r. F. Relative Luftfeuchtigkeit [%]

TL Teelöffel

UAP Unterarbeitspaket

ZEPP Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Arbeitspakte (AP) und bearbeitende Projektpartner im Projekt SwatOpti.	11
Abbildung 2: Beispielklassifizierung von Schäden an der Möhre durch die Möhrenfliegenlarven. Dargestellt sind, von links nach rechts, die Schadklassen 1-5 (Fotos: U. Weier, LWK).....	16
Abbildung 3: Kohlfliegen-Monitoringmethoden. Links: Eimanschette an Kohlrabi, Rechts: Sandmethode an Kohlrabi.	17
Abbildung 4: A: <i>D. platura/florilega</i> Ei unterm Binokular. B: <i>D. platura/florilega</i> und <i>D. radicum</i> Ei unterm Mikroskop. C: <i>D. radicum</i> Ei unterm Binokular. Fotos: K. Schowe (LWK) und P. Darr (LWK). 40-fache Vergrößerung.....	18
Abbildung 5: Beispielklassifizierung von Schäden am Wurzelwerk von Brokkoli durch die Kohlfliegenlarven. Dargestellt sind, von links nach rechts, die Schadklassen 1-3 (Fotos: U. Weier, LWK).	19
Abbildung 6: Vergleich unterschiedlicher Ansätze für das Monitoring der Wurzelfliegen.	20
Abbildung 7: Links: Aufbau der Köderfalle für die Wurzelfliegen. Rechts: Platzierung der Köderfallen im Bohnensatz.	20
Abbildung 8: Querschnitt durch die Sandmethode für die Wurzelfliegen.	21
Abbildung 9: Zuchzelt der Bohnenfliege <i>D.platura</i> . Auf der linken Seite befinden sich die Schalen mit altem Futter zur Aufrechterhaltung der Zuchtpopulation und rechts das Nassfutter, die Zuckerlösung und das Wasser zur Versorgung der Zucht.....	22
Abbildung 10: Versuchsaufbau zur Sorten- und BBCH-Präferenz. A: Beispiel-Versuchsplan, die braunen Linien zeigen die Möhrendämme, die farbigen Parzellen die Verteilung nach Sorte bzw. Aussaatdatum. B: Parzelle nach dem Auflauf der Möhren. C: Versuchsfläche Vesbeck.....	23
Abbildung 11: A: Aufbau einer Beispielversuchsparzelle. Jeder Kasten steht für eine Kohlpflanze. B: Jungpflanzen zum Zeitpunkt der Pflanzung. C: Versuchsfläche PSA.	24
Abbildung 12: Beispielhafte Anordnung der drei Kohlarten Raps (Ra), Brokkoli (Br) und Kohlrabi (Ko) in einem Bugdorm-Käfig.....	24
Abbildung 13: A: Beispieldersuchsaufbau, jedes Kästchen ist eine Pflanze und jede Farbe spiegelt ein BBCH-Stadium wieder. B: Versuchsfläche am PSA. C: BBCH-Stadien bei Pflanzung.	25
Abbildung 14: Beispielhafte Anordnung der drei Altersstufen 4 Wochen (4W), 6 Wochen (6W) und 8 Wochen (8W) in einem Bugdorm-Käfig.	26
Abbildung 15: Links: Versuchscontainer mit Larvalfutter. Mitte: Gefäß mit gesättigter Luftfeuchte. Rechts: Versuchscontainer für die Puppenentwicklung.	26
Abbildung 16: Beispielderschlag zur Validierung von SIMDERA: Modellkurve (schwarze Linie), Bonitur der Eier im Freiland (grüne Punkte).....	31
Abbildung 17: Monitoring der Möhrenfliege in den Jahren 2022-2024 an den Standorten Twistringen und Vesbeck. Dargestellt sind die summierten Möhrenfliegenfänge pro Kalenderwoche auf allen Standorten in der jeweiligen Region.....	33
Abbildung 18: Monitoringdaten zur Überwachung der Flugaktivität der Möhrenfliege im Feld (Möhre) und im vermuteten Quellhabitat in den Büschen am Feldrand (Randstruktur). Die Monitoringdaten umfassen die beiden Standorten Braunschweig und Hötzum.	34
Abbildung 19: Anteil der bei der Erntebonitur erfassten Schadensklassen in den Jahren 2022 und 2023 für die beiden Standorte Braunschweig und Hötzum.	34
Abbildung 20: Vergleich der Erfassung des Möhrenfliegenflugs mithilfe von Klebetafeln (Adult) und Quarzsand (Ei).....	35
Abbildung 21: Vergleich der Möhrenfliegen-Fangzahlen auf Bio-Colortrap® Klebetafeln in den Farben gelb-orange und signalorange.....	35
Abbildung 22: Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der 1. und 2. Generation der adulten Möhrenfliege (Flugbeginn) für die beiden Modelle SWAT und PSIOPRO. Der graue Bereich kennzeichnet die als „korrekt“ definierten Abweichungen.	36
Abbildung 23: Monitoringergebnisse der Möhrenfliege auf der Alt- und Neufläche nach Region und Projektjahr. 2022-2023: Mittlere Anzahl an Möhrenfliegen pro Tafel; 2024: Summierte Anzahl an Möhrenfliegen.	37

Abbildung 24: Beispielhafte Migrationsbewegung und Fallenpositionierung bei der Überwachung von Möhrenfliegen in der Praxis.....	38
Abbildung 25: Sortenattraktivität der Möhrenfliege. Dargestellt sind die prozentualen Befallshäufigkeiten der mehrjährig getesteten Sorten Bastia, Kamaran, Trafford und Warmia (Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0.05$, $p = 0,582$).	38
Abbildung 26: Eingabemaske für die Ergebnisoptionen in PSIOPRO in ISIP.....	39
Abbildung 27: Modellergebnisse aus PSIOPRO: a) Modellverlauf der Adulten mit der 1.-3. Generation, b) Maßnahmenempfehlung mit Anwendung eines Kulturschutznetzes, c) Maßnahmenempfehlung mit Anwendung eines Kulturschutznetzes und Erntetermin, d) Angabe eines niedrigen tolerierbaren Schades, e) Angabe eines mittleren bis hohen tolerierbaren Schadens.....	40
Abbildung 28: Eingabemaske des GIS-Moduls in PSIOPRO.....	41
Abbildung 29: Ergebnis des Risikos für die Anbauplanung auf www.isip.de	42
Abbildung 30: Monitoringdaten der Kleinen Kohlfliege während der Projektlaufzeit 2022-2024. Dargestellt sind die durchschnittlichen Eiablagezahlen in der Eimanschette pro Woche summiert von drei Standorten... ..	43
Abbildung 31: Monitoringdaten der Überwachung der Eiablage und des Flugs der Kleinen Kohlfliege zusammengefasst von den beiden Standorten Braunschweig und Hötzum.....	44
Abbildung 32: Anteil der Schadensklassen (basierend auf dem Wurzelwerk) für Brokkoli in 2022 für Braunschweig und Hötzum	44
Abbildung 33: Entwicklung der Schadensklassen (basierend auf dem Wurzelwerk) für Brokkoli in 2022 für Braunschweig und Hötzum im Jahresverlauf	45
Abbildung 34: Anzahl geschlüpfter Kohlfliegen im Schlupfüberwachungsversuch für die Überwinterungsperioden 2022-2023 und 2023-2024.....	45
Abbildung 35: Vergleich der Quantität der Monitoringmethoden Eimanschette und Sandmethode bei der Kleinen Kohlfliege. Dargestellt sind die durchschnittliche Anzahl Fliegeneier pro Pflanze pro Kalenderwoche in den Jahren 2023 und 2024. In dunkelgrau sind die Monitoringdaten der Eimanschette, in gelb sind die Monitoringdaten der Sandmethode aufgezeigt.....	46
Abbildung 36: Vergleich der beiden Methoden zur Überwachung der Eiablage der Kleinen Kohlfliege. Die durchschnittliche Anzahl Eier pro Pflanze basiert auf dem Monitoring in Braunschweig und Hötzum.....	46
Abbildung 37: Prozentuale Anteile an der Eiablage für <i>D. radicum</i> und <i>D. platura/D. florilega</i> getrennt nach den Methoden Eimanschette und Quarzsande in den Jahren 2022 bis 2024. In dunkelgrau sind die Anteile für die Kohlfliege und in hellgrau die Anteile der Wurzelfliegen angegeben.	47
Abbildung 38: Vergleich des Kohlfliegen-Beifangs aus der Überwachung des Flugs der Wurzelfliegen mit Weißschalen mit den Fangzahlen aus der Überwachung des Flugs der Kleinen Kohlfliege mit Gelbschalen. Die durchschnittliche Anzahl Fliegen pro Fangschale basiert auf dem Monitoring in Braunschweig und Hötzum.48	48
Abbildung 39: Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der Eiablage der 1., 2. und 3. Generation der Kleinen Kohlfliege für die beiden Modelle SWAT und SIMDERA. Der graue Bereich kennzeichnet die als „korrekt“ definierten Abweichungen.	49
Abbildung 40: Vergleich des Eiablageverhaltens der Kohlfliege bei verschiedenen Kohlarten. Angegeben ist die Anzahl abgelegter Eier pro Pflanze pro Kohlart (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).	50
Abbildung 41: Anzahl Eier der Kleinen Kohlfliege pro Pflanze für die drei im Klimakamversuch untersuchten Treatments Brokkoli, Kohlrabi und Raps. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).	51
Abbildung 42: Anzahl abgelegter Kohlfliegeneier pro BBCH-Blatt Stadium an Kohlrabi im Freiland (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).....	52
Abbildung 43: Anteil der BBCH-Stadien der Brokkolipflanzen für die unterschiedlichen Treatments. Der n-Wert gibt die Anzahl an Pflanzen im gesamten Versuch über alle Durchgänge an.	52
Abbildung 44: Anzahl Eier der Kleinen Kohlfliege pro Pflanze getrennt nach BBCH-Stadium. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).	53
Abbildung 45: Natural Abundance Signale für die Stabilisotope ^{15}N und ^{13}C für die Kleine Kohlfliege.....	53
Abbildung 46: Modellergebnis des EHS SIMDERA im internen Bereich in ISIP für einen Beispielschlag bei Wunstorf 2023	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 47: Auflaufbonituren von Buschbohnen in den Projektjahren 2022-2024. Dargestellt ist die Anzahl aufgelaufener (grauer Balken) und geschädigter Bohnen (schwarzer Balken) je Aussaatdatum.	55
Abbildung 48: Monitoringdaten der Überwachung der Wurzelfliegen mit Weißschalen und Beifang der Wurzelfliegen in den Gelschalen des Kohlfliegen-Monitorings zusammengefasst von den beiden Standorten Braunschweig und Hötzum.	57
Abbildung 49: Modellergebnis des EHS SIMDEPLA in der Modellentwicklerversion in ISIP für den Beispielschlag Braunschweig 2024.	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Standorte für das Möhrenfliegen-Monitoring.	15
Tabelle 2: Klassifizierung von Schäden an der Möhre durch die Möhrenfliegenlarven.	16
Tabelle 3: Monitoringstandorte der Kleinen Kohlfliege und die angewendeten Monitoringmethoden.	18
Tabelle 4: Klassifizierung der Schäden an den Wurzeln von Brokkoli durch Kohlfliegenlarven.	19
Tabelle 5: Monitoringstandorte der Wurzelfliegen und die angewendeten Monitoringmethoden.	21
Tabelle 6: Verteilung der Datensätze für den Vergleich des Möhrenfliegenmodells auf die Jahre und die Regionen. Für den Modellvergleich wurde nur ein Teil der Datensätze verwendet (Auswahl).	29
Tabelle 7: Verteilung der Datensätze für den Vergleich des Kleinen Kohlfliegenmodells auf die Jahre und die Regionen.	30
Tabelle 8: Klassifizierung der Abweichungen zwischen Monitoring und Modell.	31
Tabelle 9: Prozentualer Anteil der Datensätze, die in die Klassen zu früh, korrekt sowie zu spät fallen, bezogen auf die Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der 1. und 2. Generation der Möhrenfliege (Flugbeginn) für die beiden Modelle SWAT und PSIROPRO.	36
Tabelle 10: Prozentualer Anteil der Datensätze, die in die Klassen zu früh, korrekt sowie zu spät fallen, bezogen auf die Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der Eiablage der 1., 2. und 3. Generation der Kleinen Kohlfliege für die beiden Modelle SWAT und SIMDERA.	49
Tabelle 11: Durchschnittliche Dauer des Eimanschetten-Monitorings beim Kohlartenpräferenzversuch an den untersuchten Kohlarten.	51
Tabelle 12: Übersicht der Aktivitätszeiträume der Wurzelfliegen, sowohl auf den Praxisflächen der Buschbohne, als auch auf den Monitoringflächen der Kleinen Kohlfliege.	56

1 Einführung

Das Projekt SWATopti („Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems zur nicht-chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia spp.*) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen“) wurde vom 01.03.2022 bis zum 31.10.2025 im Verbund durch das Julius Kühn-Institut und die Landwirtschaftskammer Niedersachsen bearbeitet. Einen wesentlichen Beitrag leisteten zudem die Institutionen ZEPP und ISIP, die als Unterauftragnehmer an dem Projekt mitwirkten. Der Projektentwurf folgte der Bekanntmachung des damaligen Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Förderung von Innovationen nicht-chemischer Pflanzenschutzverfahren im Gartenbau vom 18. Juli 2019.

Das FuE Vorhaben war im Gartenbausektor angesiedelt und untersuchte Themen mit hoher Relevanz für den Ökolandbau. Es wurde durch die Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft, BLE, beauftragt durch das damalige Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, BMEL, über das damalige Bundesprogramm ökologischer Landbau und andere nachhaltige Formen der Landwirtschaft, BÖLN, gefördert (FKZ 2819NA119, FKZ 2819NA057).

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Nicht-chemische Pflanzenschutzverfahren spielen im Freilandgemüsebau, insbesondere im Ökolandbau eine zentrale Rolle. Um Schutz- und Bekämpfungsmaßnahmen gezielt zu planen, ist es hilfreich die Aktivitätszeiträume von Gemüseschädlingen wie der Möhrenfliege, der Kleinen Kohlfliege und den Wurzelfliegen zu kennen und das Befallsrisiko der Fläche sowie Risikoparameter der Kulturen einzuschätzen zu können. Das Auftreten der Gemüseschädlinge wird seit mehreren Jahren mit dem Prognosemodell SWAT basierend auf Wetterdaten simuliert. Hierbei zeigten sich teilweise große Abweichungen zu Freilandbeobachtungen. Gleichzeitig stehen auch neue Modellsysteme zur Verfügung. Daher war es ein Bestandteil des Vorhabens einerseits die Prognosemodelle mit Freilandbeobachtungen zu validieren und zu optimieren und andererseits verschiedene Prognosemodelle miteinander zu vergleichen und das geeignetste auszuwählen. Ziel des Projektes war es, ein praxistaugliches Monitoring- und Prognosesystem zu entwickeln, das Beratende bei Maßnahmenempfehlungen unterstützt und so Ertragsausfälle ohne den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln zu verringern.

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Die Ziele und Aufgabenstellung des Projekts hatten einen direkten Bezug zu den Themenfeldern des Modul B der Bekanntmachung des BMEL über die Förderung von Innovationen nicht-chemischer Pflanzenschutzverfahren im Gartenbau vom 18. Juli 2019.

Durch die Verwendung von Prognosesystemen für den Pflanzenschutz im ökologischen Landbau können Kulturmaßnahmen, wie Aussaat, Erntezeitpunkte oder nachhaltige ökologische Pflanzenschutzverfahren so terminiert werden, dass eine höhere Anbausicherheit erzielt wird. Die an die Prognosesysteme gekoppelten Entscheidungshilfen unterstützen die Flächenplanung, sodass bereits bei der Flächenauswahl Kulturrisiken adäquat berücksichtigt werden können.

Indem sie die Werkzeugpalette für einen effektiven nicht-chemischen Pflanzenschutz erweitern, unterstützen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten aus SWATopti Beratungsdienste und Landwirte bei ihrer täglichen Arbeit und tragen dazu bei, produktionstechnische Hemmnisse und Schwierigkeiten, die mit der Systemumstellung auf eine ökologische Wirtschaftsweise verbunden sind, weiter zu vermindern. Dabei können auch unterschiedliche Wertschöpfungsketten berücksichtigt werden, indem die Maßnahmen auf spezifische Vermarktungsrichtungen, bspw. die Vermarktung von Möhren für den Frischmarkt, die Saft- oder industrielle Verarbeitung abgestimmt werden können.

Die wissenschaftliche Datenlage zu den in dem Projekt adressierten Gemüsefliegen war zum Projektbeginn sehr unterschiedlich: Zu Möhrenfliegen existierten sehr viele Monitoringdaten, biologische Daten, Untersuchungen

zum Ausbreitungsverhalten, sowie unterschiedliche Populationsmodelle. Auch die Kleine Kohlfliege war relativ gut untersucht, wobei hier aufgrund der vielfältigen Wirtspflanzen und der kleinräumigen Migrationsbewegungen, die meisten Wissenslücken zu finden waren. Zu Wurzelfliegen waren die wenigsten Daten vorhanden. Das größte Problem war hierbei die nicht verlässliche Bestimmung der untersuchten Fliegenart der in der Literatur zu findenden Daten und in Deutschland erhobenen Monitoringdaten.

1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde für 3 Jahre geplant. Jede der drei Gemüsefliegen wurde in einem eigenen Arbeitspaket bearbeitet, das im Zentrum zwei Arbeitsgebiete enthielt: die Datenerfassung und die Modellierung. Da die Ausgangslage hinsichtlich der verfügbaren Daten und Modelle bei den Fliegen variierte, unterschieden sich die anvisierten Projektziele und damit die geplanten Unterarbeitspakte für die jeweilige Fliegenart in ihrem Umfang und ihrer Bearbeitungsintensität (Abbildung 1).

Die Datenerfassung umfasste folgende Arbeiten:

- Erfassung des Auftretens von Gemüsefliegen im Kulturverlauf (alle Fliegen)
- Vergleich von Erfassungsmethoden (alle Fliegen)
- Untersuchungen zur Wirtspflanzenpräferenzen (Möhrenfliege, Kleine Kohlfliege)
- Untersuchung des Ausbreitungsvermögens (Kleine Kohlfliege)
- Experimentelle Bestimmung des Einflusses der Temperatur auf die Entwicklung (Bohnenfliege)

Die Modellentwicklung umfasste die:

- Konsolidierung von Daten zu Schädlingsabundanzen und Wetterdaten (alle Fliegen)
- Integration und Überprüfung einschlägiger Parameter (alle Fliegen)
- Validierung und vergleichende Bewertung der Modelle (Möhrenfliege, Kleine Kohlfliege)
- Entwicklung eines GIS-Moduls für die Flächenplanung (Möhrenfliege, Kleine Kohlfliege)

Die Freilanderhebungen fanden kontinuierlich auf Versuchsfeldern und Praxisflächen in den Regionen Braunschweig (JKI) und Hannover (LWK) statt. Die gewonnenen Daten wurden unmittelbar für die Modellentwicklung und Validierung verwendet. Die Arbeiten an den Modellen fanden in enger Abstimmung zwischen JKI, ZEPP und ISIP statt, sodass die Bereitstellung der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse für die Praxis von Anfang an einen zentralen Stellenwert erhielt.



Abbildung 1: Arbeitspakte (AP) und bearbeitende Projektpartner im Projekt SwatOpti.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Vermeidung eines Befalls mit Gemüsefliegen ist eine große Herausforderung, sowohl in ökologischen als auch integriert wirtschaftenden Gemüsebaubetrieben. Wichtige Faktoren, die die Schädigung von Kulturpflanzen durch Schädlinge beeinflussen, sind neben der Größe und Dichte der Schädlingspopulation und der Anfälligkeit der Kulturpflanze, auch das zeitliche und räumliche Zusammentreffen von Schädling und Kultur und dessen Dauer. Durch allgemeine Maßnahmen, wie die Flächenauswahl, die Planung und Wahl des Saat- oder Pflanztermins und - soweit möglich - die Terminierung des vorgesehenen Erntezeitfensters, lässt sich das Ausmaß einer potenziellen Schädigung bereits im Vorfeld reduzieren. Um diese Maßnahmen effektiv nutzen zu können, sollte das Befallsrisiko für die vorgesehenen Flächen bekannt sein. In der Praxis ist dies häufig nicht der Fall. Vor allem beim Anbau überlappender Sätze und in konzentrierten Gemüseanbaugebieten, sind Kenntnisse über die zu erwartende Gefährdung für die Ergreifung von Bekämpfungsmaßnahmen von essenzieller Bedeutung.

2.1.1 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Möhrenfliegen

Die Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae* Fabricius 1794) tritt von Mitte April bis Ende Oktober auf. In der Vergangenheit waren in Deutschland in der Regel zwei Generationen der Möhrenfliege pro Jahr zu beobachten. Der Schlupfzeitraum der ersten Generation blieb in den letzten Jahren trotz der durch den Klimawandel verursachten Verfrühung der Vegetation relativ konstant, während im Herbst eine Verlängerung des Flugzeitraums in Niedersachsen beobachtet wurde. Der Flugverlauf deutet dabei auf das Auftreten einer partiellen dritten Generation hin. In Trocken- und Hitzephasen kann es zu einer Reduzierung bis hin zum Ausfall der zweiten Generation kommen (Stein & Lehmann, 1984). Der durch die Möhrenfliegen verursachte Schaden wird zwar im Wesentlichen von der Kulturzeit der Möhren beeinflusst (Herrmann et al., 2010), grundsätzlich verursacht die zweite Generation aber die stärksten Schäden (Köhler, 2015). Der Befall ist meistens nicht homogen über eine Anbaufläche verteilt, sondern graduell zur Feldmitte abnehmend. Erhobene Befallszahlen können daher je nach Methode stark schwanken. Die Überwachung der Möhrenfliege erfolgt mit gelb-orange Klebefallen. Das Design und die Ausrichtung der Fallen basiert vorrangig auf den Erkenntnissen von Collier & Finch (1990). Hinsichtlich der optimalen Platzierung der Fallen gab es jedoch noch Informationsdefizite. In der Regel wird das Monitoring durch die Pflanzenschutzdienste durchgeführt. Nur selten werden Quellhabitare wie Vorjahresflächen oder die Feldrandvegetation in das Monitoring einbezogen. Die Individuenzahl der ersten Generation ist jedoch positiv mit der Gesamt-Möhrenfläche des Vorjahres korreliert (Herrmann et al., 2010), bzw. mit der Anzahl der Vorjahresfelder in einem Umkreis von 1 km um die Anbaufläche (Köhler, 2015). Auf der Suche nach Wirtspflanzen kann die Möhrenfliegen bis zu 100 m pro Tag zurücklegen, Entfernung von 1000 m werden jedoch selten überschritten (Collier & Finch, 2009). Dabei werden nahe gelegene Möhrenschläge stärker beflogen, als weiter entfernte (Herrmann et al., 2010). Die 2. Generation der Möhrenfliegen bleibt ortstreu bis zur Ernte der Kultur, danach werden Schläge in der Umgebung aufgesucht (Herrmann et al., 2010). Kleingehölze und Wald wirken sich ebenso wie Alternativwirte befallsfördernd aus (Herrmann et al., 2010, Hill, 1974; Degen et al., 1999a, b, c). Die Entwicklungsstadien der Kulturpflanze werden unterschiedlich stark befallen (Degen, 1998). Seit dem Ende der Aufbrauchfrist für den Wirkstoff Dimethoat in der EU im Jahr 2020, steht in Deutschland zur Bekämpfung von Möhrenfliegen nur noch der Wirkstoff Cyantraniliprole zur Verfügung. Da eine Anwendung nur zweimal erfolgen darf, ist eine exakte Terminierung des Spritztermins notwendig. Im ökologischen Anbau kommen auf kleineren Flächen Insektenschutznetze zum Einsatz, ansonsten wird der Befall durch das Management des Sä- und Erntezeitpunktes reguliert. Eine weiträumige Separierung der Anbauflächen scheint die effektivste Maßnahme zu sein. Unter bestimmten Voraussetzungen können Fangstreifen an Vorjahresflächen zu einer besseren Regulierung der Möhrenfliege beitragen (Herrmann et al., 2010). Auch durch Untersaaten scheint ein reduzierender Effekt möglich (Collier et al., 2001), in der Praxis spielt die Verwendung von Untersaaten allerdings derzeit keine Rolle. Im Allgemeinen ist die Höhe des ökonomischen Schadens abhängig von dem Verwendungszweck und dem Vermarktungsweg. Bei Frischmarkt-Möhren liegt die Schadenstoleranz niedriger, als bei Möhren, die für die industrielle Verarbeitung oder Versaftung vorgesehen sind.

2.1.2 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Kleine Kohlfliegen

Die Kleine Kohlfliege (*Delia radicum* Linné 1758) tritt in Deutschland ab April in der Regel in drei Generationen auf. In manchen Jahren kommt es auch zu einer partiellen vierten Generation. Wenig ist noch bekannt zur Sommerruhe (Ästivation), die vermutlich durch hohe Temperaturen und Trockenheit induziert wird. Es ist zu vermuten, dass dies ein maßgeblicher Faktor beim Auftreten der Fliegen unter veränderten Klimabedingungen ist. Es wurden bereits verschiedene Modelle entwickelt, die das zeitliche Auftreten der Fliegen (Collier et al., 1991a; Söndgerath & Müller-Pietrella, 1996; Broatch et al., 2006), ihre Überwinterung (Johnsen et al., 1997) den Einfluss der Klimaerwärmung (Collier et al., 1991b) und auch genetisch bedingte Entwicklungsunterschiede in einer Population (Turnock & Boivin, 1997; Biron et al., 2003) berücksichtigen. Für die Praxis sind diese Prognosesysteme aber nicht zugänglich. Das Auftreten der Kleinen Kohlfliege kann über die Eiablage mit Hilfe von Filzmanschetten oder durch geschulte Personen über den Fang adulter Fliegen mit Gelbschalen überwacht werden. Das Monitoring ist in den Betrieben wenig verbreitet, sondern wird vorrangig durch die Pflanzenschutzdienste durchgeführt. Die Filzringe sind auf dem Markt schwer erhältlich und teuer. Erfahrungen aus dem FlyIPM Projekt haben gezeigt, dass Monitoringverfahren unter Nutzung von Quarzsand hinsichtlich der Genauigkeit und der Praktikabilität eine Alternative darstellen können (Schorpp, unveröffentlicht). Chinakohl und Brokkoli sind gegenüber anderen Kohlarten vor allem durch Eiablage in die Blattachseln gefährdet. Bei Rettich und Radieschen ist ein Befall in hohem Maße ertragsrelevant, da befallene Pflanzen nicht mehr vermarktungsfähig sind. Neben gemüsebaulichen Kohlkulturen wird auch Raps befallen. Aus der Praxis ist bekannt, dass ältere Jungpflanzen einen Befall besser tolerieren können als junge. Ältere Untersuchungen zeigen, dass bestimmte Stadien durchaus präferiert werden (Ellis et al., 1979) und auch die Form der Blätter, ihre Farbe und Oberflächencharakteristik Einfluss auf das Eiablageverhalten haben (Roessingh & Städler, 1990). Räumliche Befallsmuster bei kleinräumiger Verfügbarkeit verschiedener Kohlarten und BBCH-Stadien wurden bislang noch unzureichend untersucht, könnten im satzweisen Anbau aber eine große Rolle spielen. In starken Befallsjahren kommt es zu deutlichen Ertragsausfällen, insbesondere im ökologischen Landbau kann es zum vollständigen Ausfall einzelner Sätze kommen. Ein wichtiger Bestandteil in der Bekämpfungsstrategie ist die Gießbehandlung der Jungpflanzen bereits vor dem Auspflanzen mit zugelassenen Pflanzenschutzmitteln, die den Wirkstoff Spinosad enthalten. Spinosad ist zwar auch in EU-Bio zulässig, darf derzeit jedoch nicht im Verbandsanbau eingesetzt werden. Kleinräumig können Ökolandbaubetriebe mit Insektenschutznetzen arbeiten. Diese Methode wird jedoch mit zunehmender Größe der Schläge schwieriger umsetzbar. Im integrierten Anbau sind Folgebehandlungen während der Kulturdauer mit dem Wirkstoff Cyantraniliprole zulässig, jedoch derzeit auf Kopfkohl beschränkt. Eine alternative Bekämpfung ist in engen Grenzen mit Nematoden möglich (Beck et al., 2014; Kapranas et al., 2020). Über den Einsatz biologischer Begasungsmittel (Nieto et al., 2019), die Nutzung von Antagonisten (Flury et al., 2019) oder über Modifikationen des gestaffelten Anbaus (Parsons et al., 2007; Joseph et al., 2017) wurde intensiv geforscht, alle Verfahren sind allerdings entweder noch nicht praxisreif oder derzeit in der Praxis nicht wirtschaftlich.

2.1.3 Auftreten, Schäden und Bekämpfung von Wurzelfliegen

Als Wurzelfliegen werden verschiedene Arten der Gattung *Delia* bezeichnet, deren Larven an den Saatkörnern oder Keimlingen verschiedener Pflanzen schädigen. Häufig treten *Delia*-Arten vergesellschaftet auf (Ellis & Scatcherd, 2007; Weier & Wichura, 2014). In Deutschland sind dies vor allem *D. platura* Meigen, 1826 und die auch als Bohnenfliege bezeichnet wird, und die etwas seltener *D. florilega* Zetterstedt, 1845, die unter dem Trivialnamen Saatenfliege bekannt ist. Durch inkonsistente Verwendung von Trivialnamen und ungenaue Artbestimmungen liegt eine unübersichtliche Informationslage vor. Zwar unterscheiden sich *D. florilega* und *D. platura* hinsichtlich ihrer Temperaturansprüche nur minimal voneinander (Throne & Eckenrode, 1986), da aber Unterschiede bei der Länge der Diapause und der tolerierbaren Höchsttemperaturen existieren (Throne & Eckenrode, 1986), ist eine genaue Unterscheidung vor dem Hintergrund der Entwicklung eines Modells besonders wichtig. Schäden werden von beiden Arten vor allem in der Phase zwischen Aussaat und kurz nach dem Auflaufen der Kulturen verursacht. Häufig führt ein Befall zum Totalausfall, da die Aussaat nicht mehr aufläuft. In der Folge kann es zu Konventionalstrafen oder Liefersperren kommen, wenn die Lieferverträge

durch den Kulturausfall nicht erfüllt werden können. In Niedersachsen waren in den letzten Jahren Buschbohnen, Zwiebeln und Schnittlauch besonders durch einen Befall mit Wurzelfliegen betroffen. Auch in Spargel kann es vereinzelt zu Problemen kommen. Seit im Jahr 2019 die insektiziden Beizen in Bohnen wegfielen, gab es zunehmende Berichte über Schäden. Über Notfallzulassungen wurde der Einsatz von insektiziden Beizen zumindest in gewissen Anwendungsgebieten in der Zwischenzeit jedoch wieder ermöglicht.

Beobachtungen der Pflanzenschutzdienste weisen darauf hin, dass in Zwiebeln *D. platura* die Hauptrolle spielt (Weier & Wichura, 2014). Sie scheint auch die dominante Art in geschädigten Buschbohnenbeständen in Sachsen zu sein (Köhler, G., persönl. Mitteilung). Mit dem Auftreten von Wurzelfliegen ist von April bis September mit wahrscheinlich bis zu drei Generationen zu rechnen (Ellis & Scatcherd, 2007). Ein systematisches Monitoring wurde in der Vergangenheit von keinem Pflanzenschutzdienst durchgeführt. Seit der Zunahme der Befallsflächen wurde aber in vielen Bundesländern die Erarbeitung von Überwachungsmethoden und Durchführung von Beizversuchen intensiviert. Für eine direkte Bekämpfung der Wurzelfliegen stehen keine Bekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung. Über den Saatzeitpunkt kann das Befallsausmaß erheblich beeinflusst werden (Silver et al., 2018). Beobachtungen des Pflanzenschutzamtes (PSA) 2020 zeigten, dass auch die Vorfrucht eine Rolle zu spielen scheint. Über die genauere Eingrenzung des Flugzeitraums, könnten Kulturmaßnahmen gezielter zur Vermeidung eines Befalls eingesetzt werden. Neben den Keimlingen ist für die Entwicklung der Larven vor allem sich zersetzende feuchte organische Substanz wichtig (Finch, 1989). Als allgemeine Empfehlung gilt während des Flugzeitraums keine Kulturmaßnahmen wie Hacken oder Beregnung durchzuführen.

2.1.4 Das Simulationsmodell SWAT und Modellierung des Befallsrisikos

SWAT wurde am JKI entwickelt und beinhaltet Prognosemodule für die Kleine Kohlfliege, die Möhrenfliege und die Zwiebelfliege (Otto & Hommes, 2000; Gebelein et al., 2001). Der Name stammt vom Englischen „to swat“ und bedeutet „eine Fliege totschlagen“. SWAT simuliert die relativen Abundanzen der aktuellen Altersstruktur einer hypothetischen Fliegenpopulation anhand von Wetterdaten. Aufgrund des modularartigen Aufbaus von SWAT können biologische Daten für neue Schaderreger eingepflegt und neue Module erstellt werden. Zu Projektbeginn existierten zwei Versionen von SWAT: eine neue Desktop-Version und eine veraltete Java-Version, die seit einigen Jahren in die Internetplattform von ISIP integriert ist. Erfahrungen von Pflanzenschutzberaterinnen und -beratern der Java-Version zeigten z. T. große Abweichungen von den über Monitorings erhobenen Freilandbeobachtungen. Dies führte zu einer sehr unterschiedlichen Akzeptanz des Modells und zur Sperre für die betriebliche Nutzung. Eine systematische Validierung der Modelle war dringend erforderlich, um die Vorhersagegenauigkeit zu optimieren.

Neben SWAT existierten noch andere Modellansätze, die sich als Grundlage für die Modellentwicklung eigneten. Bei der ZEPP wurde ein Modellframe entwickelt, der bereits in ISIP integriert ist und eine vielversprechende Grundlage für die Prognose von Populationsdynamiken der Gemüsefliegen bildet. Wie bei SWAT erfolgt die Ausgabe in relativen Skalen.

Für die Analyse des schlagspezifischen Risikos konnten Vorarbeiten aus dem Projekt CYDNINGPRO (FKZ 2812OE034, 2812OE033, 2812OE012) verwendet werden. Hierbei wurde basierend auf einem Geographischen Informationssystem (GIS) das Ausbreitungsverhalten der Falter simuliert und das schlagspezifische Befallsrisiko abgeschätzt. Befallsfördernde Faktoren, wie z. B. Abstände zu den Vorjahresflächen oder Sorten, können in dem Modell integriert werden.

3 Material und Methoden

3.1 Kulturbegleitende Erfassungen

3.1.1 Möhrenfliege

3.1.1.1 Monitoring

Während der Projektlaufzeit wurde ein Monitoring zur Erfassung adulter Möhrenfliegen in den Regionen Twistringen, Vesbeck und Braunschweig durchgeführt. Anzahl und Typ der Flächen pro Jahr und Region sind in Tabelle 1 aufgeführt. In den Regionen Twistringen und Vesbeck fand das Monitoring auf Praxisflächen statt, zusätzlich wurde je eine Altfläche aus dem Vorjahr zur Erfassung des Erstschlupfes der überwinternden Generation im laufenden Anbaujahr überwacht. Aufgrund der Einstellung des Möhrenanbaus in Vesbeck nach dem Jahr 2022, beschränkte sich das Monitoring in den Folgejahren auf Twistringen. In der Region Braunschweig fand das Monitoring auf zwei Versuchsflächen des JKIs statt.

Tabelle 1: Übersicht über die Standorte für das Möhrenfliegen-Monitoring.

Jahr	Standort	Typ	Anzahl Flächen
2022	Twistringen	Praxisflächen	9
	Vesbeck	Praxisflächen	2
	Braunschweig	Versuchsflächen	2
2023	Twistringen	Praxisflächen	10
	Braunschweig	Versuchsflächen	2
2024	Twistringen	Praxisflächen	7
	Braunschweig	Versuchsflächen	-
Summe			32

April bis ca. Mitte Mai, auf diesjährigen Flächen ab etwa Anfang Mai wöchentlich bis zum Erntebeginn im September oder, bei späterer Ernte, bis Mitte November durchgeführt. Für die Erfassung wurden kommerziell erhältliche Fallen verwendet: die Bio-Colortrap® Mehrweg-Orangefarbfallen (Temmen GmbH) in den Regionen Twistringen und Vesbeck oder Rebell® Orange Klebefallen (Andermatt Biocontrol Suisse AG) in der Region Braunschweig. Während des Projektzeitraumes war unter der Artikelnummer der beim LWK verwendeten Klebefallen nur noch eine produktionsseitig in signalorange farblich veränderte Bio-Colortrap® erhältlich, nicht aber mehr die gelb-orangen Tafeln. Im Projekt wurde mit den vorhandenen gelb-orangen Tafeln weitergearbeitet und die neuen signalorangen Tafeln vergleichend getestet.

Bei jeder Kontrolle wurde die Anzahl an Möhrenfliegen erfasst und die gefundenen Exemplare anschließend von den Tafeln entfernt. Die Platzierung der Fallen erfolgte unter Berücksichtigung der Flächenausrichtung, Randvegetation und möglicher Einflugrichtung. Die Fallen wurden 1,5 m vom Feldrand in den Flächen aufgestellt, zwischen den Tafeln lag jeweils ein Abstand von 30 Metern. Die Tafeln wurden um 45° nach unten gekippt und mit der Klebefläche in Richtung des Randbereichs aufgestellt. Auf Grund der geringeren Flächengröße betrug der Abstand der Fallen in Braunschweig nur ca. 5 m.

3.1.1.2 Methodenvergleich und -optimierung

Die Monitoringmethode wurde in Braunschweig in den Jahren 2022 und 2023 variiert. In 2022 wurde mit einem satzweisen Anbau gearbeitet. Dabei wurden fünf Fallen im ersten Beet aufgestellt und in die nachfolgenden Beete versetzt, sobald die Möhren BBCH-Stadium 43 erreicht hatten. Angrenzende Heckenstrukturen wurden zusätzlich mit einer Falle versehen. In 2023 wurde auf den satzweisen Anbau verzichtet und drei Beete gleichzeitig angelegt. Die Fallen wurden diagonal über den Schlag verteilt. In 2024 fand in Braunschweig kein Monitoring der Möhrenfliege statt.

Im Jahr 2023 wurde in Braunschweig zusätzlich eine Erfassung der adulten Fliegen mit einem Kescher durchgeführt. Dazu wurden jede Woche zufällig je 3 Transekte (10 m lang) in den Möhrenbeeten und in den Heckenstrukturen abgelaufen. In jedem Transekt wurden 20 Kescherschläge durchgeführt und die Insekten *in situ* gesammelt. Im selben Jahr wurde in Braunschweig zudem eine Methode zur Überwachung der Möhrenfliege durch die Erfassung ihrer Eier erprobt. Dazu wurde auf drei kleinen Parzellen (0,5 m x 0,5 m)

innerhalb des Möhrenbeetes Quarzsand direkt um die Möhrenköpfe verteilt. Jede Woche wurde der Quarzsand eingesammelt, im Labor aufgeschwemmt, die Eier ausgezählt und neuer Quarzsand um die Möhren gegeben. Die Methode orientierte sich an der Quarzsand-Methode, die bei der Erfassung der Kohlfliegeneier genutzt wurde.

Im Jahr 2023 wurden in Hannover auf einer Fläche die neuen signalorangen Tafeln vergleichend mit den bis dahin genutzten gelb-orangen Tafeln eingesetzt.

Zur Optimierung der Fallenstandorte und Erarbeitung von Empfehlungen, wurde die Migration der Fliegen zwischen den Flächen theoretisch nachvollzogen und mit Fallenfängen überprüft.

3.1.1.3 Bestimmung

Die Bestimmung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*, Fabricius 1794) erfolgte nach Withers & Claude (2021). Aufgrund der jahrelangen Erfahrung des PSA Niedersachsen und des JKIs in der Bestimmung und Arbeit mit der Möhrenfliege, war bereits vor dem Projekt eine große Expertise vorhanden. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der Möhrenfliege sind das schwarze Mesonotum ohne gelbe Flecke auf den Pleuren und den ebenfalls schwarz gefärbten postpronotalen Loben. Das Arrangement der dorsalen Borsten auf dem Thorax und den Femurae sind zudem zu beachten. Allgemein sind die Gliedmaßen gelblich gefärbt und die Augen meist rot.

3.1.1.4 Pflanzenschäden und Überwinterungspuppen

In 2022 und 2023 erfolgte in Braunschweig zum Saisonende eine Bonitur des Möhrenfliegenschadens am Erntegut. Dazu wurden an je drei zufällig gewählten Stellen pro Satz und Beet 5 Möhren entnommen, diese gewaschen und das Schadbild einer von 5 Schadklassen (Tabelle 2, Abbildung 2) zugeordnet. Zudem wurden im November 2023 gezielt Möhrenfliegenpuppen in den Möhrenbeeten gesucht, diese in Sand in Runddosen mit Gazedekel unter Freilandklimabedingungen über den Winter aufbewahrt und im Frühjahr 2024 der Schlupf überwacht.

Tabelle 2: Klassifizierung von Schäden an der Möhre durch die Möhrenfliegenlarven.

Klasse	Anzahl Fraßgänge	Vermarktungsfähigkeit
1	Keine Fraßstellen	Ja
2	Eine kleine Fraßstelle (Stecknadelkopfgröße)	Ja
3	Ein Fraßgang bis 1,5 cm Länge	Nein
4	Zwei Fraßgänge bis 1,5 cm oder ein Fraßgang über 1,5 cm Länge	Nein
5	Drei Fraßgänge bis 1,5 cm oder zwei Fraßgänge über 1,5 cm Länge	Nein

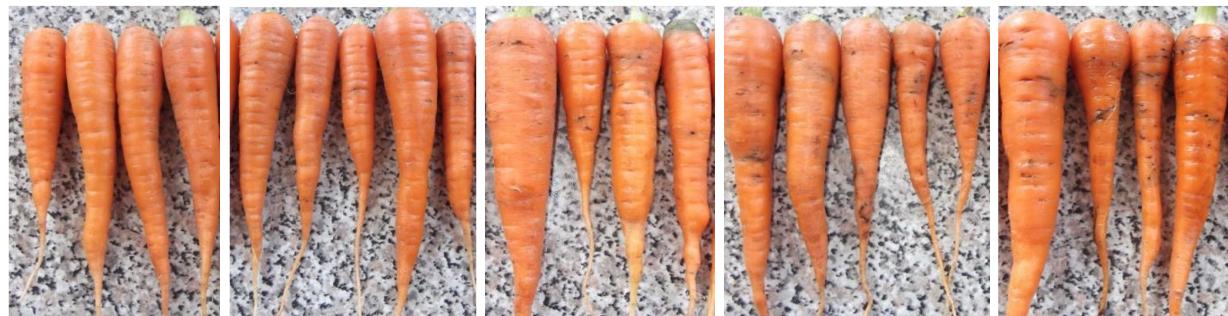


Abbildung 2: Beispielklassifizierung von Schäden an der Möhre durch die Möhrenfliegenlarven. Dargestellt sind, von links nach rechts, die Schadklassen 1-5 (Fotos: U. Weier, LWK).

3.1.2 Kleine Kohlfliege

3.1.2.1 Monitoring

Für die Kleine Kohlfliege wurde ein Monitoring auf Versuchsflächen des PSA in Hannover und des JKIs in Braunschweig, sowie auf Praxisflächen in der Region Wunstorf durchgeführt. Alle untersuchten Standorte sind in Tabelle 3 aufgeführt. Das Monitoring am PSA wurde immer Mitte/Ende April aufgebaut und dann bis Ende Oktober/Anfang November durchgeführt. Auf den Praxisflächen begann das Monitoring sobald der 1. Kohlsatz ohne Vlies (Ende April/Anfang Mai) angebaut wurde und endete zum Beginn der Ernte des letzten Satzes (Mitte/Ende Oktober). Für die Überprüfung der Eiablageaktivität der Kleinen Kohlflege wurden in Hannover und Wunstorf an einer Reihe aus 10 Pflanzen Eimanschetten (Olbis Les Ateliers, CH) angelegt und wöchentlich auf Eiablage überprüft. In Braunschweig wurden 10 Eimanschetten randomisiert im Beet verteilt und einmal pro Woche überprüft. Die Eimanschetten wurden direkt über der Erdoberfläche am Wurzelhals der Kohlpflanze befestigt (Abbildung 3). Die Kontrolle der Eiablage erfolgte von Anfang April bis Mitte Oktober. Die Eier wurden gezählt, protokolliert und aus den Eimanschetten entfernt. Die Eimanschetten wurden danach wieder an die gleichen Pflanzen angelegt.



Abbildung 3: Kohlfiegen-Monitoringmethoden. Links: Eimanschette an Kohlrabi, Rechts: Sandmethode an Kohlrabi.

Auf den Flächen des PSA wurde das Monitoring ausschließlich an Kohlrabi durchgeführt, auf den Praxisflächen in der Region Wunstorf sowohl an Kohlrabi, als auch an Brokkoli. Die Flächen des JKIs in Braunschweig wurden in 2022 mit Brokkoli und in 2023 mit Kohlrabi bestellt. Der Anbau erfolgte satzweise. Dabei wurden die Sätze in 2022 über mehrere Wochen und in 2023 für eine Woche parallel beprobt.

Die zweite Monitoringmethode für die Eiablage der Kleinen Kohlflege war die Sandmethode. Dazu wurde die oberste Erdschicht über dem Wurzelballen abgekratzt und anschließend mit zwei bis drei Teelöffeln Sand wieder aufgefüllt (Radius um den Wurzelhals ca. 3-4 cm). Für die Auswertung wurde dieser Sand in ein Gefäß überführt und das Prozedere des Sandauffüllens wiederholt. Der gesammelte Sand im Gefäß wurde mithilfe von Wasser aufgeschwemmt. Durch die hydrophobe Oberfläche der Eier schwammen diese in der Folge an die Wasseroberfläche und konnten von dort ausgezählt werden. Das Vorgehen für die Sandmethode entsprach demselben Schema wie die Überprüfung der Eimanschetten. In Braunschweig wurden zusätzlich zu den Eiablagen auch die adulten Fliegen mit Hilfe von Gelbschalen erhoben. Die Gelbschalen (n = 3) standen in Bodennähe in den Beeten und wurden mit gesättigter Kochsalzlösung befüllt und einmal wöchentlich geleert. In kleineren Versuchen wurden noch weitere Monitoringmethoden miteinander verglichen. Zum einen die Ackerbodenmethode, die vergleichbar mit der Sandmethode ist, jedoch nicht mit zusätzlich ausgebrachtem Spielsand, sondern mit dem vorhandenen Ackerboden auf dem Feld. Zum anderen wurde eine weitere Methode entwickelt, die ein Mix aus der Eimanschette und der Sandmethode darstellte. Es wurde ein Trichter aus Filz um die Pflanze gelegt, der mit Sand gefüllt wurde. Im wöchentlichen Monitoring wurde der Sand aus dem Trichter im Anschluss so verarbeitet, wie der Sand in der Sandmethode. Eimanschette und Sandmethode wurde im Projekt am intensivsten getestet.

Tabelle 3: Monitoringstandorte der Kleinen Kohlfliege und die angewendeten Monitoringmethoden.

Jahr	Standort	Anzahl Flächen	Monitoringmethoden
2022	Hannover (PSA)	1	Eimanschette und Sandmethode
	Wunstorf	2	Eimanschette und Sandmethode
	Braunschweig	2	Eimanschette und Sandmethode, Gelbschalen
2023	Hannover (PSA)	1	Eimanschette und Sandmethode
	Wunstorf	2	Eimanschette und Sandmethode
	Braunschweig	2	Eimanschette und Sandmethode, Gelbschalen
2024	Hannover (PSA)	1	Eimanschette und Sandmethode
	Wunstorf	2	Eimanschette und Sandmethode
	Braunschweig	-	-
Summe		13	

3.1.2.2 Methodenvergleich und Bestimmung

Für den quantitativen Vergleich von Eimanschette und Sandmethode wurden die gezählten Eier jede Woche verglichen. Aufgrund der Verunreinigung der Proben mit *D. platura/florilega* Eiern musste zusätzlich eine qualitative Überprüfung der Eier durchgeführt werden. Für die qualitative Überprüfung wurden die Eier in einem Gefäß gesammelt und unter einem Binokular untersucht. In Hannover wurden pro Fläche und Woche bis zu einem Maximum von 50 Eier untersucht und ausgewertet. Die Bestimmung der Eier erfolgte ebenfalls nach Savage et al. 2016. Die Eier von *D. radicum* waren anhand von unregelmäßig parallel verlaufenden Linien zu erkennen. Die Eier der *D. platura/florilega* erinnern an eine Art Krokodilhaut und waren somit leicht von *D. radicum* Eiern zu unterscheiden (Abbildung 4). Die Bestimmung der adulten Fliegen erfolgte mit dem Bestimmungsschlüssel von Savage et al. (2016).

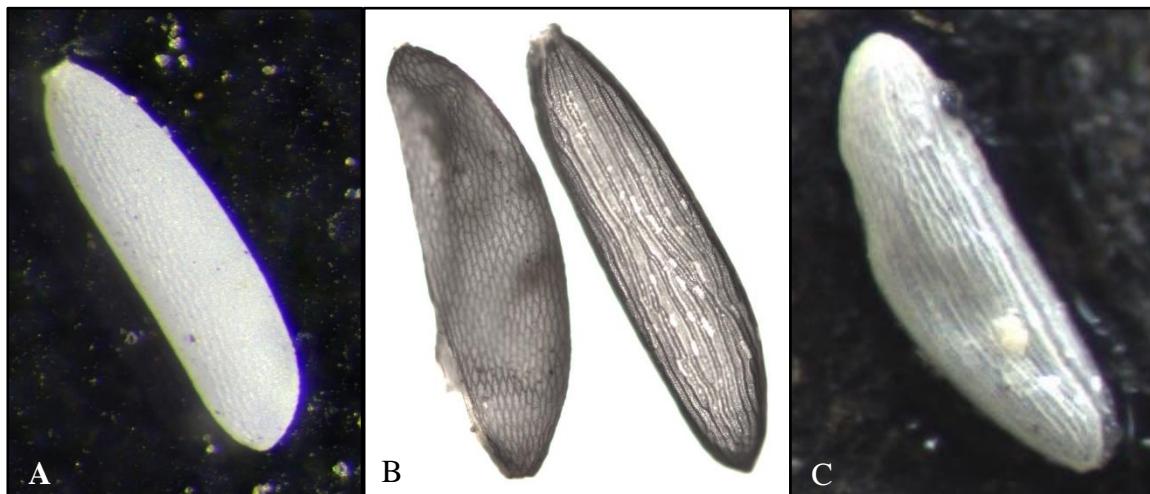


Abbildung 4: A: *D. platura/florilega* Ei unterm Binokular. B: *D. platura/florilega* und *D. radicum* Ei unterm Mikroskop. C: *D. radicum* Ei unterm Binokular. Fotos: K. Schowe (LWK) und P. Darr (LWK). 40-fache Vergrößerung.

3.1.2.3 Pflanzenschäden und Überwinterungspuppen

In 2022 wurden am JKI die Wurzeln der Brokkoliflizen auf Schäden untersucht. Dazu wurden aus jedem Satz zufällig 10 Pflanzen ausgewählt und mit Wurzeln und umgebender Erde eingesammelt. Die Wurzeln wurden ausgewaschen, auf Schäden untersucht und einer der vier Schadklassen zugeordnet (Tabelle 4, Abbildung 5). Die Schadensbonitur fand von Ende Juni bis Mitte Oktober 2022 in Braunschweig an 6 Sätzen und in Hötzum an 5 Sätzen statt. Jeder Satz wurde nur einmalig nach etwa 12-20 Wochen Entwicklungszeit

nach der Aussaat bonitiert. Puppen, die beim Auswaschen aufgeschwemmt wurden, wurden gezählt und in Sand in Runddosen mit Gazedeckel unter Freilandklimabedingungen über den Winter aufbewahrt. Im Frühjahr 2023 wurde erfasst, wann die Puppen schlüpften. Für die Überwachung der Puppenüberwinterung von 2023 auf 2024 wurde von Ende August bis Ende Oktober 2023 an 5 Terminen Boden um verkümmerte Kohlrabipflanzen ausgegraben und auf Puppen untersucht. Die gefundenen Puppen wurden ebenfalls in Sand in mit Gaze verschlossenen Runddosen unter Freilandklimabedingungen über den Winter aufbewahrt und im Frühjahr 2024 der Schlupftermin erfasst.

Tabelle 4: Klassifizierung der Schäden an den Wurzeln von Brokkoli durch Kohlfliegenlarven.

Klasse	Schäden am Wurzelwerk von Brokkoli
1	Voll entwickeltes Wurzelwerk, ohne sichtbare Fraßsymptome
2	Einzelne Fraßstellen am Strunk
3	Wurzelwerk reduziert und/oder zahlreiche Fraßstellen am Strunk
4	Wurzeln stark geschädigt, fast nur noch Hauptstrunk vorhanden und zahlreiche Fraßstellen am Strunk



Abbildung 5: Beispielklassifizierung von Schäden am Wurzelwerk von Brokkoli durch die Kohlfliegenlarven. Dargestellt sind, von links nach rechts, die Schadklassen 1-3 (Fotos: U. Weier, LWK).

3.1.3 Wurzelfliegen

3.1.3.1 Monitoring

Das Monitoring der Wurzelfliegen wurde von der LWK indirekt über Auflaufbonituren auf Praxisflächen in der Region Burgdorf durchgeführt. Hierzu wurden die verschiedenen Buschbohnensätze 10-14 Tage nach der Aussaat auf Schäden untersucht. Es wurden vier Abschnitte von je 2 m Länge pro Buschbohnensatz auf Schäden überprüft. Alle aufgelaufenen Pflanzen innerhalb des Zählstreifens wurden gezählt und dann als intakt oder beschädigt klassifiziert.

Für die direkte Erfassung der adulten Fliegen wurden zunächst unspezifisch fängige Gelbschalen verwendet. Für die Erarbeitung eines spezifischen Monitoringverfahrens wurden in Vortests verschiedene Methoden auf ihre Praxistauglichkeit und Fängigkeit gescreent und bewertet. Dieser Vergleich (Abbildung 6) identifizierte eine kombinierte Falle aus Weißschale und Lockstoff, die vom LfULG Sachsen empfohlen und nach deren Anleitung konstruiert wurde, als die geeignetste Methode. Sie wurde ab 2023 verwendet. Hierzu wurde eine ca. 10 x 20 cm große Weißschale mit gesättigter Kochsalzlösung auf die Bodenoberfläche und darüber eine mit der Öffnung nach unten gedrehte ebenfalls weiße Bäckerkiste gestellt. An der Bäckerkiste wurde eine Schnur befestigt an deren Ende der Lockstoff in Form eines Teebeutels, der mit Kompost, Hornmehl und eingeweichten Weißen Bohnen gefüllt wurde, hing (Abbildung 7). Die Bäckerkiste diente zusätzlich dazu Vögel und Nagetiere von der Fangschale fernzuhalten.

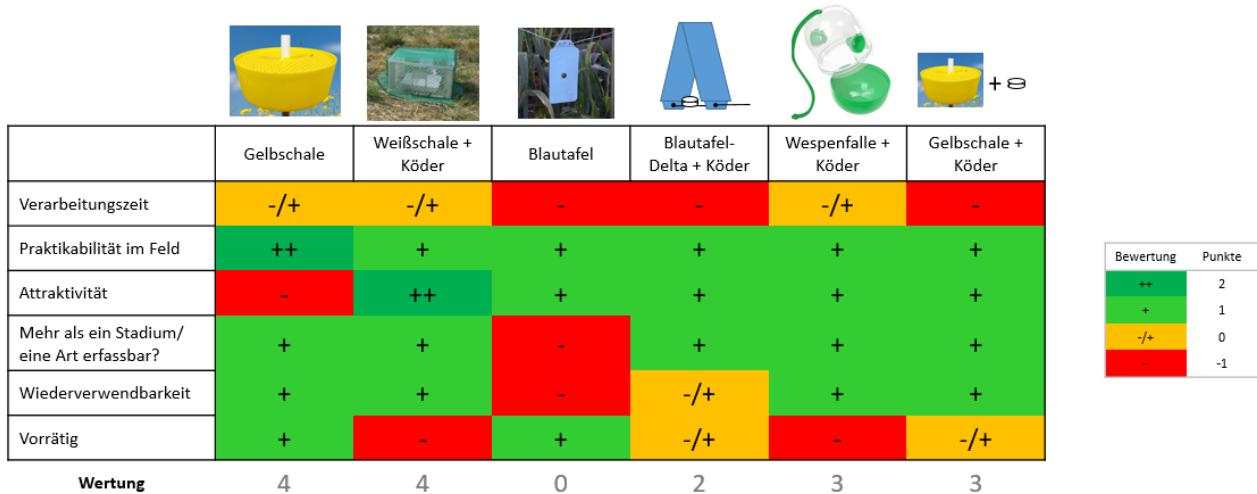


Abbildung 6: Vergleich unterschiedlicher Ansätze für das Monitoring der Wurzelfliegen.

Das Wurzelfliegen-Monitoring wurde in Braunschweig 2022 mit Gelbschalen und 2023 sowie 2024 mit Weißschalen durchgeführt. Dabei wurden drei der zuvor beschriebenen Weißschalen-Fangsysteme in ein Buschbohnen-Beet gesetzt (Abbildung 7). Das Monitoring begann mit der Aussaat und wurde bis zur Ernte durchgeführt. Der Anbau der Buschbohnen (Cerdon) fand satzweise (3 Sätze) statt. Die Weißschalen wurden dabei sofort nach Aussaat in den neuen Satz versetzt. 2024 wurden die Weißschalen zusätzlich ab Mitte März erst in Winterraps und Kohlrabi (Korist) gestellt, bevor im Mai die Buschbohnen ausgesät wurden. Nach der Ernte der Buschbohnen im September wurden die Weißschalen für weitere 6 Wochen in Kohlrabi gesetzt. Damit konnte für 2024 ein Zeitraum von Mitte März bis Mitte Oktober für das Wurzelfliegen-Monitoring abgedeckt werden. Für die Auswertung wurden zusätzlich die Funde der Wurzelfliegen aus den Gelbschalen aus dem Monitoring der Kleinen Kohlfliege verwendet.



Abbildung 7: Links: Aufbau der Köderfalle für die Wurzelfliegen. Rechts: Platzierung der Köderfallen im Bohnensatz.

Als weitere Methode hat die LWK im Jahr 2024 auf den Praxisflächen noch eine Sandmethode mit Köder für die Wurzelfliegen getestet. Diese Methode bestand aus einer zweiteiligen Konstruktion. Der eine Teil bestand aus einem mit frischem Kompost gefüllten Plastikbecher der in der Erde vergraben wurde und als Lockstoff und Wasserreservoir dienen sollte. Über den Becher wurde ein Teesieb gelegt. Das Teesieb war gefüllt mit Sand und je 5 Buschbohnensamen (Abbildung 8). Die Bohnen sollten dann im Monitoringzeitraum von 7 Tagen keimen und somit in der Falle immer Bohnen im attraktiven Stadium für die Wurzelfliegen vorhanden sein. Bei der wöchentlichen Überprüfung wurde der Sand abgenommen und mit der beschriebenen

Aufschwemmmmethode wie bei der Kleinen Kohlfliege auf Eier überprüft. Nach der Abnahme des Sandes wurde das Teesieb erneut mit frischem Sand und neuen Bohnen befüllt.

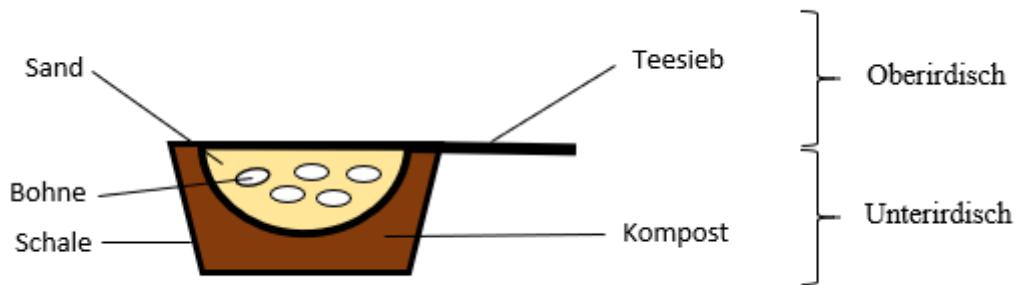


Abbildung 8: Querschnitt durch die Sandmethode für die Wurzelfliegen.

Alle Standorte und die verwendeten Monitoringmethoden für das Wurzelfliegen-Monitoring sind in Tabelle 5 aufgelistet. Die Bestimmung der Wurzelfliegen erfolgte nach Savage et. al 2016.

Tabelle 5: Monitoringstandorte der Wurzelfliegen und die angewendeten Monitoringmethoden.

Jahr	Standort	Anzahl Bohnensätze	Monitoringmethoden
2022	Burgdorf	14	Auflaufbonituren
	Immensen	12	Auflaufbonituren
	Braunschweig	6	Gelbschalen
2023	Burgdorf	12	Auflaufbonituren und Köderfallen
	Immensen	14	Auflaufbonituren
	Braunschweig	6	Köderfallen
2024	Burgdorf	10	Auflaufbonituren und Sandmethode
	Immensen	7	Auflaufbonituren und Sandmethode
	Braunschweig	6	Köderfallen
Summe		87	

3.1.3.2 Überwinterungspuppen

Zur Überprüfung des Schlupfs der Wurzelfliegen nach Überwinterung wurden 2023 am JKI Puppen gesammelt. Dazu wurde Kompost gemischt mit Hornmehl in kleine Töpfe gegeben und getrocknete Erbsen und Weiße Bohnen auf der Oberfläche verteilt und mit Kompost bedeckt. Die Töpfe wurden ebenerdig neben den Buschbohnen-Beeten aus dem Monitoring aufgestellt und nach 2 Wochen auf Puppen untersucht. Die Puppensammlung erfolgte von Mitte August bis Anfang September (KW 34-36).

3.2 Feld- und Klimakammerversuche

3.2.1 Vorarbeiten

Es wurde erfolgreich eine Zucht der Bohnenfliege *D. platura* etabliert und im Laufe der Projektzeit optimiert. Die Zucht wurde mit Puppen, die im Feld eingesammelt wurden, gestartet. Die Haltung erfolgte in einem Zuchtzelt unter kontrollierten Bedingungen in einer Klimakammer (20 °C, 16 h Licht) (Abbildung 9). Nachdem sich eine ausreichend große Population etabliert hatte, wurden die Fliegen in ein neues Zelt überführt, da im alten Zelt Parasitoide geschlüpft waren. Durch diese Maßnahme wurden die Parasitoide komplett aus der Zucht

entfernt. Um Sicherzustellen, dass sich in der Zucht nur *D. platura* befand, wurden die Fliegen morphologisch und per PCR bestimmt.

Die Fliegen wurden mit Nassfutter, einer Zuckerlösung (10 %) und Wasser versorgt. Für das Nassfutter wurden ein gehäufter TL Sojamehl, 1/3 TL Hefe (Trockenhefe) und 1/3 TL Hornmehl mit Leitungswasser zu einem Brei vermengt. Zum Ansetzen der Zuckerlösung wurde normaler Haushaltszucker verwendet. Nassfutter, Zuckerlösung und Leitungswasser wurden jeweils in eine Petrischale auf ein feuchtes Küchenpapier gegeben. Diese Maßnahme verhinderte, dass die Fliegen in der Flüssigkeit ertranken. Ein- bis zweimal in der Woche wurde das Nassfutter, die Zuckerlösung und das Wasser ausgetauscht. Das Nassfutter wurde gleichzeitig für die Aufrechterhaltung der Population genutzt, da die Fliegen ihre Eier in das Nassfutter legen und die Larven darin zur Entwicklung gebracht werden können. Beim Wechsel des Futters wurde daher das alte Futter, inklusive der darin befindlichen Eier und Larven, in eine separate Schale mit zusätzlichem Nassfutter gegeben und mit einem feuchten Küchenpapier bedeckt. Es sollte dabei eine ausreichende Menge an Nassfutter (insbesondere Sojamehl) zur Verfügung gestellt werden, damit sich die Larven gut entwickeln können. Eine zu geringe Menge an Nahrung führte zum Absinken der Zuchtpopulationsdichte.

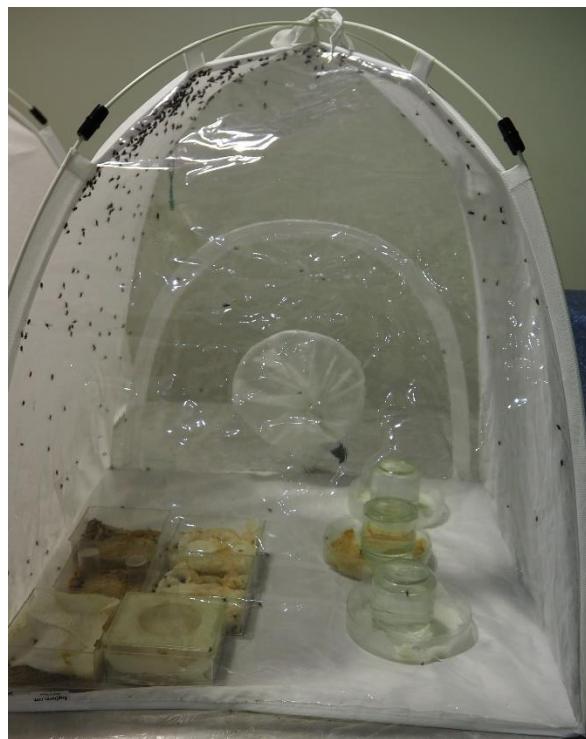


Abbildung 9: Zuchztelt der Bohnenfliege *D. platura*. Auf der linken Seite befinden sich die Schalen mit altem Futter zur Aufrechterhaltung der Zuchtpopulation und rechts das Nassfutter, die Zuckerlösung und das Wasser zur Versorgung der Zucht.

3.2.2 Wirtspflanzenpräferenz der Möhrenfliege

Für die Untersuchungen zur Wirtspflanzenpräferenz wurden 2022 auf zwei und 2023 auf einem Versuchsfeld Möhrensortenversuche im Raum Twistringen angelegt. Die Aussaat des Versuchs erfolgte zeitgleich mit der Aussaat der umgebenden Praxisfläche. Die Möhren wurden zwischen Ende März und Ende April mit einer manuellen Sämaschine (Terradonis) ausgesät. An jedem Standort wurden vier Sorten getestet. Die Sorte der jeweiligen Praxisfläche wurde als Referenzsorte auch im Versuch verwendet. Getestet wurden die Sorten Bastia, Kamaran, Trafford, Warmia und Ymer. Der Versuch wurde als vierfach wiederholte Blockanlage angelegt. Jede Versuchsparzelle bestand aus 2 Dämmen mit jeweils 7 m Länge (Abbildung 10).

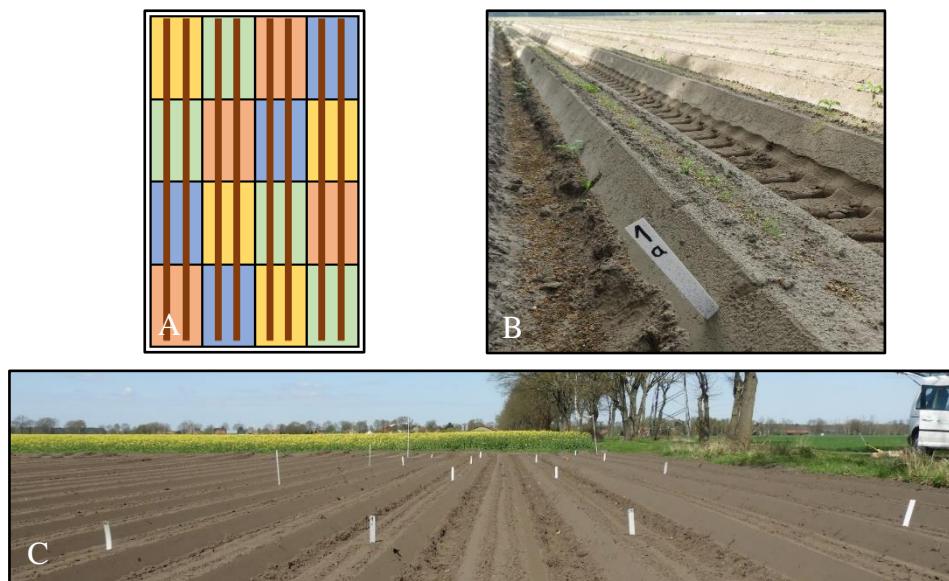


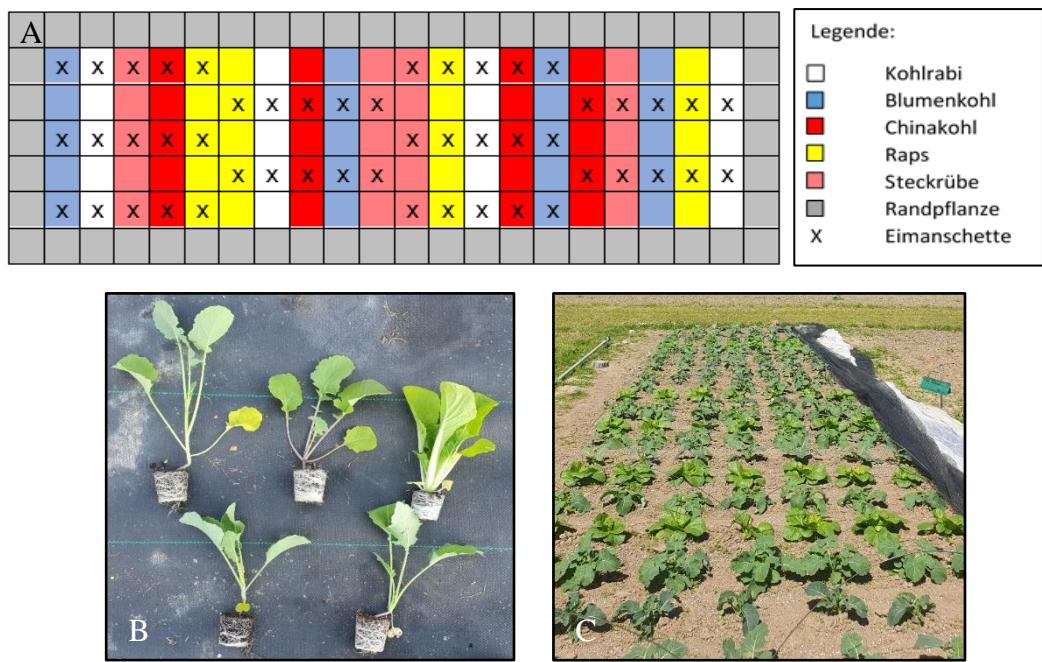
Abbildung 10: Versuchsaufbau zur Sorten- und BBCH-Präferenz. A: Beispiel-Versuchsplan, die braunen Linien zeigen die Möhrendämme, die farbigen Parzellen die Verteilung nach Sorte bzw. Aussaatdatum. B: Parzelle nach dem Auflauf der Möhren. C: Versuchsfläche Vesbeck.

Um die Sortenpräferenz der Fliegen festzustellen, wurde eine Erntebonitur durchgeführt. Hierbei wurde das Erntegut auf Schäden durch die Larven der Möhrenfliege untersucht. Die Erntebonitur erfolgte Anfang/Mitte August. Pro Parzelle wurden 100 Möhren geerntet, gewaschen und dann auf Fraßschäden untersucht. Die Klassifizierung der Schäden erfolgte anhand der Anzahl und Tiefe der Fraßgänge im Erntegut (Tabelle 2).

3.2.3 Wirtspflanzenpräferenz der Kleinen Kohlfliege

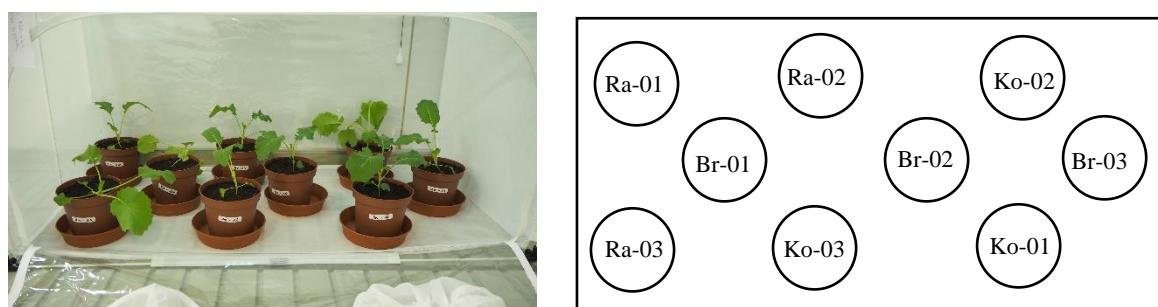
3.2.3.1 Freilandversuche

In den drei Projektjahren wurden auf den Versuchsflächen beim PSA mehrere Versuche durchgeführt, um die Kohlartenpräferenz der Kleinen Kohlfliege zu untersuchen. Hierfür wurden jeweils fünf verschiedene Kohlarten gegeneinander getestet. Im Jahr 2022 wurden Kohlrabi (Korist), Blumenkohl (Alcala), Chinakohl (Manoko), Raps und Rübse (Jupiter) im Versuch verwendet. 2022 wurde Winterraps verwendet. Da dieser mit der Frühjahrsaussaat allerdings nicht zurechtkam, wurde in den Jahren 2023 und 2024 die Sommerrapssorte Lakritz verwendet. 2023 und 2024 wurde Rübse durch Steckrübe (Helenor) ersetzt. Kohlrabi, Blumenkohl und Steckrüben wurden 4 Wochen, Chinakohl, Rübsen und Raps ca. 3 Wochen vor Versuchsbeginn in 54er Quickpot-Anzuchtplatten in Anzuchtssubstrat ausgesät. Die Anzucht erfolgte im Gewächshaus (18 °C, 40 %, Tag/Nachtrhythmus 16/8 h). Zwei Mal pro Woche wurden die Jungpflanzen mit Universol® Orange gedüngt und eine Woche vor Versuchsbeginn auf einer Abhärtungsfläche an die Freilandbedingungen gewöhnt. Die Versuchsfläche hatte eine Größe von 2,8 m x 44 m, wurde mit 40 g/m² Kalksalpeter vorgedüngt und kurz vor der Pflanzung gegrubbert. Der Pflanzabstand war 40 x 50 cm. Nach dem Anwurzeln der Kohlpflanzen wurden an je 10 Pflanzen pro Kohlart pro Parzelle Eimanschetten angebracht, die wöchentlich boniert wurden. Der Versuch wurde als 4-fach wiederholte Blockanlage angelegt (Abbildung 11).



3.2.3.2 Klimakammerversuche

Am JKI wurde im März 2023 ein Klimakammerversuch zur Überprüfung der Attraktivität unterschiedlicher Kohlartenpflanzen für die Eiablage von *D. radicum* durchgeführt. Dazu wurden 3 verschiedene Kohlarten, Raps (Ambassador), Kohlrabi (Korist) und Brokkoli (Marathon) im Gewächshaus angezogen und eine Woche vor Versuchsbeginn zur Akklimatisierung in die Klimakammer (18 °C, 60 % r. F., Tag/Nachtrhythmus 14/10 h) gestellt. Die Pflanzen waren zum Versuchsbeginn 5 Wochen alt. In der Klimakammer wurden 5 Bugdorm-Käfige (L 93,0 x B 47,5 x H 47,5 cm) aufgestellt. In jedem dieser Käfige wurden drei Pflanzen jeder Kohlart randomisiert angeordnet (Abbildung 12). Das Versuchsdesign bestand demnach aus 5 Blöcken mit je drei Varianten zu drei Replikaten, sodass sich insgesamt 15 Wiederholungen pro Variante ergaben. Puppen der Kleinen Kohlfliege wurden in einem separaten Bugdorm-Aufzuchtzelt innerhalb der Klimakammer zur Entwicklung gebracht. 24 h vor Versuchsbeginn wurden 5 weibliche und 5 männliche Fliegen in den Käfigen freigelassen. Das Alter der Fliegen zu Versuchsbeginn lag bei mindestens 5 Tagen, um die Fortpflanzungsfähigkeit zu gewährleisten. An den drei folgenden Tagen wurde täglich die Eiablage durch Zählen der Eier pro Pflanze erfasst. Die Eier wurden nach jeder Bonitur entfernt. Zudem wurden die Kohlfliegen überprüft und gestorbene Individuen ersetzt. Alle Eizähldaten wurden am Ende des Durchgangs zusammengefasst (Summe der Eizählungen aus drei Tagen pro Einzelpflanze).



3.2.4 BBCH-Stadien-Präferenz der Möhrenfliege

Für die Untersuchungen zur BBCH-Stadien Präferenz wurden 2022 drei Versuchsfelder nach dem gleichen Aufbau wie unter 3.2.3.1 beschrieben auf mehreren Praxisflächen angelegt. Zwei Flächen lagen in der Region Twistringen und eine Fläche in der Region Vesbeck. Um einen Unterschied im BBCH-Stadium der Versuchspflanzen zu erreichen, wurden die Möhren zu verschiedenen Terminen im Abstand von 7 Tagen ausgesät. Die Aussaat des ersten Versuchsglieds erfolgte zeitgleich mit der Praxisfläche Mitte April. Für die Aussaat wurde eine manuelle Sämaschine (Terradonis) verwendet. Als Versuchssorte wurde jeweils die Sorte verwendet, die auch auf der jeweiligen Praxisfläche angebaut wurde. Über die drei Versuche waren dies die Sorten Bastia, Patzi und Ymer. Die Ernte und Erntebonitur erfolgte ebenfalls wie unter 3.2.3.1 beschrieben.

3.2.5 BBCH-Stadien-Präferenz der Kleinen Kohlfliege

3.2.5.1 Freilandversuche

2022 und 2023 wurden Versuche zur BBCH-Stadien Präferenz der Kleinen Kohlfliege beim Einflug der 1. Fliegengeneration in Kohlflächen am PSA durchgeführt. Die Kohlpflanzen wurden in 54er Quickpot-Anzuchtplatten in Anzuchtssubstrat ausgesät und im Gewächshaus angezogen (18 °C, 40 % r. F., Tag/Nachtrhythmus 16/8 h). Der Kohlrabi (Korist F1) wurde an 4 verschiedenen Terminen, mit je 7 Tagen Abstand, ausgesät. Die ältesten Pflanzen waren zu Versuchsbeginn 7 Wochen, die jüngsten 4 Wochen alt. Zwei Mal pro Woche wurden die Jungpflanzen mit Universol® Orange gedüngt und eine Woche vor Versuchsbeginn auf einer Abhärtungsfläche an die Freilandumweltbedingungen gewöhnt. Der Versuch wurde einfaktoriell ohne Wiederholung angelegt. (Abbildung 13). Pro Parzelle wurden jeweils 36 Pflanzen eines BBCH-Stadiums gepflanzt, wovon 16 Pflanzen zur Kernparzelle gehörten und der Rest als Randpflanzen diente. Aus jeder Kernparzelle wurden 10 zufällig gewählte Pflanzen mit Eimanschetten versehen. Die Eimanschetten wurden alle 7 Tage auf Eiablage kontrolliert.

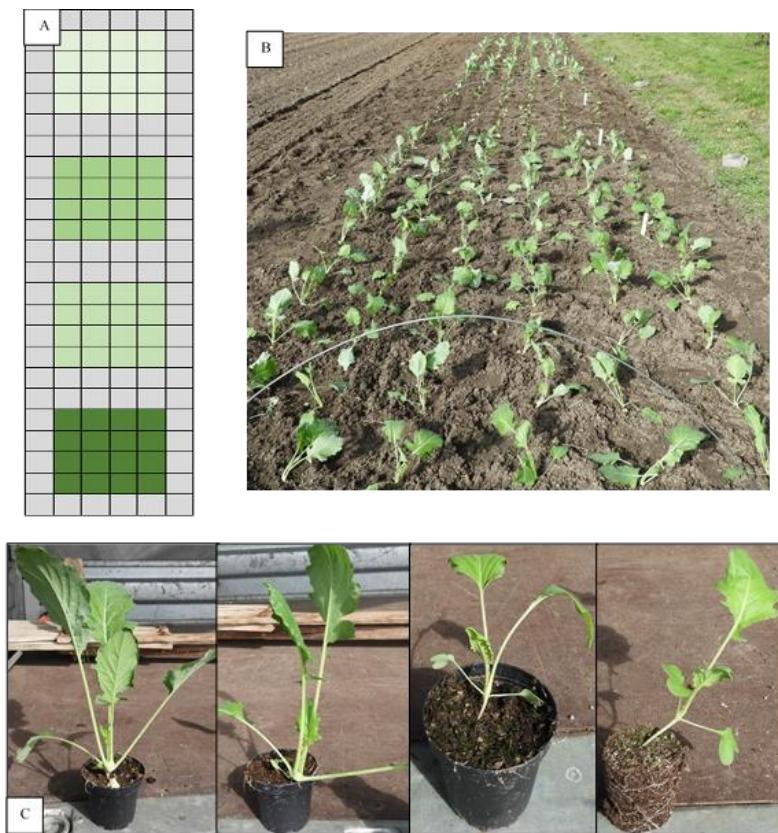


Abbildung 13: A: Beispieldersversuchsaufbau, jedes Kästchen ist eine Pflanze und jede Farbe spiegelt ein BBCH-Stadium wieder. B: Versuchsfläche am PSA. C: BBCH-Stadien bei Pflanzung.

3.2.5.2 Klimakammerversuche

Am JKI wurden im März, November und Dezember 2023 Klimakammerversuche zur Überprüfung der Attraktivität unterschiedlicher BBCH-Stadien für die Eiablage von *D. radicum* durchgeführt (Abbildung 14). Der Versuch fand analog zum Klimakammerversuch in 3.2.3.2 statt. Statt drei verschiedener Kohlarten wurde Brokkoli (Marathon) an 3 Terminen mit je zweiwöchigem Abstand im Gewächshaus angezogen und eine Woche vor Versuchsbeginn zur Akklimatisierung in die Klimakammer gestellt. Die Pflanzen waren zum Versuchsbeginn 4, 6 und 8 Wochen alt. Abweichend zum Vorgehen in 3.2.3.2 wurden im zweiten und dritten Durchgang aufgrund geringer Kohlfliegenanzahl nur 3 weibliche und 3 männliche Fliegen in die Käfige gesetzt. Nach dem 2. Durchgang wurde noch ein zusätzlicher Durchgang 2b durchgeführt. Dabei wurden nur 3 Käfige verwendet, die jeweils mit 4 Pflanzen aus dem 2. Durchgang und mit 5 Pflanzen aus der Pflanzenreserve des 2. Durchgangs bestückt wurden. Pro Käfig waren weiterhin 3 Replikate pro Altersstufe vorhanden. Die Pflanzen waren zum Versuchsbeginn 5, 7 und 9 Wochen alt. Das weitere Vorgehen entsprach dem des 2. Durchgangs.

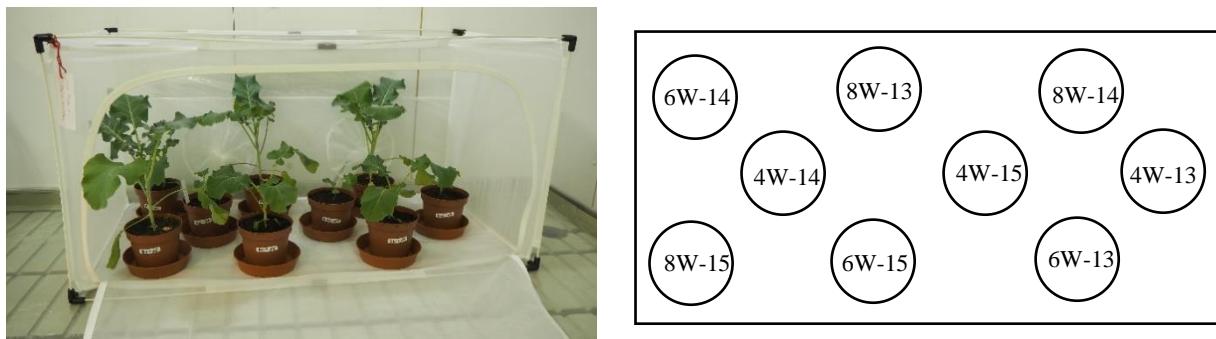


Abbildung 14: Beispielhafte Anordnung der drei Altersstufen 4 Wochen (4W), 6 Wochen (6W) und 8 Wochen (8W) in einem Bugdorm-Käfig.

3.2.6 Temperatureinfluss auf die Entwicklung von *D. platura*

Um den Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der Bohnenfliege *D. platura* zu bestimmen, wurden Entwicklungsversuche unter konstanten Temperaturen durchgeführt. Dazu wurden gleichaltrige Eiablagen vereinzelt und in Versuchscontainern mit gesättigter Luftfeuchte gegeben (Abbildung 15). Die Versuchscontainer wurden anschließend bei konstanten Temperaturen und Tageslängen von 16 h im Klimaschrank beobachtet. Die Temperaturen betrugen 5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C und 40 °C. Für jede Temperatur wurden 30 Individuen untersucht. Die Entwicklungsdauer für die Stadien Ei, Larve, Puppe und Imago wurden in Tagen erfasst. Als Larvalfutter diente Kompost, der zuvor in der Mikrowelle desinfiziert wurde, und je eine Weiße Bohne. Die Beobachtungen erfolgten täglich, dabei wurde der Übergang in das nächste Stadium oder der Tod des Individuums erfasst.



Abbildung 15: Links: Versuchscontainer mit Larvalfutter. Mitte: Gefäß mit gesättigter Luftfeuchte. Rechts: Versuchscontainer für die Puppenentwicklung.

3.2.7 Tracermethode mit Stabil-Isotopen

Für die Untersuchung des Ausbreitungsverhaltens der Kleinen Kohlfliege wurden methodische Vorarbeiten durchgeführt. Sowohl für die Populationsschätzung, als auch für die Verfolgung einzelner Individuen kann

durch die Markierung einer großen Menge an Einzelfliegen auf Basis einer sog. Capture-Mark-Recapture Methode erfolgen (Reynolds et al. 1997)). Häufig werden hierzu Fluoreszierende Farben oder Stäube eingesetzt. Dies hat jedoch die Limitierung, dass alle Individuen für die Markierung zunächst gefangen (capture) oder künstlich vermehrt werden müssen, bevor sie in die Freiland-Population entlassen werden. Um herauszufinden, wie hoch der Anteil an Individuen aus bestimmten Quellhabitaten, wie z. B. Raps, ist und wie weit sich diese Individuen in der Landschaft ausbreiten, könnten Stabilisotope für die Markierung verwendet werden. Hierzu müsste man die Nahrungspflanzen, beispielsweise die Pflanzen in einem bestimmten Feld, durch Düngung mit Stabilisotopen anreichern. Durch den Fraß an diesen Pflanzen würden die Fliegen selbst Stabilisotope anreichern und wären somit markiert.

Für die Entwicklung einer solchen Methode wurde zunächst der natürliche Gehalt an Stabilisotopen (Natural Abundance) aus Freilandfängen und Zuchtkolonien bestimmt. Anschließend wurden Laborversuche unternommen, um die Menge an Stabilisotopen zu ermitteln, die einer Nahrungspflanze zugeführt werden muss, um eine ausreichende Markierung zu erhalten.

3.2.7.1 *Natural Abundance*

Für die Bestimmung der Natural Abundance Werte für ^{15}N und ^{13}C Stabilisotope in der Kleinen Kohlfliege wurden männliche und weibliche Imagines aus unterschiedlichen Sammlungen verwendet. Zum einen wurden Individuen aus der Erhaltungszucht des JKI entnommen. In der Erhaltungszucht wird Rettich für die Larven und ein Insektenfutter aus Bierhefe und Honig für die Imagines als Nahrung angeboten. Weitere Individuen stammten aus den Gelbschalengängen des Freiland-Monitorings auf den Versuchsflächen in Braunschweig und Hötzum der Jahre 2022 und 2024. Die Fallen standen in Raps und Brokkoli-Beständen (2022) und Kohlrabi (2024). Zusätzlich wurden Imagines, verwendet, die aus Überwinterungspuppen schlüpften, die in 2023 gesammelt wurden. Als Nahrungsreferenz wurden homogenisierte Wurzelproben von Rettichen (Larvenfutter in der Zucht) und Kohlrabi (Anbau im Freiland 2023) verwendet.

3.2.7.2 *Markierung*

Für die Erzeugung isotopisch markierter *D. radicum*-Fliegen wurden mit ^{15}N angereicherte Rettiche (Rex) produziert, die anschließend den Fliegenlarven als Nahrung dienten. Die Anreicherung erfolgte mit Düngerlösungen deren ^{15}N Anreicherung 10 atom% betrug. Wöchentlich wurden 25 mL dieser Düngerlösungen pro Pflanze in zwei Gaben (montags und donnerstags) ausgebracht. Die Behandlung startete 1 Woche nach der Keimung und dauerte 4 Wochen. In den Versuchen wurde sowohl mit handelsüblichem Universaldünger als auch mit Hoaglandlösung gearbeitet. Die Kontrollpflanzen erhielten Düngegaben ohne zusätzliche ^{15}N Anreicherung. Die Bewässerung der Pflanzen erfolgte dienstags, mittwochs und freitags mit dest. Wasser zu je ca. 25 mL pro Pflanze. Das Substrat bestand aus Quarzsand. Insgesamt wurden 18 Pflanzen (je 9 angereicherte und nicht-angereicherte) im Klimaschrank unter künstlicher Beleuchtung erzeugt. Die Temperatur und Luftfeuchtigkeit wurden konstant bei 18 °C und 80 % r. F. gehalten. Die Tageslänge betrug 10 h. 7 Wochen nach der Keimung wurden die Pflanzen für die Zucht der Kleinen Kohlfliege verwendet. Hierzu wurden Eier der Kleine Kohlfliege in den stetigen Erhaltungszuchten gesammelt und an den Wurzelhals der markierten Pflanzen gelegt. Die Imagines wurden sofort nach dem Schlupf durch Einfrieren abgetötet, sodass keine weitere Nahrungsaufnahme mehr stattfinden konnte. Für die Isotopenmessung wurden die Proben 48 h bei 95 °C im Trockenofen getrocknet. Die Einwaage erfolgte in Zinnkapseln. Die Messungen wurden am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz durchgeführt.

3.3 Modellvergleich

3.3.1 SWAT

Das Prognosemodell SWAT wurde in den 1990er Jahren am JKI entwickelt und beschreibt in einzelnen Modulen die Populationsentwicklung der Kleinen Kohlfliege, der Möhrenfliege und der Zwiebelfliege (Hommes & Gebelein, 1996; Otto & Hommes, 2000; Gebelein et al., 2001). Neben einer Desktop-Version existiert eine Java-Version, die im April 2009 auf der ISIP-Plattform implementiert wurde (SWAT-Version 5.2). Die Java-Version ist mittlerweile veraltet und nicht mit der aktuellen Desktop-Version vergleichbar. Für

den Modellvergleich im Projekt wurde die aktuellste SWAT-Version (SWAT Release 2317) verwendet, die über GitHub bezogen wurde (Gebelein, 2023). Das Programm ist in C# geschrieben und läuft als einfache .exe auf dem Desktop. SWAT verwendet eine große Anzahl an Parametern, die die Startbedingungen, die Überlebens-, Entwicklungs- und Vermehrungsraten der Stadien, die Diapause und die Ästivation beschreiben. Im Experimentiermodus können diese Parameter angezeigt und gezielt verändert werden. Für den Modellvergleich wurden, wenn nicht anders erwähnt, die Standardeinstellungen verwendet. Als Eingangsdaten werden lückenlose Zeitreihen der Lufttemperatur in 2 m Höhe und der Bodentemperatur in 5 cm Tiefe in täglicher Auflösung benötigt.

Das Prognosemodell startet mit einer theoretischen Population von 1000 (Kleine Kohlfliege) beziehungsweise 3000 (Möhrenfliege) Individuen im Überwinterungsstadium. Für jedes Individuum berechnet das Modell den individuellen Lebenszyklus Ei-Larve-Puppe-Imago. Die Überlebens- und Reproduktionsraten hängen dabei von der Temperatur, dem biologischen Alter und individuellen Unterschieden ab. Für die adulten Fliegen ist dabei die Lufttemperatur in 2 m Höhe, für die Eier, Larven und Puppen die Bodentemperatur in 5 cm entscheidend. Im Sommer wird für die bodenbewohnenden Stadien ein gewichtetes Mittel aus Boden- und Lufttemperatur verwendet. Sowohl für die Möhrenfliege als auch für die Kleine Kohlfliege wurde im Modellvergleich die Ästivation (Sommerruhe) berücksichtigt, nicht jedoch die Diapause (Winterruhe). Die Ästivation ist hierbei für die Möhrenfliege standardmäßig eingeschaltet, während sie für die Kleine Kohlfliege separat aktiviert werden muss. Die Diapause ist in beiden Fällen in den Standardeinstellungen ausgeschaltet. Der Entwicklungsverlauf und die Altersstruktur der einzelnen Individuen und ihrer Nachkommen werden durch das Modell zur gesamten Populationsdynamik zusammengefasst. Die Beschreibung der Daten ist dabei rein qualitativ und nicht quantitativ, sodass nur chronologische Informationen, z. B. Beginn und Ende einer Generation, extrahiert werden können. Neben der Darstellung der Eier und der Fliegen beschreibt SWAT auch die Eiablage (NewEgg) und die aktiven Fliegen (ActiveFly), die für den Vergleich mit Monitoringdaten verwendet werden können. Die aktiven Fliegen unterscheiden sich von den Fliegen, indem angenommen wird, dass der Flug nur bei passenden Wetterbedingungen stattfindet, während bei unpassenden Wetterbedingungen ein Schutz z. B. ein Heckenrandstreifen aufgesucht wird.

3.3.2 PhenoLogit

Im Vergleich zu SWAT ist PhenoLogit nicht individuenbasiert. PhenoLogit basiert auf den Literaturquellen Dennis et al. (1986); Dennis und Kemp (1988) und Irvine (2011). Der Algorithmus beschreibt die Populationsdynamik der gesamten Population basierend auf der Lufttemperatur in 2 m Höhe. Es wird die Wahrscheinlichkeit abgebildet, mit der sich ein Entwicklungsstadium in Proportion zu den folgenden Entwicklungsstadien verhält. An einem Tag (Datum) sind stets immer 100 % der Population vorhanden, aufgeteilt auf die einzelnen Entwicklungsstadien. Die einzelnen Stadien hängen voneinander ab. Kommt ein weiteres Stadium hinzu, nimmt das vorherige prozentual ab. Die Verteilung ist somit nicht quantitativ. Hierbei wird die Mortalität nicht berücksichtigt. Zur Modellerstellung wird die Entwicklungsduer der einzelnen Stadien und deren Varianz benötigt. Außerdem muss die Basistemperatur der Entwicklungsstadien angegeben werden, damit die temperaturbasierte Berechnung gestartet werden kann. Die Stadien sind je nach Art individuell anpassbar. Zusätzlich können unterschiedlich viele Generationen berechnet werden. PhenoLogit kann je nach Eingabeparameter an einzelne Insektenarten angepasst werden und ist somit universell einsetzbar. Die hier auf Basis von PhenoLogit entwickelten EHS heißen:

- PSIOPRO – Möhrenfliege
- SIMDERA – Kleine Kohlfliege
- SIMDEPLA – Bohnenfliege

3.3.3 Datenakquise

3.3.3.1 Möhrenfliege

Für den Modellvergleich der Möhrenfliege wurden Gelbtafel-Fangdaten für adulte Möhrenfliegen verwendet. Die Wiederholungen der Gelbtafeln an einem Standort und einem Boniturtag wurden als Summe zusammengefasst. Es lagen insgesamt 224 Datensätze für die Jahre 2013 bis 2023 um die Regionen Twistringen

(NI), Vesbeck (NI), Braunschweig (NI) und Grevenbroich (NW) vor. Nicht alle Datensätze konnten für den Modellvergleich genutzt werden. Folgende Kriterien wurden für die Auswahl der Flächen verwendet:

1. Erster Wert in der Datenreihe musste Null sein. Bei Überschneidung von Monitoringstart und Erstfund (Anzahl Möhrenfliege > 0) war der Start des Auftretens der Möhrenfliegen nicht eindeutig.
2. Das Maximum an Möhrenfliegen pro Kalenderwoche musste mindestens 15 Möhrenfliegen umfassen.
3. Der Abstand zwischen den Boniturterminen durfte maximal 14 Tage sein.
4. Der Monitoringzeitraum sollte mindestens 60 Tage umfassen.

Nach der Reduktion der Datensätze blieben 51 Datensätze für den Modellvergleich übrig. Dabei waren alle Datensätze aus Nordrhein-Westfalen entfallen (Tabelle 6). Von den 51 Datensätzen stammten 37 Datensätze aus den Jahren 2013-2017.

Tabelle 6: Verteilung der Datensätze für den Vergleich des Möhrenfliegenmodells auf die Jahre und die Regionen. Für den Modellvergleich wurde nur ein Teil der Datensätze verwendet (Auswahl).

	Grevenbroich		Vesbeck		Braunschweig		Twistringen		Summe	
Jahr	Gesamt	Auswahl	Gesamt	Auswahl	Gesamt	Auswahl	Gesamt	Auswahl	Gesamt	Auswahl
2013	-	-	-	-	3	-	10	10	13	10
2014	-	-	1	1	3	3	16	5	20	9
2015	-	-	2	-	3	1	12	4	17	5
2016	-	-	2	2	3	2	15	2	20	6
2017	-	-	2	1	3	2	16	4	21	7
2018	-	-	2	1	3	1	15	2	20	4
2019	-	-	2	1	2	-	14	-	18	1
2020	-	-	2	-	3	1	14	1	19	2
2021	-	-	2	2	-	-	13	2	15	4
2022	36	-	2	1	2	-	9	1	49	2
2023	-	-	-	-	2	1	10	-	12	1
Summe	36	0	17	9	27	11	144	31	224	51

3.3.3.2 Kleine Kohlfliege

Für den Modellvergleich der Kleinen Kohlfliege wurden Daten aus dem Ei-Monitoring mithilfe von Eimanschetten verwendet. Die Wiederholungen der Eimanschetten an einem Standort und einem Boniturtag wurden als Summe zusammengefasst. Im Projektverlauf wurde festgestellt, dass sich nicht nur Eier der Kleinen Kohlfliege (*D. radicum*), sondern auch der Wurzelfliegen (*D. platura* / *D. florilega*) in den Eimanschetten befanden. Untersuchungen hatten jedoch gezeigt, dass der gesamte Anteil der Wurzelfliegeneier in den Eimanschetten mit etwa 1,4 bis 4,6 % sehr gering war (siehe auch Kapitel 4.2.1). Für den Modellvergleich wurde daher die Anzahl der Eier in der Eimanschette ohne Unterscheidung der Arten verwendet. Es lagen 79 Datensätze für die Jahre 2011-2024 und die Regionen Hannover (NI), Braunschweig (NI), Köln/St. Tönis (NW) vor. Bei jedem Datensatz wurden die einzelnen Generationen separat betrachtet. Die Datensätze verteilten sich im Gegensatz zu den Datensätzen der Möhrenfliege relativ gleichmäßig auf die Jahre 2011-2024 (Tabelle 7). In den Monitoringdaten waren die Generationen 1 bis 3 ähnlich häufig vertreten (36x Generation 1, 30x Generation 2, 27x Generation 3).

Tabelle 7: Verteilung der Datensätze für den Vergleich des Kleine Kohlfliegenmodells auf die Jahre und die Regionen.

Jahr	Braunschweig	Hannover	Köln/St. Tönis	Summe
2011	-	2	-	2
2012	2	1	3	6
2013	3	2	3	8
2014	2	4	3	9
2015	2	2	3	7
2016	1	3	4	8
2017	1	1	3	5
2018	1	1	3	5
2019	1	1	3	5
2020	1	1	3	5
2021	-	3	3	6
2022	2	2	-	4
2023	2	3	-	5
2024	-	4	-	4
Summe	18	30	31	79

3.3.3.3 Wetterdaten

Die Daten zur Lufttemperatur in 2 m Höhe entstammten der Wetterdatenbank in ISIP, die zur Modellberechnung diente. Die Daten zur Lufttemperatur in 2 m Höhe wurden aus den Wetterstationen des DWDs und der Bundesländer für jeden km² in Deutschland interpoliert. Für jede Rasterzelle dienten mindestens acht Wetterstationen als Grundlage. Die Daten lagen für PhenoLogit in stündlicher und für SWAT in täglicher Auflösung vor. Für SWAT wurden zusätzlich Bodentemperaturdaten in 5 cm Tiefe in täglicher Auflösung benötigt. Diese wurden aus dem Climate Data Center des Deutschen Wetterdienst heruntergeladen (Deutscher Wetterdienst, 2024). Für die Versuchsflächen in Braunschweig wurde auch auf die Bodentemperaturdaten der hauseigenen Wetterstation zugegriffen.

3.3.4 Modellvalidierung

Um SWAT und den jeweiligen Modellansatz in PhenoLogit miteinander zu vergleichen, wurden sowohl für die Möhrenfliege als auch für die Kleine Kohlfliege die Zeitpunkte verglichen, an denen eine neue Generation startet. Dazu wurden die Modelle zunächst berechnet. Anschließend wurden in den Modelldaten und in den Monitoringdaten für die Möhrenfliege der Flugbeginn der jeweiligen Generation und für die Kleine Kohlfliege der Eiablagebeginn der jeweiligen Generation bestimmt.

Für die Monitoringdaten wurden dabei folgende Annahmen getroffen:

- Start der ersten Generation: Erster Wert größer 0.
- Start der weiteren Generationen: Erster Wert nach Ende der vorherigen Generation größer 0 oder größer als das Minimum zwischen den Generationen.

Hierbei wurde darauf geachtet, dass es sich bei den Werten größer 0 nicht um Einzelwerte (Ausreißer) handelt, sondern sie erkennbar einer Generation zuzuordnen sind. Für die Kleine Kohlfliege waren die Generationen oftmals nicht deutlich voneinander abzugrenzen, sodass der Start nicht bestimmt werden konnte. Des Weiteren wurde für die Kleine Kohlfliege berücksichtigt, dass eine geteilte zweite Generation vorliegen kann.

Für SWAT ergaben sich folgende Kriterien für die Definition der Generationen:

- Start der ersten Generation: Erster Wert größer als der Grenzwert.
- Start der weiteren Generationen: Erster Wert nach Ende der vorherigen Generation größer als der Grenzwert.

Der Grenzwert definiert sich für die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege unterschiedlich. Für die Möhrenfliege wurde der Verlauf der Aktiven Fliegen (ActiveFly) verwendet und der Grenzwert als

ActiveFly > 10 definiert. Für die Kleine Kohlfliege wurde der Verlauf der Eiablage (NewEgg) verwendet und der Grenzwert als NewEgg > 20 definiert.

Für die beiden Modellansätze in PhenoLogit ergaben sich folgende Kriterien für die Definition der Generationen:

PSIOPRO

- Start der ersten Generation: Erster Wert der Adulten größer 10 %.
- Start der weiteren Generationen: Minimaler Wert nach Ende der vorherigen Generation.

SIMDERA

- Start der ersten Generation: Erster Wert der Eier größer 1 %.
- Start der weiteren Generationen: Minimaler Wert nach Ende der vorherigen Generation.

In Abbildung 16 ist ein Bespielschlag dargestellt, der die relativen Boniturwerte und den Modellverlauf von SIMDERA im Jahresverlauf zeigt. Hierbei kommt es nicht auf die Höhe der Kurve und der Bonituspunkte an.

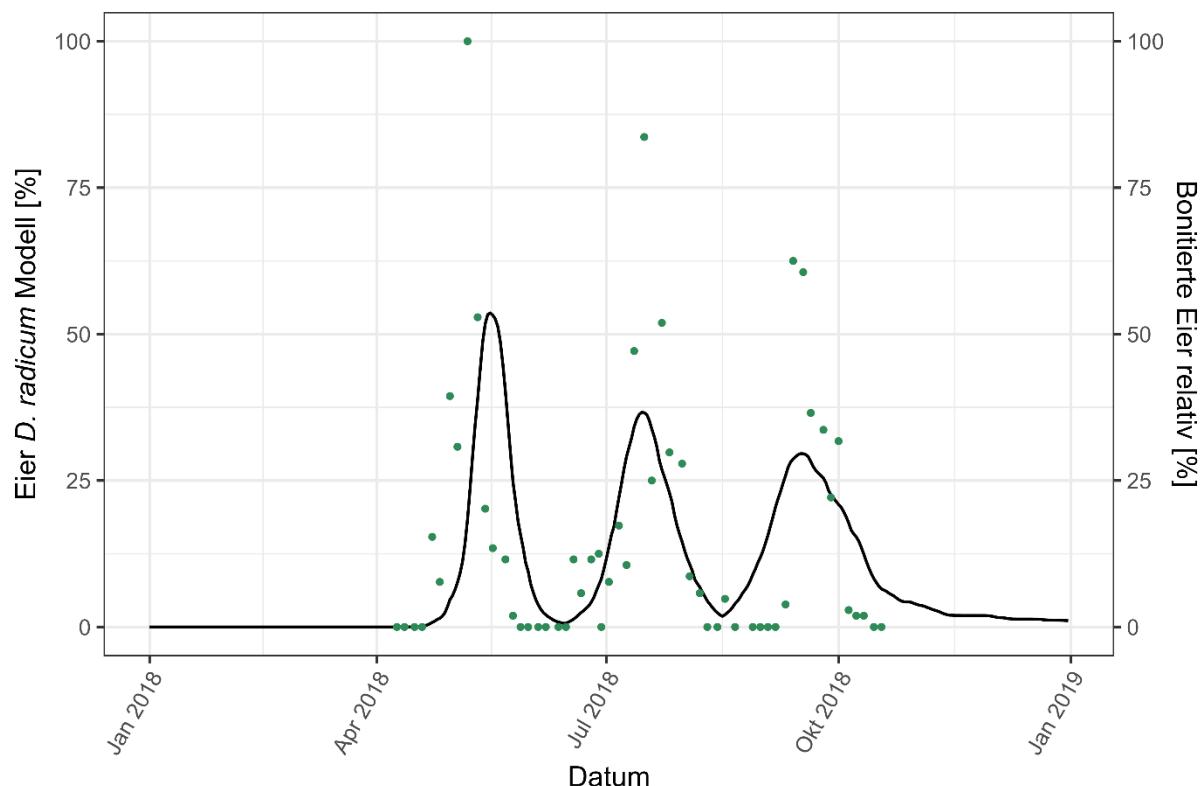


Abbildung 16: Beispieldiagramm zur Validierung von SIMDERA: Modellkurve (schwarze Linie), Bonitur der Eier im Freiland (grüne Punkte).

Die Abweichungen in Tagen zwischen Start des Flugbeginns bzw. Eiablagebeginns im Modell und im Monitoring wurden in drei Kategorien klassifiziert: „zu früh“, „korrekt“ und „zu spät“. Für die Einteilung der Klassen wurden zum einen der Beobachtungszeitraum, der im Mittel etwa 7 Tage entsprach und eine Unsicherheit von weiteren 7 Tagen angenommen. Eine Abweichung von -14 bis +7 Tagen beschrieb damit den

Tabelle 8: Klassifizierung der Abweichungen zwischen Monitoring und Modell.

Abweichung [Tage]	Kategorie
< -14	Zu früh
-14 ≤ x ≤ +7	Korrekt
> +7	Zu spät

untersuchten Beginn als „korrekt“, während Abweichungen von -14 Tagen bzw. +7 Tagen als „zu früh“ bzw. „zu spät“ klassifiziert wurden (Tabelle 8).

3.3.5 Modelloptimierung

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob die Vorhersage des Flugbeginns bzw. Eiablagebeginns von SWAT verbessert werden kann. Dazu wurde für die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege überprüft, ob ein Verschieben des Simulationsstarts vom 01.03. (Standard) auf den 01.01. beziehungsweise, ob das Weglassen der Ästivation zu einer Verbesserung führt. In einem zweiten Schritt wurde für die Kleine Kohlfliege das zu SWAT zugehörige Optimierungstool SWOP.exe (Release 2317; Gebelein, 2023) genutzt und ausgewählte Parameter optimiert. SWOP vergleicht an den Tagen des Monitorings die realen Funde mit den Funden eines in SWAT durchgeföhrten virtuellen Monitorings und berechnet anschließend die Fehlerrelationen. Die Summe der Fehlerrelationen wird dann mithilfe des Nelder-Mead-Verfahrens minimiert (Gebelein, 2023). Im SWOP-Optimierungsszenario für die Kleine Kohlfliege wurde die maximale tägliche Entwicklungsrate K_{\max} für die Stadien Ei, Larve, Puppe und Imago optimiert. Für die Optimierung wurden nicht alle 79 Sets des Modellvergleichs verwendet, sondern nur die 13 Sets, bei denen alle 3 Generationen in den Monitoringdaten erkennbar waren.

Um die Modellergebnisse von PSIOPRO zu verbessern wurde die Varianz verändert, wodurch sich die Form der Kurve verändert und genauere Modellergebnisse möglich sind. Zur Optimierung des Modellansatzes SIMDERA wurden verschiedene Parameter angepasst, da die Modellergebnisse vor allem bei der ersten Generation der Eier der Kleinen Kohlfliege „zu früh“ waren, und die der zweiten Generation nach „zu spät“ tendierten. Es wurde der Parameter der Überwinterung angepasst, damit diese länger andauert und den Start der Adulten verzögert. Zusätzlich wurde der Parameter des Entwicklungsstadiums der Larven/Eier angepasst, um die Entwicklungsdauer zu verkürzen. Da die dritte Generation auch „zu früh“ begann, wurde ein Temperaturmaximum hinzugefügt, das die Berechnung der Entwicklung im Sommer verzögert. Ergebnisse siehe Kapitel 4.2.2.

4 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

4.1 AP 1: Möhrenfliege

4.1.1 Kulturbegleitendes Monitoring

4.1.1.1 Flugaktivität

Die Monitorings in Twistringen in den Jahren 2022, 2023 und 2024 lieferten insgesamt geringe Fangzahlen der Möhrenfliege - nur vereinzelte Flächen zeigten etwas höhere Fänge. Der Schlupf der 1. Generation auf den Altflächen begann Ende April/Anfang Mai. Der Flugzeitraum dieser Generation dauerte bis Ende Juni. Nach einer Flugpause folgte die 2. Generation Mitte/Ende Juli. Der aktive Flug der 2. Generation ging bis Anfang/Mitte September. Auf Schlägen, die im September/Oktober nicht beerntet wurden, wurde von Ende September bis Mitte November noch eine partielle 3. Generation erfasst. Die Flugverläufe und -intensitäten variierten zwischen den Flächen und Jahren (Abbildung 17).

In Vesbeck wurde nur 2022 ein Möhrenfliegen-Monitoring durchgeführt. Der Schlupf der Möhrenfliege auf der Vorjahresfläche konnte gut dokumentiert werden. Eine Woche nach dem Erstauftreten erreichten die ersten Fliegen die diesjährige Anbaufläche. Die Fangzahlen für die 2. Generation waren sehr niedrig. Lediglich 6 Adulte wurden in der 2. Generation auf den drei Tafeln innerhalb von 5 Wochen gefangen (Abbildung 17).

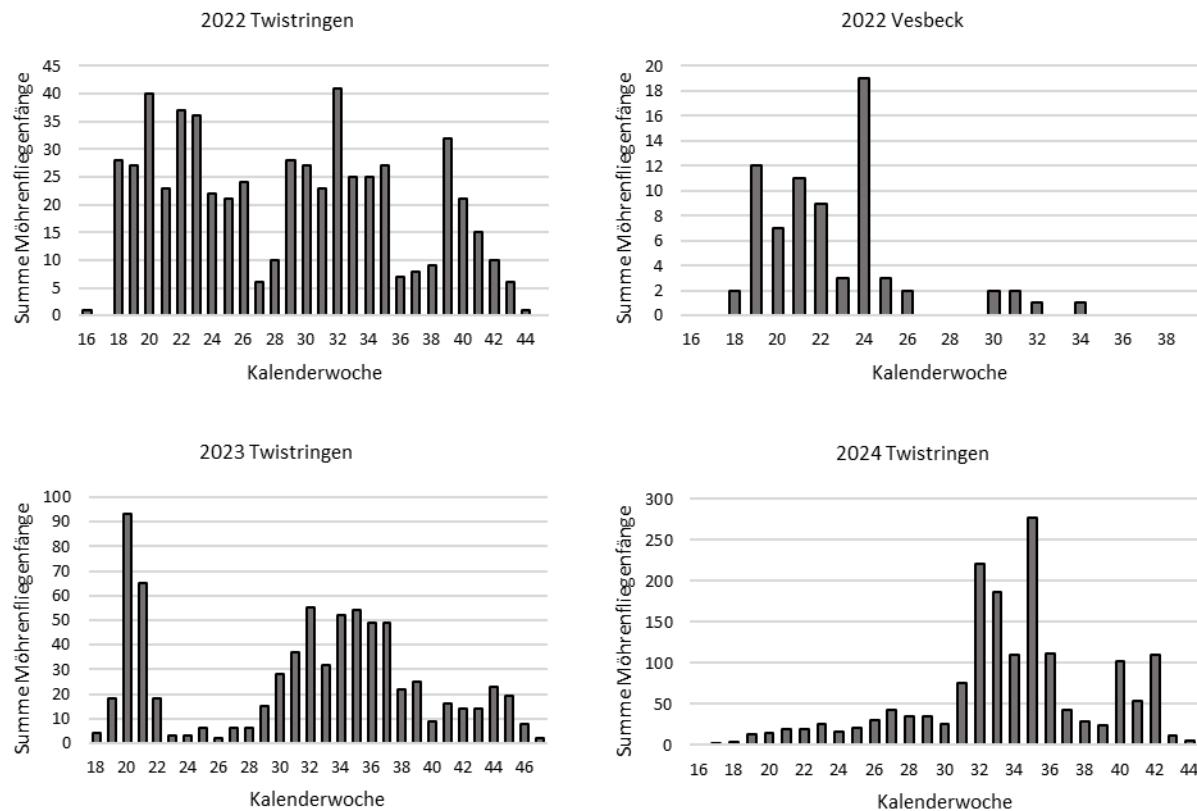


Abbildung 17: Monitoring der Möhrenfliege in den Jahren 2022-2024 an den Standorten Twistringen und Vesbeck. Dargestellt sind die summierten Möhrenfliegenfänge pro Kalenderwoche auf allen Standorten in der jeweiligen Region.

In Braunschweig und Hötzum konnte mit dem Monitoring in den ersten beiden Projektjahren die Populationsdynamik der Möhrenfliege gut erfasst werden. Jedoch wurden in 2022 auf den Klebetafeln im Mittel weniger Möhrenfliegen als in 2023 gezählt (Abbildung 18). Die 1. Generation flog etwa von Anfang Mai bis Mitte/Ende Juni und die 2. Generation von Anfang/Mitte Juli bis Mitte/Ende August. Da die Möhren erst spät im Oktober/November geerntet wurden, wurde auch hier eine partielle dritte Generation im Zeitraum von Anfang/Mitte September bis Mitte/Ende Oktober beobachtet. Der Flugzeitraum der 1. Generation zeigte eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen aus Twistringen, während der Flugzeitraum der 2. und partiellen 3. Generation auf den beiden Versuchsflächen des JKIs etwas früher begann. In den Randstrukturen wurden insgesamt weniger Möhrenfliegen auf den Klebetafeln gefunden als im Feld. Es wurden keine Zeiträume identifiziert, in denen sich die Möhrenfliege nur in den Hecken, nicht aber im Feld aufhielten. Auch wurden auf den Versuchsflächen keine erhöhten Fangzahlen auf den Klebetafeln nahe des vermeintlichen Quellhabitats im Vergleich zur „Feldmitte“ (Abstand zueinander 10 m) festgestellt.

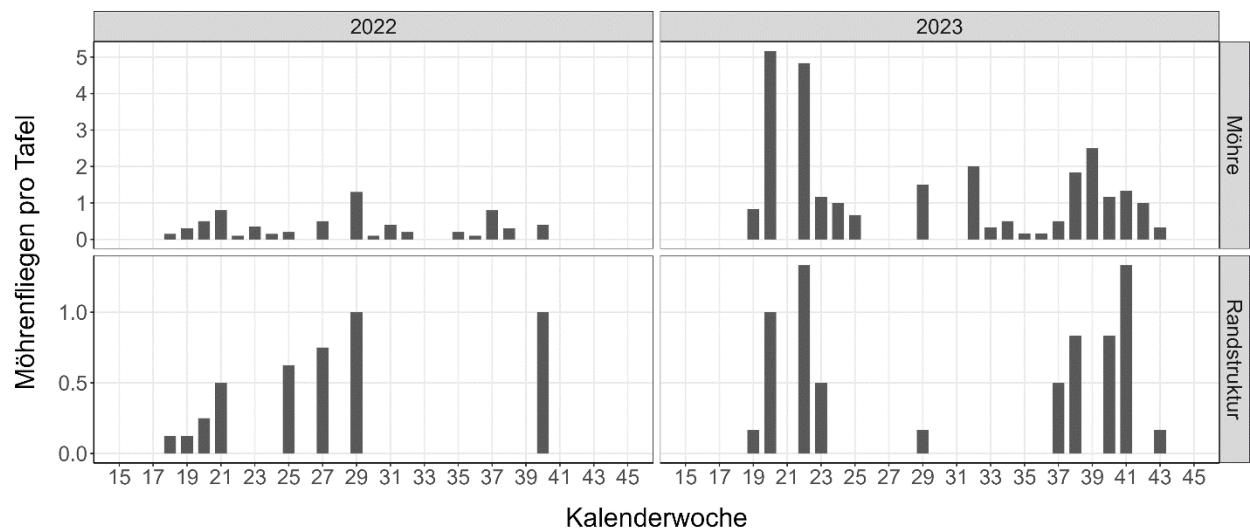


Abbildung 18: Monitoringdaten zur Überwachung der Flugaktivität der Möhrenfliege im Feld (Möhre) und im vermuteten Quellhabitat in den Büschen am Feldrand (Randstruktur). Die Monitoringdaten umfassen die beiden Standorte Braunschweig und Hötzum.

4.1.1.2 Pflanzenschäden und Überwinterungspuppen

Bei der Endbonitur der Möhren in 2022 wurde sowohl in Braunschweig als auch in Hötzum kein oder nur sehr geringer Schaden (Schadensklasse 1) an den untersuchten Möhren der Versuchsfläche festgestellt (Abbildung 19). Im Gegensatz dazu waren die Möhren im Jahr 2023 stärker geschädigt: In Hötzum zeigten 28,9 % der Möhren einen Schaden der Schadensklasse 2+3, während in Braunschweig an 44,3 % der Möhren Schaden zu sehen war und auch die Schadensklasse 4 und 5 auftraten.

Aus den 2023 zur Schlupfüberwachung gesammelten 68 Möhrenfliegenpuppen schlüpften im nächsten Frühjahr keine adulten Möhrenfliegen. Es wurden ausschließlich Parasitoide festgestellt.

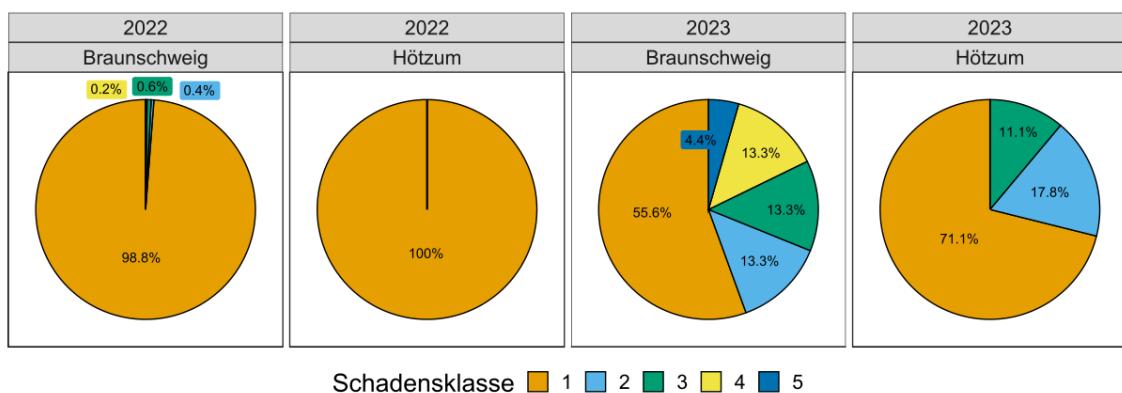


Abbildung 19: Anteil der bei der Erntebonitur erfassten Schadensklassen in den Jahren 2022 und 2023 für die beiden Standorte Braunschweig und Hötzum.

4.1.1.3 Vergleich von Monitoringmethoden und Fallenvergleich

Neben dem Monitoring mit Klebetafeln wurde 2023 am JKI versuchsweise auch die Eiablage erfasst. Zudem wurden Transekte mit einem Kescher abgelaufen, um adulte Möhrenfliegen abzufangen. Mit dem Kescher wurden 2023 keine Möhrenfliegen gefangen. Beim Ei-Monitoring hingegen wurden die zwei Generationen der Möhrenfliege beobachtet (Abbildung 20). Allerdings wurde der Beginn der Möhrenfliegengeneration bei der Erfassung der Eier später als bei der Erfassung der adulten Möhrenfliegen durch Klebetafeln angezeigt.

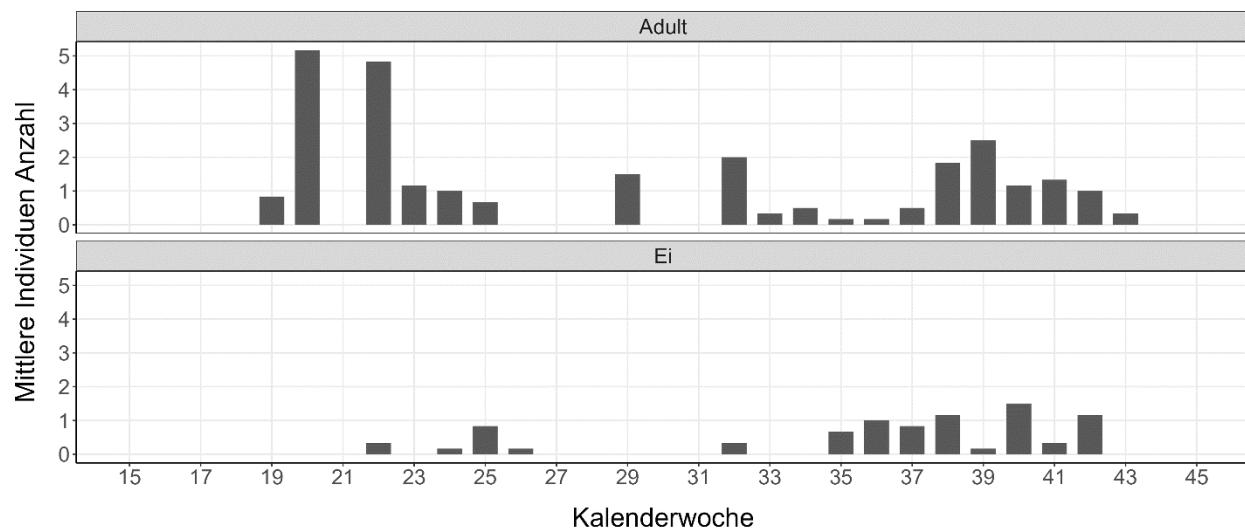


Abbildung 20: Vergleich der Erfassung des Möhrenfliegenflugs mithilfe von Klebetafeln (Adult) und Quarzsand (Ei).

Der Vergleich der unterschiedlich gefärbten Bio-Colortrap® Klebetafeln zeigte, dass die gelb-orangen Fallen insgesamt mehr Möhrenfliegen als die signalorangen Fallen fingen (Abbildung 21). Im zeitlichen Verlauf des Jahres verliefen die Kurven der beiden verschiedenen Fallenfarben aber parallel zueinander, sodass sie die gleiche Dynamik der Möhrenfliegen anzeigen

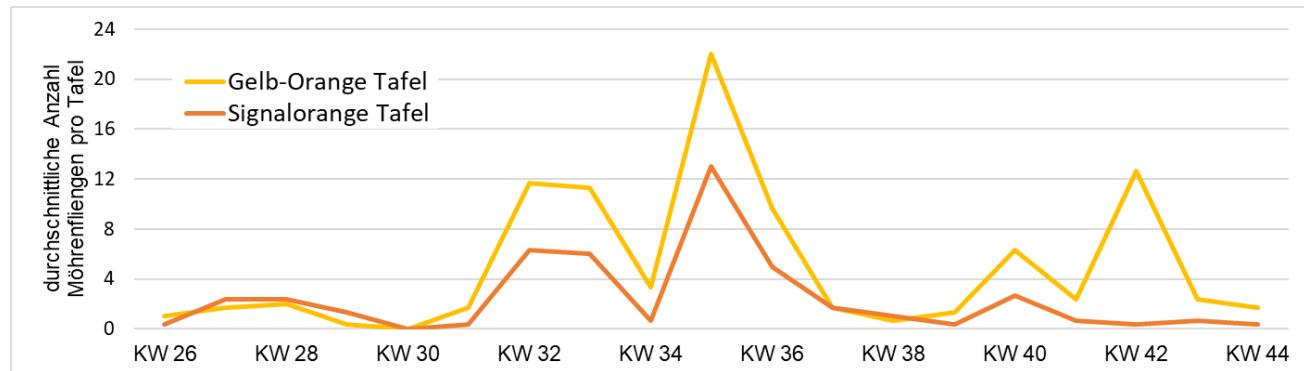


Abbildung 21: Vergleich der Möhrenfliegen-Fangzahlen auf Bio-Colortrap® Klebetafeln in den Farben gelb-orange und signalorange.

4.1.2 Vergleichende Modellvalidierung SWAT und PSIOPRO (UAP 1.3)

Die Abweichungen zwischen Modell und Monitoring für den Start der Möhrenfliegengenerationen, Flugbeginn, waren für die beiden untersuchten Generationen unterschiedlich (Abbildung 22). Während SWAT und PSIOPRO den Start der 1. Generation ähnlich gut trafen, unterschieden sie sich deutlich für die 2. Generation. Das Erstauftreten der 1. Generation aus dem Monitoring lag in den verwendeten Datensätzen zwischen dem 28. April und dem 06. Juni. Der berechnete Flugbeginn der 1. Generation lag im Mittel für PSIOPRO 9 Tage (Median 8 Tage) und für SWAT 11 Tage (Median 10 Tage) vor dem Start des jeweiligen Erstauftreten im Monitoring. Bei etwa 3/4 der Datensätze wurden die Abweichungen sowohl bei SWAT als auch bei PSIOPRO als korrekt klassifiziert, während sie für die restlichen Datensätze in die Kategorie „zu früh“ fielen (Tabelle 9). Beide Modelle beschrieben den Zeitpunkt des Flugbeginns der 1. Generationen daher mit guter Genauigkeit.

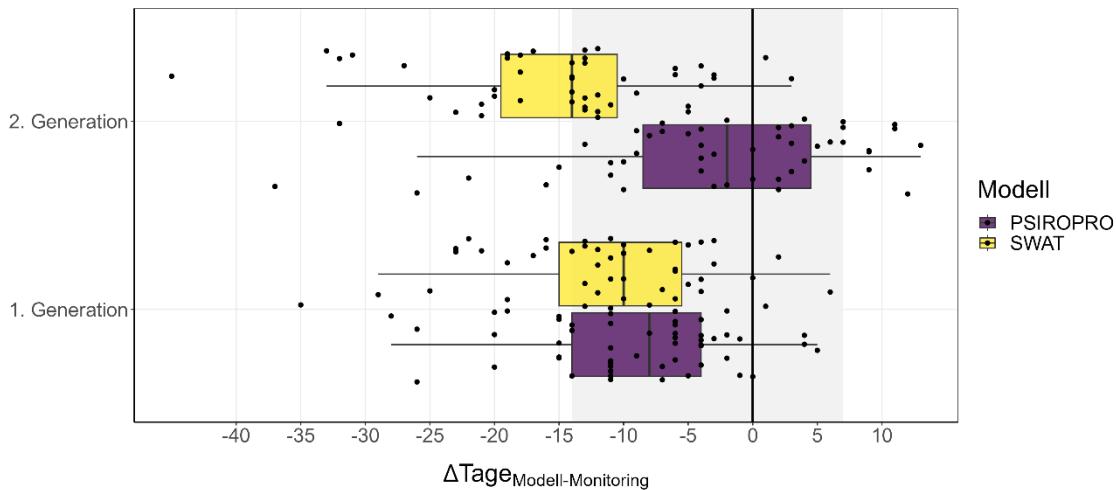


Abbildung 22: Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der 1. und 2. Generation der adulten Möhrenfliege (Flugbeginn) für die beiden Modelle SWAT und PSIOPRO. Der graue Bereich kennzeichnet die als „korrekt“ definierten Abweichungen.

Der Flugbeginn der 2. Generation der Möhrenfliege lag in den Monitoringdaten zwischen dem 30. Juni und dem 13. August. Allerdings fehlte die zweite Generation bei 4 Datensätzen gänzlich. In den Modellberechnungen lag der Flugbeginn der 2. Generation bei PSIOPRO im Mittel 2 Tage (Median 2 Tage) und bei SWAT 15 Tage (Median 14 Tage) vor dem Beginn des entsprechenden Erstauftretens im Monitoring. Die Genauigkeit in der Vorhersage der 2. Generation war bei SWAT seltener passend (60 %) als für die 1. Generation, während PSIOPRO eine ähnlich gute Trefferquote zeigte (Tabelle 9). Insgesamt zeigte sich, dass SWAT den Flugbeginn der 2. Generation größtenteils traf und bei Abweichungen zu früh lag. Hierbei fielen etwa die Hälfte der zu frühen Abweichungen innerhalb der ersten 7 Tage vor den Toleranzzeitraum ($-21 \leq x < -14$ Tage), während ein anderer Teil der Datensätze teils große Abweichungen von etwa -32 Tagen und ein Datensatz sogar eine Abweichung von -45 Tagen aufwies. Im Gegensatz dazu beschrieb PSIOPRO den Flugbeginn der 2. Generation häufiger korrekt. Gleichzeitig zeigte PSIOPRO aber auch Abweichungen die als „zu spät“ klassifiziert wurden. Im Gegensatz zu SWAT traten Abweichungen aus der Kategorie „zu früh“ bei PSIOPRO weniger häufig auf und reichten maximal bis -37 Tage.

Tabelle 9: Prozentualer Anteil der Datensätze, die in die Klassen zu früh, korrekt sowie zu spät fallen, bezogen auf die Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der 1. und 2. Generation der Möhrenfliege (Flugbeginn) für die beiden Modelle SWAT und PSIOPRO.

Generation	Modell	Zu früh	Korrekt	Zu spät	n
1	SWAT	25 %	75 %	0 %	51
	PSIOPRO	22 %	78 %	0 %	51
2	SWAT	40 %	60 %	0 %	47
	PSIOPRO	11 %	74 %	15 %	47

Die Optimierungsversuche für das Möhrenfliegenmodul von SWAT führten nicht zu besseren Ergebnissen. Das Verschieben des Simulationsstarts auf den 01.01. und das Weglassen der Ästivation zeigten sogar negative Effekte, da sie den Median der Differenz zwischen modellierten und beobachteten Flugbeginn der 2. Generation ins negativ verschoben und damit zu mehr „zu frühen“ Vorhersagen.

4.1.3 Erarbeitung ergänzender Daten zur Risikoanalyse (UAP 1.1)

4.1.3.1 Migrationsbewegung der Möhrenfliege

Durch das Monitoring auf den Altfächern des Vorjahres konnte der Schlupf der Möhrenfliege und der Zeitraum der Einwanderung in die Neuflächen überprüft werden. In den Jahren 2022 und 2023 war deutlich zu erkennen, dass die Möhrenfliegen erst auf den Altfächern schlüpften und von dort in die Neuflächen migrierten (Abbildung 23). Im Jahr 2024 waren die Fänge der 1. Generation in Twistringen sowohl auf den Alt- als auch auf den Neuflächen sehr gering. Die ersten Möhrenfliegen erreichten etwa eine Woche nach dem Schlupf die Neuflächen, wobei meistens ein Gradient aus der Richtung der Vorjahresfläche auf der diesjährigen Fläche auf

Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

den Fallen zu erkennen war. Die Fänge auf den Fallen hin zur Altfläche waren in der Regel etwas höher oder - je nach Schlaggröße - die Fliegen auch nur auf dem Feldteil zur Altfläche nachweisbar. Mit der zweiten Generation war dieser Gradient nicht mehr zu erkennen. Ausgedehnte Migrationsbewegungen zwischen den Feldern wurden nach dem Räumen einer Kultur beobachtet. Ebenfalls wurde wiederholt beobachtet, dass das flächige Ausbringen von Schälresten oder Waschwasser auch das Auftreten der Möhrenfliegen auf dem ganzen Schlag begünstigten. Natürliche Gradienten waren dann nicht mehr zu beobachten. In Abbildung 24 werden die Migrationsbewegungen und die optimalen Fallenpositionierung je nach Monitoringziel beispielhaft zusammengefasst.

Oft wurden nur die Vorjahresschläge von Möhren bei der Kulturplanung berücksichtigt. Alternative Wirtskulturen wie Pastinake oder Sellerie wurden häufig nicht berücksichtigt.

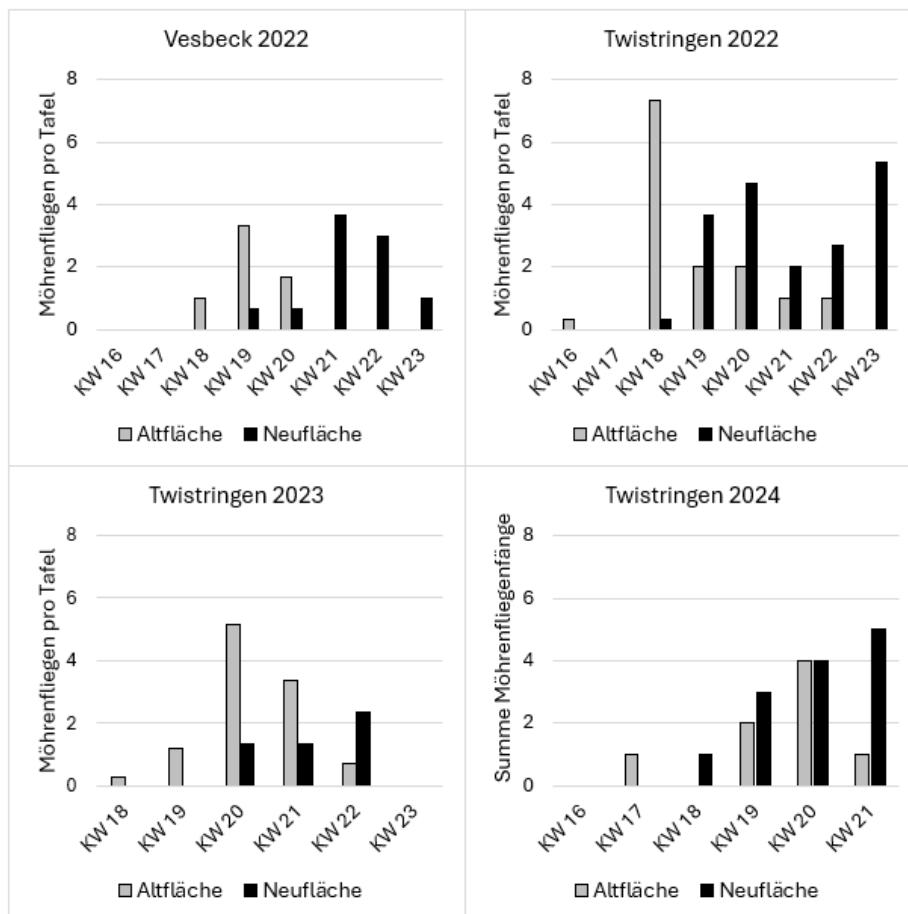


Abbildung 23: Monitoringergebnisse der Möhrenfliege auf der Alt- und Neufläche nach Region und Projektjahr. 2022-2023: Mittlere Anzahl an Möhrenfliegen pro Tafel; 2024: Summierte Anzahl an Möhrenfliegen.

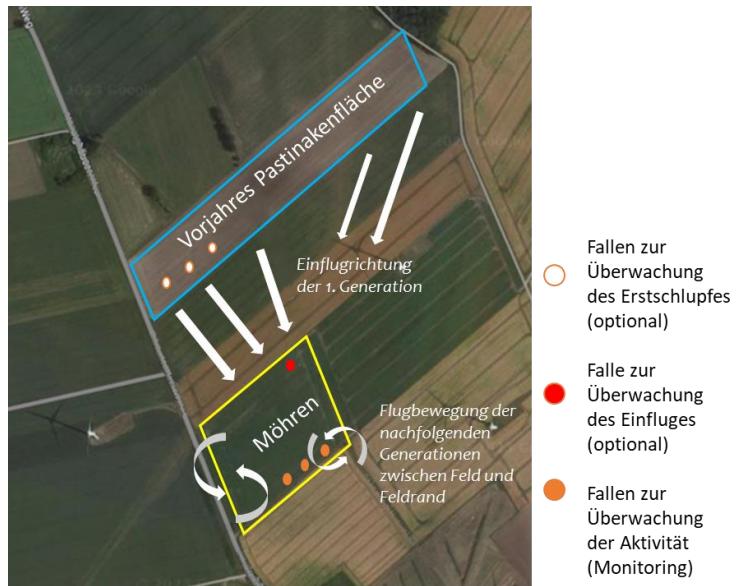


Abbildung 24: Beispielhafte Migrationsbewegung und Fallenpositionierung bei der Überwachung von Möhrenfliegen in der Praxis.

4.1.3.2 Sortenversuch Möhre

Bei der Überprüfung der Sortenattraktivität wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt (Abbildung 25). Bei den Sorten Bastia, Kamaran, Trafford und Warmia lag die Anzahl befallener Möhren auf einem vergleichbaren Niveau. Getestet wurden drei Versuchsflächen in den Projektjahren 2022 und 2023. Der Median der vier Sorten lag bei einer Befallshäufigkeit von 10 %. Die Befallshäufigkeiten von Bastia und Warmia unterlagen einer geringen Streuung. Die Sorten Kamaran und Trafford wiesen eine größere Streuung auf. Bastia, Kamaran und Trafford wurden auf allen drei Flächen untersucht. Warmia auf den beiden Versuchsflächen in Twistringen. Die Sorte Ymer wurde aus der Bewertung herausgenommen, da sie nur auf einer Fläche in 2022 überprüft wurde.

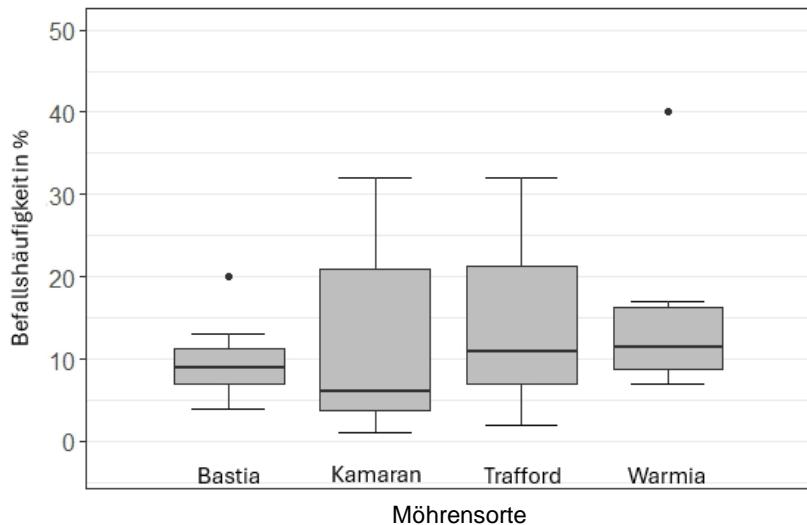


Abbildung 25: Sortenattraktivität der Möhrenfliege. Dargestellt sind die prozentualen Befallshäufigkeiten der mehrjährig getesteten Sorten Bastia, Kamaran, Trafford und Warmia (Kruskal-Wallis Test, $\alpha = 0.05$, $p = 0,582$).

4.1.3.3 BBCH-Stadien Möhre

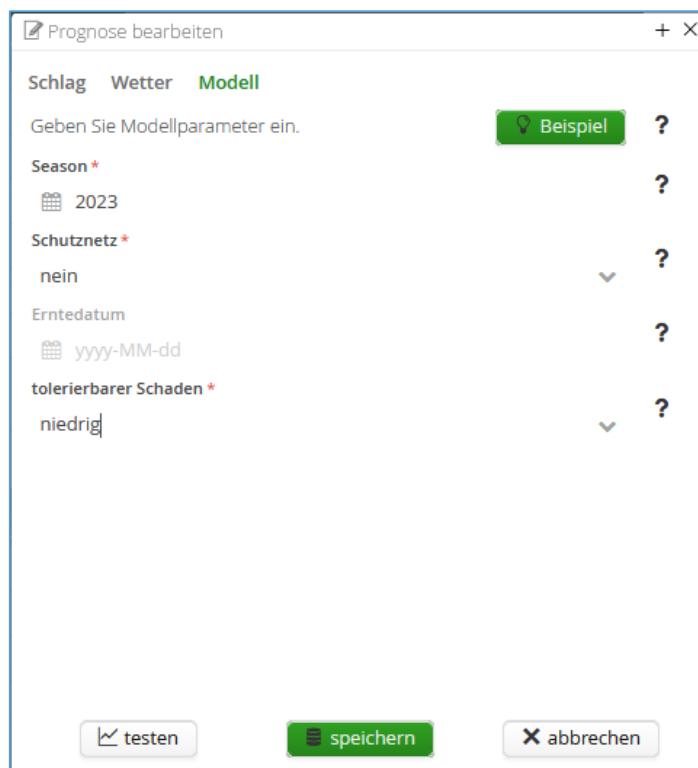
Die angelegten Versuche zu den BBCH-Stadien der Möhre waren nicht auswertbar. Im Jahr 2022 wurden drei Versuchsflächen untersucht. Auf einer Fläche war die Möhrenfliege im Jahresverlauf nicht vorhanden, auf den beiden anderen Versuchsflächen scheiterte der Versuch aufgrund des sehr trockenen Frühjahrs. Dies führte dazu, dass die geplanten vier BBCH-Stadien schließlich auf zwei reduziert wurden. Auf der Versuchsfläche wuchs lediglich der 1. Satz regulär auf, die Sätze 2 und 3 kamen erst mit Satz 4 zur Keimung. Die Auflauf- und

Wachstumsrate war in den letzten 3 Sätzen im Jahresverlauf so schlecht, dass zum Erntezeitpunkt der 1. Satz fast doppelt so viel Biomasse gebildet hatte wie die anderen 3 Sätze, obwohl diese nur kurze Zeit später gesät wurden. Die Schäden durch die Möhrenfliege wurden überwiegend im 1. Satz erfasst, was eher der vergleichsweisen deutlich besseren Entwicklung des 1. Satzes zum Zeitpunkt des Fluges als auf unterschiedliche BBCH-Stadien zurückzuführen ist.

Im Jahr 2023 wurde der Versuchsaufbau angepasst, um die Wasserversorgung der einzelnen Sätze unabhängiger von der Trockenperiode zu machen. Dadurch wurden jedoch häufigere Kontrollen, mehrmals die Woche notwendig. Aufgrund dieses Mehraufwandes und der großen Entfernung nach Twistringen musste das Versuchsvorhaben schließlich eingestellt werden.

4.1.4 Implementierung in ISIP (UAP 1.5)

Basierend auf den Erkenntnissen und Ergebnissen des Projektes wurden die artspezifischen Parameter der Möhrenfliege in PhenoLogit integriert und die gesamte Modelllogik in der ISIP-Umgebung implementiert. Die Nutzerinnen und Nutzer erhalten über eine speziell entwickelte Eingabemaske die Möglichkeit, verpflichtende Modellparameter wie Saisonjahr, Schlagnamen, sowie den Standort einzugeben. Die sogenannten Maßnahmen können individuell pro Schlag ausgewählt werden: Vorhandensein eines Kulturschutznetzes oder der tolerierbare Schaden und – optional kann das Erntedatum angegeben werden, was sich in einer Verkürzung der Anwendung des Kulturschutznetzes auswirken kann (Abbildung 26). Diese Eingaben werden serverseitig verarbeitet und mit den hinterlegten Modellparametern kombiniert, um aktuelle, standortbezogene Prognosen zu erzeugen.



The dialog box is titled "Prognose bearbeiten". It has three tabs: "Schlag", "Wetter", and "Modell". The "Modell" tab is selected. Inside the "Modell" tab, there is a text input field with placeholder text "Geben Sie Modellparameter ein." and a "Beispiel" button. Below this, there are several input fields with validation stars: "Season" (2023), "Schutznetz" (nein), "Erntedatum" (yyyy-MM-dd), and "tolerierbarer Schaden" (niedrig). Each input field has a question mark icon to its right. At the bottom of the dialog are three buttons: "testen", "speichern", and "abbrechen".

Abbildung 26: Eingabemaske für die Ergebnisoptionen in PSIOPRO in ISIP.

Die Ergebnisse werden in einer interaktiven grafischen Darstellung ausgegeben, die sowohl den Verlauf der einzelnen Entwicklungsstadien als auch die kumulative Temperatursumme zeigt (Abbildung 27). Wichtige Ereignispunkte wie der Flugbeginn der einzelnen Generationen werden durch vertikale Markierungen hervorgehoben. Zusätzlich wurde ein „Ernte-Countdown“ integriert, der den erwarteten möglichen Schaden bis zur Ernte farbcodiert (gering, mittel, hoch) darstellt und damit eine schnelle Risikoeinschätzung ermöglicht.

Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Anbindung sowohl an Daten von Wetterstationen als auch an die flächendeckend verfügbaren interpolierten Wetterdaten ermöglichen eine schlaggenaue Prognose. Die Berechnungen basieren auf stündlichen Temperaturreihen, sodass sowohl historische Verläufe als auch aktuelle Ergebnisse in hoher zeitlicher Auflösung dargestellt werden können.

Die Implementierung umfasste mehrere Test- und Optimierungsrunden, bei denen Funktionsumfang, Benutzerführung und Ergebnisdarstellung in enger Abstimmung mit ZEPP und JKI schrittweise verfeinert wurden. Die fertige Entscheidungshilfe PSIOPRO steht derzeit als Desktop-Version ausschließlich im internen Bereich von ISIP zur Testung durch die Berater und Beraterinnen der Pflanzenschutzdienste der Länder und Projektmitarbeiter/innen zur Verfügung.

In Abbildung 27 ist das proportionale Auftreten des adulten Entwicklungsstadiums mit drei Generationen im Jahresverlauf dargestellt. Die Stadien „Eier“ und „Larven“ können zugeschaltet werden. Außerdem sieht man die verschiedenen Ergebnismöglichkeiten, die als Maßnahmenempfehlung graphisch dargestellt sind. Zusätzlich zu dem Modellergebnis wird auch eine Wettergraphik zum jeweiligen Schlag, sowie eine Ergebnis- und Schlagtabelle angezeigt, um eine gute Übersicht der persönlichen Schläge und deren Ergebnisse zu haben.

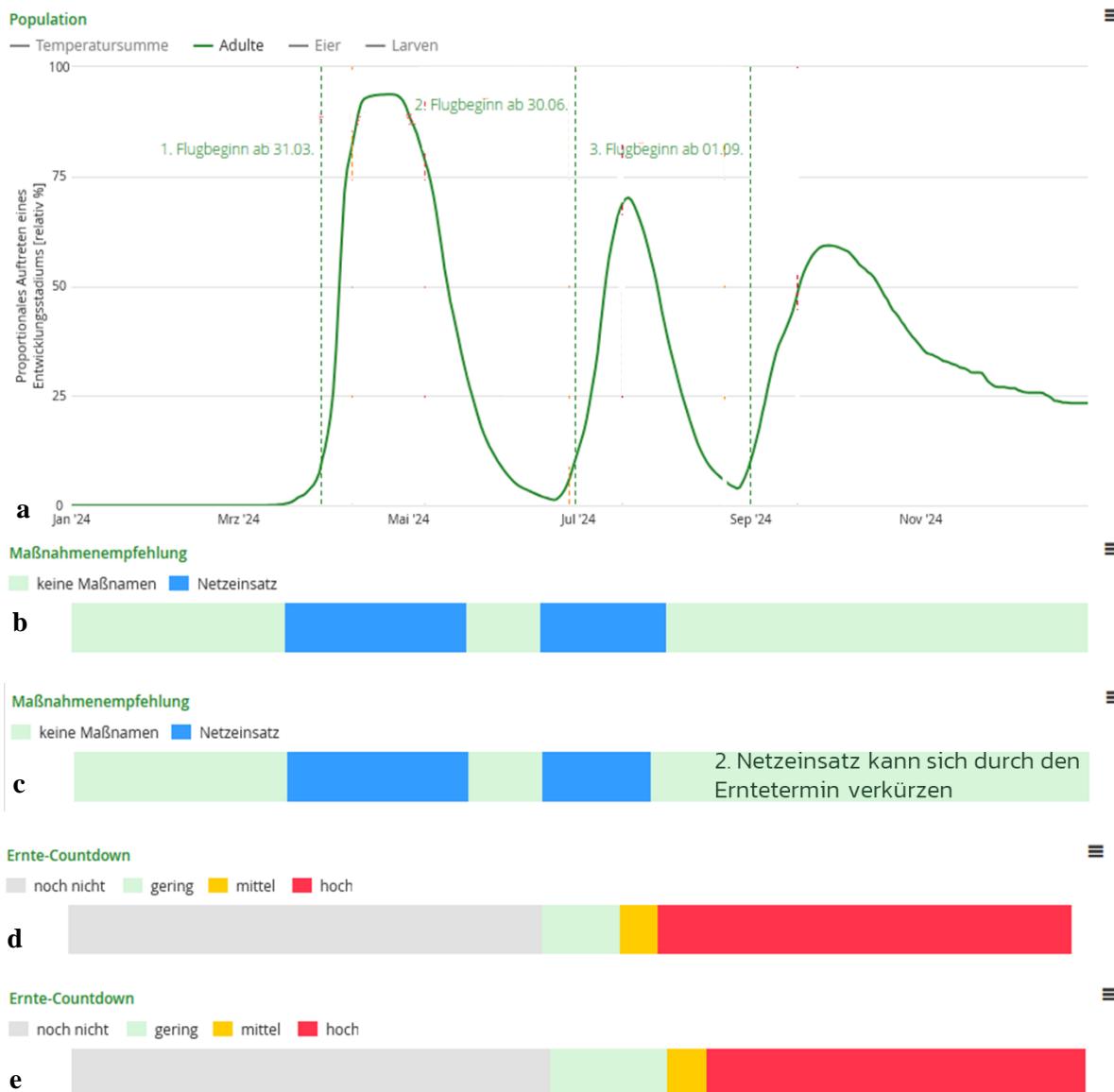


Abbildung 27: Modellergebnisse aus PSIOPRO: a) Modellverlauf der Adulten mit der 1.-3. Generation, b) Maßnahmenempfehlung mit Anwendung eines Kulturschutznetzes, c) Maßnahmenempfehlung mit Anwendung eines Kulturschutznetzes und Erntetermin, d) Angabe eines niedrigen tolerierbaren Schades, e) Angabe eines mittleren bis hohen tolerierbaren Schadens.

4.1.5 Räumliche Darstellung von Risikogebieten (UAP 1.4)

Aufgrund der Literaturdaten wurde ein GIS-Modul entwickelt, das das Befallsrisiko anhand der Distanz zum Vorjahresschlag darstellt. Momentan ist es so, dass die Vorjahresschläge händisch eingetragen werden müssen. In der Eingabemaske können viele Vorjahresschläge und der geplante Möhrenschlag per Koordinateneingabe oder Klick in die Karte angelegt werden (Abbildung 28).

The screenshot shows the 'Schlagübersicht' (Cutting Overview) interface. At the top, there is a legend for 'Befallsrisiko' (Infection Risk) with two categories: 'Befallsrisiko hoch' (High Risk, represented by red) and 'keine Daten' (No Data, represented by grey). Below this, a table shows the current cutting location ('Testschlag') with a red risk status. The 'Schlagübersicht' tab is selected.

Testschlag

Ergebnisdetails

Befallsrisiko

Name **Testschlag** **Befallsrisiko** **■**

Schlagübersicht

Schlagdaten

Schlagdaten

Name* Testschlag

Position* **Geokoordinaten**

Geokoordinaten **52.403983** **9.43509**

PLZ oder Ort 31515 Kolenfeld (Region Hannover, Niedersachsen)

Vorjahresschlag

Geokoordinaten

Punkt* **52.400186** **9.437427**

PLZ oder Ort 31515 Kolenfeld (Region Hannover, Niedersachsen)

Abbrechen **Speichern** **Löschen**

The interface includes a map showing the location of Kolenfeld, Dedenhausen, and the Mittellandkanal. The cutting location 'Testschlag' is marked with a red dot on the map. The previous cutting location 'Vorjahresschlag' is also marked with a red dot. The map includes a scale bar (1 km/3000 ft) and a compass rose.

Abbildung 28: Eingabemaske des GIS-Moduls in PSIROPRO.

Die Hintergrundberechnung legt einen Puffer um die Vorjahresschläge, die in der Ausgabe ein Risiko um den geplanten Schlag farblich darstellt (Abbildung 29). Es gibt nur zwei Kategorien: Befallsrisiko hoch (rot) und Befallsrisiko niedrig (keine Farbe/grau). Der Landwirt kann nun entscheiden, ob er nach Möglichkeit einen anderen Schlag mit einem geringen Risiko auswählt.

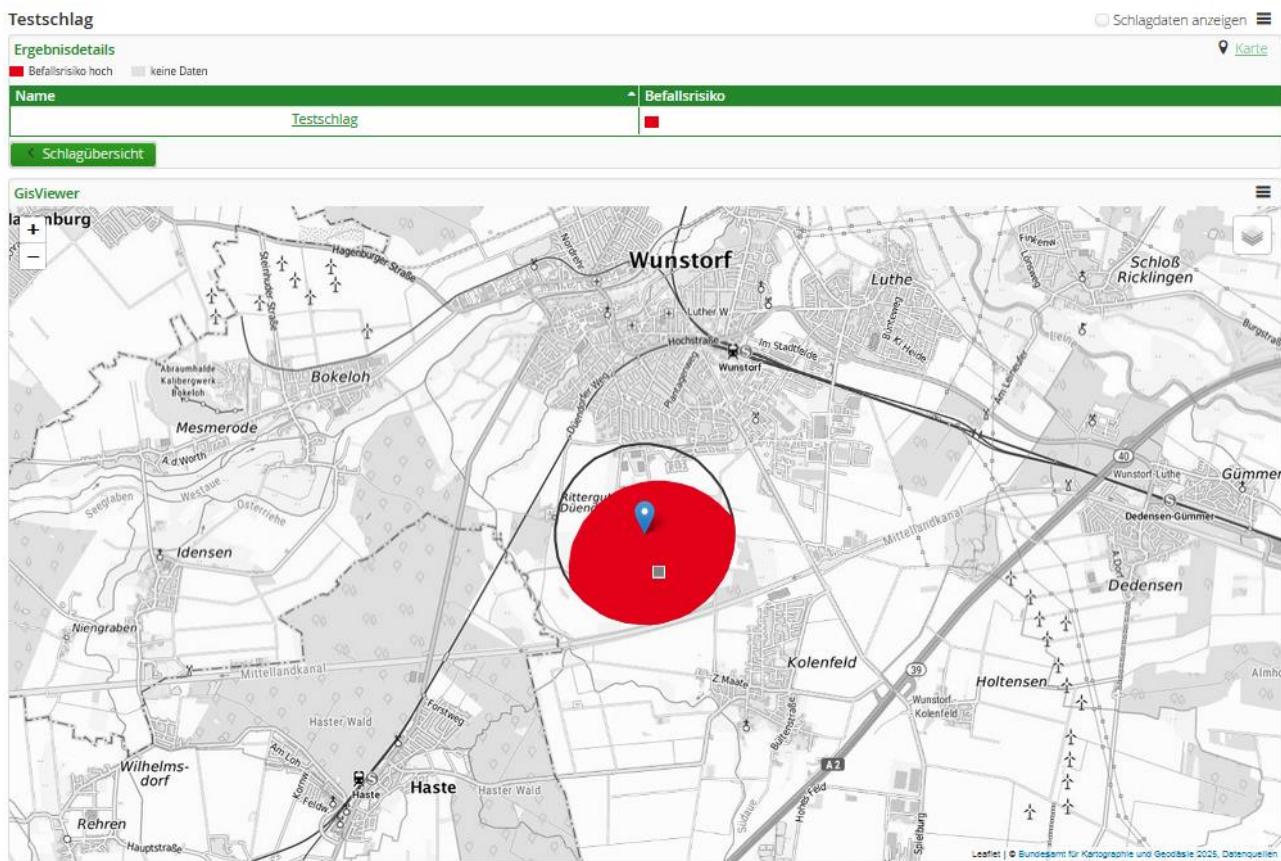


Abbildung 29: Ergebnis des Risikos für die Anbauplanung auf www.isip.de.

4.2 AP 2: Kleine Kohlfliege

4.2.1 Kulturbegleitendes Monitoring

4.2.1.1 Monitoring der Eiablage und der Flugaktivität

Auf den drei Monitoringflächen (Hannover (PSA), Praxisflächen Region Wunstorf) teilte sich die Aktivität der Kleinen Kohlfliege in drei Generationen auf (Abbildung 30). Die 1. Generation war in der Regel von Ende April bis Ende Mai aktiv. Die 2. Generation erstreckte sich über einen Zeitraum von Mitte Juni bis Anfang Juli, wobei die Flugzeit aber auch ein wenig verschoben sein kann, wie im Jahr 2023, wo die 2. Generation hauptsächlich Mitte/Ende Juli aktiv war. Die Flugphase der 3. Generation erstreckte sich von Mitte August bis Anfang Oktober.

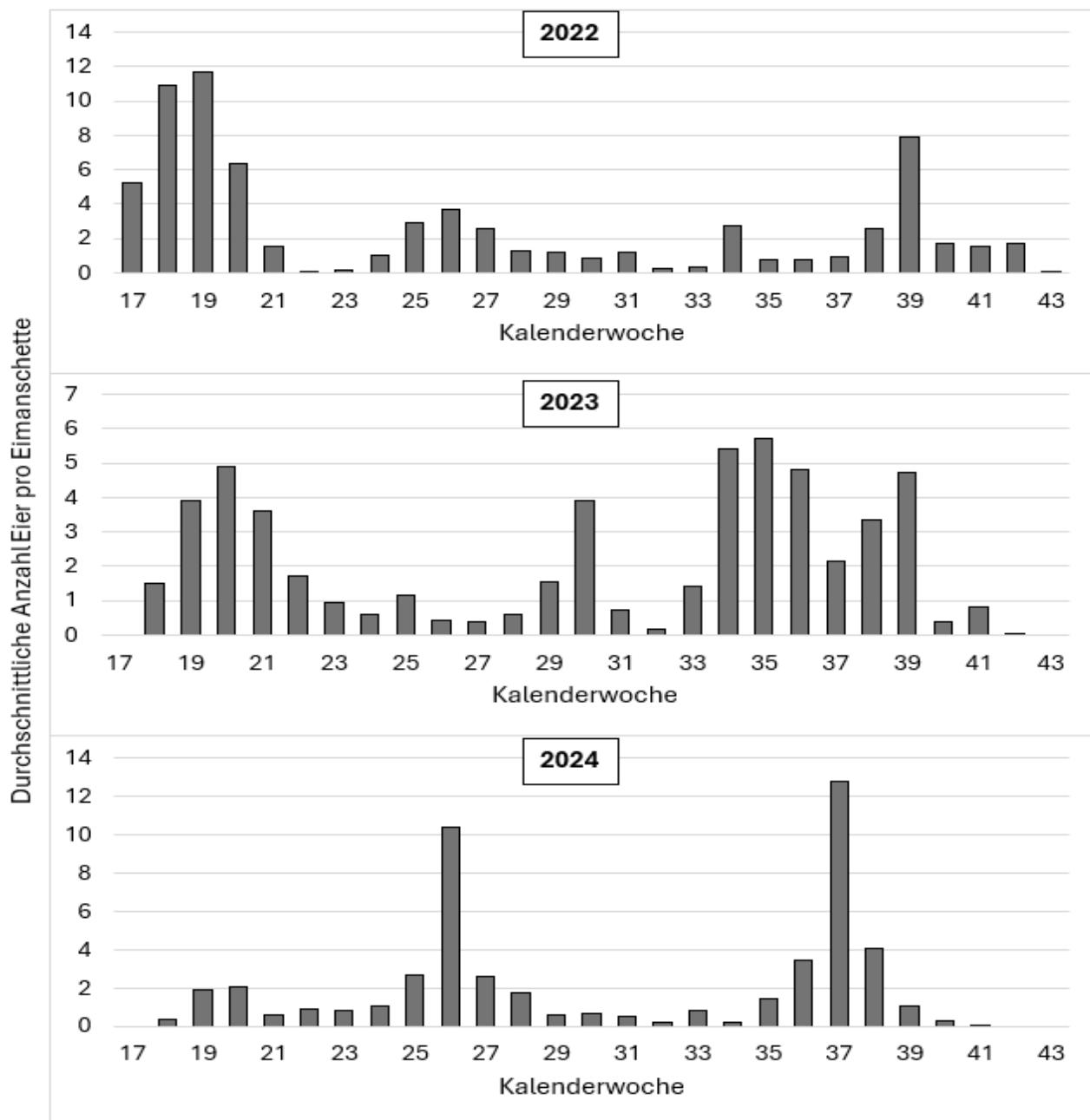


Abbildung 30: Monitoringdaten der Kleinen Kohlfliege während der Projektlaufzeit 2022-2024. Dargestellt sind die durchschnittlichen Eiablagezahlen in der Eimanschette pro Woche summiert von drei Standorten.

Am JKI in Braunschweig konnte sowohl im Monitoring der Eiablage als auch im Monitoring des Flugs mit Gelbschalen die Populationsdynamik mit drei Generationen beobachtet werden (Abbildung 31). Dabei unterschieden sich die Zahlen in beiden untersuchten Jahren voneinander. Im Jahr 2023 wurden insgesamt weniger Eier bonitiert und im Sommer keine/kaum Fliegen in den Gelbschalen gefunden. In der Regel war die 1. Generation von Ende April bis Mitte/Ende Mai aktiv und die 3. Generation von Mitte/Ende August bis Ende September/Anfang Oktober. Die Aktivität der 2. Generation war weniger deutlich zu ermitteln. Für 2022 zeigte sich ein Aktivitätszeitraum von Mitte Juni bis Ende Juli, während für 2023 kein deutlicher Zeitraum abzulesen war. Die an den Standorten Braunschweig und Hötzum ermittelten Flugphasen der Kleinen Kohlfliege stimmen mit den Beobachtungen an den Standorten des PSA überein. Generell scheint insbesondere der Flug der 2. Generation durch Jahres- und Standortunterschiede beeinflusst zu sein.

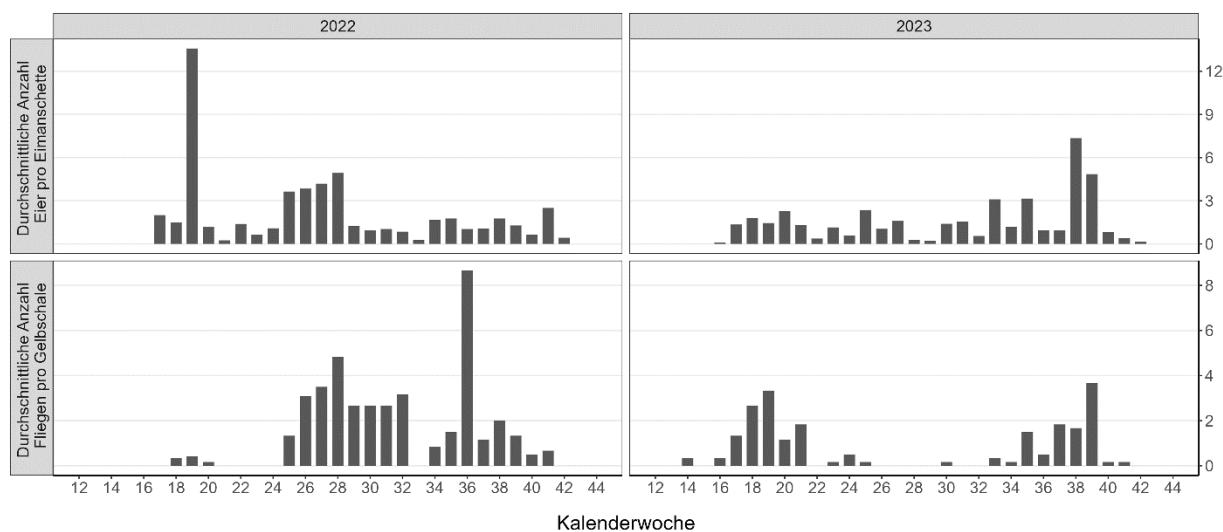


Abbildung 31: Monitoringdaten der Überwachung der Eiablage und des Flugs der Kleinen Kohlfliege zusammengefasst von den beiden Standorten Braunschweig und Hötzum.

4.2.1.2 Pflanzenschäden und Überwinterungspuppen

Die Überprüfung der Schäden am Wurzelwerk von Brokkoli ergaben für den Standort Braunschweig höhere Schadensklassen als für Hötzum. Während in Hötzum nur 32 % der untersuchten Pflanzen in die Schadensklassen 3 und 4 fielen, fielen in Braunschweig fast doppelt so viele Pflanzen (61,7 %) in diese Klassen (Abbildung 32). Des Weiteren wurde an beiden Standorten beobachtet, dass bei den späteren Sätzen der Anteil der hohen Schadensklassen zunahm (Abbildung 33). Auch hierbei zeigte sich wieder ein Unterschied zwischen den beiden Standorten. Während in Braunschweig bereits bei Brokkolipflanzen, die Ende Mai ausgepflanzt wurden, starker Schaden auftrat, war dies in Hötzum erst bei Brokkolipflanzen, die Ende Juli ausgepflanzt wurden, der Fall. Der späte und damit auch der insgesamt geringere Befall der Brokkolipflanzen in Hötzum könnte im Zusammenhang mit den umgebenden Rapsfeldern stehen. Nach der Ernte der Rapsfelder im Juli 2022 erhöhte sich die Attraktivität des Brokkoli auf dem Versuchsfeld des JKIs, sodass es ab Juli dort zu stärkeren Schäden kam. Der Versuchsstandort in Braunschweig war hingegen von anderen Flächen isoliert, wodurch störende Ablenkungen entfielen und ganzjährig größere Schäden an Brokkoli auftraten.

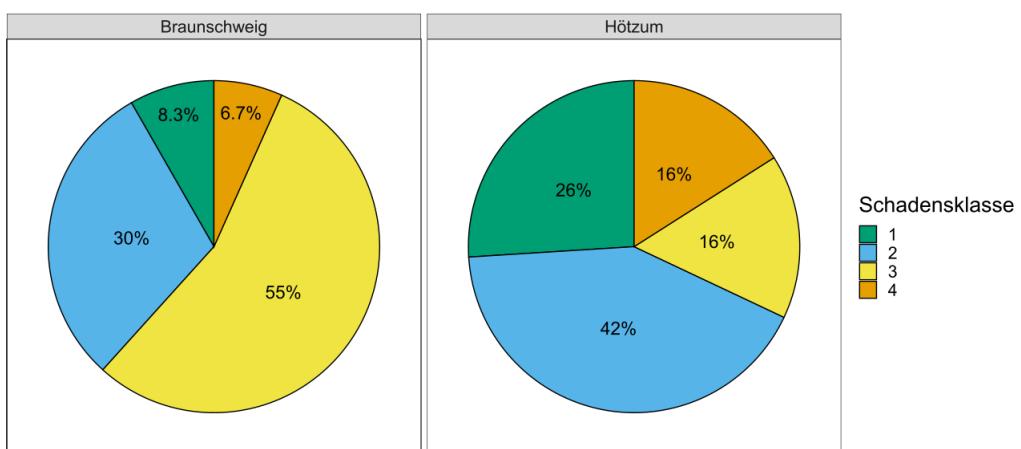


Abbildung 32: Anteil der Schadensklassen (basierend auf dem Wurzelwerk) für Brokkoli in 2022 für Braunschweig und Hötzum.

Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

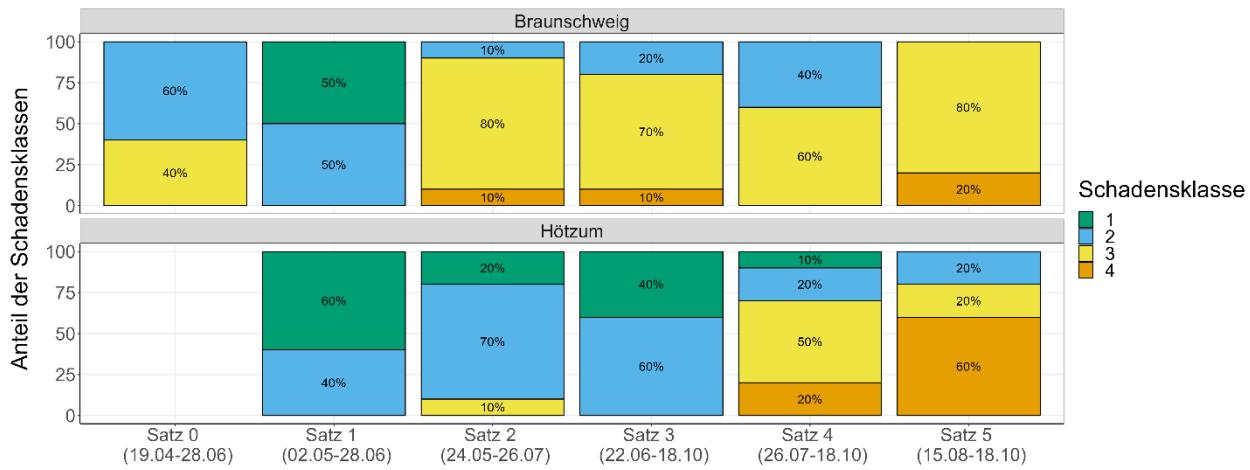


Abbildung 33: Entwicklung der Schadensklassen (basierend auf dem Wurzelwerk) für Brokkoli in 2022 für Braunschweig und Hötzum im Jahresverlauf.

Zur Überwachung des Puppenschlupfs in der Überwinterungsphase 2022-2023 wurden etwa 460 Puppen extrahiert. Ein kleiner Teil der Puppen schlüpfte bereits im Herbst 2022. Dieses betraf vor allem die frühen Brokkolisätze 1-2, die Ende Juni beprobzt wurden. Der Puppenschlupf erstreckte sich 2023 vom 23. Februar bis zum 12. Mai mit einem Maximum Mitte April (Abbildung 34). Für die Überwinterungsphase 2023-2024 lagen nur 32 Puppen zur Schlupfüberwachung vor. Auch hier schlüpften die ersten Puppen bereits im Herbst. In 2024 erstreckte sich der Puppenschlupf vom 13. März bis zum 15. April (Abbildung 34). Es konnte in dieser Überwinterungsphase aufgrund der geringen Puppenanzahl kein Maximum identifiziert werden. Insgesamt sollte demnach schon früh ab Februar mit dem ersten Flug der Kleinen Kohlfliege gerechnet werden.

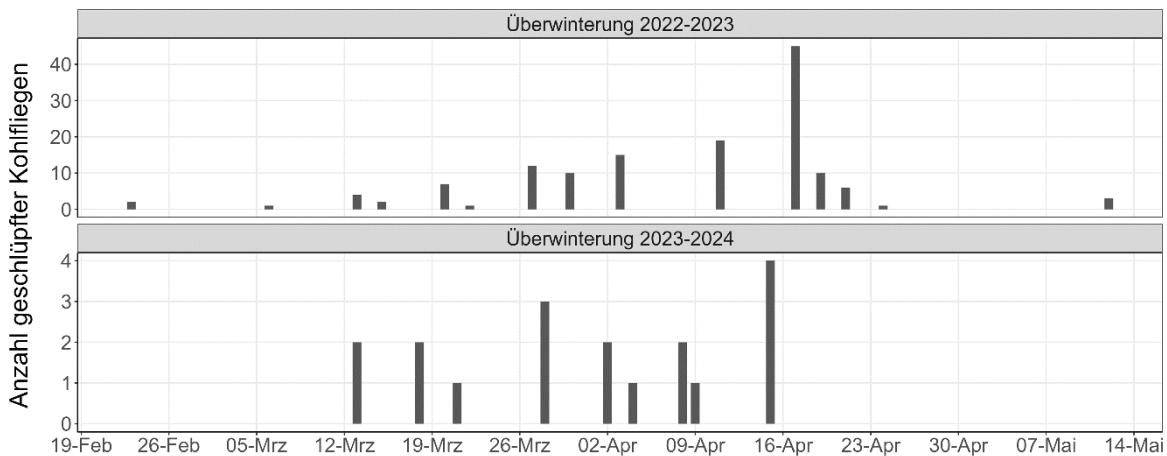


Abbildung 34: Anzahl geschlüpfter Kohlfliegen im Schlupfüberwachungsversuch für die Überwinterungsperioden 2022-2023 und 2023-2024.

4.2.1.3 Vergleich der Monitoringmethoden und Ei-Bestimmung

Beim Vergleich der beiden Monitoringmethoden Eimanschette und Quarzsand an der LWK war ein Unterschied in der Anzahl der Eier und dem Zeitpunkt der Eiablage festzustellen. Mit der Sandmethode wurde mit 8,29 Eier/Kalenderwoche im Schnitt die vierfache Menge Eier erfasst als mit der Eimanschette mit 2,04 Eier/Kalenderwoche. Auch im Zeitpunkt der Eiablage unterschieden sich die beiden Methoden. Im direkten Vergleich der Kurvenverläufe beider Methoden für die Jahre 2023 und 2024 (Abbildung 35), ist auffällig, dass mit der Eimanschette in den beiden Jahren je drei klare Höhepunkte zu sehen sind, in denen Eiablageaktivität stattgefunden hat. Mit der Sandmethode verhält es sich ähnlich, jedoch wurden Beginn und

Ende der Kurve/Höhepunkte stets ca. 1-2 Wochen früher, bzw. später festgestellt. Die Aktivitätszeiträume wurden mit beiden Methoden erfasst, mit der Sandmethode ist der Ausschlag der Eiablageaktivität etwas sensitiver. Ein weiterer Unterschied war, dass die Anzahl an Tagen, an denen keine Eiablage festgestellt wurde, für die Sandmethode deutlich niedriger lag. Teilweise waren mit der Eimanschette Flugpausen zu beobachten, die mit der Sandmethode nicht beobachtet wurden.

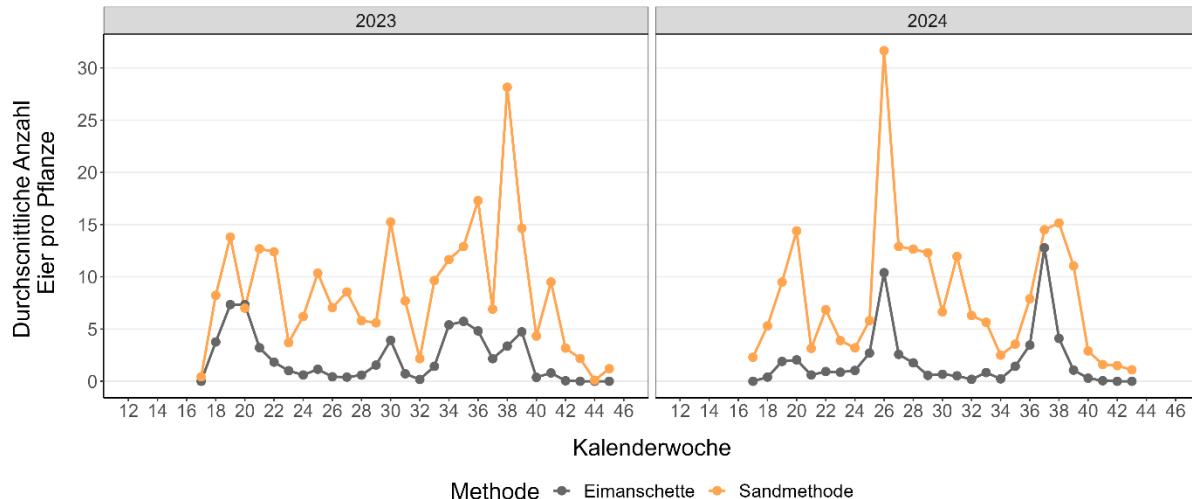


Abbildung 35: Vergleich der Quantität der Monitoringmethoden Eimanschette und Sandmethode bei der Kleinen Kohlfliege. Dargestellt sind die durchschnittliche Anzahl Fliegeneier pro Pflanze pro Kalenderwoche in den Jahren 2023 und 2024. In dunkelgrau sind die Monitoringdaten der Eimanschette, in gelb sind die Monitoringdaten der Sandmethode aufgezeigt.

Der Vergleich der beiden Methoden Eimanschette und Sandmethode (Abbildung 36) am JKI zeigte wie an der LWK, dass die mittlere Eiablage pro Kalenderwoche in der Sandmethode (6,2 Eier/Kalenderwoche) etwa 4-mal so hoch war wie in den Eimanschetten (1,6 Eier/Kalenderwoche). Beide Methoden ließen auch am JKI einen Rückschluss auf die Aktivitätsphasen der 3 Generationen zu.

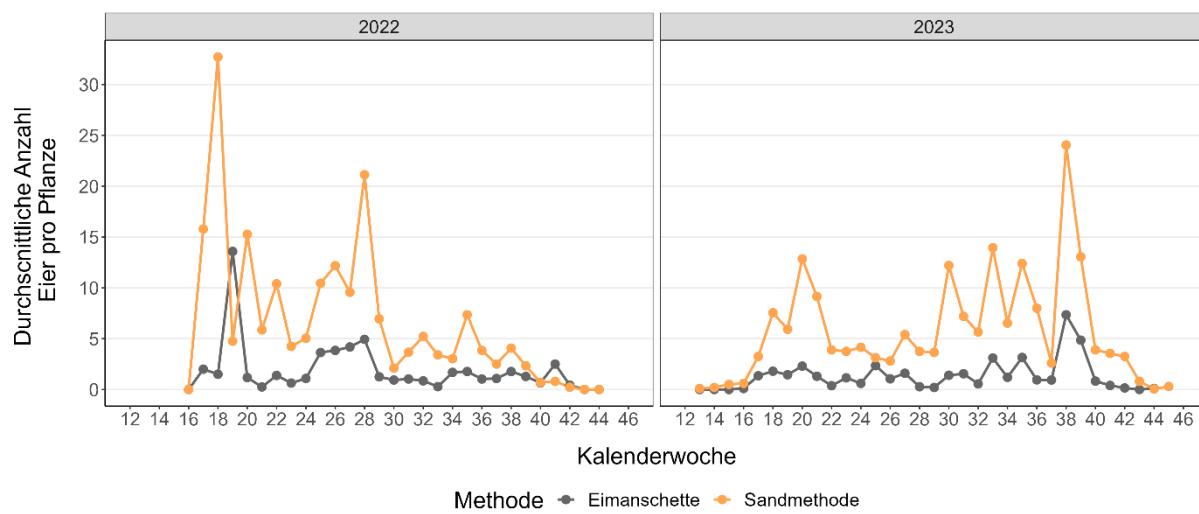


Abbildung 36: Vergleich der beiden Methoden zur Überwachung der Eiablage der Kleinen Kohlfliege. Die durchschnittliche Anzahl Eier pro Pflanze basiert auf dem Monitoring in Braunschweig und Hötzum.

Bei der Überprüfung der abgelegten Eier an der LWK konnte ein weiterer Unterschied zwischen den beiden Methoden festgestellt werden (Abbildung 37). In der Eimanschette waren fast alle Eier Kohlfliegeneier (95,4 - 98,6 %). Bei der Sandmethode wurden, neben den Kohlfliegeneiern, auch einige Wurzelfliegeneier (7,7 - 26,0 %) gefunden. Vor allem in den Monaten Mai - Juli kam ein großer Anteil (27,3 - 40,1 %) an Wurzelfliegeneier in den Proben vor. In den drei Projektjahren wurden bei der Eimanschette insgesamt

Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

7550 Eier überprüft (161 davon waren *D. platura/ florilega* Eier). Bei der Sandmethode wurden 6359 Eier untersucht (1230 davon waren *D. platura/ florilega* Eier).

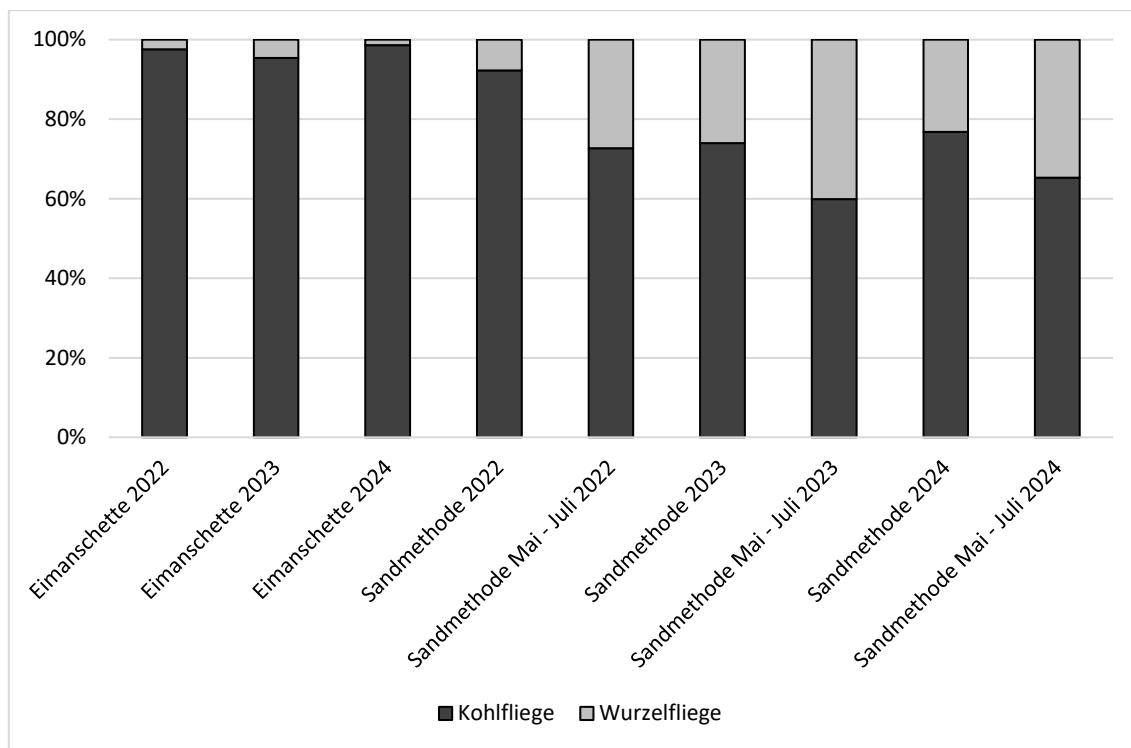


Abbildung 37: Prozentuale Anteile an der Eiablage für *D. radicum* und *D. platura/D. florilega* getrennt nach den Methoden Eimanschette und Quarzsande in den Jahren 2022 bis 2024. In dunkelgrau sind die Anteile für die Kohlfliege und in hellgrau die Anteile der Wurzelfliegen angegeben.

In Braunschweig wurde in 2023 der Flug der Wurzelfliegen mit Weißschalen überwacht. Dabei wurde auch die Kleine Kohlfliege als Beifang gefunden und diese den Fangzahlen der Überwachung aus Gelbschalen gegenübergestellt (Abbildung 38). Insgesamt wurden nur 11 Kleine Kohlfliegen in den Weißschalen gefunden (im Vergleich dazu 387 *D. platura*). Der Beifang trat dabei immer zu den Flughöhepunkten der Kohlfliegen-Generationen auf. Interessanterweise konnte 2023 in den Gelbschalenfängen keine zweite Generation für die Kohlfliege erkannt werden, während es im Beifang der Weißschale in der potentiellen Flugzeit der 2. Generation Kohlfliegenfunde gab.

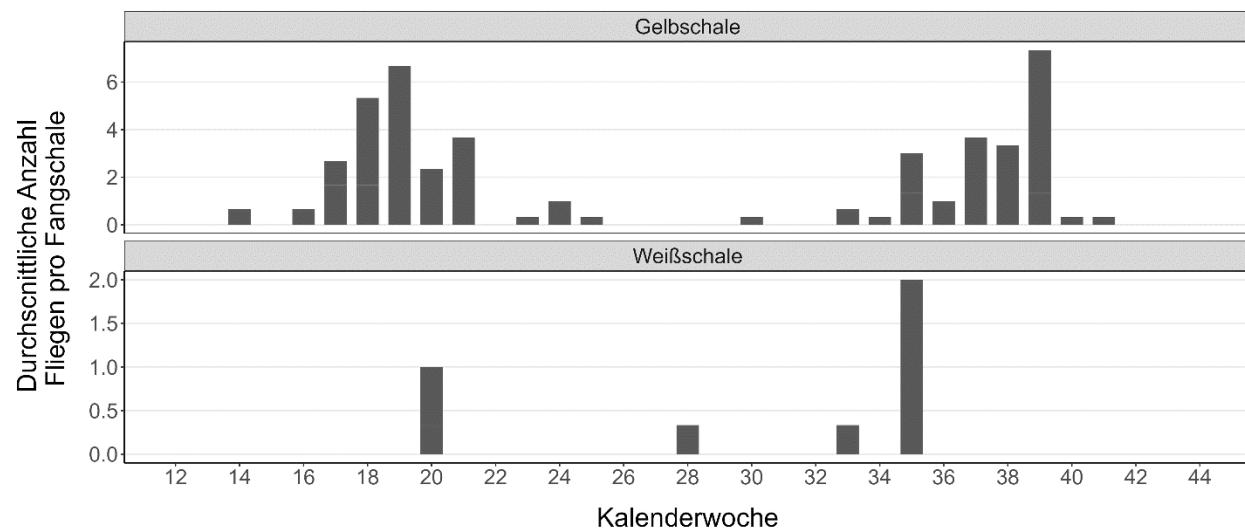


Abbildung 38: Vergleich des Kohlfliegen-Beifangs aus der Überwachung des Flugs der Wurzelfliegen mit Weißschalen mit den Fangzahlen aus der Überwachung des Flugs der Kleinen Kohlfliege mit Gelbschalen. Die durchschnittliche Anzahl Fliegen pro Fangschale basiert auf dem Monitoring in Braunschweig und Hötzum.

4.2.2 Vergleichende Modellvalidierung SWAT und SIMDERA (UAP 2.3, UAP 2.4)

Die Abweichungen zwischen Modell und Monitoring waren für die Starts der Eiablage der drei Generationen unterschiedlich (Abbildung 39). Während SWAT und SIMDERA den Eiablagebeginn der 1. Generation und 2. Generation ähnlich gut trafen, wurde die 3. Generation von beiden Modellen nur schlecht beschrieben.

Das Erstauftreten der Eier der 1. Generation aus dem Monitoring der Kleinen Kohlfliege lag in den verwendeten Datensätzen zwischen dem 14. April und dem 23. Mai. Der berechnete Eiablagebeginn der 1. Generation lag für SWAT im Mittel 7 Tage (Median 5 Tage) und für SIMDERA 5 Tage (Median 3 Tage) vor dem ermittelten Erstauftreten des Monitorings. Der Eiablagebeginn der 2. Generation der Kleinen Kohlfliege lag in den Monitoringdaten zwischen dem 30. Mai und dem 18. Juli. Der berechnete Eiablagebeginn von SWAT lag im Mittel 5 Tage (Median 5 Tage) vor und für SIMDERA 2 Tage (Median 3 Tage) nach dem Erstauftreten der Eier des Monitorings. Das Erstauftreten der Eier der 3. Generation in den Monitoringdaten lag zwischen dem 29. Juli und dem 30. September. Generell war es schwierig das Erstauftreten der 3. Generation zu terminieren, da mit Fortschreiten des Jahres eine kontinuierliche Eiablage („Grundrauschen“) beobachtet wurde. Parallel dazu zeigten auch die berechneten Termine des Eiablagebeginns der 3. Generation eine hohe Streuung und eine schlechte Anpassung. Die berechneten Termine des Eiablagebeginns für SWAT lagen im Mittel 30 Tage (Median 27 Tage) und für SIMDERA 7 Tage (Median 2 Tage) vor dem bonierten Erstauftreten der 3. Generation.

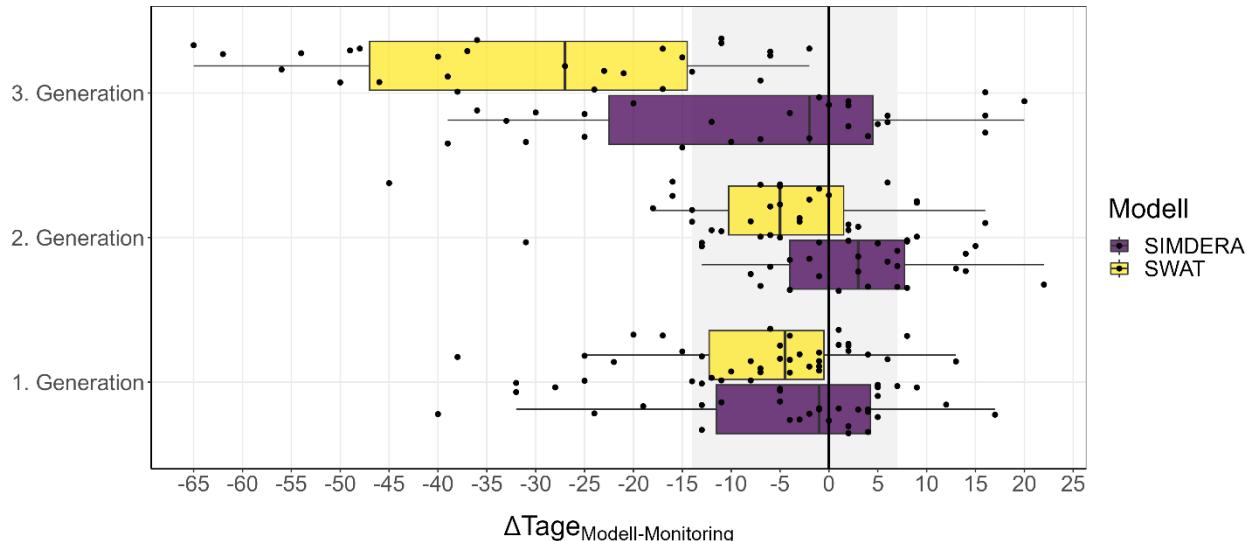


Abbildung 39: Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der Eiablage der 1., 2. und 3. Generation der Kleinen Kohlfliege für die beiden Modelle SWAT und SIMDERA. Der graue Bereich kennzeichnet die als „korrekt“ definierten Abweichungen.

Insgesamt wurden etwa 3/4 der Eiablagebeginne der 1. und 2. Generation für SWAT und SIMDERA als korrekt klassifiziert (Tabelle 10). Für alle Generationen und Modelle gab es teilweise große Abweichung zwischen Modell und Monitoring. So lag der Eiablagebeginn bei Generation 1 und 2, bei SWAT und bei SIMDERA 3-mal > 30 Tage zu früh und 6-mal (SWAT) beziehungsweise 11-mal (SIMDERA) > 7 Tage zu spät.

Tabelle 10: Prozentualer Anteil der Datensätze, die in die Klassen zu früh, korrekt sowie zu spät fallen, bezogen auf die Abweichung zwischen Modell und Monitoring für den Start der Eiablage der 1., 2. und 3. Generation der Kleinen Kohlfliege für die beiden Modelle SWAT und SIMDERA.

Generation	Modell	Zu früh	Korrekt	Zu spät	n
1	SWAT	19 %	75 %	6 %	36
	SIMDERA	17 %	75 %	8 %	36
2	SWAT	13 %	73 %	13 %	30
	SIMDERA	3 %	70 %	27 %	30
3	SWAT	74 %	26 %	0 %	27
	SIMDERA	33 %	52 %	15 %	27

Insgesamt führte das Optimieren für SWAT zu keinem besseren Ergebnis im Vergleich zur Basis-Simulation des Modellvergleichs. Das Verschieben des Simulationsstarts auf den 01.01. und das Weglassen der Ästivation verschoben den Median der Differenz zwischen modellierten und beobachteten Flugbeginn ins negativ und damit zu mehr „zu frühen“ Vorhersagen. Die Simulation mit den in SWOP optimierten Parametern ($K_{\max}(Ei) = 0.374 \text{ d}^{-1}$, $K_{\max}(\text{Larve}) = 0.152 \text{ d}^{-1}$, $K_{\max}(\text{Puppe}) = 0.043 \text{ d}^{-1}$, $K_{\max}(\text{Imago}) = 0.041 \text{ d}^{-1}$) führte hingegen zum Verschieben der Simulation zu positiveren Differenzen und damit zu einer erhöhten Anzahl an „zu späten“ Vorhersagen. Bei der Verwendung eines Grenzwerts (siehe Abschnitt 3.3.4) von 5 statt 20, war die Anzahl an „zu späten“ Vorhersagen im Vergleich zur Basis-Simulation erhöht. Insgesamt zeigte sich, dass trotz Optimierung die Vorhersage der dritten Generation sehr schwierig blieb. Zudem muss bei einer Veränderung der Parameter auch immer berücksichtigt werden, welcher Grenzwert zur Definition des Starts der Generation verwendet wird. Teilweise war der Einfluss eines veränderten Grenzwerts größer als die Veränderung des Parameters.

4.2.3 Erarbeitung biologischer Daten zur Risikoanalyse (UAP 2.1)

4.2.3.1 Wirtspflanzen-Präferenz

Freiland

Die Untersuchungen zur Kohlartenpräferenz am Standort Hannover zeigten signifikante Unterschiede zwischen den geprüften Kohlarten (Abbildung 40). Die Kohlfliege legte signifikant mehr Eier an Kohlrabi, Blumenkohl und Chinakohl ab. An Raps und Rübse wurden signifikant weniger Eier abgelegt. Bei Chinakohl entstand ein methodisches Problem durch die Bildung großer Umblätter, welche die Eimanschette verdeckten und teilweise die Eiablage verhinderten. Bei Kohlrabi, Blumenkohl, Raps, Rübse und Steckrübe entstanden durch den Wuchs keine mechanischen Barrieren für die Eiablage. Zusätzlich wurde an Chinakohl beobachtet, dass später während der Kulturzeit Eier auch oben in die Deckblätter abgelegt wurden. Die kleinen Spalten und Risse zwischen den einzelnen Blättern waren besonders attraktiv.

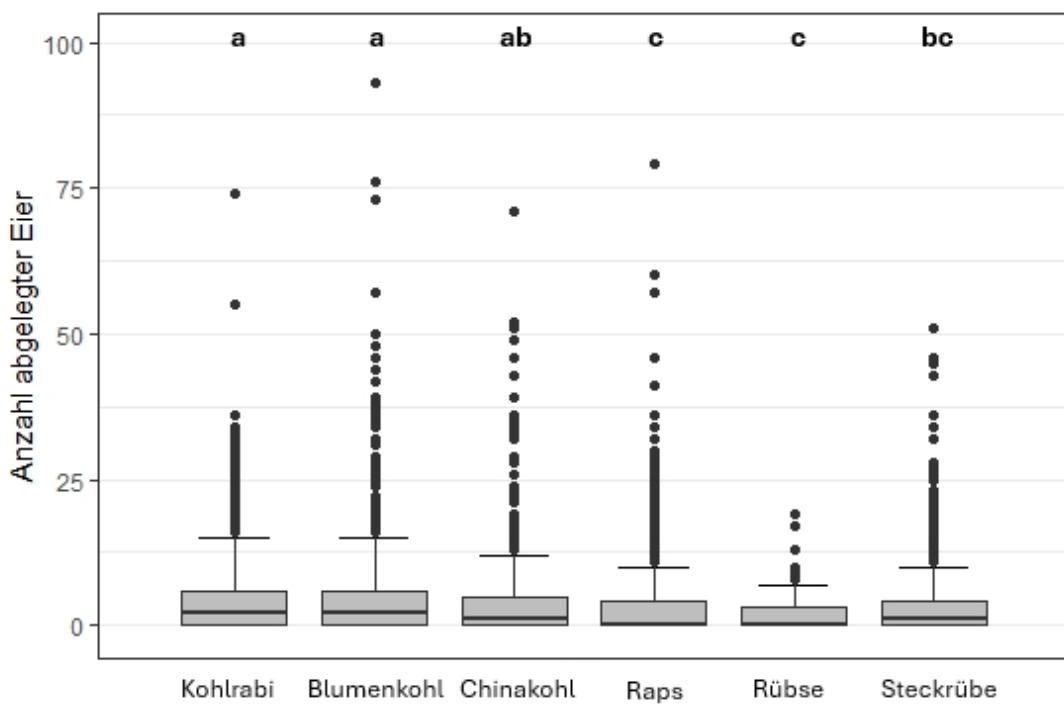


Abbildung 40: Vergleich des Eiablageverhaltens der Kohlfliege bei verschiedenen Kohlarten. Angegeben ist die Anzahl abgelegter Eier pro Pflanze pro Kohlart (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).

Die Eimanschette konnte außerdem nicht bei jeder Kohlart gleich gut angebracht werden. Bei den Kohlarten Kohlrabi, Blumenkohl, Raps und Rübse war während der Versuchsdauer die Anlage der Eimanschette problemlos möglich, während bei Chinakohl und Steckrübe eine frühe Verdickung des Wurzelhalses verhinderte, dass die Eimanschette geschlossen werden konnte (Tabelle 11). Schließlich konnte an Chinakohl nur die Hälfte der Versuchsdauer eine Erfassung durchgeführt werden. Für die Rübse verkürzte sich die Monitoringdauer auf 4,4 Wochen, jedoch lag das auch an Fäulnis.

Tabelle 11: Durchschnittliche Dauer des Eimanschetten-Monitorings beim Kohlartenpräferenzversuch an den untersuchten Kohlarten.

Versuch	Kohlrabi	Blumenkohl	Chinakohl	Raps	Steckrübe	Rübe
2. Generation 2022	4	4	3	4	-	4
3. Generation 2022	5	5	2	4	-	3
2. Generation 2023	5	5	2	5	4	-
3. Generation 2023	5	5	3	4	4	-
1. Generation 2024	6	6	4	6	5	-
2. Generation 2024	5	5	2	5	5	-
3. Generation 2024	5	5	3	5	4	-
Durchschnittliche Monitoringdauer (in Wochen)	5	5	2,7	4,7	4,4	3,5

Klimakammer

Im Klimakammerversuch zur Überprüfung der Attraktivität unterschiedlicher Kohlartenpflanzen für die Eiablage von *D. radicum* am JKI wurden insgesamt 468 Eier gefunden, von denen sich 300 an Brokkoli, 134 an Raps und 34 an Kohlrabi befanden. Die mittlere Eiablage im Versuchszeitraum pro Pflanze (Abbildung 41) war für Brokkoli signifikant höher als bei Raps und Kohlrabi und bei Raps signifikant höher als bei Kohlrabi (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$). Durch das junge Alter von 5 Wochen befanden sich die Pflanzen in einem niedrigen BBCH-Stadium (Brokkoli (15-16), Kohlrabi (14-15), Raps (15-17)). Die Kohlfliege legte ihre Eier hauptsächlich an der Stammbasis (87 % der Eier), teilweise aber auch in die Erde abseits des Stammes (7 %) oder im Topfuntersetzer (5 %) ab.

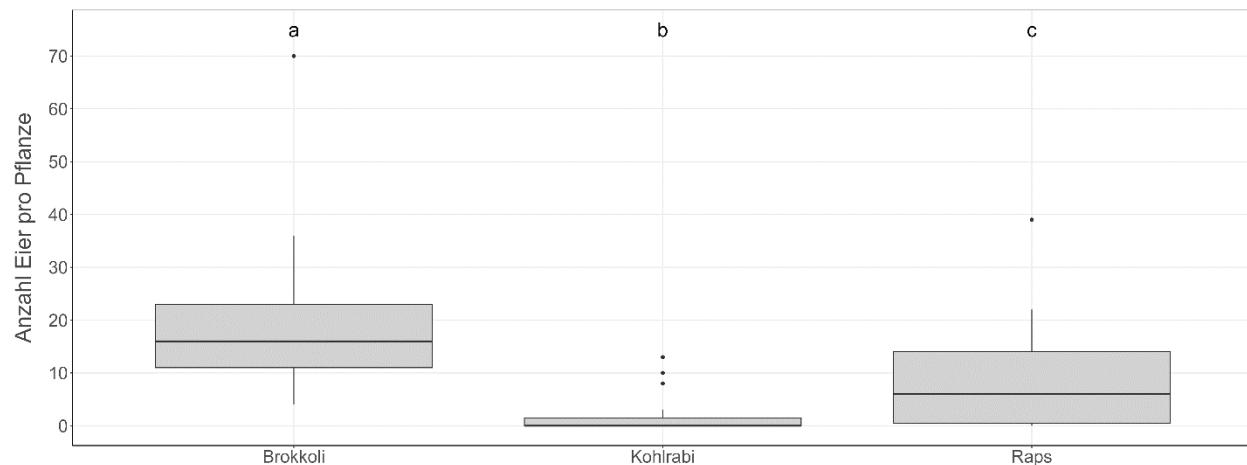


Abbildung 41: Anzahl Eier der Kleinen Kohlfliege pro Pflanze für die drei im Klimakammerversuch untersuchten Treatments Brokkoli, Kohlrabi und Raps. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).

4.2.3.2 BBCH-Stadien-Präferenz

Freiland

Die Freilandversuche zur Überprüfung der Attraktivität unterschiedlicher BBCH-Stadien für die Eiablage in der 1. Generation von *D. radicum* bei der LWK zeigten signifikant unterschiedliche Eiablageraten bei verschiedenen BBCH-Stadien. Die Versuche wurden in den Jahren 2022 und 2023 an der LWK durchgeführt. Insgesamt wurden 3102 Eier an den Kohlrabipflanzen gefunden. BBCH 13, 15, 16, 17 und 18 zeigten signifikant

höhere Eiablagezahlen (Abbildung 42). Aufgrund der guten Wachstumsbedingungen waren die Pflanzen während des Versuchsverlaufs vermehrt in den BBCH-Stadien 16 -19 als in den Stadien 12 - 15.

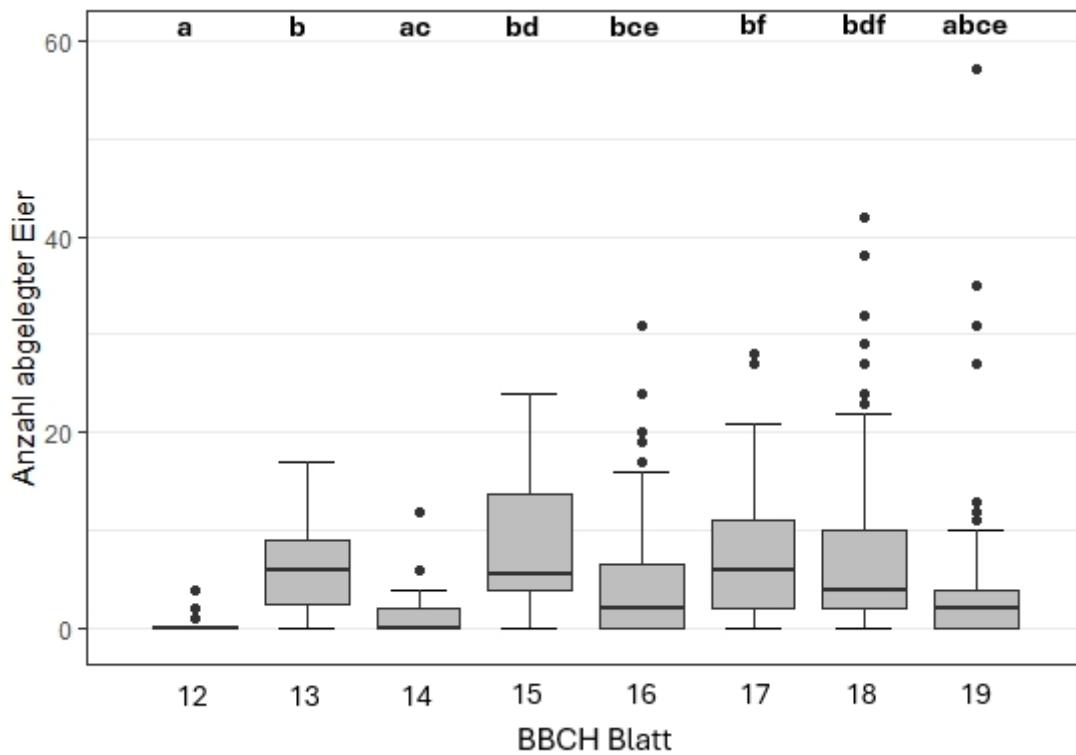


Abbildung 42: Anzahl abgelegter Kohlfliegeneier pro BBCH-Blatt Stadium an Kohlrabi im Freiland (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0.05$).

Klimakammer

Im Klimakammerversuch zur Überprüfung der Attraktivität unterschiedlicher BBCH-Stadien für die Eiablage von *D. radicum* am JKI wurden in den vier Durchgängen insgesamt 1061 Eier gefunden. Dabei fiel auf, dass in der zweiten Session nur 13 Eier gefunden wurden, während in der ersten 467, in der Zusatz-Session 2.b 207 und in der dritten Session 374 Eier gefunden wurden. Ähnlich wie im Klimakammerversuch zur Kohlartenpräferenz legte die Kohlfliege die meisten Eier an der Stammbasis (66 %), aber auch wieder in den Boden abseits des Stammes (30 %) und in den Topfuntersetzer (4 %) ab. Das BBCH-Spektrum variierte zwischen BBCH 13 und BBCH 21 (Abbildung 43). Die Anzahl Eier pro Pflanze (Abbildung 44) war dabei für BBCH 18, 19 und 21 signifikant höher als für die übrigen BBCH-Stadien (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0,05$).

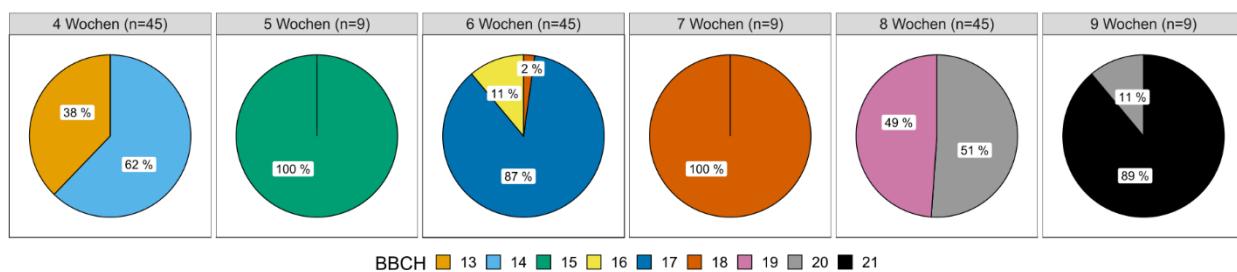


Abbildung 43: Anteil der BBCH-Stadien der Brokkolipflanzen für die unterschiedlichen Treatments. Der n-Wert gibt die Anzahl an Pflanzen im gesamten Versuch über alle Durchgänge an.

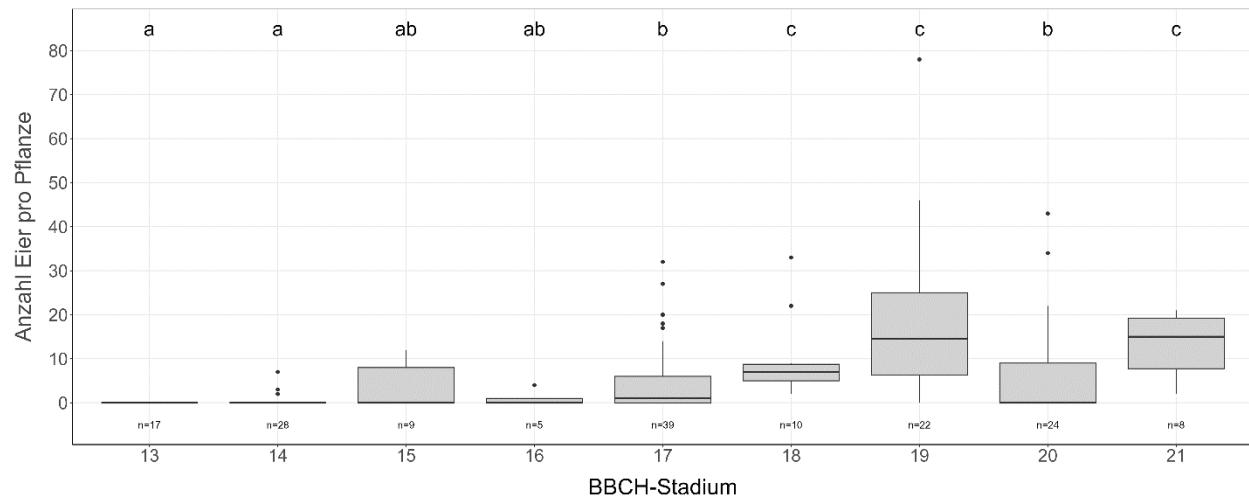


Abbildung 44: Anzahl Eier der Kleinen Kohlfliege pro Pflanze getrennt nach BBCH-Stadium. Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test, $\alpha = 0.05$).

4.2.4 Untersuchungen zum Ausbreitungsvermögen der Kleinen Kohlfliege

Durch die Analyse der Stabilisotope ^{15}N und ^{13}C ohne Anreicherung konnte festgestellt werden, dass sich die Natural Abundance zwischen Weibchen und Männchen im Freiland nicht signifikant unterscheidet, unabhängig vom Ort und Zeitpunkt. Jedoch wurden deutliche Unterschiede im Isotopenprofil zwischen Fliegen aus der Laborzucht und Fliegen aus dem Freiland festgestellt (Abbildung 45). Durch die signifikante Erhöhung der $d^{15}\text{N}$ Werte in den Kleinen Kohlfliegen aus der Laborzucht könnten diese im Zuge einer Massenzucht bereits ohne zusätzliches Labeling für eine Untersuchung des Ausbreitungsvermögens geeignet sein.

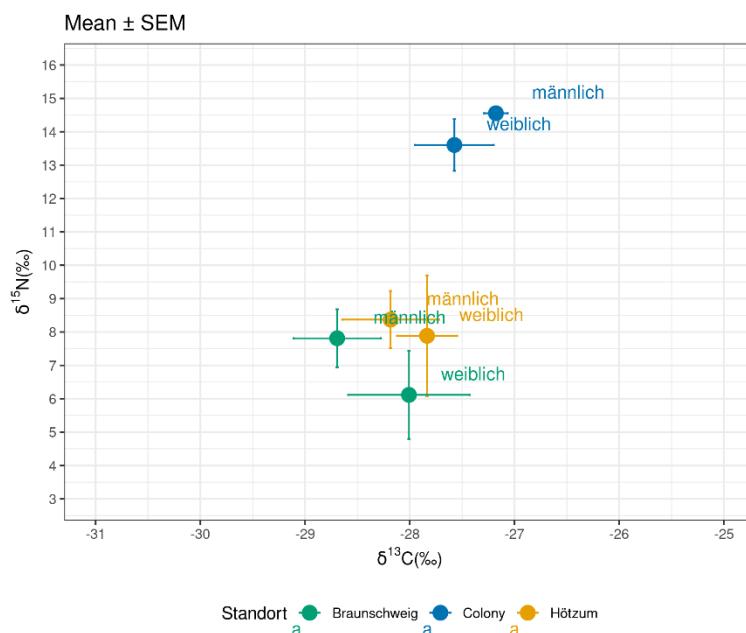


Abbildung 45: Natural Abundance Signale für die Stabilisotope ^{15}N und ^{13}C für die Kleine Kohlfliege

Die Versuche zur Anreicherung von ^{15}N in den Fliegen waren erfolgreich. Bereits ein Anteil von 10 atom% im Dünger führten über die Nährstoffaufnahme in den Rettichen zu einer starken Erhöhung der $d^{15}\text{N}$ Werte in den

Imagines der Kleinen Kohlfliege, die während der Larvenentwicklung an den Rettichen fraßen. Es ist anzunehmen, dass auch eine Erhöhung von $d^{15}\text{N}$ auf weniger als ein Fünftel der hier verwendeten Menge zu einem signifikanten Isotopensignal in den Fliegen führt. Die Anreicherung von Laborzuchten wäre der sichere Weg für die Umsetzung einer Tracermethode zur Untersuchung des Ausbreitungsvermögens. Selbst die Düngung von Kulturpflanzen im Freiland für die Markierung einer natürlichen Population mit angereichertem Dünger ist denkbar und deutlich weniger kostenintensiv als angenommen.

4.2.5 Implementierung in ISIP (UAP 2.5)

Wie für die Möhrenfliege wurden basierend auf den Ergebnissen des Projektes die artspezifischen Parameter der Kleinen Kohlfliege in den Modellbaukasten PhenoLogit integriert und auf der ISIP-Plattform umgesetzt. Die Eingabeparameter und Ausgabedarstellungen entsprechen dem in 4.1.4 beschriebenen Aufbau, einschließlich interaktiver Grafik mit Markierung zentraler Ereignispunkte. Die Berechnungen basieren ebenfalls auf stündlichen Temperaturreihen der gewählten Wetterstation oder der Rasterzelle der flächendeckenden Wetterdaten. Die fertige Entscheidungshilfe SIMDERA steht derzeit als Desktop-Version ausschließlich im internen Bereich von ISIP zur Testung durch die Berater und Beraterinnen der Pflanzenschutzdienste der Länder und Projektmitarbeiter/innen zur Verfügung. In Abbildung 46 ist das Modellergebnis für einen Beispielschlag dargestellt. Man sieht die Modellkurve des proportionalen Auftretens des adulten Entwicklungsstadiums mit drei Generationen im Jahresverlauf. Die Stadien „Eier“ und „Larven“ können zugeschaltet werden.

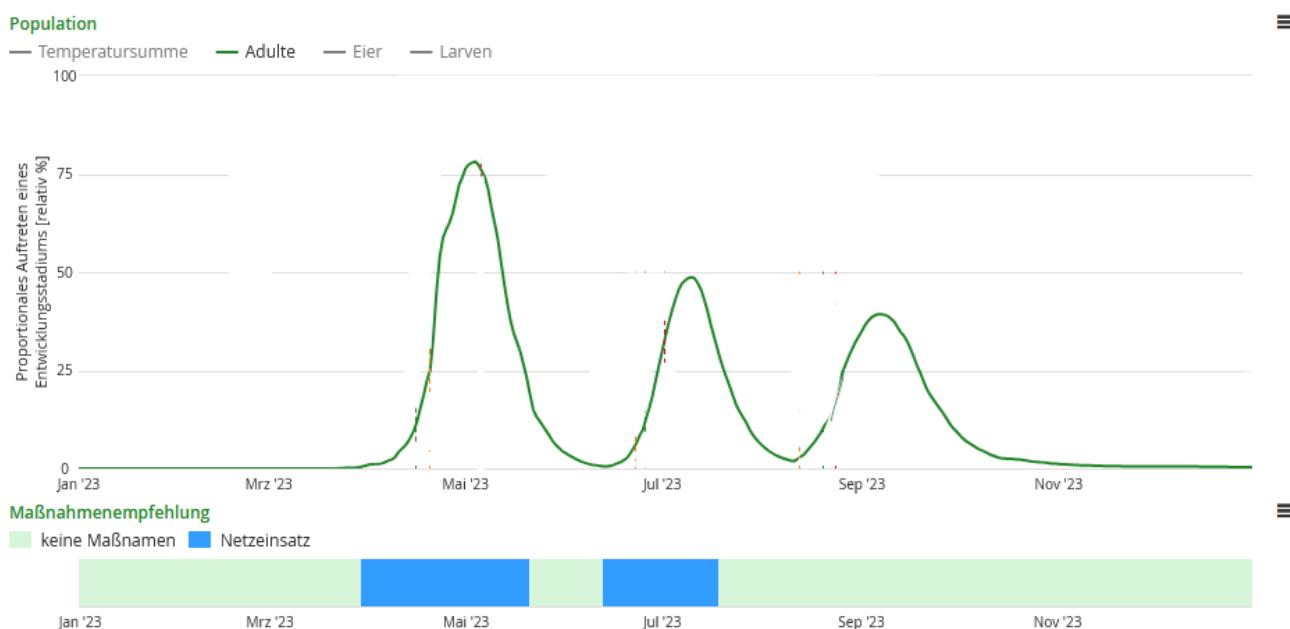


Abbildung 46: Modellergebnis des EHS SIMDERA im internen Bereich in ISIP für einen Beispielschlag bei Wunstorf 2023.

4.3 AP 3: Wurzelfliegen

4.3.1 Durchführung von Monitorings (UAP 3.2)

4.3.1.1 Auflaufbonituren

Bei den Auflaufbonituren in den Buschbohnen wurden während der Projektlaufzeit die Aktivitätszeiträume der Wurzelfliegen erfasst (Abbildung 47). In den Jahren 2022 und 2023 wurden vor allem im Mai verstärkte Auflaufschäden in den Buschbohnen festgestellt. Weitere Aktivitätszeiträume der Wurzelfliegen wurden Mitte/Ende Juni und Mitte Juli erfasst. Im Jahr 2024 konnte die Aktivität der Wurzelfliegen nicht optimal erfasst werden. Zum einen lag aufgrund des kalten Frühjahrs noch bis zu einem späten Zeitpunkt das Vlies auf den Bohnen und zum anderen wurde am Standort Immensen ausschließlich mit Lumiderm gebeiztem Saatgut

Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

gearbeitet. Die Beizung scheint zum Schutz der Bohnenkeimlinge beigetragen zu haben, da auf den Praxisflächen in Immensen kein Satz mit nennenswerten Auflaufschäden erfasst werden konnte.

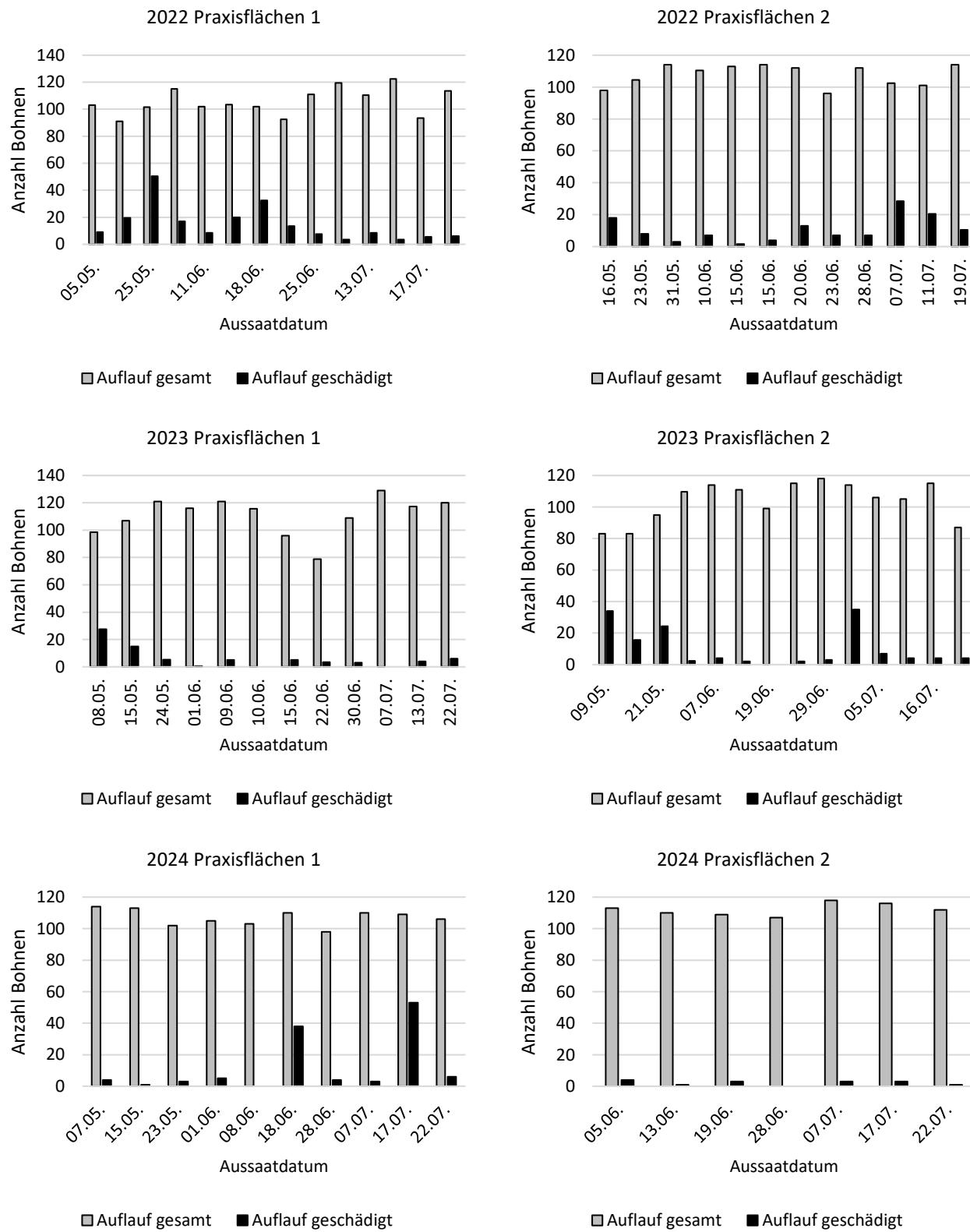


Abbildung 47: Auflaufbonituren von Buschbohnen in den Projektjahren 2022-2024. Dargestellt ist die Anzahl aufgelaufener (grauer Balken) und geschädigter Bohnen (schwarzer Balken) je Aussaatdatum.

In den drei Projektjahren wurde zu drei Zeitpunkten im Jahresverlauf eine erhöhte Aktivität der Wurzelfliegen festgestellt. In der Region Burgdorf und am PSA Hannover (Tabelle 12) wurden im Mai, im Juni und im Juli entweder Eiablage oder Auflaufschäden beobachtet.

Tabelle 12: Übersicht der Aktivitätszeiträume der Wurzelfliegen, sowohl auf den Praxisflächen der Buschbohne, als auch auf den Monitoringflächen der Kleinen Kohlfliege.

	Zeitraum 1. Aktivität	Zeitraum 2. Aktivität	Zeitraum 3. Aktivität
Praxisfläche 1 2022	Gesamter Mai	Mitte Juni	
Praxisfläche 2 2022	Mitte Mai	Ende Juni	Mitte Juli
Praxisfläche 1 2023	Anfang/Mitte Mai	Mitte Juni	Mitte Juli
Praxisfläche 2 2023	Anfang Mai	Anfang Juli	
Praxisfläche 1 2024		Mitte Juni	Mitte Juli
Kohlfliegen-Monitoring PSA 2023	Anfang Mai	Ende Mai/Anfang Juni	Anfang Juli/Mitte Juli
Kohlfliegen-Monitoring PSA 2024	Mitte Mai/Ende Mai		

Im Jahr 2023 und 2024 wurden bei der LWK zwei weitere Monitoringmethoden für die Wurzelfliegen getestet. Zum einen eine Lockfalle und zum anderen eine Sandmethode. Beide Methoden führten leider nicht zum gewünschten Erfolg. Für die Lockfalle waren hohe Temperaturen im Sommer in Kombination mit wöchentlichen Boniturintervallen problematisch, da die Fangflüssigkeit verdunstete und die gefangenen Fliegen in der Schale fest- und austrockneten. Eine genaue Bestimmung war im Anschluss somit leider nicht möglich. Häufigere Kontrollen und Nachfüllen der Fangflüssigkeit konnten aus Kapazitätsgründen nicht umgesetzt werden. Im Folgejahr wurde daher eine Sandmethode ausprobiert, jedoch wurden lediglich 6 Eier im Monat Mai festgestellt.

Das Monitoring der Wurzelfliegen in Braunschweig (2023/2024) zusammen mit dem Auswerten des Beifangs aus den Gelbschalen des Kohlfliegen-Monitorings in Braunschweig (2022/2023) zeigte, dass die Wurzelfliegen das ganze Jahr über aktiv sind (Abbildung 48). Bereits Ende April 2023 gab es einen starken Anstieg an Wurzelfliegen-Beifang in den Gelbschalen. Mit der Aussaat der Buschbohnen Anfang/Mitte Mai reduzierte sich der Wurzelfliegen-Beifang in den Gelbschalen und dafür stiegen die Wurzelfliegenfunde in den Weißschalen. Auch 2024 konnte beobachtet werden, dass die Wurzelfliegen bereits 3 Wochen vor der Aussaat der Buschbohnen aktiv waren. Ab Anfang September (nach der Bohnenernte) war sowohl im Beifang der Gelbschalen 2023, als auch in den Weißschalen 2024 in Kohlrabi ein erneuter Anstieg in den Wurzelfliegenfunden zu beobachten.

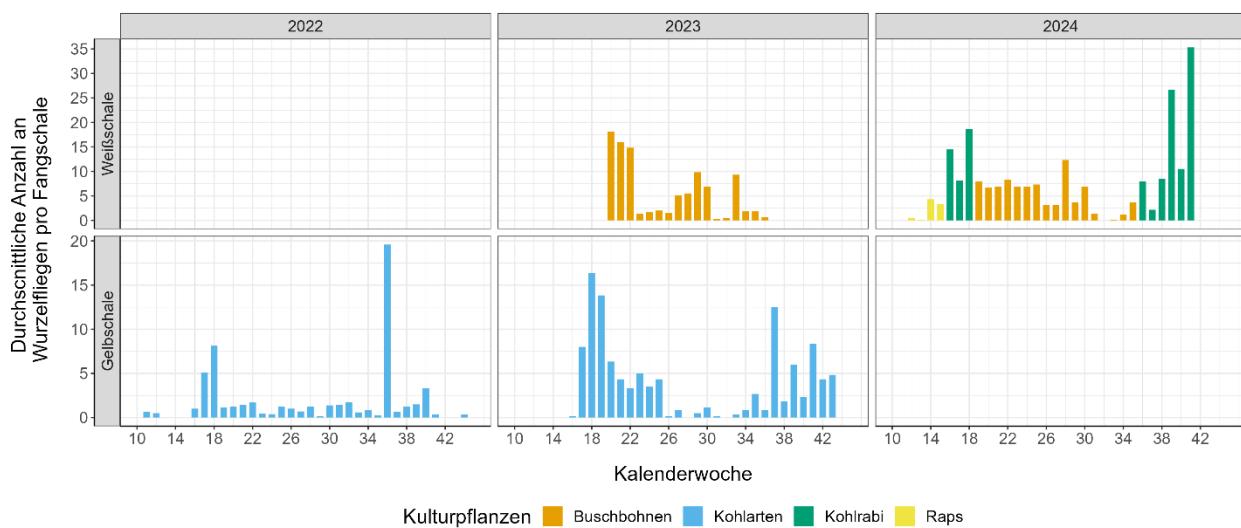


Abbildung 48: Monitoringdaten der Überwachung der Wurzelfliegen mit Weißschalen und Beifang der Wurzelfliegen in den Gelschalen des Kohlflygen-Monitorings zusammengefasst von den beiden Standorten Braunschweig und Hötzum.

4.3.1.2 Überwinterungspuppen

Von den gesammelten Puppen schlüpften viele bereits im Herbst 2023 und nur zwei im Frühjahr 2024 (19.03. und 18.04.). Es ist daher nicht möglich eine Aussage über den Zeitpunkt des Überwinterungsschlupf zu treffen.

4.3.2 Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von *D. platura* (UAP 3.1)

Um die physiologische Zeit zu ermitteln, die für die Entwicklung von Ei, Larve, Puppe und adultem Stadium benötigt wird, wurde eine Reihe von Laborversuchen durchgeführt. Da Wärme das Wachstum kleiner poikilothermer Insekten maßgeblich bestimmt, wenn das Nahrungsangebot nahezu unbegrenzt ist, zielten die Versuche darauf ab, die durchschnittliche Zeit in Tagen zu ermitteln, die ein einzelnes Individuum für seine Entwicklung benötigt. Bis zu 40 Individuen wurden vom Ei bis zum Imago bei acht konstanten Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit (von 5 °C bis 40 °C; > 70 % r. F.) beobachtet. Der Entwicklungsnullpunkt lag unter 5 °C. Es wurde jedoch eine Entwicklung bis zum Puppenstadium auch bei niedrigen Temperaturen (5 °C, 10 °C) beobachtet. Ein vollständiger Lebenszyklus konnte bei mittelwarmen Temperaturen (15 °C - 30 °C) und eine hohe Ei- und Larvensterblichkeit bei höheren Temperaturen (35 °C, 40 °C) beobachtet werden. Etwa 50 % der Individuen schlossen in den Versuchen bei 20 °C ihren Lebenszyklus ab, was darauf hindeutet, dass 20 °C die optimale Entwicklungstemperatur für *D. platura* ist. Bei diesem Versuch betrug die mittlere (\pm SEM) Entwicklungsduer pro Stadium 4,9 \pm 1 Tag für das Ei- ($n = 38$), 8,9 \pm 1,4 Tage für das Larven- ($n = 30$), 11 \pm 2,3 Tage für das Puppen- ($n = 18$) und 17 \pm 7 ($n = 23$) für das Adultstadium. Bei 15 °C schloss ein geringerer Anteil (36 %) der Individuen ihren Lebenszyklus ab, die adulten Insekten hatten jedoch eine längere Lebensspanne (63,9 \pm 17,1 Tage). Bei 25 °C und 30 °C erreichte ein geringerer Anteil (27 %) der Individuen das Erwachsenenstadium und die Lebensdauer war kurz (10,8 \pm 4,8 bzw. 4,3 \pm 2,8). Interessanterweise erreichten einige Puppen aus Versuchen bei 5 °C und 10 °C das Erwachsenenstadium, wenn die Temperaturen allmählich in Richtung des Optimums erhöht wurden. Die in dieser Untersuchung gewonnenen Daten können zur Parametrisierung und Entwicklung von Simulationsmodellen für die Vorhersage der Phänologie von *D. platura* verwendet werden.

4.3.3 Entwicklung eines Basismodells für *D. platura* (UAP 3.3)

Anhand der Klimaschrankdaten wurden vorläufige Parameter für die Erstellung des EHS SIMDEPLA mithilfe von PhenoLogit umgesetzt. Bei der ersten Überprüfung mit den sehr wenigen Freilanddaten zeigten die Parameter aus dem Klimaschrank bei 20 °C die beste Anpassung. In Abbildung 49 ist das proportionale Auftreten des adulten Entwicklungsstadiums mit drei Generationen im Jahresverlauf dargestellt. Die Stadien „Eier“ und „Larven“ können zugeschaltet werden. Da hier zu wenige Monitoringdaten zugrunde liegen, kann keine Validierung durchgeführt werden. Dennoch könnte das EHS Beratern und Beraterinnen der

Pflanzenschutzdienste der Länder zum Test zur Verfügung gestellt werden. Auch hier kann ein graphischer Balken mit Maßnahmen hinzugefügt werden, der z. B. die Anwendung eines Kulturschutznetzes empfiehlt.

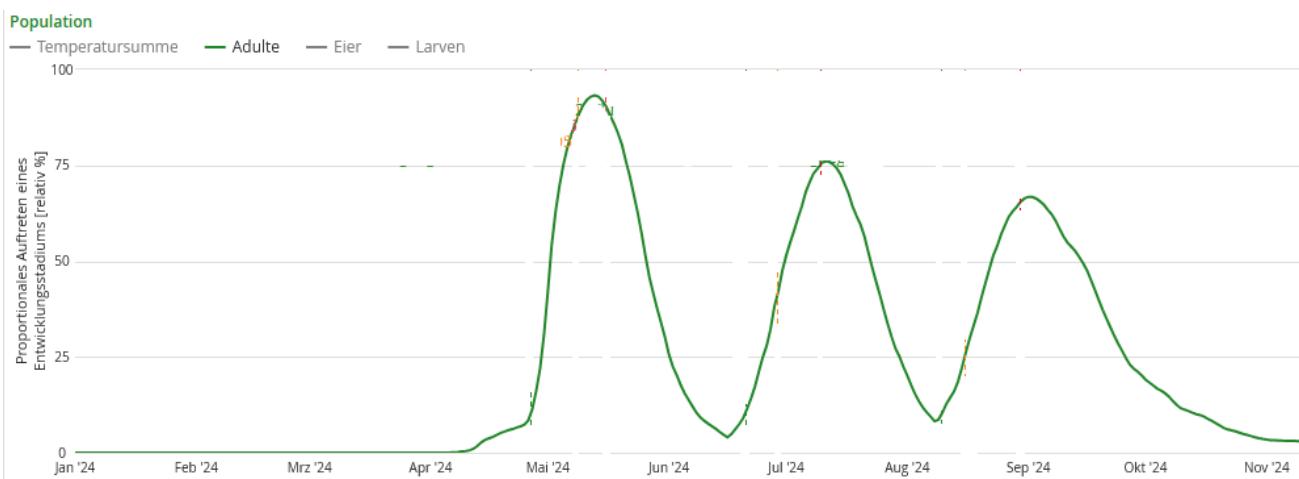


Abbildung 49: Modellergebnis des EHS SIMDEPLA in der Modellentwicklerversion in ISIP für den Beispielschlag Braunschweig 2024.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 AP 1: Möhrenfliege

5.1.1 Auswahl des Modells

Beide Modelle sind grundsätzlich für die Anwendung in der Beratung nutzbar, da mehr als 75 % der Vorhersagen (Ausnahme SWAT – 1. Generation mit 60 % der Vorhersagen) im Toleranzbereich liegen. Die übrigen Prognosen sagen im Vergleich zu den Beobachtungen im Feld einen früheren Start voraus (Ausnahme PSIOPRO – 2. Generation mit 13 % zu späten Vorhersagen). Eine zu frühe Vorhersage kann Vor- und Nachteile haben. Generell ist es empfehlenswert ein paar Tage Vorlauf vor dem Start einer Möhrenfliegengeneration zu haben, um den Hinweis „Feldkontrolle“ herauszugeben oder der Praxis Zeit zur Vorbereitung der Maßnahmen zu geben. Wenn die Vorlaufzeit aber zu lang ist z. B. -30 Tage, dann werden Maßnahmen wie z. B. eine Netzabdeckung viel zu früh vor dem Möhrenfliegenflug umgesetzt und behindern dadurch unter Umständen Kulturarbeiten wie z. B. das Unkrauthacken. Bei einer zu späten Vorhersage hingegen könnten Maßnahmen zu spät ergriffen werden, sodass die Möhrenfliege Zeit zur Eiablage hat. Dieses kann dann im weiteren Jahresverlauf zu Schäden in den Möhren führen.

PSIOPRO lässt sich im Gegensatz zu SWAT sehr leicht in das bestehende ISIP-System integrieren. Die Entwicklung des Modells durch die ZEPP und die enge Zusammenarbeit zwischen ZEPP und ISIP ermöglichen auf lange Sicht eine bessere Betreuung und Wartung von PSIOPRO. Dieses ist für SWAT nicht der Fall, da es keinen aktiven Support für SWAT durch die Entwickler geben kann. Das gute Abschneiden in der Modellvalidierung und insbesondere das Ziel, das gewählte Modell für die Beratungspraxis über einen längerfristigen Zeitraum zu betreuen und weiterzuentwickeln, führte zu der Wahl von PSIOPRO als Prognosemodell für das EHS und die Integration in die ISIP-Plattform.

5.1.2 Nutzen der Entscheidungshilfe für den Ökolandbau

Im Entscheidungshilfesystem werden zwei wichtige Zeitpunkte vorhergesagt, an denen Maßnahmen notwendig werden und die den Praktiker und die Praktikerin bei der Entscheidung unterstützen: Der Zeitpunkt der Flugaktivität der Möhrenfliege und der Zeitpunkt, ab dem eine bestimmte Schadenshöhe zu erwarten ist. Zusätzlich bietet das EHS Hilfe bei der Flächenplanung.

Ungenauigkeiten in der Modellierung der Flugaktivität können bei einem EHS dazu führen, dass die Handlungsempfehlungen nicht den erwünschten Erfolg bei der Umsetzung der Bekämpfungsmaßnahme

erzielen. Bei der Möhrenfliege ist eine mögliche Handlungsempfehlung das Schließen einer Netzabdeckung. Würde man die Möhren erst nach dem Einflug der Möhrenfliege abdecken, könnte die Eiablage an der Möhre schon stattgefunden haben und signifikante Schäden trotz ergriffener Maßnahme auftreten. Die Netzabdeckung sollte daher ein paar Tage vor dem erwarteten Einflug der Möhrenfliege aufgelegt werden. Das optimierte Prognosemodell PSIROPRO zeigt in den meisten Fällen einen im Vergleich zu den Beobachtungen im Feld zu frühen oder passenden Zeitpunkt für die Netzabdeckung an. Die Netzabdeckung kann daher rechtzeitig vor der Eiablageaktivität auf die Möhren gelegt werden. Wird die Maßnahme wenige Tage zu früh empfohlen, mindert dies zudem den Zeitdruck für die Gemüseanbauenden und es steht mehr Zeit für die Einsatzplanung zur Verfügung. Andererseits ist es auch wichtig, dass die Netzabdeckung nicht zu weit im Voraus empfohlen wird, um z. B. andere Pflanzenschutzrisiken wie Verunkrautung oder Pilzkrankheiten zu minimieren. Das auf PhenoLogit basierende EHS berücksichtigt diese Umstände und lag in den Validierungstest stets in einem guten Toleranzbereich.

Die zweite Handlungsempfehlung bezieht sich auf den Zeitpunkt ab wann mit Schäden in den Möhren zu rechnen ist. Dabei können individuell zu berücksichtigende betriebliche Anforderungen, wie z. B. die Qualitätskriterien des Vermarkters oder der Vermarktungsrichtung, berücksichtigt werden. Je nach Betriebsprofil kann die Risikotoleranz eingestellt und entsprechende Maßnahmen in der Jahresplanung aufgenommen werden. Bei betrieblich festgelegten Ernteterminen lässt sich beispielsweise anhand des EHS abschätzen, ob noch Bekämpfungsmaßnahmen nötig sind oder ob man auf die Netzabdeckung verzichten kann - je nachdem ob der Erntetermin im kritischen Schädigungsbereich liegt oder nicht. Sind die Erntetermine flexibel wählbar, kann der Möhrenanbauende den Erntetermin entsprechend der Risikoeinschätzung des EHS legen, und so Schäden an den Möhren minimieren. Mögliche Szenarien, die der Landwirt selbst auswählen kann, können eine Randreihenbeerntung oder eine sequenzielle Beerntung von Flächen ausgehend von ihrer Nähe zu Altflächen beinhalten.

Bei der Flächenplanung und Flächenauswahl unterstützt das integrierte GIS-Modul. Der Schaden durch die Möhrenfliege ist sehr gut über Flächenseparierung zu begrenzen, d. h. es wird ein Abstand von 1 km zwischen Alt- und Neufläche eingehalten. Wenn Betriebe die Möglichkeit haben die eigenen Flächen unter diesen Bedingungen zu bewirtschaften, ist es möglich die Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Möhrenfliege zu reduzieren, was ökonomisch einen Vorteil hinsichtlich der Produktqualität, des Einsatzes von Betriebsmitteln und des Arbeitsaufwandes bedeuten kann. Wenn es den Betrieben nicht möglich ist die nötigen Flächenabstände einzuhalten, dann bietet das in PSIROPRO integrierte GIS-Modul eine Entscheidungshilfe, aus der Risikoflächen, mögliche Einflugschneisen und optimale Fallenstandorte abgeleitet werden können.

Das entwickelte EHS bietet große Möglichkeiten bei der präventiven Befallsvermeidung, indem es im gesamten Jahresverlauf bei der Entscheidungsfindung unterstützt: von der Vorplanung vor dem Anbaujahr, über die Prognose der kritischen Aktivitätszeitpunkte der Möhrenfliege bis hin zur strategischen Ernteplanung.

5.1.3 Monitoring-Empfehlungen

Grundsätzlich wurde im Projekt keine neue Monitoringmethode für die Möhrenfliege entwickelt, sondern die bestehende Methode optimiert und Empfehlungen für das Aufstellen der Fallen herausgearbeitet.

Die gängige Fangmethode sind drei orange Monitoringfallen pro Feld (Abstand zwischen den Fallen 30 m), die im 45° Winkel in Richtung Feldrand aufgestellt werden. Die Fallen sollten in die ersten 2-3 Möhrendämme gestellt werden. Auf dem Feld sollte der Standort in Richtung des zu erwartenden Einflugs der Möhrenfliege gewählt werden und am besten in einem Feldbereich sein, wo Randvegetation und Rückzugsorte für die Möhrenfliege vorhanden sind. Die Fallen sollten mindestens einmal pro Woche ausgewertet werden. Im Laufe des Projekts wurden auf den Tafeln viele Möhrenfliegen gefangen und konnten leicht mit bloßem Auge bestimmt werden. Im Jahresverlauf traten zwei weitere Fliegen auf, die auf dem ersten Blick der Möhrenfliege sehr ähnelten. Wenn man sich aber an die Merkmale und Bestimmungsschlüssel hält, dann ist eine Unterscheidung der Fliegen mit bloßem Auge möglich. Es ist allerdings empfehlenswert, das Erkennen der Möhrenfliegen auf den Leimtafeln besonders als Neueinsteiger zu üben und sich mit erfahrenen Personen auszutauschen. Beim Einkauf der Leimtafeln ist zu beachten, dass man den richtigen Orangeton wählt. Auf dem

Markt sind sowohl Tafeln in signalorange, als auch in gelb-orange erhältlich. Gelb-orange Fallen, waren jahrzehntelang im Einsatz, signalorange Fallen sind neueren Datums. Ein im Rahmen dieses Projektes durchgeföhrter erster Vergleich zeigte, dass die signalorangen Fallen weniger Möhrenfliegen fangen, als die gelb-orangen Fallen. Dieses muss berücksichtigt werden, wenn der Fallentyp beim Monitoring geändert wird. Mit gelb-orangen Fallen erworbene Erfahrungswerte müssen dann überprüft werden. Es ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass die in der Literatur zu findenden Schad- und Bekämpfungsschwellen bei Änderung des Fallentyps ebenfalls nicht ohne weiteres übertragen werden können.

Die Untersuchungen zeigten, dass die getesteten Möhrensorten keinen Einfluss auf den Befall haben. Deshalb wurde die Möhrensorte im entwickelten EHS nicht weiter berücksichtigt und die Handlungsempfehlungen des EHS bleiben von der Sortenwahl unbeeinflusst. Inwieweit das Möhrenstadium attraktiv auf die Möhrenfliegen ist und als Risikofaktor in einem EHS berücksichtigt werden müsste, konnte im Rahmen des Projektes nicht geklärt werden, da die durchgeföhrten Versuche keine signifikanten Aussagen zuließen.

5.2 AP 2: Kleine Kohlfliege

5.2.1 Auswahl des Modells

Beide Modelle eignen sich grundsätzlich für die Anwendung in der Beratung zur Vorhersage des Eiablagebeginns der 1. und 2. Generation, da mehr als 70 % der Vorhersagen im Toleranzbereich liegen. Die Vorhersage des Eiablagebeginns der 3. Generation hingegen ist für beide Modelle schlechter, wobei bei SIMDERA 52 % der Vorhersagen korrekt waren. In den Monitoringdaten wurde eine ständige Präsenz von Kohlfliegeneiern zum Ende des Jahres hin beobachtet, sodass auch hier die Abgrenzung der dritten Generation nicht einfach war. Insgesamt waren bei der Kohlfliegen-Modellvalidierung mehr Vorhersagen „zu spät“ als bei der Möhrenfliegen-Modellvalidierung. Insbesondere für den Eiablagebeginn der 2. Generation waren 13 % (SWAT) beziehungsweise 27 % (SIMDERA) der Vorhersagen zu spät. In der Praxis könnte dies zu einem verspäteten Durchführen von Maßnahmen und damit zu Schäden an den Kohlpflanzen führen (vgl. 5.1.1).

Wie auch bei PSIOPRO, lässt sich SIMDERA besser in das bestehende ISIP-System integrieren und zukünftig intensiv durch ZEPP und ISIP betreuen und warten. Dieser Aspekt und das gute Abschneiden in der Modellvalidierung führten zur Auswahl von SIMDERA als Prognosemodell für das EHS.

5.2.2 Nutzen der Entscheidungshilfe für den Ökolandbau

Das EHS unterstützt insbesondere bei der Prognose des Eiablagebeginns der 1. und 2. Generation der Kleinen Kohlfliege.

Auch bei SIMDERA können Ungenauigkeiten in der Vorhersage der Eiablageaktivität dazu führen, dass die Umsetzung von Handlungsempfehlungen des EHS nicht zum gewünschten Erfolg führen. Analog zur Möhrenfliege wird zum Schutz der Kulturpflanzen das Schließen einer Netzabdeckung gegen die Kleine Kohlfliege empfohlen. Das optimierte Prognosemodell SIMDERA zeigt auch hier einen im Vergleich zur Feldbeobachtung passenden Zeitpunkt für die Netzabdeckung, sodass Maßnahmen rechtzeitig vor der Eiablageaktivität ergriffen werden können.

5.2.3 Monitoring-Empfehlungen

Bei der Kohlfliege wurden während der Projektlaufzeit hauptsächlich zwei Monitoringmethoden untersucht, die Eimanschette und die Sandmethode. Beide Methoden eignen sich zum Monitoring der Kleinen Kohlfliege. Jedoch bieten beide Methoden Vor- und Nachteile.

Die Eimanschette weist im Jahresverlauf durchgehend eine hohe Selektivität gegenüber den Eiern der Kleinen Kohlfliege auf. Über 95 % der untersuchten Eier waren Kohlfliegeneier. Bei der Sandmethode war die Selektivität nicht so stark ausgeprägt. Dort schwankte die Selektivität zwischen knapp 60 % und 92 %. In jeder über die Sandmethode erfolgten Erhebung, ist folglich damit zu rechnen, dass ein nicht unerheblicher Teil der detektierten Eier keine Kohlfliegeneier sind.

Beim Vergleich der Quantität schneidet die Sandmethode jedoch besser ab. Insgesamt wurden an mehr Tagen Kohlfliegeneier nachgewiesen und die festgestellten Anzahlen lagen grundsätzlich höher. Dies bringt jedoch auch Probleme bei der Trennschärfe mit sich, da die drei Generationen der Kleinen Kohlflege schlechter auseinandergehalten werden können. Letzteres muss unter Umständen auch bei der Festlegung von Kriterien für zukünftige Modellvalidierungen berücksichtigt werden. Die hier vorliegenden Daten lassen den Schluss zu, dass die Sandmethode den Beginn einer Generation 1-2 Wochen früher anzeigen kann, als die Überwachung mit der Eimanschette. Eine mögliche Attraktivität des Sandes für die Eiablage und die Verunreinigung der Proben mit Wurzelfliegeneiern, kann zudem zu einer Überschätzung des Befalls mit der Kleinen Kohlflegen führen.

Die Anwenderfreundlichkeit der Methoden hängt stark von der Kohlkultur und dessen Wachstumsstadien ab. Bei Kopfkohlen wie z. B. Weißkohl oder Spitzkohl ist die Verwendung der beiden Monitoringmethoden nur in den jungen Kohlstadien möglich. Sobald die Blätter und der Spross größer werden, ist der Wurzelhals nicht mehr zugänglich und beide Methoden liefern keine verwertbaren Ergebnisse mehr. Kohlarten wie Kohlrabi, Brokkoli oder Blumenkohl eignen sich über einen längeren Zeitraum, da der Übergangsbereich von Sprossachse zur Wurzel größtenteils freiliegend ist und man sowohl die Sandmethode als auch die Eimanschette gut anbringen kann. Da die Fliegen die Eier zu späteren Zeitpunkten nicht mehr in den Boden, sondern in die Köpfe und Blattachseln der Pflanzen legen, sind die Fallen jedoch nicht geeignet ein Monitoring über eine Kulturdauer im selben Satz durchzuführen.

Beim Vergleich der Dauer, die es benötigt, um die Erhebung durchzuführen und anschließend für das nächste Intervall vorzubereiten ergibt sich ein Vorteil für die Eimanschette. Sie benötigt kein Zusatzmaterial wie Gefäße oder Wasser für das Aufschwemmen.

Abschließend lässt sich keine klare Empfehlung für eine der beiden Monitoringmethoden aussprechen. Beide besitzen individuelle Vor- und Nachteile, sodass die Entscheidung in jeder Situation abhängig von Standort Monitoring und Kohlart getroffen werden sollte. In der Praxis ist vermutlich die Eimanschette vorzuziehen, dass sie auf Grund ihrer Selektivität und der leichteren Interpretierbarkeit der Ergebnisse klarere Aussagen zulässt. Für Behörden und Forschungsinstitute, hat die Sandmethode oder auch die reine Ackerbodenmethode Vorteile, da sie umfassendere Daten liefert, die für Modellvalidierungen entscheidend sein können. Für ein ständiges Monitoring sollten Kohlarten satzweise kultiviert werden, die vom Habitus möglichst lange ohne Dickenwachstum am Hypokotyl auskommen, wie z. B. Blumenkohl, Kohlrabi oder Brokkoli.

5.3 AP 3: Wurzelfliegen

5.3.1 Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung von *D. platura* (UAP 3.1)

Die Beobachtungen in den Entwicklungsversuchen stehen teilweise im Gegensatz zu ähnlichen Untersuchungen aus Kanada, in denen bei 5 °C keine Entwicklung stattfand. Es scheint, dass die Population am JKI in Braunschweig (52°16'35,7"N, 10°33'56,4"E) eine breitere Temperaturtoleranz besitzt und kühtere Winter besser übersteht als die Populationen in Kanada. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Zunahme der Wurzelfliegenproblematik der letzten Jahre eher auf veränderte landwirtschaftliche Szenarien und Bekämpfungsmöglichkeiten zurückzuführen ist, als auf den Klimawandel. Insbesondere auf die Zunahme des intensiven Anbaus von Raps und die Abnahme insektizider Saatgutbehandlungen

5.3.2 Mit Kulturmaßnahmen Schäden vermeiden

Mit entsprechenden Kulturmaßnahmen kann man die Gefahr durch Wurzelfliegen minimieren. Die Projektergebnisse zeigen, dass vor allem die ersten Sätze nach der Vliesabdeckung im Mai gefährdet sind und vereinzelt Sätze im Juni und Juli betroffen sind. Je länger die Vliesabdeckung auf den Bohnen bleibt, desto niedriger die Gefahr von Schäden in den Buschbohnen durch Wurzelfliegen. Für die Sätze im Juni und Juli ist zu beachten, dass vor allem die Sätze die als Zweitkultur nach Kulturen wie z. B. Frühkartoffeln oder Wintergerste angebaut werden, gefährdet sind. Die frisch verrottende Biomasse auf dem Feld scheint die Wurzelfliegen anzulocken. Aus demselben Grund empfehlen wir den Verzicht auf organische Dünger auf den Buschbohnenflächen.

6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.

Im Projekt wurden praxisrelevante Ergebnisse erzielt, die direkt praktisch anwendbar sind. Die im Rahmen dieses Projektes entwickelten Entscheidungshilfesysteme für die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege sind durch Berater und Landwirte unmittelbar nutzbar. Durch die EHS ist eine optimierte Anbauplanung möglich, die dabei hilft, Schäden durch Hauptkulturschädlinge zu minimieren oder zu verhindern. Der Zugang zu den EHS wird über den ISIP e.V. gewährleistet. Die Voraussetzung für die Nutzung ist eine Registrierung auf der Plattform. Die Nutzung ist grundsätzlich kostenfrei. Zugangsbeschränkungen ergeben sich nur durch die gestaffelten Testphasen. Zunächst sind neue Modelle nur in einem internen Bereich für geschulte und informierte Nutzer, wie beratende der Pflanzenschutzdienste zugänglich. Mittelfristig stehen erfolgreich getestete Modelle jedoch auch Landwirten und anderen Endnutzern zur freien Verfügung. Ein Transfer in die Praxis hat über Beraterschulungen und Tagungs-Präsentationen bereits stattgefunden. Alle relevanten Informationen sind auf den Merkblättern zusammengefasst.

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

Vom ursprünglichen Zeitplan musste während der Projektzeit aus unterschiedlichen Gründen wiederholt abgewichen werden. Die Gründe dafür lagen vorwiegend in personellen Engpässen und wurden bereits in den Zwischenberichten und Änderungsanträgen ausführlich dargelegt. Auf Grund dieser Schwierigkeiten war für die Erreichung der Projektziele eine Verlängerungsphase von 8 Monaten notwendig.

Der ursprüngliche Zeitplan sah zwei parallele Handlungsstränge vor. Zum einen die Freilanderhebungen, wie Monitorings, Untersuchungen zur Risikoanalyse aber auch die Vorbereitung und Durchführung von Klimakammer- und Laborversuchen. Zum anderen die Arbeiten an den Modellen, Validierung, Optimierung, GIS-Modul-Entwicklung und Implementierung. Bereits im ersten Jahr konnte die Wissenschaftlerstelle für einige Monate nicht voll besetzt werden, sodass die Modellierungstätigkeiten verspätet beginnen mussten. Gegen Ende des ersten Projektjahres verließ die technische Assistentin das Projekt und die Stelle konnte für 1 Jahr nicht nachbesetzt werden, die Modellierungstätigkeiten mussten ausgesetzt und die Freilandtätigkeiten durch die Wissenschaftler kompensiert werden. Im dritten Projektjahr gelang es durch Aufstockung der TA-Stelle eine technische Assistentin einzustellen und einige Arbeiten aufzuholen. Die Modellierungstätigkeiten konnten fortgeführt werden, waren jedoch deutlich in Zeitverzug. Die beschriebenen Komplikationen spielten sich vorwiegend am JKI ab, die Arbeiten der LWK waren davon weitgehend unberührt, sodass lediglich eine passive, beratende Tätigkeit der LWK während der Verlängerungsphase notwendig war. Die Unterauftragnehmer ZEPP und ISIP waren insofern betroffen, dass wichtige Zuarbeiten und Synchronisationen für die Modellvergleiche nicht zum geplanten Zeitpunkt vorlagen, um eine effektive Projektarbeit zu gewährleisten.

Zudem traten während des Projekts unvorhergesehene Arbeitsintensivierungen durch neue Erkenntnisse hinzu, die den Workload maßgeblich erhöhten. Insbesondere die Vermischung von Eigelegen der Spezies *D. radicum*, *D. platura* und *D. florilega* in den Kohl-Kulturen machten eine aufwändige Bestimmung der Eigelege erforderlich.

Entgegen des ursprünglichen Zeitplans konnten manche Ziele nicht mehr erreicht werden. Hierzu gehören die Entwicklung einer Tracermethode für die Untersuchung des Ausbreitungsverhaltens der Kleinen Kohlfliege bis hin zur Praxisreife mit anschließender Anwendung im Freiland, aber auch die Entwicklung eines Wurzelfliegen-Prognosemodells bis hin zur Praxistauglichkeit mit anschließender Aufschaltung auf der Plattform des ISIP. In beiden Bereichen konnten jedoch wegweisende Vorarbeiten geleistet werden, die eine Umsetzung in fortführenden Forschungsprojekten erleichtern.

Manche Untersuchungen führten auf Grund ungünstiger Umweltbedingungen nicht zum erwünschten Erfolg. Dies betraf die schwache Entwicklung von Kulturpflanzen oder das zu geringe Auftreten der Zielorganismen.

In diesen Fällen konnten die fehlenden Erkenntnisse jedoch weitgehend durch synergistische Untersuchungen der Projektpartner kompensiert werden.

Allen Widrigkeiten zum Trotz wurden letztlich alle wesentlichen Projektziele erreicht. Zum Projektende ist auf der Plattform des ISIP ein validiertes, praxistaugliches Entscheidungshilfesystem für die Möhrenfliege und die Kleine Kohlfliege verfügbar und der Transfer in die Praxis hat im Rahmen von Beraterschulungen und Tagungs-Präsentationen bereits begonnen.

8 Zusammenfassung

Entscheidungshilfesysteme dienen zur Unterstützung für Beratung und Praxis zur gezielten Planung von Anbau und Kulturschutzmaßnahmen und sind ein wesentlicher Baustein im nicht-chemischen Pflanzenschutz. Prognosemodelle, die die Aktivität der Schädlinge vorhersagen, sind ein zentraler Bestandteil der EHS, sodass ihre Genauigkeit eine entscheidende Rolle spielt. SWAT, ein Prognosemodell für Gemüsefliegen, wurde bisher häufig in der Praxis genutzt um die Aktivität von Kleine Kohlfliege und Möhrenfliege vorherzusagen. Dabei wurden teils große Abweichungen zu den beobachteten Aktivitäten festgestellt. Daher wurde in diesem Forschungsprojekt das Prognosemodell mit Monitoringdaten validiert und mit dem alternativen Modellansatz PhenoLogit verglichen. Zusätzlich wurden Freiland- und Klimakammerversuche zum Befallsrisiko verschiedener BBCH-Stadien, Kulturarten und Sorten durchgeführt.

Das Monitoring der Möhrenfliege und der Kleinen Kohlfliege konnte die Populationsdynamik der jeweiligen Gemüsefliege gut erfassen. Auch eine Erfassung der Eier der Möhrenfliege mithilfe von Sand zeigte die Aktivität der Möhrenfliege an, allerdings später als auf den Klebetafeln. Der Vergleich von Klebetafeln unterschiedlicher Farbe deutete darauf hin, dass signalorange Klebetafeln weniger fängig waren als gelb-orange, aber dennoch die gleichen Aktivitätszeiträume detektierten. Das Monitoring der Kleinen Kohlfliege fand standardmäßig mit Eimanschetten statt. Zusätzlich wurde im Projekt auch noch die Sandmethode getestet, bei der Spielsand um den Wurzelhals der Kulturpflanze gegeben wurde. Anschließend wurde der Sand wieder eingesammelt und die Eier durch Aufschwemmen bonitiert. Insgesamt wurden in der Sandmethode etwa 4-mal so viele Eier festgestellt wie in den Eimanschetten und auch der Start einer Generation wurde etwas früher vorhergesagt. Die Sandmethode zeigte zudem oft eine Aktivität der Kleinen Kohlfliege an, wenn die Eimanschette keine Eier enthielt. Anders als die Eimanschette, die sehr selektiv für die Kleine Kohlfliege war, gab es in den Monaten Mai bis Juli der Projektjahre eine hohe Beimischung von Eiern der Wurzelfliegen in der Sandmethode. Für das Monitoring der Wurzelfliegen wurde eine kombinierte Falle aus Bäckerkiste, Weißschale und Kompost, die vom LfULG Sachsen empfohlen wurde, getestet und für praktikabel befunden.

Zusätzlich zum Monitoring wurden Freiland- und Klimakammerversuche zum Einschätzen des Befallsrisikos der Flächen und Kulturen durchgeführt. Für die Möhrenfliege konnte beobachtet und bestätigt werden, dass die Möhrenfliegen der 1. Generation zunächst auf den Altflächen schlüpfen und von dort ca. eine Woche später in die Neuflächen einfallen und primär den in Richtung der Altfläche liegenden Feldteil befallen. Der Vergleich der Attraktivität verschiedener Möhrensorten auf die Möhrenfliege zeigte hingegen keine signifikanten Unterschiede. Für die Kleine Kohlfliege wurden sowohl im Freiland- als auch im Klimakammerversuch signifikante Unterschiede in der Anzahl abgelegter Eier pro Pflanze zwischen verschiedenen Kohlarten festgestellt. Während im Freiland signifikant mehr Eier an Kohlrabi, Blumenkohl und Chinakohl im Vergleich zu Raps, Rübse und Steckrübe festgestellt wurden, wurden in der Klimakammer signifikant mehr Eier an Brokkoli im Vergleich zu Raps und Kohlrabi bonitiert. Generell legten die Kohlfliegen ihre Eier an der Stammbasis bzw. in den Eimanschetten ab, bei großen Umblättern aber auch in die Deckblätter. Zudem wurden sowohl in der Klimakammer als auch im Freiland ein Unterschied in der Attraktivität verschiedener BBCH-Blattstadien festgestellt. Während im Freiland für Kohlrabi Pflanzen die BBCH-Stadien 13, 15, 16, 17 und 18 signifikant höhere Eiablagezahlen als BBCH 12, 14 und 19 aufwiesen, wurden in der Klimakammer an Brokkolipflanzen im BBCH-Stadium 18, 19 und 21 signifikant mehr Eier abgelegt als an denen im BBCH-Stadium 12-17 und 20. Zur Untersuchung des Ausbreitungsvermögens der Kleinen Kohlfliege mithilfe eines Release-Recapture-Verfahrens wurden wertvolle Vorarbeiten durchgeführt. Die Analyse der Stabilisotope zeigte deutliche Unterschiede zwischen dem Isotopenprofil der Fliegen aus der Laborzucht und dem Freiland.

Auch die Anreichung der Fliegen mit ^{15}N durch markierte Rettichpflanzen war erfolgreich und bildet damit eine gute Grundlage für zukünftige Projekte.

Der Vergleich des Prognosemodells SWAT mit dem jeweiligen Modellansatz von PhenoLogit, PSIOPRO für die Möhrenfliege und SIMDERA für die Kleinen Kohlfliege, ergab, dass beide Modelle für die Anwendung geeignet sind, da sie mehr als 70 % der beobachteten Starts der jeweiligen Fliegengeneration korrekt vorhersagten. Da für die Modellansätze von PhenoLogit eine bessere zukünftige Betreuung und Wartung sichergestellt werden konnte als für SWAT, wurden SIMDERA und PSIOPRO auf der ISIP-Plattform integriert und stehen im internen Bereich der Beratung zur Verfügung. Mithilfe der physiologischen Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit der Larvalentwicklung wurden Parameter für den Modellansatz zur Bohnenfliege *D. platura* in PhenoLogit, SIMDEPLA, ermittelt. Das Modell konnte allerdings noch nicht validiert werden, da nicht ausreichend Monitoringdaten vorlagen. Hier bietet sich ein Anknüpfungspunkt für zukünftige Projekte.

Basierend auf den jeweiligen Prognosemodellen berechnen die Entscheidungshilfesysteme die Flugaktivität der Gemüsefliegen und liefern Hinweise zu Maßnahmen, wie Netzabdeckung und Ernte. Zusätzlich wurde das Modell PSIOPRO um ein GIS-Modul zur Anbauplanung ergänzt, das basierend auf den Vorjahresschlägen gefährdete Flächen für Möhrenfliegenbefall kennzeichnet.

9 Literaturverzeichnis

Beck, B., P. Spanoghe, M. Moens, E. Brusselman, F. Temmerman, S. Pollet und D. Nuyttens, 2014: Improving the biocontrol potential of *Steinernema feltiae* against *Delia radicum* through dosage, application technique and timing. Pest Management Science **70** (5), 841-851, DOI: 10.1002/ps.3628.

Biron, D.G., J.P. Nénon, D. Coderre, G. Boivin, 2003: Intra- and inter-specific variations on the chorionic ultrastructures of *Delia* eggs (Diptera: Anthomyiidae). Annals of the Entomological Society of America **96** (3), 245-249, 245.

Broatch, J.S., L.M. Dosdall, G.W. Clayton, K.N. Harker, R.-C. Yang, 2006: Using degree-day and logistic models to predict emergence patterns and seasonal flights of the cabbage maggot and seed corn maggot (Diptera: Anthomyiidae) in Canola. Environmental Entomology **35** (5), 1166-1177.

Burn, A.J., 1984: Life Tables for the carrot fly, *Psila rosae*. Journal of Applied Ecology **21** (3), 891-902, DOI: 10.2307/2405054.

Claude, J., B. Tissot 2023: Additional data on the fauna of Psilidae (Diptera) of France, with description of three new species of Chamaepsila and updated keys. Zootaxa, **5380** (2), 101–133. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5380.2.1>

Collier, R.H., S. Finch, 1990: Some factors affecting the efficiency of sticky board traps for capturing the carrot fly, *Psila rosae* (Diptera: Psilidae). Bulletin of entomological research **80** (2), 153-158, DOI: 10.1017/S0007485300013365.

Collier, R.H., S. Finch, 2009: A review of research to address carrot fly (*Psila rosae*) control in the UK. EPPO Bulletin **39** (2), 121-127, DOI: 10.1111/j.1365-2338.2009.02276.x.

Collier, R.H., S. Finch, G. Davies, 2001: Pest insect control in organically-produced crops of field vegetables. Mededelingen (Rijksuniversiteit te Gent. Fakulteit van de Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen) **66** (2a), 259-267.

Collier, R.H., S. Finch, K. Phelps, 1991a: A simulation model for forecasting the timing of attacks of *Delia radicum* on cruciferous crops. EPPO Bulletin **21** (3), 419-424, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.1991.tb01271.x>.

Collier, R.H., S. Finch, K. Phelps, A.R. Thompson, 1991b: Possible impact of global warming on cabbage root fly (*Delia radicum*) activity in the UK. Annals of Applied Biology **118** (2), 261-271, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb05627.x>.

Degen, T., 1998: Host-plant acceptance by the carrot fly: some underlying mechanisms and the relationship to host-plant suitability Basel, Universität Basel.

Degen, T., E. Städler, P.R. Ellis, 1999a: Host-plant susceptibility to the carrot fly, *Psila rosae*. 2. Suitability of various host species for larval development. Annals of Applied Biology **134** (1), 13-26, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1999.tb05231.x>.

Degen, T., E. Städler, P.R. Ellis, 1999b: Host-plant susceptibility to the carrot fly, *Psila rosae*. 3. The role of oviposition preferences and larval performance. Annals of Applied Biology **134** (1), 27-34, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1999.tb05232.x>.

Degen, T., E. Städler, P.R. Ellis, 1999c: Host-plant susceptibility to the carrot fly, *Psila rosae*. 1. Acceptability of various host species to ovipositing females. Annals of Applied Biology **134** (1), 1-11, DOI: [10.1111/j.1744-7348.1999.tb05230.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1999.tb05230.x).

Dennis, B.; Kemp, W. P.; Beckwith, R. C. (1986): Stochastic Model of Insect Phenology. Estimation and Testing. In: Environ Entomol 15 (3), S. 540–546. DOI: [10.1093/ee/15.3.540](https://doi.org/10.1093/ee/15.3.540).

Dennis, B.; Kemp, William P. (1988): Further Statistical Inference Methods for a Stochastic Model of Insect Phenology. In: Environ Entomol 17 (5), S. 887–893. DOI: [10.1093/ee/17.5.887](https://doi.org/10.1093/ee/17.5.887)

Deutscher Wetterdienst, 2024: Tägliche Stationsmessungen der ErdbodenTemperatur für Deutschland, Version v24.3

Ellis, P.R., 1999: The identification and exploitation of resistance in carrots and wild umbelliferae to the carrot fly, *Psila rosae* (F.). Integrated Pest Management Reviews **4** (3), 259-268, DOI: [10.1023/A:1009609414192](https://doi.org/10.1023/A:1009609414192).

Ellis, P.R., J.A. Hardman, P. Crisp, A.G. Johnson, 1979: The influence of plant age on resistance of radish to cabbage root fly egg-laying. Annals of Applied Biology **93** (2), 125-131, DOI: [10.1111/j.1744-7348.1979.tb06522.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1979.tb06522.x).

Ellis, S.A., J.E. Scatcherd, 2007: Bean seed fly (*Delia platura*, *Delia florilega*) and onion fly (*Delia antiqua*) incidence in England and an evaluation of chemical and biological control options. Ann Appl Biol **151** (2), 259-267, DOI: [10.1111/j.1744-7348.2007.00170.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00170.x).

Finch, S., 1989: Ecological considerations in the management of Delia pest species in vegetable crops. Annual Review of Entomology **34** (1), 117-137, DOI: [10.1146/annurev.en.34.010189.001001](https://doi.org/10.1146/annurev.en.34.010189.001001).

Flury, P., P. Vesga, A. Dominguez-Ferreras, C. Tinguely, C.I. Ullrich, R.G. Kleepsies, C. Keel, M. Maurhofer, 2019: Persistence of root-colonizing Pseudomonas protegens in herbivorous insects throughout different developmental stages and dispersal to new host plants. The ISME journal **13** (4), 860-872, DOI: [10.1038/s41396-018-0317-4](https://doi.org/10.1038/s41396-018-0317-4).

Gebelein, D., M. Hommes, M. Otto, 2001: SWAT: Ein Simulationsmodell für Kleine Kohlfliege, Möhrenfliege und Zwiebelfliege. Braunschweig, Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst. <https://www.yumpu.com/de/document/read/9221368/swat-julius-kuhn-institut>

Gebelein, D., 2023: Swat Release 2317, <https://github.com/dgebelein/swat-rfp/releases/tag/rel2317>

Hill, D.S., 1974: Susceptibilities of carrot cultivars to carrot fly (*Psila rosae* (F.)). Plant Pathology **23** (1), 36-39, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1974.tb01816.x>.

Herrmann, F., R. Wedemeyer, N. Liebig, H. Buck, M. Hommes, H. Saucke, 2010: Entwicklung situationsbezogener Strategien zur Vermeidung von Möhrenfliegenschäden auf Praxisbetrieben. BÖL-Bericht-Id 18200.

Hommes, M., D. Gebelein, 1996: Simulation models for cabbage root fly and the carrot fly. IOBC-WPRS Bulletin 19 (11), 60-65.

Irvine, P. M., 2011: Using a logistic phenology model with improved degree-day accumulations to forecast emergence of pest grasshoppers. Masterarbeit. University of Lethbridge, Lethbridge, Alberta, Canada. Department of Mathematics and Computer Science.

Johnsen, S., A.P. Guitierrez, J. Jorgensen, 1997: Overwintering in the cabbage root fly *Delia radicum*: A dynamic model of temperature-dependent dormancy and post-dormancy development. Journal of Applied Ecology 34 (1), 21-28, DOI: 10.2307/2404844.

Joseph, S.V., L.D. Godfrey, C. Bettiga, 2017: Influence of interval between postharvest lettuce residue management and subsequent seeding of broccoli on cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) infestation on broccoli. J Econ Entomol 110 (5), 2172-2179, DOI: 10.1093/jee/tox196.

Kapranas, A., I. Sbaiti, T. Degen, T. Turlings, 2020: Biological control of cabbage fly *Delia radicum* with entomopathogenic nematodes: Selecting the most effective nematode species and testing a novel application method. Biological Control 144, 104212, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2020.104212.

Köhler, L., 2015: Auswertung von Möhrenfliegenfängen im Raum Twistringen, unter Berücksichtigung der Vorjahresflächen. Bachelor-Arbeit, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover 61 S.

Lepage, M.P., G. Boivin, J. Brodeur, G. Bourgeois, 2014: Oviposition pattern of early and late-emerging genotypes of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) at different temperatures. Environ. Entomol 43 (1), 178-186, DOI: 10.1603/en13146.

Nieto, D.J., D.K. Letourneau, L. Toyama, J.A. Bryer, C. Slay, J. Muramoto, C. Shennan, 2019: Assessing anaerobic soil disinfestation as a control tactic for *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) in California brussels sprouts. Environ. Entomol 48 (3), 633-640, DOI: 10.1093/ee/nvz030.

Otto, M., M. Hommes, 2000: Development of a simulation model for the population dynamics of the onion fly *Delia antiqua* in Germany. EPPO Bulletin 30 (1), 115-119, DOI: 10.1111/j.1365-2338.2000.tb00862.x.

Parsons, C.K., P.L. Dixon, D. M. Colbo, 2007: Relay cropping cauliflower with lettuce as a means to manage first-generation cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) and minimize cauliflower yield loss. J Econ Entomol 100 (3), 838-846, DOI: 10.1603/0022-0493(2007)100[838:rccwla]2.0.co;2.

Roessingh, P., E. Städler, 1990: Foliar form, colour and surface characteristics influence oviposition behaviour in the cabbage root fly *Delia radicum*. Entomologia Experimentalis et Applicata 57 (1), 93-100, DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1990.tb01419.x>.

Reynolds, D.R., J.R. Riley, N.J. Armes, R.J. Cooter, M.R. Tucker, J. Colvin, 1997. Chapter 5 - Techniques for Quantifying Insect Migration. In: Methods in ecological and agricultural entomology (eds. Dent, D.R., Walton, M.P.). CAB International, Wallingford, UK, p. 387

Savage, J., A.-M. Fortier, F. Fournier, V. Bellavance, 2016: Identification of *Delia* pest species (Diptera: Anthomyiidae) in cultivated crucifers and other vegetable crops in Canada. Canadian Journal of Arthropod Identification 29 (1), 1-40, DOI: 10.3752/cjai.2016.29

Silver, N., K. Hillier, S. Blatt, 2018: Management of *Delia* (Diptera: Anthomyiidae) through selectively timed planting of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in Atlantic Canada. The Canadian Entomologist 150 (5), 663-674, DOI: 10.4039/tce.2018.36.

Söndgerath, D., W. Müller-Pietralla, 1996: A model for the development of the cabbage root fly (*Delia radicum* L.) based on the extended Leslie model. Ecological Modelling 91 (1), 67-76, DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(95\)00167-0](https://doi.org/10.1016/0304-3800(95)00167-0).

Stein, M., W. Lehmann, 1984: Untersuchungen zur Befallshäufigkeit von Speisemöhren mit der Möhrenfliege (*Psila rosae* F.). Arch. Gartenbau, Berlin 32 (8), 407-413.

Stuke, J.-H., 2019: Die Fliegen und Mücken Niedersachsens und Bremens – eine Zusammenstellung der bislang publizierten Arten (Insecta, Diptera). *Studia dipterologica Supplement 22*. Halle, Ampyx Verlag.

Throne, J.E., C.J. Eckenrode, 1986: Development rates for the seed maggots *Delia platura* and *D. florilega* (Diptera: Anthomyiidae). *Environmental Entomology* **15** (5), 1022-1027, DOI: 10.1093/ee/15.5.1022.

Turnock, W.J., G. Boivin, 1997: Inter- and intra-population differences in the effects of temperature on postdiapause development of *Delia radicum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **84** (3), 255-265, DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1570-7458.1997.00223.x>.

Weier, U., A. Wichura, 2014: Monitoring von Zwiebelfliegen (*Delia antiqua*) auf Praxisschlägen in Niedersachsen. *Julius-Kühn-Archiv* **447**, 414.

Withers, P., J. Claude, 2021: Les Psilidae de France (Diptera : Acalyptrata) : checklist et clés de détermination des genres et des espèces. *Naturae* **2021** (9): 115-135. DOI: <https://doi.org/10.5852/naturae2021a9>

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

Schorpp, Q., 2021. SWATOpti- Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATOpti) zur nicht-chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia* spp.) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen. Vortrag auf der 10. Tagung der ZEPP-Arbeitsgruppe Gartenbau am 29.09.2021

Schorpp Q., A.J. Pérez-Sánchez, C. Riggers, A. Römer, A. Wichura, 2022. Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATOpti) zur nicht-chemischen Regulierung der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*), der Kleinen Kohlfliege (*Delia radicum*) und Wurzelfliegen (*Delia* spp.) unter Verwendung von SWAT und Risikoanalysen -SWATOpti. Vortrag auf der 30. Tagung der Fachreferenten für Pflanzenschutz im Gemüse- und Zierpflanzenbau am 06.12.2022.

Riggers, C., A. J. Pérez-Sánchez, A. Römer, A. Wichura, Q. Schorpp, 2023. Altersabhängige Attraktivität von Brassicaceae-Pflanzen für die Kleine Kohlfliege (*Delia radicum*): Brokkoli (*Brassica oleracea L. var. italica*) als Studienmodell. Vortrag auf der 63. Deutschen Pflanzenschutztagung in Göttingen am 28.09.2023.

Roemer, A., A. Wichura, 2024. SWATOpti: Ein Blick hinter die Kulissen. Vortrag auf dem Hortisustainmeeting am 03.07.2024.

Schorpp Q., A.J. Pérez-Sánchez, C. Riggers, A. Römer, A. Wichura, 2024. Forschungsprojekt Swatopti. Posterpräsentation auf dem Hortisustainmeeting 2024.

Riggers C., A. J. Pérez-Sánchez, Q. Schorpp, A. Römer, A. Wichura, B. Kleinhenz, M. Schieler, P. Racca, J. Schmitt, M. Röhrg, 2024. Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATOpti) zur nicht-chemischen Regulierung von Gemüsefliegen: Das Entscheidungshilfesystem und die Modelle im Hintergrund. Vortrag auf der 31. Tagung der Fachreferenten für Pflanzenschutz im Gemüse- und Zierpflanzenbau am 27.11.2024.

Schorpp Q., A.J. Pérez-Sánchez, C. Riggers, A. Römer, A. Wichura, 2025. Temperature dependency of the development of the Central European *Delia platura*, Meigen 1826. Posterpräsentation auf der Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie 17.-20.03.2025.

Riggers C., A.J. Pérez-Sánchez, Q. Schorpp, A. Römer, A. Wichura, M. Schieler, P. Racca, J. Schmitt, M. Röhrg, 2025. Vergleich zweier Modelle für ein Entscheidungshilfesystem zur nicht-chemischen Regulierung von Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*) und Kleine Kohlfliege (*Delia radicum*). Vortrag auf der 64. Deutschen Pflanzenschutztagung in Braunschweig am 07.10.2025.

Roemer, A., A. Wichura, M. Schieler, P. Racca, Erarbeitung eines Web-basierten Managementsystems (SWATopti) zur nicht-chemischen Regulierung von Gemüsefliegen mit Hilfe von SWAT und Risikoanalysen am Beispiel der Möhrenfliege (*Chamaepsila rosae*). Posterpräsentation auf dem 9. Ökolandbautag Beratertagen in Triesdorf am 09.11.2024.

Roemer, A., A. Wichura, 2023. Entscheidungshilfemodell SWATopti: Neue Erkenntnisse zur Möhrenfliege, Kleinen Kohlfliege und Wurzelfliege Vortrag auf der Weiterbildungsschulung für Beratende im Ökolandbau beim Kompetenzzentrum Ökolandbau Niedersachsen (KÖN) in Visselhövede am 05.10.2023

Roemer, A., A. Wichura, 2023. Möhrenfliege, Kohlfliege und Co. Modellierung und Monitoring. Vortrag auf der Biofach Gemüse und Kartoffel in Visselhöfede 07.11.2023

Roemer, A., A. Wichura, 2023. SWATopti: Weiterentwicklung des Prognosemodells SWAT. Vortrag auf der Bundesberatertagung für Fachberater im Gemüsebau in Grünberg am 14.03.2023

Roemer, A., A. Wichura, 2024. Einfluss der Beratung auf den Bekämpfungserfolg der Möhrenfliege. Vortrag auf der Bundesberatertagung für Fachberater im Gemüsebau in Grünberg am 12.03.2024

Schieler, M., 2025. Schulung zum Entscheidungshilfesystem der Möhrenfliege, online, 23.04.2025.

Schieler M., P. Racca, J. Schmitt, A. Römer, A. Wichura, M. Röhrig, 2025. Entscheidungshilfesystem zur Regulierung der Möhrenfliege (PSIROPRO), Braunschweig, 64, Deutsche Pflanzenschutztagung

Danksagung:

Wir danken Manuela Schieler für die gute Zusammenarbeit bei der Modellvalidierung, der Entwicklung der Entscheidungshilfesysteme, und der Erstellung des Abschlussberichts. Dr. Paolo Racca für die Entwicklung der PhenoLogit Module für die Möhrenfliege, die Kleine Kohlfliege und die Bohnenfliege. Dr. Juliane Schmitt und Dr. Benno Kleinhenz für die Begleitung des Projekts von der Idee bis zu Realisierung. Besonderer Dank geht außerdem an Dr. Manfred Röhrig für die technische Umsetzung bei der Online-Stellung der EHS auf der Plattform des ISIP e.V..