

Evaluierung nachhaltiger Komponenten für den Integrierten Pflanzenschutz zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye (*Delia radicum* (L.)) im Kohlanbau

Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

zur Erlangung des Grades
Doktorin der Gartenbauwissenschaften
Dr. rer. hort.

genehmigte Dissertation

von

Malaika Herbst, M. Sc.

2017

Referent: Prof. Dr. Hans-Michael Poehling

Korreferent: Prof. Dr. Hartmut Stützel

Tag der Promotion: 15.09.2017

Zusammenfassung

Die Kleine Kohlflye (*Delia radicum*) zählt zu den bedeutendsten Schädlingen an *Brassica*-Arten in Europa und Nordamerika und kann beträchtliche ökonomische Verluste verursachen. Das Insekt ist schwer zu bekämpfen, da es an einer ausreichenden Anzahl wirksamer Pflanzenschutzmaßnahmen, gemäß den Kriterien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS), mangelt.

Ziel dieser Dissertation war es, verschiedene chemische und nachhaltige Pflanzenschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit gegen die Kleine Kohlflye zu untersuchen, wie auch deren Potenzial für den Einsatz unter praktischen Bedingungen zu testen.

Für eine erste Abschätzung ihrer Wirksamkeit wurden verschiedene Pflanzenschutzmaßnahmen zunächst in Versuchen in der Klimakammer an Rettichpflanzen überprüft. Keine der untersuchten Maßnahmen schützte Rettichwurzeln vollständig vor Schäden durch Larven, wobei diese nach Behandlung mit dem biologischen Insektizid SpinTor™ ebenso wie mit den chemischen Insektiziden (DPX-HGW86 10 OD, Dantop®, Coragen®) deutlich geringer ausfielen. Neben den oben genannten Pflanzenschutzmaßnahmen reduzierten auch entomopathogene Nematoden (*Steinernema feltiae* Stamm EN02) und Raubmilben (*Macrocheles robustulus*) die Schädlingspopulation weitgehend, im Fall von Nematoden sogar vergleichbar mit dem zugelassenen biologischen Referenzinsektizid SpinTor™. Kalkstickstoff (PERLKA®) und der entomopathogene Pilz *Beauveria bassiana* (Naturalis®) zeigten dagegen keine Wirkung auf die Entwicklung der Kohlflye.

Aufbauend auf die vorangegangenen Versuche wurde die Wirksamkeit ausgewählter und zusätzlicher Pflanzenschutzmaßnahmen unter praxisnahen Bedingungen im Freiland an Blumenkohl, Kohlrabi und Brokkoli überprüft und das Auftreten möglicher subletaler Effekte auf den Schädling und die wichtigsten natürlichen Feinde untersucht. Die Bekämpfungsleistung der Nematoden und Raubmilben erwies sich als variabel, während bei Kalkstickstoff (PERLKA®), Knoblauchgranulat (ECOguard®) und entomopathogenen Pilzen (*Beauveria bassiana* (Naturalis®), *Metarhizium brunneum* Stamm HJS-1154) keine Wirksamkeit nachzuweisen war. Einzig die Behandlung mit SpinTor™ reduzierte die Anzahl der Larven und Puppen sowie Fraßschäden an den Wurzeln zuverlässig. Aufgrund des geringen Befalls in den Versuchen waren allerdings weder das Frischgewicht noch der Anteil marktfähiger Köpfe durch Kohlflyenschäden beeinträchtigt. Keine der eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflusste Gewicht und Größe der Puppen oder die Schlupfrate der Kohlflye sowie deren natürliche Gegenspieler *Aleochara* spp. und *Trybliographa rapae* nachteilig.

Abschließend wurde in Klimakammerversuchen der Frage nachgegangen, ob und inwiefern unterschiedliche Substratfeuchtigkeiten sowie -typen die Effizienz von entomopathogenen Nematoden und Raubmilben beeinflussen, um die wesentlichen Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz dieser Antagonisten determinieren zu können. Dabei zeigte sich, dass die Wirksamkeit der Nematoden, im Gegensatz zu den Raubmilben, in trockenem Substrat höher als in feucht und nass eingestellten Varianten war. Der Substrattyp spielte keine Rolle für die Wirksamkeit der Antagonisten. Eine kombinierte Ausbringung der Antagonisten führte gegenüber Einzelausbringungen zu einer tendenziell geringeren Anzahl an überlebenden Kohlflyenstadien sowie zu verminderten Wurzelschädigungen.

Stichwörter: *Delia radicum*, Integrierter Pflanzenschutz, chemische und biologische Insektizide, Antagonisten, ökonomische Bewertung

Abstract

The cabbage root fly (*Delia radicum*) is one of the most important pests on cabbage crops in Europe and North America and can cause considerable economic losses. The insect is difficult to control as there is a lack of sufficient effective plant protection products according to the criteria of Integrated Pest Management (IPM).

The aim of this thesis was to investigate various chemical and sustainable plant protection measures with regard to their efficacy against the fly, as well as to evaluate their potential for use under practical conditions.

For an initial assessment of their efficacy, different plant protection measures were first examined on radish plants in climate chamber experiments. None of the investigated plant protection measures completely protected radish roots from damage caused by larvae, but damages were considerably lower after treatment with the biological insecticide SpinTor™ as well as with the chemical insecticides (DPX-HGW86 10 OD, Dantop®, Coragen®). Next to the above mentioned plant protection products, entomopathogenic nematodes (*Steinernema feltiae* strain EN02) and predatory mites (*Macrocheles robustulus*) also showed good results in reducing the cabbage root fly population, with nematodes being comparable to the authorized biological reference insecticide SpinTor™. Lime nitrogen (PERLKA®) and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Naturalis®) showed no effect against the fly.

Based on the preliminary studies, the efficacy of selected and additional plant protection measures was tested under practical conditions in the field on cauliflower, kohlrabi, and broccoli, and the occurrence of possible sublethal effects on the pest and its most important natural enemies was investigated. Basically, the success of the control was variable with nematodes and predatory mites, whereas no effect was achieved with lime nitrogen (PERLKA®), garlic granules (ECOguard®), and entomopathogenic fungi (*Beauveria bassiana* (Naturalis®), *Metarhizium brunneum* strain HJS-1154). Only the treatment with SpinTor™ reduced the number of larvae and pupae as well as root damage reliably. Due to low infestation levels in the trials, neither the fresh weight nor the proportion of marketable heads was affected adversely by root fly damage. None of the plant protection measures used influenced the weight and size of pupae or hatching rates of the cabbage root fly and their natural enemies *Aleochara* spp. and *Trybliographa rapae*.

Finally, the question whether and to what extent different substrate moisture regimes as well as the substrate type influence the efficacy of entomopathogenic nematodes and predatory mites was investigated in climate chamber experiments in order to determine the essential conditions for successful use of these antagonists. It was shown that the efficacy of nematodes, in contrast to the predatory mites, was higher in dry substrates compared to moist and wet ones. The substrate type did not play any role for the performance of antagonists. A combined application of the antagonists resulted in a generally lower number of surviving cabbage root fly stages as well as reduced root damage compared to the individual applications.

Keywords: *Delia radicum*, Integrated Pest Management, chemical insecticides and biological insecticides, antagonists, economic assessment

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Abstract.....	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1 Einführung	1
2 Ziele der Dissertation	3
3 Hintergrund.....	4
3.1 Bedeutung der Kleinen Kohlflye im Kohlanbau.....	4
3.1.1 Systematik, Erscheinungsbild und Verbreitung der Kleinen Kohlflye	4
3.1.2 Entwicklungszyklus	5
3.1.3 Schadwirkung.....	6
3.1.4 Wirtswahlverhalten.....	7
3.1.5 Monitoring und Bekämpfungsschwellen	7
3.1.6 Natürliche Feinde der Kleinen Kohlflye.....	9
3.2 Ein integriertes Pflanzenschutzkonzept für den Kohlanbau	11
3.2.1 Chemische Insektizide	11
3.2.1.1 Dantop® (Wirkstoff Clothianidin)	11
3.2.1.2 DPX-HGW86 10 OD (Wirkstoff Cyantraniliprol)	12
3.2.1.3 Coragen® (Wirkstoff Chlorantraniliprol)	13
3.2.2 Biologische Insektizide	13
3.2.2.1 SpinTor™ (Wirkstoff Spinosad)	13
3.2.2.2 ECOguard® - Knoblauchgranulat.....	14
3.2.2.3 Prüfmittel.....	15
3.2.3 Antagonisten	15
3.2.3.1 Entomopathogene Pilze (<i>Beauveria bassiana</i> und <i>Metarhizium brunneum</i>)	15
3.2.3.2 Entomopathogene Nematoden (<i>Steinernema feltiae</i>)	16
3.2.3.3 Raubmilben (<i>Macrocheles robustulus</i>)	17
3.2.4 Düngemittel.....	18
3.2.4.1 Kalkstickstoff.....	18
3.2.5 Wahl des Applikationszeitpunkts	19
3.2.6 Kulturtechnische Maßnahmen.....	21
3.2.6.1 Kulturschutznetze	21
3.2.6.2 Einflugbarrieren	21
3.2.6.3 Pflanzzeitpunkt, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge.....	22
3.2.6.4 Zwischenfruchtanbau und Fangstreifen	23

4	Wirksamkeit verschiedener Pflanzenschutzmaßnahmen gegen die Kleine Kohlfliege unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer	24
4.1	Einleitung	24
4.2	Material und Methoden.....	25
4.2.1	Anzucht der Versuchspflanzen und Insekten.....	25
4.2.2	Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen	25
4.2.3	Qualitätskontrolle von Nematoden.....	26
4.2.4	Versuchsaufbau	26
4.2.5	Versuchsdurchführung	27
4.2.6	Versuchsauswertung.....	28
4.2.7	Datenverarbeitung und statistische Auswertung.....	29
4.3	Ergebnisse	30
4.3.1	Anzahl der Kohlfliegenlarven und -puppen.....	30
4.3.2	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	33
4.3.3	Vergleich von Wirksamkeit und Schadreduktion in Abhängigkeit der Einsatzhäufigkeit und -stärke	37
4.3.3.1	Anzahl der Kohlfliegenlarven und -puppen	37
4.3.3.2	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	38
4.3.4	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht	38
4.3.5	Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfliegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze	39
4.3.6	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege	40
4.4	Diskussion.....	41
4.4.1	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Anzahl an Larven und Puppen	41
4.4.2	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Wurzelschäden.....	44
4.4.3	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht	45
4.4.4	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege	46
4.5	Schlussfolgerung.....	47
5	Wirksamkeit ausgewählter Pflanzenschutzmaßnahmen zur Kohlfliegenbekämpfung unter praxisnahen Bedingungen im Freiland	48
5.1	Einleitung	48
5.2	Material und Methoden.....	50
5.2.1	Untersuchungsstandorte und Überwachung der Witterungsverhältnisse	50
5.2.2	Anzucht der Versuchspflanzen.....	50
5.2.3	Überwachung der Eiablage	50

5.2.4	Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen	51
5.2.5	Qualitätskontrolle von Nematoden und Raubmilben	51
5.2.6	Versuchsaufbau	52
5.2.7	Versuchsdurchführung	53
5.2.8	Versuchsauswertung	55
5.2.9	Datenverarbeitung und statistische Auswertung	57
5.3	Ergebnisse	59
5.3.1	Blumenkohl	59
5.3.1.1	Versuchssaison 2012	59
5.3.1.1.1	Witterungsverlauf	59
5.3.1.1.2	Eiablage der Kleinen Kohlflye	59
5.3.1.1.3	Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen	60
5.3.1.1.4	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	61
5.3.1.2	Versuchssaison 2013	63
5.3.1.2.1	Witterungsverlauf	63
5.3.1.2.2	Eiablage der Kleinen Kohlflye	63
5.3.1.2.3	Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen	64
5.3.1.2.4	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	65
5.3.1.3	Versuchssaison 2014	67
5.3.1.3.1	Witterungsverlauf	67
5.3.1.3.2	Eiablage der Kleinen Kohlflye	67
5.3.1.3.3	Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen	68
5.3.1.3.4	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	69
5.3.1.4	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht in der Saison 2012–2014	70
5.3.1.5	Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlflyenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze	73
5.3.2	Kohlrabi und Chinakohl-Fangstreifen	74
5.3.2.1	Witterungsverlauf	74
5.3.2.2	Eiablage der Kleinen Kohlflye	74
5.3.2.3	Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen	75
5.3.2.4	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	77
5.3.2.5	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht	78
5.3.2.6	Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlflyenlarven und -puppen, Schadklasse und Frischgewicht der Pflanze	79
5.3.3	Brokkoli	80
5.3.3.1	Witterungsverlauf	80
5.3.3.2	Eiablage der Kleinen Kohlflye	80
5.3.3.3	Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen	81

5.3.3.4	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen	81
5.3.3.5	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht	82
5.3.3.6	Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze	83
5.3.4	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen sowie auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlflye und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler	83
5.3.4.1	Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen	83
5.3.4.2	Schlupfrate der Kleinen Kohlflye und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler	84
5.4	Diskussion.....	88
5.4.1	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen.....	88
5.4.1.1	SpinTor™ und DPX-HGW86 10 OD.....	88
5.4.1.2	Entomopathogene Nematoden.....	88
5.4.1.3	Raubmilben.....	91
5.4.1.4	Kombinierte Anwendung von entomopathogenen Nematoden und Raubmilben	92
5.4.1.5	Entomopathogene Pilze	92
5.4.1.6	Knoblauchgranulat und Prüfmittel	95
5.4.1.7	Kalkstickstoff.....	95
5.4.1.8	Fangstreifen.....	97
5.4.2	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Wurzelschäden und Frischgewichte	99
5.4.3	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen sowie auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlflye und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler	102
5.5	Schlussfolgerung.....	105
6	Einfluss von Substratfeuchtigkeit und -typ auf die Effizienz von Raubmilben und entomopathogenen Nematoden	106
6.1	Einleitung	106
6.2	Material und Methoden.....	109
6.2.1	Anzucht der Versuchspflanzen und Insekten.....	109
6.2.2	Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen	109
6.2.3	Qualitätskontrolle von Nematoden und Raubmilben	109
6.2.4	Versuchsaufbau	109
6.2.5	Versuchsdurchführung	110
6.2.5.1	Einstellen der Substratfeuchtigkeit	110
6.2.5.2	Ausbringung der Kohlflegeneier und Pflanzenschutzmaßnahmen	112
6.2.5.3	Überprüfung der Persistenz von Nematoden und Raubmilben.....	113
6.2.6	Versuchsauswertung	113

6.2.7	Datenverarbeitung und statistische Auswertung.....	114
6.3	Ergebnisse.....	115
6.3.1	Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen.....	115
6.3.2	Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen.....	119
6.3.3	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht.....	123
6.3.4	Untersuchung der Persistenz.....	126
6.3.5	Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze sowie Einfluss der Substratfeuchtigkeit.....	126
6.3.6	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlflye.....	126
6.4	Diskussion.....	128
6.4.1	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf auf die Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen.....	128
6.4.2	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf die Wurzelschäden.....	132
6.4.3	Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf das Frischgewicht.....	132
6.4.4	Persistenz der Antagonisten.....	133
6.5	Schlussfolgerung.....	135
7	Fazit und Schlussfolgerungen für die Praxis.....	136
8	Literaturverzeichnis.....	142
9	Anhang.....	162
9.1	Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 4 beschriebenen Versuchen.....	163
9.2	Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 5 beschriebenen Versuchen.....	167
9.3	Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 6 beschriebenen Versuchen.....	181
10	Danksagung.....	189
11	Lebenslauf.....	190
12	Veröffentlichungen.....	191

Abkürzungsverzeichnis

Für Größen und Einheiten werden die SI-Einheiten beziehungsweise offiziellen Abkürzungen verwendet. Eingetragene Handelsmarken und Handelszeichen werden durch die Zeichen [®] und [™] gekennzeichnet. Folgende weitere Abkürzungen kommen vor:

AIS	Agricultural Institute of Slovenia
AS	Aktive Substanz
B.n.	Berechnung nicht möglich
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EA	Eiablage
EB	Endbonitur
IJ	Infektiöse Juvenile
IPS	Integrierter Pflanzenschutz
IRAC	Insecticide Resistance Action Committee
JKI	Julius Kühn-Institut
KAS	Kalkammonsalpeter
KCl	Kaliumchlorid
KW	Kalenderwoche
L	Entwicklungsstadium der Larven
MW	Mittelwert
n.e.	nicht erhoben
nP	nach Pflanzung
NH ₄	Ammonium
NO ₃	Nitrat
NPK	Stickstoff, Phosphor, Kalium
Pfl.	Pflanze
rF	relative Feuchte
S1	Satz 1
S2	Satz 2
SE	Standardfehler
SKL	Schadklasse
vP	vor Pflanzung
ZB	Zwischenbonitur

1 Einführung

Die Kleine Kohlflye (*Delia radicum* (L.)) zählt zu den bedeutendsten Schädlingen an *Brassica*-Arten in Europa und Nordamerika (Ferry *et al.*, 2009; Finch, 1989). Dazu gehören sowohl Gemüsekulturen wie Kohlrabi, Brokkoli, Blumenkohl, Chinakohl, Wirsing, Rosenkohl und Kopfkohle, als auch landwirtschaftliche Kulturen wie beispielsweise Raps, Ökrettich und Senf (Capinera, 2008; Hoffmann und Schmutterer, 1999). Viele dieser Kulturen besitzen einen hohen Marktwert, und Schäden durch die Kleine Kohlflye führen zu beträchtlichen (ökonomischen) Einbußen (Bligaard *et al.*, 1999). Schäden entstehen hauptsächlich durch Larvenfraß an den Wurzeln und können, je nach Ausmaß, die Pflanzenentwicklung nachteilig beeinflussen oder auch zum Absterben der Pflanzen führen (Hoffmann und Schmutterer, 1999). Ein weiteres Problem sind direkte Schäden an Ernteorganen, wie beispielsweise Radies oder Rettich, die dadurch vermarktungsunfähig werden (Finch, 1993). Zusätzlich bieten schon geringe Schädigungen Eintrittspforten für Sekundärpathogene (Griffiths, 1986; Keunecke, 2009).

Die Bekämpfung des Schädlings erfolgt nach den Kriterien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS), der mit den neuen rechtlichen Rahmenbedingungen (Richtlinie 2009/128/EG) europaweit verbindlich eingeführt wurde (EU, 2009). Mit der Einführung der Richtlinie ist ein Rahmen für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden geschaffen worden. Damit wird das Ziel verfolgt, Risiken für die Gesundheit von Mensch, Tier und den Naturhaushalt sowie Resistenzbildungen zu minimieren, insbesondere aufgrund der vorrangigen Anwendung von präventiven und nicht-chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen (BMEL, 2013). Eine wesentliche Voraussetzung für die Verwirklichung, beziehungsweise Umsetzung, des Integrierten Pflanzenschutzes ist die Verfügbarkeit eines ausreichenden Spektrums praktikabler Pflanzenschutzverfahren, inklusive chemischer Pflanzenschutzmittel (BMEL, 2013; BMEL, 2014b; Hillocks und Cooper, 2012). Für ein nachhaltiges Resistenzmanagement sollten beispielsweise mindestens drei Pflanzenschutzmittel unterschiedlicher Wirkstoffgruppen verfügbar sein (BMEL, 2013). Bezogen auf die Kleine Kohlflye erschweren mehrere Faktoren eine effiziente Bekämpfung. Zum einen ist aufgrund der Biologie der Kohlflye nur ein relativ kurzes Zeitfenster von wenigen Tagen zur Bekämpfung vorhanden, solange Larven noch nicht in die Wurzel eingedrungen sind (Bracken, 1990; Royer *et al.*, 1996). Zum anderen stehen aktuell nur wenige Pflanzenschutzmittel zur Verfügung, was beispielsweise langfristig zu Resistenzproblemen führen könnte. In Deutschland sind mit Dantop[®] (Clothianidin) und SpinTor[™] (Spinosad) aktuell zwei Insektizide zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye zugelassen (BVL, 2016). Im Öko-Landbau ist die Auswahl auf SpinTor[™] beschränkt (BVL, 2016), wobei der Einsatz jedoch von einigen Anbauverbänden abgelehnt wird (Hartmann, 2017). Vorbeugende Maßnahmen, wie Abdeckung mit Netzen, Bodenbearbeitung oder Verlegen des

Pflanzzeitpunkts nach den Höhepunkt der Eiablage, sind derzeit nicht ausreichend praktikabel.

Die aktuelle Situation im Pflanzenschutz verdeutlicht die Relevanz, neue, vor allem nachhaltige Pflanzenschutzverfahren auf ihre Eignung in der Schädlingsbekämpfung zu untersuchen sowie bereits vorhandene Verfahren zu optimieren und den aktuellen Anforderungen anzupassen. Damit könnte der Einsatz von chemischen Insektiziden ergänzt und reduziert werden (Rännbäck, 2015). Möglich ist beispielsweise die Anwendung von entomopathogenen Pilzen, entomopathogenen Nematoden und Raubmilben. Deren Vorteile liegen unter anderem in ihrem geringeren Risiko für Umwelt und Nichtzielorganismen (Lacey *et al.*, 2015), haben nahezu keine Wartezeiten und führen nicht zu Rückstandsbelastungen (Jehle, 2014). Auch sind bei diesen Produkten im Allgemeinen keine Resistenzbildungen und langfristige negative Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten.

Um diese Maßnahmen erfolgreich in die Praxis aufzunehmen, müssen sie in bestehende Pflanzenschutzsysteme integriert und ihre Wirksamkeit unter Praxisbedingungen bestätigt werden (Bailey *et al.*, 2009).

Die Untersuchung der Wirksamkeit verschiedener nachhaltiger Pflanzenschutzmaßnahmen und deren Potenzial für den Einsatz unter praktischen Bedingungen war deshalb Ziel der vorliegenden Arbeit. Diese wurde im Rahmen des EU-Forschungsprojekts PURE (**P**esticide **U**se-and-risk **R**eduction in **E**uropean farming systems with Integrated Pest Management (IPM)) im Arbeitspaket „IPM-solutions for important field vegetable crops“ (Förderkennzeichen 265865) angefertigt, wobei der nähere Fokus dieses deutschen Beitrages auf der Wirksamkeit und Relevanz unterschiedlicher IPS-Maßnahmen gegen verschiedene Kohlschädlinge unter Praxisbedingungen lag. Die Ergebnisse sollten möglichst konkret in Leitlinien für die Praxis münden. Die vorliegende Arbeit thematisiert in diesem Zusammenhang ausschließlich die IPS-Ansätze zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye.

2 Ziele der Dissertation

Der dargelegten zentralen Fragestellung wird in drei Arbeitsschwerpunkten nachgegangen:

- 1.) Zunächst erfolgte eine Untersuchung, ob eingesetzte Konzentrationen der gewählten Pflanzenschutzmaßnahmen wie auch Applikationstechnik und -häufigkeit eine Wirkung hinsichtlich der Reduktion von Kohlfliengenentwicklungsstadien, Wurzelschäden sowie Einfluss auf das Frischgewicht von Rettichpflanzen erzielen. Die Versuchsdurchführung fand unter kontrollierten Bedingungen statt.
- 2.) Aufbauend darauf wurde die Wirksamkeit ausgewählter Ansätze aus Punkt 1 ergänzt durch zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen unter praxisnahen Bedingungen an verschiedenen Kohlkulturen untersucht, bei Berücksichtigung der variablen Eiablageintensität und klimatischen Gegebenheiten. Des Weiteren ist das Auftreten möglicher subletaler Effekte auf die Kohlflyge und ihre wichtigsten natürlichen Feinde betrachtet worden.
- 3.) Schlussendlich erfolgten Versuche zum Einfluss von Substratfeuchtigkeit und Substrattyp auf die Effizienz entomopathogener Nematoden (*Steinernema feltiae*) und Raubmilben (*Macrocheles robustulus*) sowie die Wirksamkeit einer kombinierten Ausbringung dieser Antagonisten unter kontrollierten Bedingungen. Damit sollte detailliert kausalen Faktoren der Variabilität der Effizienz von Antagonisten nachgegangen werden, um die wesentlichen Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz dieser determinieren zu können.

3 Hintergrund

3.1 Bedeutung der Kleinen Kohlflye im Kohlanbau

Kohlgewächse gehören zur Gattung *Brassica* der Familie Brassicaceae (William, 1992). Die verschiedenen kultivierten Spezies dieser Gattung werden weltweit als Gemüse, Futterpflanzen oder für die Öl- und Biodieselgewinnung angebaut und besitzen einen hohen ökonomischen Wert (Ahuja *et al.*, 2010). In Deutschland gehören Kohlarten zu den am häufigsten angebauten Gemüsearten im Freiland (Statistisches Bundesamt, 2015). Es werden vor allem Weißkohl, Blumenkohl, Brokkoli, Kohlrabi, Chinakohl, Rot- und Grünkohl angebaut. Im Jahr 2015 wurden auf einer Anbaufläche von ungefähr 18.700 ha circa 800.000 t Kohlgemüse produziert (Statistisches Bundesamt, 2015). Dazu kommen Radies und Rettich. Der Umsatz belief sich 2013 auf rund 364 Mio. € (BMEL, 2014a).

Ernteverluste durch Kohlfiegenbefall sind für die verschiedenen Kohlsorten nicht genau zu beziffern, da sie je nach Standort, Anbaumethode und Befallssituation stark variieren (Klug, 2017; Kreiselmaier, 2017). Laut BMEL (2014a) belaufen sich Verluste bei Rettich auf 20 % und bei Radies auf 25 %, was jährlichen Einbußen von 11,4 beziehungsweise 4,5 Mio. € entspricht. Unter Umständen können Ausfälle jedoch deutlich höher sein (Klug, 2017, persönliche Mitteilung). So führt ein Befall von Radies mitunter auch zum Totalverlust, weil befallenes Erntegut auf dem Feld bei der Ernte nicht aussortiert werden kann (Kreiselmaier, 2017, persönliche Mitteilung). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer ausreichenden Bekämpfung des Schädling.

3.1.1 Systematik, Erscheinungsbild und Verbreitung der Kleinen Kohlflye

Die Kleine Kohlflye (*D. radicum*) ist der Familie der Blumenfliegen (Anthomyiidae) in der Ordnung der Zweiflügler (Diptera) zugeordnet. Im Laufe der Zeit wurde der Name der Kleinen Kohlflye oftmals geändert (Finch, 1989). So findet man in älterer Literatur Angaben zu *Chortophila brassicae*, *Phorbia brassicae*, *Erioischia brassicae* sowie *Hylemy(i)a brassicae* und *Delia brassicae* (Hoffmann und Schmutterer, 1999).

Adulte Kleine Kohlfiegen ähneln in ihrem Erscheinungsbild Stubenfliegen, sind jedoch mit 5–6 mm etwas kleiner (Schwarz *et al.*, 1990) (Abbildung 1D). Ein charakteristisches Unterscheidungsmerkmal ist die silbergraue Stirn mit rotem Fleck. Männchen lassen sich von Weibchen durch Körperfärbung, Behaarung der Hinterbeine, Augenabstand und Form des Abdomens unterscheiden. So sind Weibchen braungrau gefärbt, während Männchen eine eher schwarzgraue Färbung mit drei schwarzen Längsstreifen am Thorax aufweisen. Weiterhin besitzen Männchen zottig behaarte Innenseiten der Hinterbeine, einen engeren Augenabstand und ein deutlich schmaleres (und längeres) Abdomen (Darvas und Szappanos, 2003; Hoffmann und Schmutterer, 1999; Zohren, 1968).

Die Eier sind weiß, oval mit einer leicht konkaven und konvexen Seite und ungefähr 1 mm lang (Capinera, 2008) (Abbildung 1A). Zudem erstreckt sich ein seitlicher Längsspalt über das halbe Ei (Kahrer und Gross, 2002). Aus den Eiern schlüpfen gelblich weiße, kopf- und beinlose Larven (bei Fliegen im Allgemeinen eigentlich Maden genannt) (Abbildung 1B). Diese erreichen eine Länge von bis zu 10 mm. In der Vergrößerung sind gut die zwei dunklen Mundhaken sowie zwölf warzenförmige Höcker am schräg abgestutzten Hinterende zu erkennen. Diese Höcker sind auch bei der für Fliegen typischen Tönnchenpuppe noch gut sichtbar. Die Puppe der Kohlflye ist 6–7 mm lang, bräunlich, glänzend und deutlich segmentiert (Hoffmann und Schmutterer, 1999) (Abbildung 1C). In den in dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurden jedoch auch deutlich kleinere Puppen (< 5 mm) aufgefunden.

Das Verbreitungsgebiet der Kleinen Kohlflye umfasst die gesamte paläarktische Region, sowie Nordamerika, wo die Fliege im 19. Jahrhundert aus Europa eingeschleppt wurde. Zudem sind Vorkommen auf den Azoren und Madeira beschrieben (Hoffmann und Schmutterer, 1999).

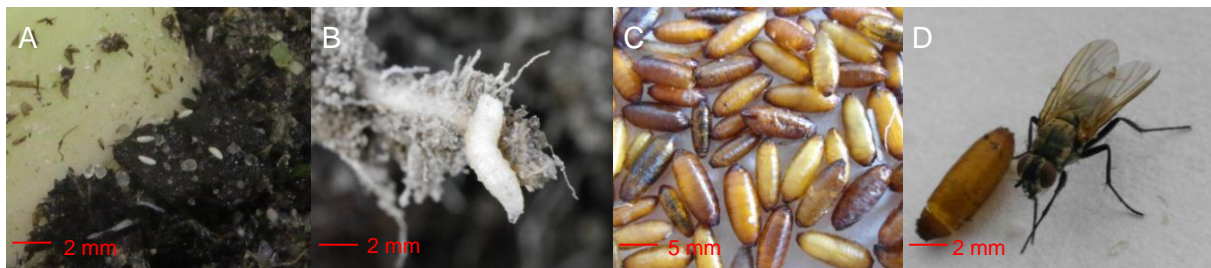


Abbildung 1: Eier, Larve, Puppen und Imago der Kleinen Kohlflye.

3.1.2 Entwicklungszyklus

Abhängig von klimatischen Bedingungen wird von unterschiedlichen Anzahlen an Kohlfliengenerationen pro Jahr berichtet. In unseren Breitengraden treten im Allgemeinen drei, selten vier Generationen auf (Lukoschik, 1990), wobei die erste Generation häufig die stärkste ist (Kahrer und Gross, 2002).

D. radicum überwintert als Puppe im Boden bei einer Bodentiefe von 2–10 cm (Hoffmann und Schmutterer, 1999). Bei steigenden Bodentemperaturen (> 16 °C in 5 cm Bodentiefe) schlüpfen ab Mitte/Ende April bis Anfang Mai die Imagines der ersten Generation (Crüger *et al.*, 2002; Hoffmann und Schmutterer, 1999). Adulte Kohlfiegen ernähren sich von Nektar verschiedener Wildpflanzen (Crüger *et al.*, 2002). Bei vorangegangener Paarung beginnen die Weibchen 5–7 Tage nach dem Schlupf mit der Eiablage (Finch und Coaker, 1969). Diese erfolgt oftmals in Clustern von 2–10 Eiern (Hoffmann und Schmutterer, 1999) an den Wurzelhals oder in Bodenrisse in unmittelbarer Umgebung (bis 5 cm) wilder oder domestizierter Kruziferen (Bruck *et al.*, 2005). Ein Weibchen legt durchschnittlich 78 Eier

(Maximum 165) während einer durchschnittlichen Lebensdauer von knapp über 20 Tagen (Swales, 1961). Besonders im Hoch- und Spätsommer erfolgt eine Eiablage auch an oberirdischen Pflanzenteilen (Crüger *et al.*, 2002; Kahrer und Gross, 2002). Abhängig von der Temperatur schlüpfen aus den Eiern nach ungefähr 3–5 Tagen die ersten Larven (Capinera, 2008). Diese orientieren sich anhand von volatilen Isothiocyanaten (Košťál, 1992) zur Wurzel und fressen zunächst an Feinwurzeln, bevor sie in die Hauptwurzel eindringen (Schmon *et al.*, 2012). Bei Temperaturen von 19 °C entwickeln sich die Larven innerhalb von 19–45 Tagen über drei Larvenstadien zur Puppe, wobei sich nach Zohren (1968) die Mehrzahl nach 26 Tagen verpuppt. Die Verpuppung erfolgt in der Regel im Wurzelbereich der Wirtspflanze (Capinera, 2008) in einer Bodentiefe von 2–10 cm (Hoffmann und Schmutterer, 1999). Wird kein Ruhestadium eingeschaltet, ist bei circa 21° C mit einem Schlupf nach ungefähr zwei Wochen auszugehen (Finch und Collier, 1985). Die zweite Generation tritt in Mitteleuropa ab Juni/Juli auf, eine dritte ab August/September (Crüger *et al.*, 2002; Zohren, 1968).

Im Sommer tritt bei Temperaturen über 20 °C bei Puppen im empfindlichen Entwicklungsabschnitt eine Unterbrechung der Puppenentwicklung, die sogenannte Aestivation, ein. Je höher die Temperaturen sind, desto mehr Insekten gehen in die Ruhepause (Capinera, 2008). Eine Weiterentwicklung kann durch niedrigere Temperaturen ausgelöst werden (Gebelein *et al.*, 2004). Durch Verzögerungen der Entwicklung, wie auch längeren Eiablagezeiträumen, kann es zu Überschneidungen der Generationen kommen. Bei Puppen der dritten Generation wird bei Bodentemperaturen unter 10 °C und/oder einer Tageslichtdauer von unter 12 Stunden die Diapause (Winterruhe) eingeleitet (Collier und Finch, 1983a; Collier und Finch, 1983b). Aus diesen Puppen schlüpft die erste Generation im nächsten Frühjahr.

3.1.3 Schadwirkung

Schädigungen entstehen hauptsächlich durch Kohlfliiegenlarven des zweiten und dritten Larvenstadiums, die sich in die Wurzel einfressen. Ihre Fraßtätigkeit kann Wasser- und Nährstoffversorgung unterbrechen und somit eine normale Pflanzenentwicklung verhindern (Broatch *et al.*, 2010; Coaker, 1965). Starke Schäden können auch zum Absterben der Pflanzen führen. Erste Anzeichen für Kohlfliiegenbefall sind kümmerwuchs, Welke sowie blaugrüne bis rotviolette Verfärbungen der Pflanzen (Crüger *et al.*, 2002; Natwick, 2009). Jungpflanzen mit noch nicht voll entwickeltem Wurzelsystem sind besonders gefährdet, während ältere Pflanzen (bei guter Bewässerung) oftmals Schäden durch Wurzelneubildung kompensieren können. Solche Pflanzen fallen für einen Ertrag aber häufig aus (Crüger *et al.*, 2002), da oftmals verspätete Reife und Stauchung die Folge sind (Capinera, 2008). Zudem bieten Fraßstellen Eintrittspforten für Wurzelpathogene wie beispielsweise *Fusarium* spp.,

Phoma lingam (Tode) Desmazières und *Verticillium longisporum* (C. Stark) Karapapa, Bainbridge & Heale (Griffiths, 1986; Keunecke, 2009).

Schäden können in indirekte Schäden unterteilt werden, bei denen Pflanzenteile betroffen sind, die nicht der menschlichen Ernährung dienen sowie direkte Schäden, bei denen Ernteorgane betroffen sind (Finch, 1993). Letzteres ist der Fall, wenn beispielsweise Radies oder Rettich befallen werden (Crüger *et al.*, 2002; Finch, 1993). Qualitätsschäden verursacht die Kleine Kohlflyge auch durch Kopfbefall der oberirdischen Ernteorgane von beispielsweise Chinakohl, Kopf-, Blumen- und Rosenkohl (Wheatley und Thompson, 1981). Diese Arten von Schäden sind ein Hauptgrund, weshalb es oftmals nötig ist, auch kleine Populationen von *D. radicum* zu bekämpfen (Finch, 1989).

3.1.4 Wirtswahlverhalten

Nach erfolgter Paarung gehen die Weibchen auf die Suche nach geeigneten Wirtspflanzen für die Eiablage. Zur Lokalisierung geeigneter Wirtspflanzen nutzt die Kleine Kohlflyge sowohl volatile chemische als auch optische Reize (Finch, 1978; Finch und Collier, 2000; Roessingh und Städler, 1990; Tuttle *et al.*, 1988). Dabei reagieren insbesondere befruchtete Weibchen auf Substanzen wie Isothiocyanate, volatile Abbauprodukte der Glucosinolate (Hawkes und Coaker, 1976). Die Kombination aus konzentrierteren Duftstoffen sowie optischen Hinweisen bewirken die Landung des Insekts. Im Kurzstreckenbereich reagieren die Insekten hauptsächlich auf visuelle Reize, wie grüne und gelbe Farben im Wellenlängenbereich von 500–600 nm (Schoonhoven *et al.*, 2005), wobei laut Finch und Collier (2000) eine Landung auf braunem Untergrund vermieden wird. Eine endgültige Orientierung und Landung auf der Wirtspflanze wird außerdem von deren Form und Größenwahrnehmung beeinflusst (Schoonhoven *et al.*, 2005). Aufgrunddessen wirken einige Arten sowie Pflanzen bestimmter Entwicklungsstadien besonders attraktiv (Boege und Marquis, 2005), was beispielsweise auch bezüglich der Bekämpfung zu berücksichtigen ist.

3.1.5 Monitoring und Bekämpfungsschwellen

Zur frühzeitigen Vorhersage des Auftretens von den drei bedeutendsten Gemüsefliegen im Gemüseanbau, der Kleine Kohlflyge, der Möhrenflyge (*Psila rosae* (Fabricius)) und der Zwiebelflyge (*Delia antiqua* (Meigen)) wurde am Julius Kühn-Institut von Gebelein *et al.* (2004) das Prognosemodell SWAT entwickelt. Dieses liefert mit Hilfe von Wetterdaten Vorhersagen für eine zielgerichtete Bekämpfung der drei Schädlinge und wird als Entscheidungshilfe für Praxis und Beratung genutzt. Beispielsweise lässt sich die Populationsdynamik mit zeitlichem Vorkommen der einzelnen Entwicklungsstadien sowie Anzahl, Beginn, Höhepunkt und Ende der Generationen vorhersagen. Minimale Rechengrundlage sind die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur. Optional können

Bodentemperatur und Windgeschwindigkeit in die Berechnungen einbezogen werden. Das Modell kann weiterhin mit Daten aus der Überwachung der Eiablage mittels Eimanschetten, kalibriert werden, um die Vorhersage zu überprüfen und zu validieren. Zudem wird nur durch die Kalibrierung mit Daten des Monitorings auch eine quantitative Aussage zum absoluten Befallsniveau ermöglicht, da die Ausgangspopulation im Frühjahr, Mortalitäts- und Migrationsraten sowie andere Faktoren, die die Höhe der Schädlingspopulation bestimmen, sonst nicht bekannt sind (Gebelein *et al.*, 2004). Durch die gezielte Vorhersage des Auftretens sollten auch die ersten Kohlfiegen einer Saison bekämpft werden können, um einen folgenden Populationsaufbau zu begrenzen (von Wyl und Baur, 2002), vorausgesetzt es stehen geeignete Mittel zur Bekämpfung zur Verfügung.

In der Literatur sind Schwellenwerte beschrieben, ab denen eine Bekämpfung der Kohlfiege eingeleitet werden sollte. Diese beruhen oftmals auf der Anzahl abgelegter Eier, die beispielsweise mit Eimanschetten erfasst werden können.

Die Befallsintensität oder -dichte, bei der eine Bekämpfung durchgeführt werden muss, um das Erreichen der wirtschaftlichen Schadschwelle zu verhindern, wird als Bekämpfungsschwelle definiert (Stern *et al.*, 1959). Die Schadschwelle dagegen bezeichnet die Befalldichte, bei der die erwarteten Schäden/Ertragsausfälle den Kosten der Schädlingsbekämpfung entsprechen. Sie wird häufig als Grundlage für Entscheidungen bezüglich einer Pflanzenschutzbehandlung genutzt (Verreet und Dehne, 2013). Zur Erfassung der Bekämpfungsschwelle reichen laut Crüger *et al.* (2002) 25 Eimanschetten je Feld. Eine detaillierte Übersicht zu den Bekämpfungsschwellen gibt Tabelle 1.

Tabelle 1: Übersicht über Bekämpfungsschwellen für die Kleine Kohlfiege an Kohlarten.

Bekämpfungsschwelle	Zeitraum	Quelle
≥ 10 Eier/Pflanze	Bis 10 Tage nP	Hommes (1987)
≥ 20 Eier/Pflanze	Bis 20 Tage nP	
10–20 Eiern/Pflanze	Bis 2 Wochen nP	El Titi (1977)
≥ 10 Eier/Pflanze/Woche	Bis 2 Wochen nP	Maack (1977)
≥ 20 Eier/Pflanze/Woche	3–4 Wochen nP	
≥ 30 Eier/Pflanze/Woche	5–6 Wochen nP	
≥ 50 Eier/Pflanze/Woche	erste 6 Wochen nP	
Für Blumenkohl gilt jeweils die Hälfte		
<2–4	1 Woche nP	Bligaard (1999)
<10–15	2–3 Wochen nP	
≥ 100 Eier/Pflanze	Ab 4 Wochen nP	

nP = nach Pflanzung

Ist die Schwelle überschritten, muss die Bekämpfung schnellstmöglich mit wirksamen Mitteln erfolgen. Besitzen Mittel einen geringeren Wirkungsgrad, wie es zum Beispiel bei biologischen Mitteln der Fall sein kann, müssen Schwellenwerte entsprechend modifiziert werden. Schwellenwerte sollten als Richtwerte gelten, die jeweils den Gegebenheiten und spezifischen Bedingungen des Betriebs angepasst werden müssen (Hommes, 1987). Ausschlaggebend sind beispielsweise wirtschaftliche Hintergründe, wie Vermarktungsform, Preise und Kosten sowie Toleranz der Kulturpflanze inklusive Nährstoffversorgung und Wirkung anderer Schadfaktoren, wie auch Umweltfaktoren, die Einfluss auf Ei- und Larvenmortalität besitzen können (Bligaard *et al.*, 1999; Hommes, 1987; Verreet und Dehne, 2013).

3.1.6 Natürliche Feinde der Kleinen Kohlfiege

Eine wichtige Rolle in der natürlichen Reduktion von Kohlfiegenpopulationen spielen zahlreiche Antagonisten von Fliegen der Gattung *Delia*. Dazu gehören allein 60–100 verschiedene prädatorisch lebende Käferarten der Familien Staphylinidae (Kurzflügelkäfer) und Carabidae (Laufkäfer), die sich von Eiern und Larven der Blumenfliegen ernähren (Brunel und Fournet, 1996; Finch, 1996; Pelerents *et al.*, 1983). Laufkäferarten, wie *Bembidion spp.*, *Harpalus spp.* und *Poecilus melanarius* sind aber keine spezifischen Räuber der Kleinen Kohlfiege. Bei den Kurzflügelkäfern sind besonders zwei Arten der Gattung *Aleochara* als natürliche Feinde hervorzuheben, und zwar *A. bilineata* Gyllenhal und *A. bipustulata* L. (Coleoptera: Staphylinidae) (Hoffmann und Schmutterer, 1999). Sie sind sowohl Prädatoren als auch Parasitoide von *D. radicum* (Gordon und Cornect, 1986). Adulte Käfer ernähren sich von Eiern und Larven der Kohlfiege, während ihre Larven die Kohlfiegenpuppen parasitieren (Soler *et al.*, 2007). *A. bipustulata* ist dabei eher Generalist, da auch andere Fliegenarten zum Beutespektrum gehören. *A. bilineata* gilt dagegen als spezialisierter Parasitoid, der sich nur in *Delia*-Spezies entwickeln kann und die ökonomisch wichtigste *Aleochara*-Spezies ist (Maus *et al.*, 1998). Die Parasitierungsraten von *Aleochara* spp. variieren von wenigen Prozent bis zu Spitzenwerten von über 90 % (Bromand, 1980; Brunel und Fournet, 1996; Hummel *et al.*, 2010; Turnock *et al.*, 1995). Die Effektivität der biologischen Bekämpfung ist beispielsweise abhängig von der Synchronisation von Wirt und Parasitoid, die temperaturabhängig ist (Read, 1962) und/oder beeinflusst von Biotyp wie auch Wirtsqualität (Jonasson, 1994). Beispielsweise entwickeln sich Kohlfiege und *A. bilineata* oftmals asynchron. Dabei tritt der Kurzflügler im Frühjahr später auf als die Kohlfiege, weshalb die Eier der ersten Generation nicht ausreichend dezimiert werden können (Read, 1962). Fournet *et al.* (2000) berichten jedoch von einer guten Synchronisation von Wirt und Gegenspieler in Frankreich. Die Etablierung von Massenzuchten und die Ausbringung der Käfer im Frühjahr zu Beginn des Kohlfiegenfluges ist möglich, aber sehr aufwändig (Finch, 1993), da Anzahlen von 20.000 (Bromand, 1980) bis 750.000 Käfern/ha

(Corre *et al.*, 2004) nötig wären, um gute Erträge und Pflanzenqualitäten zu erzielen. Ein Einsatz ist demzufolge aus Kostengründen nicht ökonomisch.

Weiterhin treten einige Hymenopteren-Arten wie *Phygadeuon subtilis*, *P. fumator*, *P. trichops* und *Trybliographa rapae* (Hoffmann und Schmutterer, 1999) als natürliche Feinde auf. Dabei ist *T. rapae* Westwood (Hymenoptera: Figitidae) als spezifischer solitärer Endoparasitoid der Kohlfliiegenlarven am bedeutendsten (Wishart und Monteith, 1954). Diese Art ist aufgrund ihrer langen Lebensspanne in der Lage, drei Generationen der Kohlflye zu parasitieren. Auch der Lebenszyklus ist sehr gut mit *D. radicum* synchronisiert (Jones, 1986). Eine Parasitierung der Kohlflye unter Feldbedingungen durch *Trybliographa* kann mit Parasitierungsraten bis zu 45 % beträchtlich sein (Wishart und Monteith, 1954). Geschützte Bereiche und Nahrung in unmittelbarer Umgebung des Feldes fördern den Parasitierungserfolg (Rännbäck, 2015).

Trotz hohen Parasitierungsraten und der Tatsache, dass parasitierte Larven weniger Pflanzenmaterial konsumieren (Grandgirard, 2003), erfolgt kein gezielter Einsatz mit Schlupfwespen im Feld. Gründe hierfür sind, dass *D. radicum* durch *T. rapae* erst im Puppenstadium abgetötet wird. Insofern kann mit diesem Nützling keine kurzfristige Schadreduktion erreicht werden (Neveu *et al.*, 2000). Zudem reagiert diese Hymenopterenart empfindlich auf Veränderungen der Wirtqualität (Soler *et al.*, 2007) und abiotische Faktoren, insbesondere Temperaturschwankungen, so dass gezielte Einsätze als Nützling aufgegeben wurden (Kacem-Haddjel-Mrabet, 1999). Ein weiterer, die Leistung reduzierender Fakt ist die Hyperparasitierung von mit *T. rapae* belegten Kohlfliiegenpuppen durch *Aleochara* spp. (Block *et al.*, 1987).

Gegenwärtig wird aus den genannten Gründen von einer Massenausbringung von *Aleochara* spp. und *T. rapae* abgesehen. Dennoch ist die regulierende Leistung der natürlich im Feld vorkommenden Individuen nicht zu unterschätzen. Die Anwesenheit natürlicher Feinde reduziert zwar nicht den Schaden an den angebauten Kulturen, jedoch aber die Anzahl sich entwickelnder Individuen (Josso *et al.*, 2013). Daher werden zurzeit Maßnahmen, wie der Einsatz von Infochemikalien und Fangpflanzen sowie Beeinflussungen der Landschaft erforscht, um die Nützlinge in Beständen zu etablieren und zu fördern (Ferry *et al.*, 2009; Josso *et al.*, 2013; Kergunteuil *et al.*, 2012; Rousse *et al.*, 2003). Zudem sollte eine Bekämpfung der Kohlflye mit nützlingsschonenden Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgen.

3.2 Ein integriertes Pflanzenschutzkonzept für den Kohlanbau

Der Integrierte Pflanzenschutz (IPS) gilt weltweit als Leitbild des praktischen Pflanzenschutzes (Freier *et al.*, 1999). Erste strategische Ansätze des IPS wurden in den 50er Jahren erarbeitet, als man erkannte, dass ein erfolgreicher Pflanzenschutz nur unter Berücksichtigung biologischer Zusammenhänge und ökologischer Wechselwirkungen erfolgen kann (Stern *et al.*, 1959). Kennzeichnend für die sich daraus entwickelte Strategie ist deren Vielfältigkeit, bedingt durch ständige Weiterentwicklung sowie Anpassung an Kulturart, Anbausituation und jeweilige Bedingungen (Gummert, 2013).

In § 2 des PflSchG (Pflanzenschutzgesetz, 2012) ist der IPS definiert als „eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird.“

Im Kohlanbau stehen der Praxis aktuell keine bewährten nachhaltigen Methoden des IPS zur Verfügung, weshalb der Entwicklung, Optimierung und Erprobung nichtchemischer und chemischer Pflanzenschutzverfahren, insbesondere Wirkstoffen oder Pflanzenschutzmitteln mit ökotoxikologisch günstigen Eigenschaften eine immer größere Bedeutung zukommt (BMEL, 2013).

Im Folgenden erfolgt die Darstellung der potenziell möglichen Maßnahmen für den Kohlanbau sowie einiger ausgewählter Komponenten, die im Rahmen dieser Arbeit auf ihre Eignung zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflyge untersucht wurden. Dazu gehören beispielsweise in Deutschland oder anderen Ländern zugelassene, sich in der Entwicklung befindende und biologische Pflanzenschutzmaßnahmen. Die Auswahl erfolgte aufgrund verschiedener Kriterien. Teilweise sind mit ähnlichen oder gleichen Pilz- und Nematodenstämmen von anderen Arbeitsgruppen vielversprechende Ergebnisse (teils ausschließlich unter kontrollierten Bedingungen) gegenüber der Kleinen Kohlflyge oder verwandten Spezies erzielt worden, oder aber es wurde aufgrund des Wirkungsmechanismus Potenzial vermutet. Ein großer Vorteil für den angestrebten Einsatz in der Praxis ist, dass nahezu alle Produkte kommerziell erhältlich sind beziehungsweise die Wahrscheinlichkeit für eine zukünftige Markteinführung und/oder Zulassung in Deutschland relativ hoch ist.

3.2.1 Chemische Insektizide

3.2.1.1 Dantop[®] (Wirkstoff Clothianidin)

Aktuell ist im Gemüsebau in Deutschland gegen die Kleine Kohlflyge einzig Dantop[®] als synthetisches Insektizid vom Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) zugelassen (Stand Februar 2016). Dantop[®] gehört zu den Neonicotinoiden (IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) Gruppe 4A). Diese binden als Agonisten am

Nikotin-Acetylcholin-Rezeptor (nAChR) im zentralen Nervensystem der Insekten, was zu Paralyse und Tod führt (Goulson, 2013). Der Wirkstoff ist systemisch und wird durch Fraßaktivität aufgenommen beziehungsweise wirkt bei Spritzanwendung auch als Kontaktgift (Spiess-Urania Chemicals GmbH, o. J.). Clothianidin besitzt ein breites Wirkungsspektrum gegen Hemiptera, Thysanoptera, Coleoptera, Lepidoptera und Diptera (Uneme, 2011). Zur Bekämpfung der Kleinen Kohlfliege an Kohlgemüse ist Dantop[®] mit einer Aufwandmenge von 2,4 g/1000 Pflanzen in 3 l Wasser/m² zugelassen. Dabei ist nur eine Gießanwendung von Jungpflanzen in Anzuchtgefäßen im Gewächshaus an Blumenkohlen, Kopfkohlen (Weiß-, Rot-, Spitz-, und Wirsingkohl), Blattkohlen, Rosenkohl und Kohlrabi pro Kultur beziehungsweise Jahr vorgesehen (Spiess-Urania Chemicals GmbH, o. J.). Laut Hersteller wird das Mittel als schwach schädigend für *Typhlodromus pyri* (Raubmilbe) und schädigend für *A. bilineata* (Kurzflügelkäfer), *Trichogramma cacoeciae* (Erzwespe) und *Chrysoperla carnea* (Florfliege) eingestuft. Die toxische Wirkung ist relativ langanhaltend, abhängig von der Pflanzenart, ihrem Entwicklungsstadium, der Ausbringungsart, der ausgebrachten Wirkstoffmenge (Simon-Delso *et al.*, 2015) sowie dem Bodentyp (Goulson, 2013). Neonicotinoide können im Boden persistent sein.

3.2.1.2 DPX-HGW86 10 OD (Wirkstoff Cyantraniliprol)

DPX-HGW86 10 OD ist ein systemisch wirkendes Insektizid, das zur Gruppe der Anthranil-Diamide gehört (IRAC Gruppe 28). Vertrieben wird es unter dem Handelsnamen Cyazypyr[™], wobei verschiedene Formulierungen für Blattspritzungen und Angießverfahren auf dem Markt sind (Wiles *et al.*, 2011). Der Wirkstoff aktiviert die Ryanodin-Rezeptoren (RyRs) des Insekts. Dies stimuliert die unkontrollierte Entlassung von Calcium-Ionen aus Speichern der Muskelzellen. Die Folge ist eine Beeinträchtigung der Muskelregulation sowie damit verbunden schnell einsetzender Fraßstopp, Lähmung und schließlich Tod des Insekts (Jacobson und Kennedy, 2011; Timo *et al.*, 2011 in: Sun *et al.*, 2012). DPX-HGW86 10 OD wirkt sowohl als Fraß- als auch Kontaktgift bei saugenden und beißenden Insekten, wobei Fraß als die reguläre Aufnahme angesehen wird und abhängig von der Schädlingsspezies bis zu doppelt wirkungsvoll ist (Wiles *et al.*, 2011). Das Wirkungsspektrum umfasst viele Schädlinge der Ordnungen Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Thysanoptera, Hemiptera und Isoptera (Chai *et al.*, 2010 in: Sun *et al.*, 2012; Wiles *et al.*, 2011). An Lepidopteren besaß Cyantraniliprol neben larvizider auch ovi-larvizide Wirkung. Es besteht die Vermutung, dass der Wirkstoff vom Chorion adsorbiert wird und von der Larve aufgenommen wird, wenn sie sich beim Schlupf aus dem Ei beißt (DuPont de Nemours GmbH, 2016). Gegen die Kleine Kohlfliege ist der Wirkstoff aktuell in Großbritannien und Irland zugelassen (www.eumuda.eu). Eine Zulassung des Wirkstoffs in Deutschland liegt aktuell nicht vor, wird aber in den nächsten Jahren erwartet.

Die Wirkungsweise ist neuartig und aktuell sind in der EU nur zwei weitere Substanzen mit diesem Mechanismus zugelassen (Chlorantraniliprol und Flubendiamid). Resistenzen und Kreuzresistenzen sind bisher nicht berichtet worden (Foster *et al.*, 2012). Cyantraniliprol gilt als selektiv gegenüber Nichtzielorganismen. Es hat keinen negativen Einfluss auf Raubmilben und Spinnen. Die Toxizität gegenüber Parasitoiden, Coccineliden und Chrysopiden wird allgemein als gering beschrieben (EFSA, 2014; Wiles *et al.*, 2011). Die Persistenz im Boden ist abhängig von der Applikationsrate und den Umweltbedingungen (DuPont de Nemours GmbH, 2015). Der bedeutendste Abbaufaktor in feuchten Böden ist Photolyse durch Sonnenlicht, und auch Biodegradation spielt eine wichtige Rolle. Der Wirkstoff ist in Böden nicht langfristig persistent (Radtke und Koper, 2013).

3.2.1.3 Coragen® (Wirkstoff Chlorantraniliprol)

Coragen® gehört wie DPX-HGW86 10 OD zu den Anthranil-Diamiden (IRAC Gruppe 28). Insektizide dieser Gruppe wirken als Regulatoren des Ryanodin-Rezeptors (s.o.). Unter dem Handelsnamen Rynaxypyr® wird das Produkt als Spritzmittel zur Bekämpfung verschiedener Schadlepidopteren und des Kartoffelkäfers vermarktet (DuPont de Nemours GmbH, o. J.). Eine Zulassung zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflyge besteht nicht. Allerdings wurde das Insektizid aufgrund des Wirkmechanismus in die Versuche aufgenommen.

3.2.2 Biologische Insektizide

3.2.2.1 SpinTor™ (Wirkstoff Spinosad)

SpinTor™ ist ein Insektizid (IRAC Gruppe 5), dessen aktiver Wirkstoff Spinosad aus Stoffwechselprodukten des natürlich vorkommenden Bodenaktinomyzeten *Saccharopolyspora spinosa* Mertz und Yao besteht. Bei Fermentation von *S. spinosa* entsteht eine Mischung aus den tetracyclischen Macrolidverbindungen Spinosyn A und Spinosyn D in einem Verhältnis von 85 % zu 15 % (Thompson *et al.*, 2002b). Die Spinosyne besitzen einen einzigartigen Wirkmechanismus, der auf der Beeinflussung der neuronalen Aktivität der Insekten beruht (Orr *et al.*, 2009; Salgado, 1998). Die spezifische Bindung an den in der postsynaptischen Zelle lokalisierten Nikotin-Acetylcholin-Rezeptor (nAChR) bewirkt einen permanenten Natrium-Ionen Influx, welcher zu einer Entladung und damit Hyperaktivität der Neuronen und Muskelaktivität führt (BVL, 2014a). Weiterhin wird von einer Beeinflussung des Gamma-Aminobutyrylsäure-Rezeptors (GABA-R) ausgegangen. Die Bindungsstellen unterscheiden sich von jenen anderer insektizider Wirkstoffe, die ebenfalls auf den Nikotin-Acetylcholin-Rezeptor wirken (Orr *et al.*, 2009). Spinosad wird sowohl durch Fraß- als auch durch Kontakt aufgenommen, wobei die Wirksamkeit durch Fraßaktivitäten höher eingestuft wird (DOW AgroSciences GmbH, 2015). Nach Aufnahme setzt die Wirkung bereits nach einigen Stunden ein (BVL, 2014a). Es kommt zu einem Fraßstopp gefolgt von Lähmung und Tod des Insekts (Williams *et al.*, 2003). Spinosad besitzt ein biologisches

Wirkungsspektrum, das überwiegend Schädlinge aus den Ordnungen Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera und Thysanoptera umfasst (Elzen *et al.*, 1998). Zahlreiche Studien befassen sich mit der Wirkung auf Nichtzielorganismen. Laut Hersteller wird das Präparat, abhängig von der Ausbringungsweise, als schädigend für *Trichogramma dendrolimi* (Erzwespe), schwach schädigend für *Coccinella septempunctata* (Siebenpunkt-Marienkäfer) und nicht schädigend für Populationen der Art *Typhlodromus pyri* (Raubmilbe), *Poecilus cupreus* (Laufkäfer) und *Chrysoperla carnea* (Florfliege) eingestuft. SpinTor™ eignet sich zur Anwendung im ökologischen Landbau und wurde 2007 in die BVL-Liste der zugelassenen Mittel für den Öko-Landbau aufgenommen. Gegen die Kleine Kohlflyge ist SpinTor® zur Gießanwendung von Jungpflanzen in Anzuchtgefäßen im Gewächshaus an Blumenkohl, Kopfkohl (Weiß-, Rot-, Spitz-, Rosen- und Wirsingkohl) sowie in der Jungpflanzenanzucht im Gewächshaus an Blattkohl und Kohlrabi (ab 2. Laubblatt) zugelassen. Die zugelassene Aufwandmenge liegt bei 12 ml/1000 Pflanzen in 1 bis 3 l Wasser/m² pro Anwendung als einmalige Behandlung (DOW AgroSciences GmbH, 2015). In der vorliegenden Dissertation wird SpinTor™ als Referenzbehandlung eingesetzt.

Die Persistenz ist abhängig von Umweltbedingungen und Applikationsmethode. Auf Blatt- und Oberflächen findet rasch ein Abbau durch Sonnenlicht statt (Cleveland *et al.*, 2002). Die Persistenz im Boden wird durch Degradation und Auflösung bestimmt. Der Wirkstoff bindet an Bodenpartikel. Typischerweise findet in feinkörnigen Böden mit hohem Gehalt an organischem Material eine stärkere Bindung statt (Stephenson *et al.*, 2000 in: Thompson *et al.*, 2002a). Desweiteren sorgen Bodenmikroorganismen für einen Abbau von Spinosad (Cleveland *et al.*, 2002). Spinosad ist nicht volatil und wird aufgrund der Bindung an Bodenpartikel nicht ausgewaschen (BVL, 2014a).

3.2.2.2 ECOguard® - Knoblauchgranulat

Extrakte und Öle aus Knoblauch sind in zahlreichen Pflanzenschutzprodukten (ECOguard®, NEMguard® (ECOSpray Ltd., Norfolk, Großbritannien), Garlic Barrier® (Garlic Research Labs, Inc., Los Angeles, USA)) und Pflanzenstärkungsprodukten (AMN® BioVit (ehemals ENVIREpel®) (Mack bio-agrar GmbH, Fellbach, Deutschland)) gegen Schädlinge der Familien Coleoptera, Lepidoptera, Heteroptera und Diptera verarbeitet (Prowse *et al.*, 2006). Der aktive Inhaltsstoff von Knoblauchextrakt ist pasteurisierter Saft aus zerkleinerten Knoblauchknollen. Die biologische Aktivität wird den im Saft enthaltenen Organopolysulfiden zugeschrieben (EFSA, 2012). Die Wirkungsweise beruht auf einer Inhibition der Acetylcholinesterase durch Diallyldisulphid und Diallyltrisulphid (Bhatnagar-Thomas und Pal, 1974 in: Prowse *et al.*, 2006). Deren hochreaktive Polysulphidgruppen hemmen das Enzym durch Vernetzung mit essentiellen Thiolgruppen der Enzymstruktur, wodurch sich die räumliche Struktur ändert und das Protein denaturiert wird (Halliwell und Gutteridge, 1999 in: Prowse *et al.*, 2006). Zudem sollen die im Knoblauch enthaltenen Substanzen die Eistruktur

fester machen, ähnlich einer Austrocknung, sodass der Schlupf verhindert wird (Prowse *et al.*, 2006).

Die Firma ECOspray Ltd. entwickelte mit ECOguard® Granulat und ECOguard® Flüssig zwei gegen Kohlfliegen ausgerichtete Pflanzenschutzprodukte. Die Flüssigformulierung enthält einen Anteil von 99,9 % Polysulphiden und kann sowohl im Angießverfahren vor dem Auspflanzen der Jungpflanzen ausgebracht werden, als auch nach dem Auspflanzen als Spritzung. Das Granulat enthält einen Anteil von 45 % Polysulphiden und wird auf der Bodenoberfläche ausgestreut. Beide Mittel sind in Dänemark, Norwegen, den Niederlanden und dem Vereinigten Königreich zugelassen (EFSA, 2012). Die Persistenz des Wirkstoffs ist gering; es ist davon auszugehen, dass mehr als 90 % der Substanz innerhalb einer Woche abgebaut werden (EFSA, 2012).

3.2.2.3 Prüfmittel

Die Wirkung des Prüfmittels basiert laut Hersteller (W. Neudorff GmbH KG) auf einer Attract-and-kill Strategie, die explizit zur Bekämpfung der Kleinen Kohlfliege entwickelt wurde. Aufgrund einer Vereinbarung mit dem Hersteller können die Inhaltsstoffe an dieser Stelle nicht genannt werden.

3.2.3 Antagonisten

Zu den Antagonisten zählen lebende Organismen, die den Schädling bekämpfen. Die im Folgenden vorgestellten entomopathogenen Pilze, entomopathogenen Nematoden und Raubmilben besitzen diverse Vorteile für den Einsatz im Pflanzenschutz. Dazu zählen ihre hohe Beweglichkeit (Nematoden und Raubmilben), Virulenz, Biosicherheit und Möglichkeit der Massenvermehrung. Zudem sind sie an ein Leben im Boden angepasst und unterliegen mit Ausnahme der Pilze keiner Zulassungspflicht (Ehlers, 2003).

3.2.3.1 Entomopathogene Pilze (*Beauveria bassiana* und *Metarhizium brunneum*)

Entomopathogene Pilze sind weltweit verbreitet und natürliche Gegenspieler verschiedener Insekten und Spinnentiere (Rehner, 2005; Roberts und St. Leger, 2004). Einige Stämme sind endophytisch oder kolonisieren die Rhizosphäre (Pava-Ripoll *et al.*, 2011). Diese Eigenschaften führen möglicherweise zu einer längeren Persistenz und ermöglichen damit eine Etablierung des Pilzes, schon bevor ein Angriff von Herbivoren stattfindet (St. Leger, 2008). Viele Arten der im Folgenden beschriebenen Pilze wurden an kultivierten oder natürlichen Standorten nachgewiesen und unzählige verschiedene Isolate oder Stämme aus Böden oder infizierten Arthropoden gewonnen (Bidochka *et al.*, 1998; Meyling und Eilenberg, 2007; Vänninen, 1996). Dies ermöglicht die Selektion von bestmöglich zur Bekämpfung des jeweiligen Schädlings geeigneten und an sein Habitat angepassten Stämmen. Gegenüber der Kleinen Kohlfliege wurden bisher hauptsächlich entomopathogene Pilze der Gattung

Beauveria und *Metarhizium* eingesetzt, welche in verschiedenen Studien vor allem bei direkter Exposition vielversprechende Bekämpfungserfolge erzielten (Bruck *et al.*, 2005; Meadow *et al.*, 2000; Myrand *et al.*, 2015; Razinger *et al.*, 2014a; Razinger *et al.*, 2014b; Vänninen *et al.*, 1999a).

Der in dieser Arbeit untersuchte Stamm ATCC 74040 des Pilzes *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Hypocreales: Cordycipitaceae) wird unter dem Handelsnamen Naturalis® vertrieben. Er ist in Deutschland zugelassen gegen die Weiße Fliege im Unterglasanbau von Fruchtgemüse (BVL, 2016).

Desweiteren ist zu Versuchszwecken *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae) Stamm HJS-1154 vom Agricultural Institute of Slovenia (AIS) bezogen worden. Dieser wurde nach Abschluss der Versuche als *Metarhizium brunneum* Petch identifiziert. Vermutlich sind in vielen Studien *Metarhizium* spp. verkehrt bezeichnet worden. Aus diesen Gründen beziehen sich Zitate in dieser Arbeit auf nicht eindeutig differenzierte Quellen. In Deutschland ist bisher nur der Stamm F52 (Met52 Granulat) gegen Dickmaulrüssler an Zierpflanzen registriert (BVL, 2016). Auch hier handelt es sich um *M. brunneum*, statt wie zuvor beschrieben um *M. anisopliae*.

Entomopathogene Pilze infizieren ihre Wirte nach Aufnahme der Sporen durch Fraß oder durch Kontakt (Inglis *et al.*, 2001; Lacey *et al.*, 1988; Thomas und Read, 2007). Im Hämocoel nutzt der Pilz die Ressourcen seines Wirts. Dieser Prozess, zu dem Nährstoffentzug, mechanische Blockierung oder Invasion von Organen gehört, führt zum Tod des Wirts (Inglis *et al.*, 2001). Abhängig von der Sporendichte, Anfälligkeit des Wirts und den Umweltbedingungen tritt der Tod nach 3–7 Tagen ein (Capinera, 2008). Naturalis® wird als nichtschädigend für Populationen relevanter Nutzinsekten, aber als schwachschädigend für Populationen relevanter Raubmilben und Spinnen eingestuft (BVL, 2014b). Die Persistenz der entomopathogenen Pilze ist abhängig von Umweltbedingungen, wie Strahlung, Feuchtigkeit und Temperatur (Inglis *et al.*, 2001) sowie ursprünglicher Inokulumdichte (Ownley *et al.*, 2008). Weitere einflussreiche Faktoren sind Bodentyp und Bodenbearbeitung (Ignoffo *et al.*, 1977; Keller und Zimmerman, 1989; Storey und Gardner, 1987).

3.2.3.2 Entomopathogene Nematoden (*Steinernema feltiae*)

Zu den entomopathogenen Nematoden zählen Nematoden der Familien Heterorhabditidae und Steinernematidae. Sie sind weichhäutige, nicht segmentierte Rundwürmer (Tofangsazi *et al.*, 2012), die weltweit in nahezu allen Böden vorkommen (Hominick *et al.*, 1996; Poinar, 1979). In dieser Arbeit wurden Versuche ausschließlich mit *Steinernema feltiae* (Filipjev) (Rhabditida: Steinernematidae) Stamm EN02 durchgeführt, der als sehr gut geeignet zur Bekämpfung der Kleinen Kohlfliege beschrieben wird (Chen *et al.*, 2003a; Chen *et al.*, 2003b; Schroeder *et al.*, 1996; Sulistyanto *et al.*, 1994). Dieser wurde aus 13 verschiedenen

Stämmen aus Finnland, Schweden, Polen und Deutschland hybridisiert (Peters, 2015, persönliche Mitteilung) und ist unter dem Handelsnamen nemaplus® erhältlich.

Entomopathogene Nematoden haben einen einfachen Lebenszyklus. Auf das Eistadium folgen vier Juvenilstadien und das Adultstadium (Boemare *et al.*, 1996). Nur das dritte Juvenilstadium, auch Dauerlarve oder infektiöse Juvenile (IJ) genannt, ist in der Lage Wirte abzutöten (Adams *et al.*, 2006). Dazu dringt der Nematode durch natürliche Öffnungen oder seltener durch Penetration der Kutikula in das Insekt ein und entlässt durch Darmentleerung symbiotische Bakterien (*Xenorhabdus* bei Steinernematidae) aus seinem Verdauungskanal in die Hämolymphe des Insektes (Burnell und Stock, 2000). Die Bakterien vermehren sich rasch vegetativ und produzieren Toxine, was zur Zersetzung und Abtötung des Wirts innerhalb von 24–48 Stunden führt (Burnell und Stock, 2000). Neben den am Zersetzungsprozess beteiligten Endotoxinen produzieren Bakterien antimikrobielle Stoffe, die die Besiedlung des Kadavers durch andere Organismen verhindern (Akhurst, 1982). Die Nematoden ernähren sich von Bakterienzellen und dem zersetzten Wirt und reproduzieren sich, sodass unter geeigneten Bedingungen nach 7–21 Tagen eine neue Generation IJ auftritt (Willmott *et al.*, 2002). Von Steinernematidae abgetötete Insekten weisen eine bräunliche Farbe auf (Rohde *et al.*, 2010).

Die ungefähr 0,8 mm großen *S. feltiae* Nematoden werden für den Einsatz gegen Trauermückenlarven im Gewächshaus angeboten. Zum Einsatz gegen die Kleine Kohlfliege wurden zahlreiche Studien mit unterschiedlichem Erfolg durchgeführt. Einen Überblick gibt San-Blas (2013). Bezüglich Nebenwirkungen auf Nichtzielorganismen sind Nematoden aufgrund ihrer biologischen und ökologischen Eigenschaften grundsätzlich sehr gut als nachhaltige Pflanzenschutzmaßnahme geeignet (Ehlers und Hokkanen, 1996). Die durch Nematoden verursachte Mortalität bei Nichtzielorganismen wird als vernachlässigbar betrachtet (Bathon, 1996).

Grundsätzlich beeinflussen UV-Strahlung, Austrocknung, Bodentyp, Feuchtigkeit und Durchlüftung die Performance der Nematoden (Gaugler *et al.*, 1992; Kaya, 1990; Smits, 1996). Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die Temperatur (Smits, 1996).

3.2.3.3 Raubmilben (*Macrocheles robustulus*)

Macrocheles robustulus (Berlese) (Acari: Macrochelidae) ist eine weitverbreitete Raubmilbenart, die sowohl in Europa als auch in Israel, USA, Argentinien, Australien und Neuseeland anzutreffen ist (Mašán, 2001). Milben der Familie Macrochelidae gehören zu den koprophilen Raubmilben und kommen natürlicherweise in Dung und Kompost vor (Bloszyk *et al.*, 2005). *M. robustulus* wird als Bodenraubmilbe vertrieben. Beim Einsatz in gartenbaulichen Kulturen ist die Milbe ausschließlich auf dem Boden und um die Pflanzenbasis vorzufinden, oberirdische Pflanzenteile werden nicht besiedelt (Koppert B. V., 2015). *M. robustulus* ernährt sich von Eiern und Larven verschiedener Dipteren sowie von

frei lebenden Nematoden (Bloszyk *et al.*, 2005; Costa, 1966; Krantz, 1998). Seit 2010 ist die Milbe im Handel erwerbbar (Grosman *et al.*, 2011). Laut Produzent ist *M. robustulus* Prädator von Thripspuppen, Eiern, Larven und Puppen der Trauermücke und Lyprautalarven. Zudem bestehen Nebenwirkungen auf andere Bodeninsekten, Nematoden, Hornmilben und Eier vom Orchideenwickler (*Duponchelia fovealis*) und Eier von *D. radicum* (Koppert B. V., 2015). Feuchte Böden mit lockerer Struktur sind dabei Voraussetzung für einen guten Bekämpfungserfolg (Costa, 1966; Holstein-Saj *et al.*, 2009) (Koppert B. V., 2015). Die Resistenz gegenüber Trockenheit ist gering (Filipponi und Mosna, 1968). Ebenso hat die Temperatur entscheidenden Einfluss auf Lebensdauer und Reproduktionsrate (Filipponi und Mosna, 1968). Eine Mindesttemperatur von 15 °C wird vom Produzenten empfohlen. Die Entwicklungszeit vom Ei zum Adult über Larve, Protonympe und Deutonympe beträgt bei 27 °C 11,6 Tage. Die Lebensdauer der Adulten liegt bei ungefähr 53 Tagen. Im Durchschnitt werden pro Tag ungefähr zwei bis fünf Fliegeneier von der Milbe gefressen (Afifi, 1988; Holstein-Saj *et al.*, 2009; Perotti, 2001).

Zur Bekämpfung der Kleinen Kohlfiege wurden einige wenige Untersuchungen durchgeführt (Holstein-Saj *et al.*, 2009; Hulas und Lascaux, 2011; Lascaux *et al.*, 2015). Die Kohlfiegenbekämpfung mit Raubmilben ist vielversprechend, da durch Bekämpfung von Eiern und Junglarven ein Schaden an Wurzeln der Kohlpflanzen ausbleibt. Weiterhin besitzt *M. robustulus* eine lange Lebensdauer (Afifi, 1988; Costa, 1966), sodass wenige Ausbringungen zu Befallsbeginn oder nach Pflanzung ausreichen sollten, um eine langfristige Bekämpfung zu gewährleisten. Nach Filipponi und Mosna (1968) kann sich eine Population unter optimalen Bedingungen pro Tag 1,8–2 Mal selbst reproduzieren.

3.2.4 Düngemittel

3.2.4.1 Kalkstickstoff

Der Dünger wird als „Stickstoffdünger mit fungiziden und herbiziden Nebenwirkungen auf der Basis von Kalkstickstoff“ vertrieben (AlzChem, o. J.). Für diese „Nebenwirkungen“ ist das Cyanamid verantwortlich (Chamberlain und Matter, 1986). Kommt Kalkstickstoff nach dem Ausstreuen mit Bodenwasser in Kontakt, löst sich Calciumcyanamid aus dem Düngerkorn. Dieses wird rasch weiter in Calciumhydroxid und Cyanamid umgesetzt. Cyanamid wird in einem weiteren Schritt über Harnstoff in pflanzenverfügbares Ammonium umgewandelt (Klasse, 2015).

Neben Unkräutern (Klasse, 1999) werden einige Schadpilze, wie beispielsweise *Plasmodiophora brassicae* (Donald *et al.*, 2004), *Rhizoctonia solani* (Wang *et al.*, 2007), *Fusarium oxysporum* (Shi *et al.*, 2009) and *Verticillium dahliae* (Wang *et al.*, 2007) negativ beeinflusst. Weiterhin wurde die Wirkung auf verschiedene Schadinsekten, hauptsächlich Larvenstadien, von beispielsweise Stechfliegen (Chamberlain und Matter, 1986), Reisstängelbohler (Tantawi 1984 aus Ritter), Ulmen- und Erlenblattkäfer und Eier und

Larven von Schmeißfliegen (Grandori, 1938; Grandori, 1953) beschrieben. Der Hersteller (AlzChem, o. J.) gibt zudem eine Wirkung gegen die Kleine Kohlflye an.

Die Cyanidphase besteht im Boden nur circa 8–14 Tage. Die Umsetzungsgeschwindigkeit wird durch die ausgebrachte Düngermenge sowie den Gehalt organischer Substanz, Bodenfeuchtigkeit, Bodentemperatur und Bodenaktivität beeinflusst (Vilsmeier und Amberger, 1978). Als zugelassenes EG-Düngemittel kann Kalkstickstoff in allen EU-Ländern eingesetzt werden. Im Handel sind gemahlener und geperlter Kalkstickstoff (PERLKA®) erhältlich (AlzChem, o. J.). In der vorliegenden Arbeit wurde ausschließlich mit geperltem Kalkstickstoff gearbeitet.

3.2.5 Wahl des Applikationszeitpunkts

Pflanzenschutzmaßnahmen sind effektiver und ökonomischer, wenn die Behandlung zielgerichtet erfolgt, das heißt beim Auftreten anfälliger Stadien des Schaderregers ausgeführt wird.

Die zuvor beschriebenen Pflanzenschutzmaßnahmen wirken jeweils auf ein oder mehrere Entwicklungsstadien der Kleinen Kohlflye. Tabelle 2 gibt hierzu eine detaillierte Übersicht. Hierbei wird sich ausschließlich auf die in dieser Arbeit vorliegenden Versuchsbedingungen und angewandten Ausbringungsmethoden bezogen. Unter anderen Bedingungen und bei anderen Applikationstechniken könnten auch andere Stadien, wie zum Beispiel Adulte beeinflusst werden. Es wird deutlich, dass das Zeitfenster für eine gezielte Behandlung bei den meisten Pflanzenschutzmaßnahmen sehr klein ist. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da Larven möglichst abgetötet oder infiziert werden sollten, bevor sie in die Wurzel eindringen. Zum einen werden somit Schäden vermieden, zum anderen sind Larven in der Wurzel weitestgehend geschützt und eine Bekämpfung schwer möglich (Bracken, 1990). Allerdings treten auch zwischen und innerhalb der verschiedenen Entwicklungsstadien Unterschiede in der Anfälligkeit auf. Beispielsweise besteht die Hauptwirkung oftmals auf ein bestimmtes Entwicklungsstadium - Ei, Larve oder Puppe. Ebenso werden bestimmte Larvenstadien eher parasitiert oder sind anfällig (Afifi, 1988; Bloszyk *et al.*, 2005; Bracken, 1990; Nielsen, 2003; Prowse *et al.*, 2006; Sulistyanto *et al.*, 1994). Daher ist es bedeutend, den geeigneten Applikationszeitpunkt zu wählen, was sich in der Praxis oftmals als schwierig gestaltet, da mehrere Entwicklungsstadien gleichzeitig vorkommen können. Deshalb können trotz Nutzung von Vorhersagemaßnahmen oftmals mehrfache sowie prophylaktische oder teilprophylaktische Ausbringungen nicht vermieden werden.

HINTERGRUND

Tabelle 2: Erwartete Wirkung der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen auf die einzelnen Entwicklungsstadien der Kleinen Kohlflye. Hierbei wird sich ausschließlich auf die aufgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen in Zusammenhang mit den in dieser Arbeit angewandten Ausbringungsbedingungen bezogen.

Entwicklungsstadium	Pflanzenschutzmaßnahme
Ei	Raubmilben (MACRO-MITE®) Entomopathogene Pilze (Naturalis®/ <i>M. brunneum</i>) Knoblauchgranulat (ECOguard®) Kalkstickstoff (PERLKA®) DPX-HGW86 10 OD
Larve	Raubmilben (MACRO-MITE®) (L1) Entomopathogene Nematoden (nemaplus®) Entomopathogene Pilze (Naturalis®/ <i>M. brunneum</i>) Knoblauchgranulat (ECOguard®) (L1) Kalkstickstoff (PERLKA®) SpinTor™ DPX-HGW86 10 OD Coragen® Dantop®
Puppe	Entomopathogene Nematoden (nemaplus®) Entomopathogene Pilze (Naturalis®/ <i>M. brunneum</i>)
Imago	

3.2.6 Kulturtechnische Maßnahmen

Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über verschiedene Präventivmaßnahmen einschließlich ihrer Vor- und Nachteile gegeben. Von den aufgeführten Maßnahmen wurde in der vorliegenden Dissertation der Einfluss eines Fangstreifens auf das Wirtswahlverhalten der Kleinen Kohlflye untersucht.

3.2.6.1 Kulturschutznetze

Die Abdeckung von Kulturen mit feinmaschigen Netzen verhindert den Zuflug der Kleinen Kohlflye

Vorteile:

- Verhindern den Zuflug der Kleinen Kohlflye und weiterer Schädlinge (Crüger *et al.*, 2002)
 - Schutz vor extremen Witterungsereignissen, wie Schlagregen und Hagel (Hommes, 1993)
 - Im ökologischen Anbau einsetzbar
 - Änderungen des Mikroklimas (Haseli und Konrad, 1987)
- Ernteverfrühung, höhere Erträge, bessere Qualität (Hommes, 1993)

Nachteile:

- Nicht in großflächig angebauten Kulturen einsetzbar
- Zuflug von natürlichen Gegenspielern wird verhindert
- Hohe Anschaffungskosten bei oftmals nur kurzer Nutzungsdauer (Hommes, 1993)
- Hoher Arbeitsaufwand bei Kulturmaßnahmen (Hommes, 1993)
- Änderungen des Mikroklimas (Haseli und Konrad, 1987)
 - vermehrte Blattmasseproduktion zu Lasten der Wurzel-/Rübenbildung bei Steckrüben (Hommes, 1993);
 - Zunahme von Pilzkrankheiten und Unkräutern (Siekmann und Hommes, 2007a).

3.2.6.2 Einflugbarrieren

Eine Weiterentwicklung von Kulturschutznetzen sind Einflugbarrieren wie sogenannte Kulturschutzzäune (exclusion fences). Die zugrunde liegende Annahme ist, dass befruchtete Gemüsefliegenweibchen auf der Suche nach Wirtspflanzen in Bodennähe fliegen (Finch und Skinner, 1974; Tuttle *et al.*, 1988). Ein mit Netz bespannter Zaun mit einem schräg nach unten und außen abfallenden Winkel wird um die zu schützende Kultur herum aufgebaut.

Vorteile:

- Schadreduktionen von bis zu 65 % gegenüber der Kleinen Kohlflye (Bomford *et al.*, 2000; Meadow und Johansen, 2005; Siekmann und Hommes, 2007a)
- Liegen nicht auf der Kultur auf
→ beeinflussen Pflanzen nicht mechanisch
→ keine Veränderungen des Mikroklimas
- Höhere Haltbarkeit, geringerer Arbeitsaufwand (Meadow und Johansen, 2005)
- Die Kosten liegen unter denen einer chemischen Bekämpfung (Meadow und Johansen, 2005)

Nachteile:

- Schädling darf noch nicht im Feld etabliert sein (Meadow und Johansen, 2005)
- Ebenes und offenes Gelände ist Voraussetzung (Meadow und Johansen, 2005)
- Wirksamkeit liegt unter der von Netzen (Hommes, 2013, persönliche Mitteilung)

3.2.6.3 Pflanzzeitpunkt, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge

Eine Möglichkeit, die Kultur vor Schäden durch die Kleine Kohlflye zu schützen, besteht in der Anpassung der Aussaat- oder Pflanzzeitpunkte. Im Idealfall sollten diese so gewählt sein, dass der Höhepunkt der Eiablageaktivität nicht mit dem empfindlichen Stadium der Kulturpflanzen zusammenfällt (Doddall *et al.*, 1996a; Finch, 1989; Maack, 1977).

Vorteile:

- Geringer Aufwand

Nachteile:

- Durch Überschneidungen der Eiablageaktivitäten späterer Kohlflyengenerationen nur in erster Generation sinnvoll

Nicht zu unterschätzen für die Stärke der Kohlflyenpopulationen ist die Bodenbearbeitung.

Vorteile:

- Reduktion der Kohlflyenimagines durch Pflugeinsatz (Doddall *et al.*, 1996b)
→ Beschädigung/Zerstörung der Puppen
→ Beförderung in tiefere Bodenschichten, Imagines erreichen Bodenoberfläche nicht
- Zeitpunkt der Bodenbearbeitung unwichtig (Doddall *et al.*, 1996b)

Nachteile:

- Allein keine ausreichende Bekämpfungsmethode

Die Bekämpfung von *D. radicum* mittels Fruchtfolge ist eher kritisch zu betrachten, denn die Kleine Kohlflye ist ein sehr guter Flieger und kann problemlos Distanzen von mehreren Kilometern zurücklegen (Maack, 1977). Zusätzlich tragen vermutlich auch der gestiegene

Anbau von Raps und Brassicaceen als Zwischenfrüchte zur Verstärkung des Kohlfliegenbefalls bei, indem sie den Populationsaufbau für das kommende Jahr begünstigen können (BMEL, 2014a).

3.2.6.4 Zwischenfruchtanbau und Fangstreifen

Mittels Diversifizierung des Anbaus wird ein Verfahren beschrieben, um mit nicht-chemischen Methoden die Anzahl von Schädlingen in der Kultur zu reduzieren (Hooks und Johnson, 2003).

Zwischenfruchtanbau

Vorteile:

- Erschweren des Auffindens der Wirtspflanze und Reduktion der Eiablage (Finch und Collier, 2012; Parsons *et al.*, 2007)

Nachteile:

- Mögliche Konkurrenz mit Hauptkultur
- Lösung:
- Hauptkultur und Untersaat nur für eine definierte Periode zu Beginn der Kultur parallel anbauen (Parsons *et al.*, 2007)
 - Ausbringen von abgestorbenen organischem Material (Mulch) (Hooks und Johnson, 2003)

Fangstreifen/Push-Pull-Strategie

Vorteile:

- Reduktion des Schädling in Hauptkultur durch Ansammlung auf Fangpflanzen

Nachteile:

- Schädling kann sich auf Fangpflanze vermehren und in Hauptkultur einwandern
- Lösung:
- Fangpflanze bietet Schädling schlechte Überlebensbedingungen (Shelton und Nault, 2004)
 - Fangpflanzen sind attraktiv für natürliche Feinde, die für Reduktion sorgen (Rousse *et al.*, 2003)
 - Schadschwelle ist meist relativ niedrig (Dornan *et al.*, 1994; Mailloux und Belloncik, 1995), weshalb die Schädlingsreduktion mittels Anbaudiversifizierung allein oftmals nicht ausreicht (Hooks und Johnson, 2003)

4 Wirksamkeit verschiedener Pflanzenschutzmaßnahmen gegen die Kleine Kohlflyge unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer

4.1 Einleitung

Pflanzenschutzmittel tragen dazu bei, qualitativ hochwertige, gesunde und erschwingliche Agrarerzeugnisse in adäquater Menge zu produzieren (EU, 2006; Rickard, 2010; van Witzke und Noleppa, 2011). Das verstärkte Bewusstsein der Gesellschaft für mögliche Risiken durch Pestizideinsatz führte zur Entwicklung von Bewirtschaftungssystemen, wie beispielsweise dem Integrierten Pflanzenschutz (IPS) oder ökologischen Landbau, bei denen Pflanzenschutzmittel begrenzt oder gezielter angewendet werden (EU, 2006). Für die praktische Umsetzung bedeutet dies, dass ein ausreichendes Spektrum geeigneter Pflanzenschutzverfahren verfügbar sein muss (BMEL, 2013; BMEL, 2014b; Hillocks und Cooper, 2012). Im Fall der Kleinen Kohlflyge ist aktuell sowohl ein Mangel an praktikablen chemischen als auch nicht-chemischen Bekämpfungsmaßnahmen zu verzeichnen.

Eine wichtige Frage lautet daher, welche nachhaltigen Pflanzenschutzmaßnahmen zur Kohlflygenbekämpfung unter praktischen Bedingungen geeignet wären. In den letzten Jahren erfolgten zahlreiche Forschungsarbeiten bezüglich der Entwicklung und des Einsatzes nachhaltiger Pflanzenschutzmaßnahmen. Besonders intensiv erforscht wurden dabei beispielsweise Entomopathogene, wie Nematoden und Pilze (Lacey *et al.*, 2015).

In diesem Versuch soll daher unter kontrollierten Bedingungen überprüft werden, ob die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen in den eingesetzten Konzentrationen zusammen mit der angewandten Applikationstechnik und -häufigkeit grundsätzlich eine Wirkung auf die Reduktion von Kohlflygenentwicklungsstadien, Wurzelschäden sowie das Frischgewicht von Rettichpflanzen erzielen und wie sich der Zusammenhang zwischen Befall, Wurzelschaden und Ertrag darstellt. Weiterhin können die Ergebnisse unterstützend zur Erörterung der Folgeversuche beitragen. Die in diesem Kapitel untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen wurden wie in Kapitel 3.2 beschrieben aufgrund verschiedener Kriterien ausgewählt.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Anzucht der Versuchspflanzen und Insekten

Die Anzucht der Rettichpflanzen (*Raphanus sativus* L. 'Rex') erfolgte im Gewächshaus des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig. Pflanzen wurden bei 25 °C, 40–80 % rF, Langtagbedingungen (16:8) vorgezogen und bei Erscheinen der ersten Laubblätter in 14er Töpfe pikiert. Als Substrat diente eine Mischung aus Tonsubstrat (80 % Hochmoortorf, Ton, Kalkdünger, NPK-Dünger) der Klasmann-Deilmann GmbH und Sand im Mischungsverhältnis 50:50. Die Pflanzen wurden nicht zusätzlich gedüngt, die im Substrat enthaltenen Nährstoffe erwiesen sich als ausreichend, während der Versuchsdurchführung waren keine Mangelsymptome sichtbar.

Die Kleine Kohlfliege wurde im Institut in Anlehnung an das Protokoll von Finch und Coaker (1969) in Plexiglas-Gaze-Käfigen (60 x 40 x 40 cm) gezüchtet. Kohlfliegen sind in einer Klimakammer in Käfigen bei Temperaturen von 20 °C und 40–60 % rF unter Langtagbedingungen (16:8) gehalten worden. Adulten Fliegen wurde Trockenfutter (10 g Traubenzucker, 10 g Milcheiweiß, 1 g Sojamehl, 1 g Trockenhefe) und Nassfutter (5 g Honig, 5 g Soja, 1 g Bierhefe gemischt mit Wasser) in Petrischalen angeboten sowie eine Tellertränke mit frischem Wasser zur Verfügung gestellt. Als Eiablage diente eine mit Quarzsand gefüllte Schale mit einem Kohlrübenwürfel (ca. 2 x 2 cm). Zur Gewinnung der Eier wurden diese nach 1–2 Tagen im Sand aufgeschwemmt und abfiltriert.

4.2.2 Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen

Bei allen in diesem Versuch geprüften Pflanzenschutzmaßnahmen, mit Ausnahme von DPX-HGW 86 OD 10, das noch nicht in Deutschland zugelassen ist, handelt es sich um kommerziell erhältliche Produkte (siehe Tabelle 3 und Kapitel 3.2.1–3.2.4). Nematoden (*S. feltiae*, Stamm EN02) wurden von der Firma e-nema GmbH (Schwentinental, Deutschland) als Produkt nemaplus® (Granulatformulierung) geliefert und bei 4 °C und Dunkelheit bis zum Versuchsbeginn gelagert.

Die Bodenraubmilbe *M. robustulus* (Berlese) wurde von der Firma Koppert B.V. (Berkel en Rodenrijs, Niederlande) als Produkt MACRO-MITE bezogen. Verschiedene Entwicklungsstadien von *M. robustulus* werden hierbei in einer Kartonröhre zusammen mit Futtermilben in Vermiculit geliefert. Die Milben wurden bis zum Versuchsbeginn bei 13 °C und Dunkelheit maximal zwei Tage gelagert.

4.2.3 Qualitätskontrolle von Nematoden.

Die Qualitätskontrolle fand im Vorfeld eines jeden Versuchs statt um die Anzahl lebender Nematoden in einer Packung zu evaluieren. Vorab wurde der Packungsinhalt gewogen und im Anschluss eine Stammlösung mit circa 100 Nematoden/ml angesetzt. Dazu sind 0,1 g in 1 l Wasser gelöst worden. Ein Milliliter dieser Lösung wurde in eine Zählkammer pipettiert und unter dem Binokular die Anzahl von lebendigen und toten Nematoden bestimmt. Ergebnisse aus fünf Wiederholungen wurden gemittelt. Anhand des Ergebnisses ist die Ausbringungsmenge gegebenenfalls angepasst worden.

4.2.4 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden mit ungefähr sechs Wochen alten Rettichpflanzen in der Klimakammer ($18,5 \pm 2,0$ °C, 70 % rF, Langtagbedingungen (16:8)) durchgeführt. Einige Tage vor Versuchsbeginn wurden die Pflanzen aus der Anzucht in die Klimakammer überführt. Dort sind jeweils fünf Pflanzen mit Untersetzter in einer Schale (55 x 35 x 8 cm) auf die beiden in der Klimakammer befindlichen Tische (jeweils 0,9 x 4 m) platziert worden. Schalen wurden mit Wasser und einen Tropfen Spülmittel bis etwa zur halben Höhe der Untersetzter gefüllt. Dies sollte verhindern, dass Raubmilben auf Pflanzen anderer Versuchsglieder gelangen konnten. Der Versuch wurde mit fünf (Versuch 1 und 2) beziehungsweise sechs (Versuch 3 und 4) Versuchsgliedern und drei Wiederholungen à fünf Pflanzen durchgeführt. Die Aufstellung der Schalen entsprach einer vollständig randomisierten Anlage.



Abbildung 2: Versuchsaufbau in der Klimakammer.

4.2.5 Versuchsdurchführung

Zu Versuchsbeginn wurden an den Wurzelhals einer jeden Pflanze zehn zwei Tage alte Kohlfliogeneier mit einem feinen Pinsel angelegt. Die Eier stammten aus der institutseigenen Zucht.

Einen Überblick über die getesteten Pflanzenschutzmaßnahmen sowie deren Aufwandmengen und Applikationszeitpunkte gibt Tabelle 3.

Tabelle 3: Übersicht über die unter kontrollierten Bedingungen untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen und deren Anwendung zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye an Rettich.

Pflanzenschutzmaßnahme	Aufwandmenge	Applikationszeitpunkt	Hersteller
SpinTor™ (Spinosad, 480 g/l AS)	0,012 ml in 4 ml H ₂ O/Topf (± 12 ml/1000 Pfl.)	Versuch 1: 2 Tage vor EA Versuch 2: 2 Tage vor EA Versuch 3: 2 Tage vor EA Versuch 4: 3 Tage vor EA	Dow AgroSciences GmbH (München, Deutschland)
DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol, 100 g/l AS)	0,024 ml in 4 ml H ₂ O/Topf (± 24 ml/1000 Pfl.)	Versuch 1: 2 Tage vor EA Versuch 4: 3 Tage vor EA	DuPont de Nemours GmbH (Neu Isenburg, Deutschland)
Coragen® (Chloranthraniliprol, 200 g/l AS)	0,005 ml in 4 ml H ₂ O/Topf (± 5 ml/1000 Pfl.) *	Versuch 2: 2 Tage vor EA	DuPont de Nemours GmbH (Neu Isenburg, Deutschland)
Dantop® (Clothianidin, 500 g/kg AS)	0,0024 g in 4 ml H ₂ O/Topf (± 2,4 g/1000 Pfl.)	Versuch 1: 2 Tage vor EA	Spiess-Urania Chemicals GmbH (Hamburg, Deutschland)
PERLKA® (Kalkstickstoff, 19,8 % N)	0,46 g/Topf (± 300 kg/ha)	Versuch 3: 2 Tage vor EA	AlzChem AG (Trostberg, Deutschland)
Naturalis® (<i>Beauveria bassiana</i> , Stamm ATCC 74040, 0,18 g/l AS)	1 ml (23 Mio. Sporen) in 25 ml H ₂ O/Topf	Versuch 3: 2 Tage vor EA	Andermatt Biocontrol AG (Grossdietwil, Schweiz)
nemaplus® (<i>Steinernema feltiae</i> , Stamm EN02)	180.000 in 25 ml H ₂ O/Topf	Versuch 2: 7 u. 17 Tage nach EA Versuch 3: EA u. 10 u. 20 Tage nach EA Versuch 4: 7 u. 17 Tage nach EA; EA u. 10 u. 20 Tage nach EA	e-nema GmbH (Schwentinental, Deutschland)
MACRO-MITE (<i>Macrocheles robustulus</i>)	Versuch 1: 5/Topf Versuch 2: 10/Topf Versuch 3: 20/Topf Versuch 4: 10 + 10/Topf	Versuch 1: EA Versuch 2: EA Versuch 3: EA Versuch 4: EA u. 7 Tage nach EA	Koppert B.V. (Berkel en Rodenrijs, Niederlande)

AS: Aktive Substanz

EA: Eiablage

*Zugelassen an Kohl gegen freifressende Schmetterlingsraupen mit 125 ml/ha

Die eingesetzten Mengen an SpinTor™, DPX-HGW86 10 OD, Coragen® und Dantop® wurden für jede Pflanze entsprechend der zugelassenen höchsten Aufwandmenge (BVL, 2016) errechnet und mit einer 5000 µl Pipette (Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland) um den Wurzelhals der Pflanze ausgebracht. Die Applikation vor der Eiablage simulierte das praxisübliche Angießen kurz vor Auspflanzen der Jungpflanzen. Die in Freilandversuchen eingesetzte Menge PERLKA® liegt mit 500 kg/ha höher als die hier eingesetzten 300 kg/ha; die höhere Menge führte in Vorversuchen jedoch zu phytotoxischen Symptomen und Absterben der Versuchspflanzen. PERLKA® ist in Pflanzennähe auf die Bodenoberfläche ausgebracht und leicht angedrückt worden um Bodenschluss zu gewährleisten. Einsatzmengen von nemaplus® und Naturalis® wurden in Anlehnung an Beck *et al.* (2013) und Schroeder *et al.* (1996) sowie Razinger *et al.* (2014b) ausgewählt. Für die Ausbringung wurde eine Stammlösung angesetzt und mit einem Messzylinder um den Wurzelhals ausgebracht. Die optimale Wassermenge ist in Vorversuchen ermittelt worden. Zur Ausbringung der Raubmilben wurde in der Vorbereitung Trägermaterial mit Raubmilben in ein Sieb gegeben und dieses mehrmals über einer weißen Schale geschüttelt, bis einige Milben in der Schale krabbelten. Adulte Milben konnten so aus der Schale mit einem feinen Pinsel in mit feuchtem Filterpapier ausgelegten Runddosen à 10 Milben gesetzt werden. Die Raubmilben ballten sich in den Dosen zusammen, weshalb sie schließlich auch vorsichtig mittels Pinsel auf die Bodenoberfläche der Töpfe gesetzt wurden.

Die Bewässerung der Versuchspflanzen erfolgte über die Untersetzer. Vor Ausbringung der Pflanzenschutzmaßnahmen wurde sichergestellt, dass das Substrat feucht war.

4.2.6 Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung erfolgte ungefähr vier bis fünf Wochen (Versuch 1: 27 Tage, Versuch 2: 33 Tage, Versuch 3: 34 Tage, Versuch 4: 31 Tage) nach der Eiablage. Zunächst wurden die Rettiche vom Substrat befreit und das Frischgewicht der Pflanze ermittelt (Versuch 3 und 4). Die anschließende Bonitur der Wurzelschäden erfolgte in Anlehnung an die BBA-Richtlinien (Hommes und Wolf, 1991a; Hommes und Wolf, 1991b) Dabei unterschied man vier Schadklassen (Abbildung 3, Tabelle 4).

Tabelle 4: Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen (SKL).

SKL 0	keine sichtbaren Fraßsymptome/ohne Befall
SKL 1	einzelne schwache Fraßstellen/leichter Befall (noch vermarktungsfähig)
SKL 2	deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig)
SKL 3	zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig)

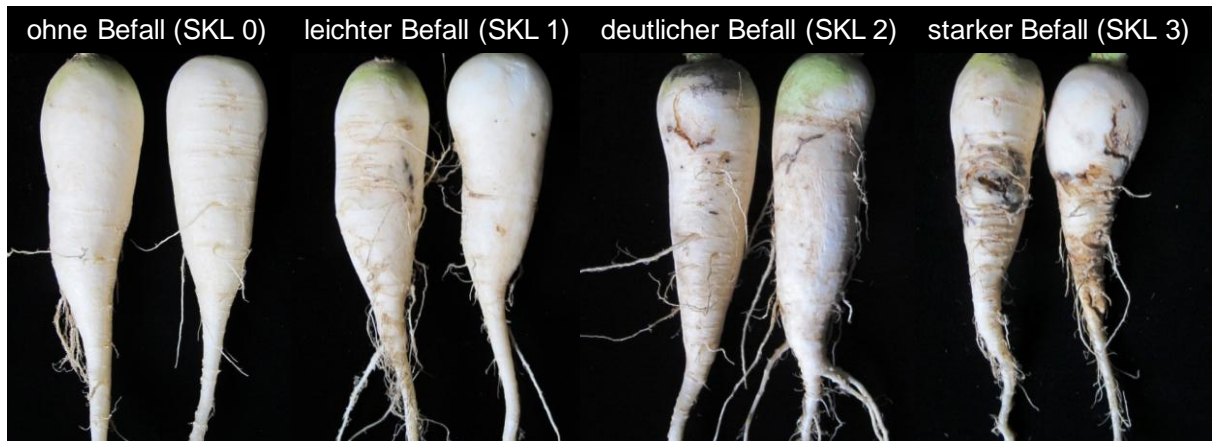


Abbildung 3: Boniturschema der Wurzelschäden an Rettichwurzeln.

Desweiteren wurde die Anzahl an Larven und Puppen eines jeden Topfes ermittelt, indem das Substrat in eine Schale gefüllt und sorgsam auf Vorhandensein der oben genannten Kohlfiegenstadien untersucht wurde. Zudem sind Rettiche aufgeschnitten worden, um noch möglicherweise in der Wurzel vorhandene Larven zu erfassen. Aufgefundene Puppen wurden bis zum Schlupf in Petrischalen (9 cm Ø) in einer Klimakammer ($18,8 \pm 2,0$ °C, 50–80 % rF, Langtagbedingungen (16:8)) gehalten. Die Petrischalen waren mit einer Schicht feuchtem Vermiculit gefüllt. Dieses wurde wöchentlich mittels einer mit Leitungswasser befüllten Sprühflasche befeuchtet und die Schalen auf geschlüpfte Insekten untersucht. Puppen, aus denen nach circa ein bis vier Monaten keine Fliegen geschlüpft waren, wurden als abgestorben erachtet.

4.2.7 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 3.2.3; R Development Core Team, 2015). Zur Analyse signifikanter Unterschiede zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen bei unterschiedlich behandelten Pflanzen wurde ein GLM (Generalized Linear Model) mit Annahme der Poisson-Verteilung eingesetzt. Es folgte der multiple Mittelwertsvergleich mittels Tukey HSD-Test. Signifikante Unterschiede zwischen Schadklassen bei verschiedenen Versuchsgliedern wurden mittels eines linearen Modells und anschließendem Tukey Test ermittelt. Dazu sind Daten im Vorfeld nach Freeman-Tukey transformiert worden. Die Untersuchung von Gewichtsunterschieden erfolgte mittels ANOVA sowie folgendem Mittelwertsvergleich mit dem Tukey HSD-Test.

Eine mögliche Korrelation wurde mittels Spearman Rangkorrelation berechnet. Der Rangkorrelationskoeffizient rho kann Werte zwischen 1 und -1 annehmen. Werte > 0 geben eine positive lineare Korrelation an, Werte < 0 eine negative lineare Korrelation, die jeweils umso stärker ist, je näher der Wert an eins liegt.

Für alle Versuchsfragen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt.

4.3 Ergebnisse

Falls nicht anders beschrieben, werden Mittelwerte genannt. Die Rohdaten sind im Anhang aufgeführt.

4.3.1 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

Von zehn zu Versuchsbeginn ausgebrachten Kohlflegeneiern entwickelten sich in der unbehandelten Kontrolle in allen Versuchen im Schnitt 5,1–5,9 im Wurzelbereich einer Rettichpflanze bis zum Larven- bzw. Puppenstadium (Abbildung 4–Abbildung 6, Tabelle A 4). In Versuch 1 war zum Boniturtermin knapp die Hälfte der Larven noch nicht verpuppt. In Versuch 2 betrug dieser Anteil ungefähr ein Drittel und in Versuch 4 ein Viertel. In Versuch 3 wurden kaum Larven gezählt.

Bei einer Ausbringung von fünf Raubmilben (MACRO-MITE) pro Topf in Versuch 1 wurden zur Bonitur 4,2 Larven und Puppen pro Pflanze ermittelt (Abbildung 4, Tabelle A 4). Dieser Wert unterschied sich nicht signifikant zur Kontrolle ($p = 0,936$), die beobachtete Reduktion lag bei 18,1 %. Nach Einsatz von SpinTor™, Dantop® und DPX-HGW 86 10 OD wurde die Anzahl der Kohlfiegenstadien gegenüber der Kontrolle und Raubmilbenbehandlung statistisch signifikant verringert ($p < 0,001$). Es wurden durchschnittlich 1,3 (SpinTor™; 75,2 %) 1,6 (Dantop®; 68,8 %) und 0,5 (DPX-HGW 86 10 OD; 89,6 %) Larven und Puppen pro Rettich aufgefunden.

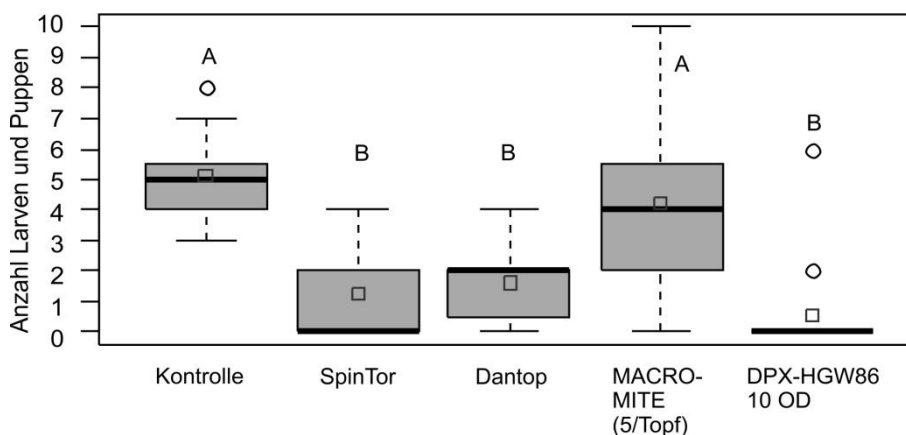


Abbildung 4: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen in Versuch 1. SpinTor™ (Spinosad), Dantop® (Clothianidin) und DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Applikation von Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) erfolgte direkt nach Eiablage. Die Bonitur wurde 27 Tage nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; GLM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

In Versuch 2 wurde im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle mit allen eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen eine signifikante Reduktion von Kohlfiegenentwicklungsstadien erzielt ($p < 0,05$) (Abbildung 5, Tabelle A 4). Die Anzahl der eingesetzten Raubmilben

(MACRO-MITE) war, verglichen mit Versuch 1, auf zehn Individuen verdoppelt worden. Bei einer Ausbringung dieser war die Zahl der wiederaufgefundenen Kohlfiegenstadien im Vergleich zur Kontrolle um 37,3 % reduziert ($p < 0,05$). Eine zweimalige Ausbringung von Nematoden (nemaplus®) verringerte die Anzahl an Larven und Puppen, ähnlich wie SpinTor™, um ungefähr 60 % ($p < 0,001$). Zwischen den Applikationen von Nematoden, Milben und SpinTor™ ergaben sich keine signifikanten Unterschiede ($p \geq 0,107$). Mit einer Reduktion der Larven- und Puppenzahl um 81,3 % gegenüber der Kontrolle besaß Coragen in diesem Versuch die beste Wirksamkeit, die sich signifikant von der Kontrolle und einer Behandlung mit Raubmilben unterschied ($p < 0,001$).

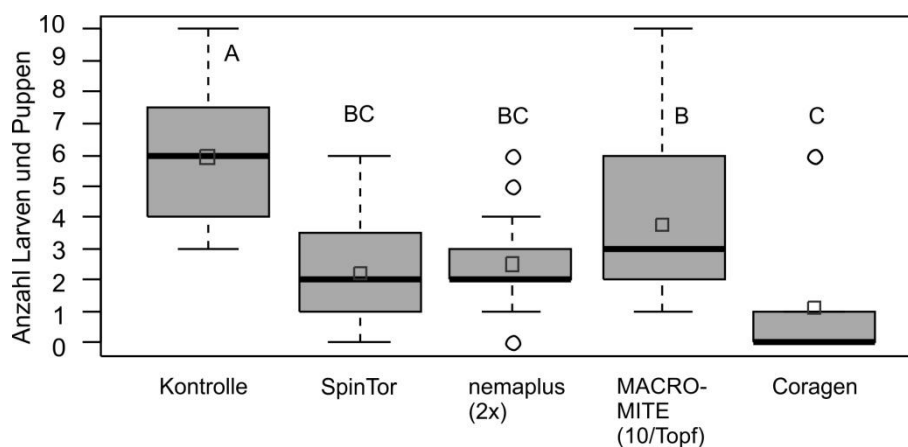


Abbildung 5: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen in Versuch 2. SpinTor™ (Spinosad) und Coragen® (Chlorantraniliprol) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Nematodenapplikation (nemaplus® (*S. feltiae*)) erfolgte eine Woche nach Eiablage sowie ein zweites Mal nach weiteren zehn Tagen, die der Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) direkt nach Eiablage. Die Bonitur wurde 33 Tage nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; GLM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

In Versuch 3 wurde die Anzahl der ausgebrachten Raubmilben (MACRO-MITE) weiter erhöht. Der Einsatz von 20 Raubmilben verringerte die Anzahl der wiederaufgefundenen Kohlfiegenstadien signifikant um etwas mehr als die Hälfte verglichen zur Kontrolle ($p < 0,001$) (Abbildung 6, Tabelle A 4). Die Wirksamkeit war jedoch schwächer als mit Nematoden oder SpinTor™. Eine dreimalige Applikation von Nematoden (nemaplus®) zeigte mit einer Dezimierung der Larven- und Puppenzahlen um 84 % eine sehr gute Wirkung. Eine signifikante Reduktion von Kohlfiegenstadien gegenüber der Kontrolle wurde neben dem Einsatz von Raubmilben und Nematoden ($p < 0,001$) auch mit SpinTor™ erreicht ($p < 0,001$). Die Anzahl der Larven und Puppen war hier um 98 % verringert. Sowohl der entomopathogene Pilz *B. bassiana* (Naturalis®) als auch Kalkstickstoff (PERLKA®) besaßen in diesem Versuch keine Wirksamkeit in der Verminderung von Kohlfiegenentwicklungsstadien. Im Durchschnitt wurden bei diesen Versuchsgliedern

insignifikant mehr Larven und Puppen bonitiert als in der unbehandelten Kontrolle ($p = 0,999$ (Naturalis[®]); $p = 0,936$ (PERLKA[®])).

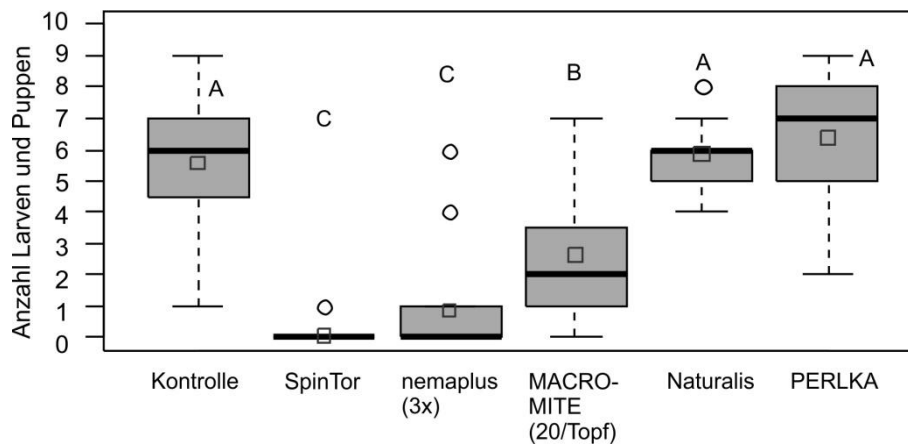


Abbildung 6: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen in Versuch 3. SpinTor[™] (Spinosad), Naturalis[®] (*B. bassiana*) und PERLKA[®] (Kalkstickstoff) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Nematodenapplikation (nemaplus[®] (*S. feltiae*)) erfolgte zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Die Bonitur wurde 34Tage nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; GLM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

In Versuch 4 wurde mit allen Pflanzenschutzmaßnahmen eine Reduktion von Kohlfiegenlarven und -puppen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erzielt (Abbildung 7, Tabelle A 4). Mit Ausnahme des Raubmilbeneinsatzes war diese signifikant ($p < 0,01$ (nemaplus[®] 2x; nemaplus[®] 3x, SpinTor[™], DPX-HGW 86 10 OD); $p = 0,283$ (MACRO-MITE)). Bei einer zweimaligen Ausbringung von je zehn Raubmilben pro Topf wurden 3,7 Larven und Puppen pro Topf aufgefunden, was einer Reduktion der Befallsstärke um 30,4 % entspricht. Nach einer zweimaligen Ausbringung von Nematoden war bei der Bonitur eine um 52,8 % verringerte Anzahl an Puppen und Larven verglichen mit der Kontrolle zu registrieren ($p < 0,01$), bei dreimaliger Ausbringung betrug die Reduktion 83 % ($p < 0,01$). Eine dreimalige Applikation führte somit zu einer signifikant geringeren Anzahl an Kohlfiegenstadien als eine zweimalige ($p = 0,021$) und auch zu signifikantem Unterschied im Vergleich zum Raubmilbeneinsatz ($p < 0,01$). Mit 0,9 Kohlfiegenlarven und -puppen sind im Wurzelbereich einer Pflanze nach Behandlung mit SpinTor[™] genauso viele Individuen gefunden worden wie nach dreifacher Nematodenapplikation. Auch das Angießen mit DPX-HGW 86 10 OD verringerte die Individuenanzahl in ähnlichem Ausmaß. Gegenüber unbehandelten Pflanzen lag die Reduktion bei 92,4 %.

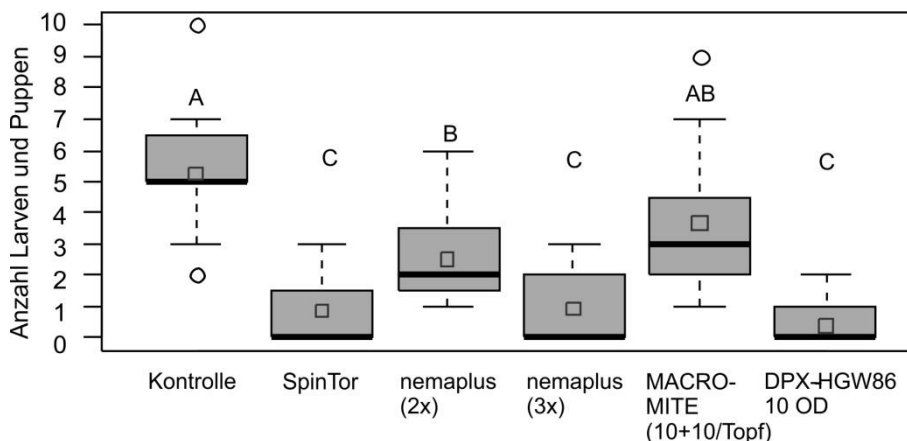


Abbildung 7: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen in Versuch 4. SpinTor™ (Spinosad) und DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) wurden jeweils drei Tage vor Eiablage ausgebracht. Das Angießen mit Nematoden (nemaplus® (*S. feltiae*)) erfolgte bei zweimaliger Ausbringung eine Woche nach Eiablage sowie ein zweites Mal nach weiteren zehn Tagen. Bei dreimaliger Applikation wurden Nematoden zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen ausgebracht. Die Ausbringung von Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) erfolgte zur Eiablage und nach sieben Tagen. Die Bonitur wurde 31 Tage nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; GLM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

4.3.2 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

Zur Bewertung der Wirksamkeit einer Pflanzenschutzmaßnahme spielt neben der Reduktion der Schädlingspopulation, insbesondere bei Pflanzen, deren Wurzeln vermarktet werden, der Wurzelschaden eine bedeutende Rolle.

In Versuch 1 befanden sich 86,7 % der Wurzeln von Kontrollpflanzen in SKL 3, die übrigen waren deutlich geschädigt (SKL 2) (Abbildung 8, Tabelle A 5). Eine Behandlung der Pflanzen mit MACRO-MITE führte bezüglich der Wurzelschäden zu keinem signifikanten Unterschied gegenüber der Kontrolle ($p = 0,872$). Allerdings wurden 20 % weniger Wurzeln stark geschädigt und 9 % der Rettiche waren ohne Fraßsymptome. Rettiche, die mit Insektiziden behandelt wurden, unterschieden sich signifikant von der Kontrolle ($p < 0,001$ (SpinTor™, DPX-HGW 86 10 OD); $p = 0,021$ (Dantop®)). Die insgesamt geringsten Schäden fanden sich nach Behandlung mit DPX-HGW 86 10 OD. Hierbei waren 73,3 % der Wurzeln unbefallen und 13,3 % schwach befallen und somit vermarktungsfähig. Die Unterschiede waren gegenüber SpinTor™- und Dantop®-behandelten Pflanzen signifikant ($p = 0,003$ (SpinTor™); $p < 0,001$ (Dantop®)). Nach SpinTor™-Behandlung waren insgesamt 40 % Wurzeln vermarktungsfähig (SKL 0 + SKL 1), nach Dantop®-Behandlung 33,4 %.

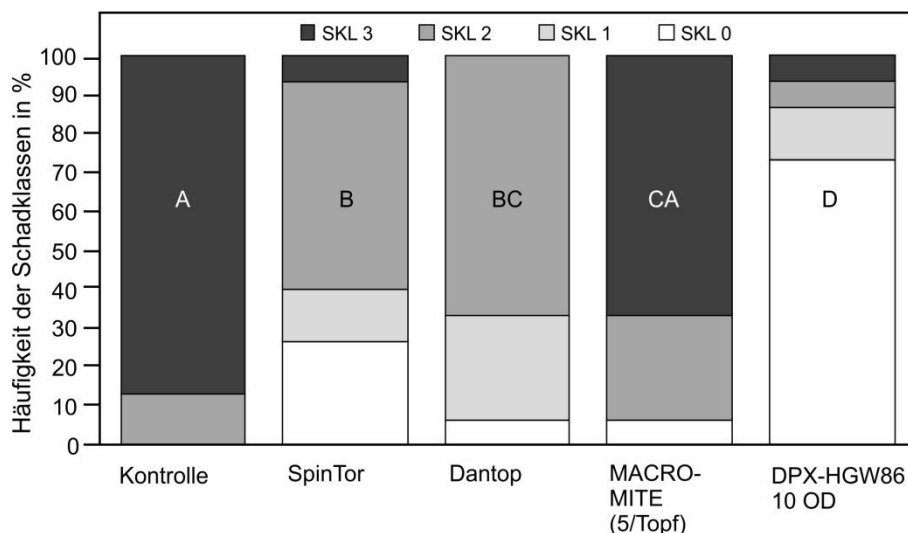


Abbildung 8: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in Versuch 1. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad), Dantop® (Clothianidin) und DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Applikation von Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) erfolgte direkt nach Eiablage. Die Bonitur wurde 27 Tage nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; LM, Tukey HSD-Test).

In Versuch 2 lag der Anteil stark befallener Rettiche (SKL 3) in der Kontrolle bei 33,3 %, der Anteil mittelstark befallener Wurzeln (SKL 2) bei 66,7 % (Abbildung 9, Tabelle A 5). Mit SpinTor™-, nemaplus®- und MACRO-MITE-behandelte Rettichpflanzen unterschieden sich bezüglich ihrer Wurzelschäden nicht signifikant zur Kontrolle ($p > 0,3$). Dennoch befand sich bei diesen Versuchsgliedern tendenziell ein höherer Anteil an Rettichen in SKL 2, beziehungsweise im Fall von SpinTor™ auch in SKL 0 (13,3 %) und SKL 1 (6,7 %). Deutliche Unterschiede zur Kontrolle und den anderen Behandlungen traten nach Angießen mit Coragen® auf ($p < 0,001$). Ungefähr die Hälfte der Rettiche war unbeschädigt (SKL 0), 33,3 % leicht beschädigt (SKL 1) und somit vermarktungsfähig, die restlichen 20 % wurden SKL 2 zugeordnet.

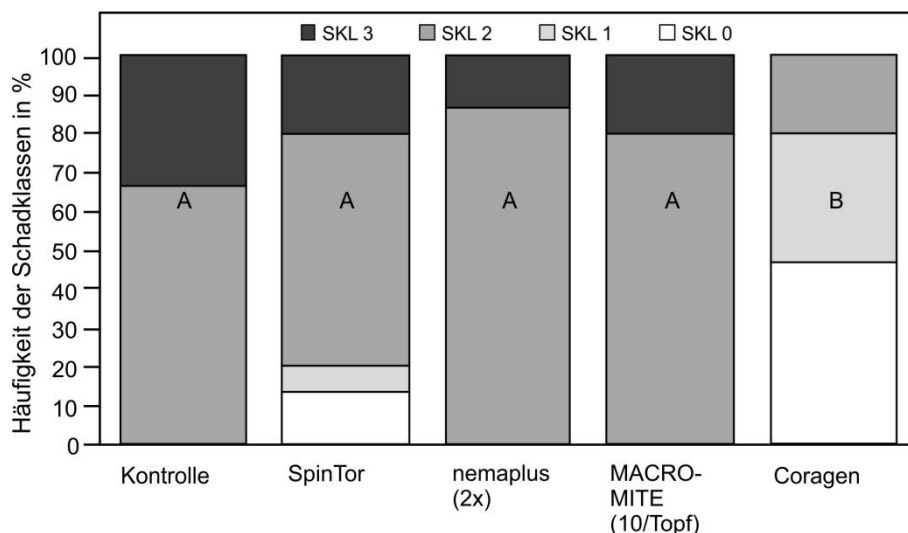


Abbildung 9: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in Versuch 2. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad) und Coragen® (Chlorantraniliprol) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Nematodenapplikation (nemaplus® (*S. feltiae*)) erfolgte eine Woche nach Eiablage sowie ein zweites Mal nach weiteren zehn Tagen, die der Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) direkt nach Eiablage. Die Bonitur wurde 33 Tage nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; LM, Tukey HSD-Test).

In Versuch 3 befanden sich in der Kontrolle 80 % der Rettiche in SKL 2 und 20 % in SKL 3 (Abbildung 10, Tabelle A 5). Rettiche, die mit nemaplus®, MACRO-MITE®, Naturalis® oder PERLKA® behandelt waren, unterschieden sich in ihrer Befallshäufigkeit insgesamt nicht signifikant von den Kontrollpflanzen ($p \geq 0,185$). Allerdings traten nach Einsatz von Raubmilben keine stark geschädigten Wurzeln (SKL 3) auf, sondern es waren 13 % der Rettiche SKL 1 zugeordnet. Aus diesem Grund unterschied sich dieses Versuchsglied signifikant von Naturalis®- ($p = 0,021$) und PERLKA®- ($p = 0,003$) behandelten Pflanzen, wo 60 % und 80 % der Rettichwurzeln stark befallen waren (SKL 3). Der gegenüber allen anderen Versuchsgliedern signifikant geringste Fraßschaden wurde an SpinTor™-behandelten Pflanzen bonitiert ($p < 0,001$). Sechzig Prozent der Wurzeln waren ohne Fraßspuren und 33,3 % geringfügig beschädigt. Bis auf 6,7 % in SKL 2 sind hier alle Rettiche vermarktungsfähig gewesen.

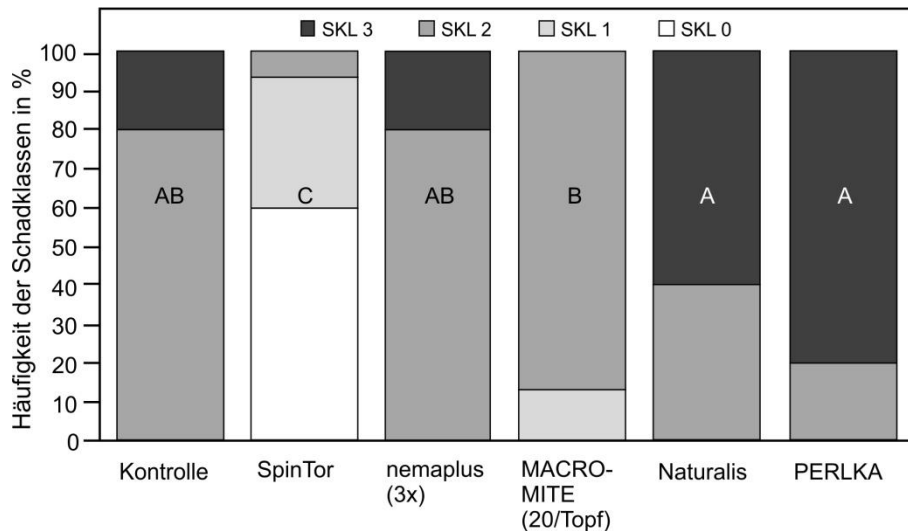


Abbildung 10: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in Versuch 3. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad), Naturalis® (*B. bassiana*) und PERLKA® (Kalkstickstoff) wurden jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Nematodenapplikation (nemaplus® (*S. feltiae*)) erfolgte zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Die Bonitur wurde 34 Tage nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 15; LM, Tukey HSD-Test).

In Versuch 4 wiesen 13,3 % der Rettiche in der unbehandelten Kontrolle zahlreiche Fraßstellen auf (SKL 3), die restlichen Pflanzen wurden der SKL 2 zugeordnet (Abbildung 11, Tabelle A 5). Ein Einsatz von nemaplus® und MACRO-MITE führte zu keiner signifikanten Veränderung des Fraßschadens im Vergleich zur Kontrolle ($p \geq 0,999$). Dementgegen unterschied sich die Verteilung der Schadklassen nach Angießbehandlung mit SpinTor™ und DPX-HGW 86 10 OD signifikant von allen anderen Versuchsgliedern ($p < 0,05$) durch ihren Anteil marktfähiger Wurzeln (je 26,7 % in SKL 0 und SKL 1 (SpinTor™) und 60 % in SKL 0, 13,3 % in SKL 1 (DPX-HGW 86 10 OD)) sowie dem Fehlen stark geschädigter Rettiche.

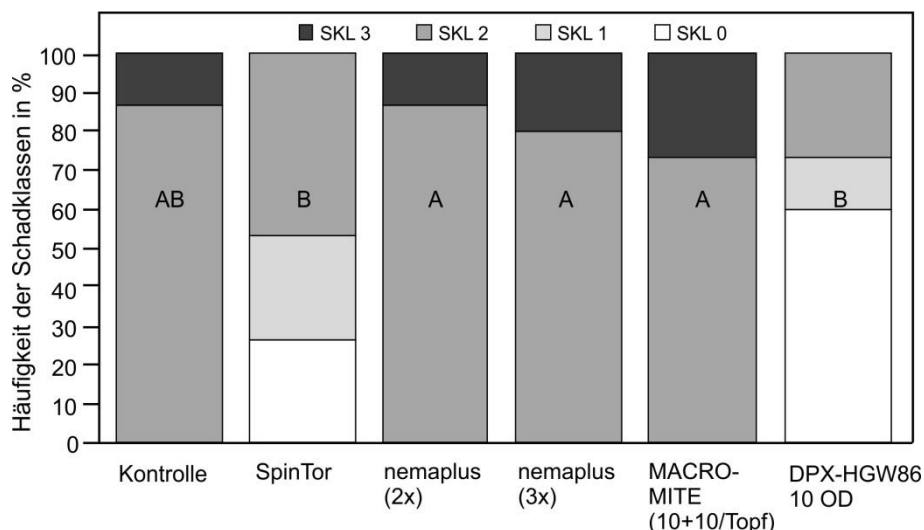


Abbildung 11: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in Versuch 4. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad) und DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) wurden jeweils drei Tage vor Eiablage ausgebracht. Das Angießen mit Nematoden (nemaplus® (*S. feltiae*)) erfolgte bei zweimaliger Ausbringung eine Woche nach Eiablage sowie ein zweites Mal nach weiteren zehn Tagen. Bei dreimaliger Applikation wurden Nematoden zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen ausgebracht. Die Ausbringung von Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) erfolgte zur Eiablage und nach sieben Tagen. Die Bonitur wurde 31 Tage nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$; LM, Tukey HSD-Test).

4.3.3 Vergleich von Wirksamkeit und Schadreduktion in Abhängigkeit der Einsatzhäufigkeit und -stärke

4.3.3.1 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

Da die Kontrollen der vier Versuche nahezu identische Anzahlen an Larven und Puppen aufwiesen und sich statistisch nicht unterschieden ($p > 0,7$), lässt dies Vergleiche der Pflanzenschutzmaßnahmen zwischen den Versuchen zu. Der Fokus sollte hierbei auf den unterschiedlichen Anzahlen beziehungsweise Einsatzhäufigkeiten von Raubmilben und Nematoden liegen. Bei Betrachtung des Bekämpfungserfolgs mit Raubmilben zeigte sich, dass eine Verdopplung der Anzahl von fünf auf zehn und auf zwanzig zu einer tendenziell besseren Wirksamkeit führte, je höher die eingesetzte Menge Raubmilben war. So wurde die Anzahl der Larven und Puppen von 4,2 zu 3,7 und 2,6 reduziert. Eine geteilte Dosis von zweimal zehn Milben verbesserte den Bekämpfungserfolg nicht, es wurden ebenso viele Larven und Puppen bonitiert, wie es auch bei der Ausbringung von zehn Milben pro Topf der Fall war. Die Unterschiede sind nicht signifikant ($p > 0,08$). Eine zusätzliche Applikation von Nematoden direkt nach der Eiablage hatte im Vergleich mit der zweimaligen Ausbringung einen deutlich positiven Effekt. Die Anzahl an Larven und Puppen war um fast ein Drittel von 2,5 auf 0,9 reduziert. Der Unterschied ist statistisch signifikant ($p = 0,006$).

4.3.3.2 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

Trotz relativ einheitlicher Anzahl aufgefundener Larven und Puppen in den Kontrollen der vier Versuche unterschieden sich die Befallshäufigkeiten der Wurzeln bezüglich der Schadklassen deutlich voneinander. In Versuch 1 waren die Wurzeln der Kontrolle im Vergleich besonders stark geschädigt. Bei allen Kontrollpflanzen waren Wurzeln ausschließlich den Schadklassen (SKL) 2 und 3 zuzuordnen, was einem mittleren bis starken Schaden mit nicht marktfähigem Ernteprodukt entspricht (Abbildung 8–Abbildung 11). Aufgrund der Unterschiede zwischen den Kontrollen ist eine gesicherte Aussage bezüglich des Vergleichs innerhalb der Behandlungen schwierig. Ebenso wie bei der Anzahl Larven und Puppen variierte die Verteilung der Wurzeln in den Schadklassen auch bei SpinTor™-behandelten Pflanzen zwischen den Versuchen. In den mit nemaplus® behandelten Varianten zeigten sich nur geringfügige Unterschiede zwischen einer zweimaligen und dreimaligen Ausbringung. Tendenziell waren bei dreifacher Ausbringung geringfügig mehr Rettiche der Schadklasse 3 zugeordnet. Bei Ausbringung von MACRO-MITE verringerte eine steigende Anzahl Milben bei einmaliger Applikation die Schadstärke.

4.3.4 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht

Das Frischgewicht der Pflanzen wurde ausschließlich in Versuch 3 und 4 ermittelt. In Versuch 3 zeigten mit SpinTor™ behandelte Pflanzen mit 97,2 g (+74,9 %) das höchste Frischgewicht. Der Unterschied war signifikant gegenüber allen anderen Behandlungen ($p < 0,005$) und der unbehandelten Kontrolle mit 55,6 g ($p < 0,001$). Die weiteren untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen hatten keine zur Kontrolle signifikanten Unterschiede zur Folge ($p > 0,07$). Tendenziell wiesen behandelte Pflanzen ein höheres Gewicht auf als unbehandelte Pflanzen. Dieses lag nach einer dreifachen Applikation von Nematoden bei 71,9 g (+29,4 %) und bei MACRO-MITE bei 60,2 g (+8,3 %). Eine Ausnahme bildeten PERLKA®-behandelte Pflanzen, bei denen das Frischgewicht mit 34,2 % unter dem der Kontrolle lag.

In Versuch 4 unterschieden sich die mit unterschiedlichen Pflanzenschutzmaßnahmen behandelten Rettichpflanzen bezüglich ihres Gewichts nicht signifikant voneinander ($p > 0,091$) (Tabelle 5). Allerdings zeichnete sich auch in diesem Versuch der Trend ab, dass die behandelten Pflanzen ein höheres Frischgewicht aufwiesen als die 63,8 g schweren unbehandelten Kontrollpflanzen. Dabei wiesen mit SpinTor™ und dreimaliger nemaplus®-Suspension behandelte Pflanzen mit 82 g (+128,3/128,9 %) das höchste Frischgewicht auf.

WIRKSAMKEIT VERSCHIEDENER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN GEGEN DIE KLEINE KOHLFLIEGE
UNTER KONTROLLIERTEN BEDINGUNGEN IN DER KLIMAKAMMER

Tabelle 5: Absolutes Frischgewicht der Rettichpflanzen in Gramm (MW ± SE) sowie relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle. In Versuch 3 wurden SpinTor™ (Spinosad), Naturalis® (*B. bassiana*) und PERLKA® (Kalkstickstoff) jeweils zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die nemaplus®-Applikation (*S. feltiae*) erfolgte zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. In Versuch 4 sind SpinTor™ und DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) jeweils drei Tage vor Eiablage ausgebracht worden. Das Angießen mit nemaplus® erfolgte bei zweimaliger Ausbringung eine Woche nach Eiablage sowie ein zweites Mal nach weiteren zehn Tagen. Bei dreimaliger Applikation wurden Nematoden zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen ausgebracht. Die Ausbringung von Raubmilben (MACRO-MITE (*M. robustulus*)) erfolgte zur Eiablage und nach sieben Tagen. Die Bonituren wurden 34 (Versuch 3) und 31 (Versuch 4) Tage nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 15; ANOVA, Tukey HSD-Test).

Versuch 3		Versuch 4	
Behandlung	Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Behandlung	Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)
Kontrolle	55,6 ± 4,3 (100,0 %) bc	Kontrolle	63,8 ± 4,0 (100,0 %) a
SpinTor™	97,2 ± 5,7 (174,9 %) a	SpinTor™	81,8 ± 4,8 (128,3 %) a
Naturalis®	57,4 ± 6,4 (103,3 %) b	nemaplus® (2x)	67,7 ± 4,3 (106,2 %) a
nemaplus® (3x)	71,9 ± 5,0 (129,4 %) b	nemaplus® (3x)	82,2 ± 5,4 (128,9 %) a
MACRO-MITE (20/Topf)	60,2 ± 4,1 (108,3 %) b	MACRO-MITE (10 + 10/Topf)	76,6 ± 4,6 (120,1 %) a
PERLKA®	36,6 ± 3,3 (65,8 %) c	DPX-HGW86 10 OD	79,7 ± 5,5 (125,0 %) a

4.3.5 Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze

Zwischen der Anzahl an Larven und Puppen und der Schadklasse bestand bei allen Versuchen eine positiv-lineare Korrelation ($\rho = 0,6-0,8$; $p < 0,0001$) (Tabelle A 11). Das heißt, dass in der Gesamtbetrachtung bei einer höheren Anzahl an Larven und Puppen ein höherer Wurzelschaden auftrat. Dies lässt sich jedoch nicht für alle Versuchsglieder pauschalisieren; beispielsweise war der Schaden nach Ausbringung von Raubmilben geringer als nach Einsatz von Nematoden, auch wenn in ersterer Behandlung mehr Larven und Puppen bonitiert wurden.

Auch das Frischgewicht der Pflanzen korrelierte mit der Schadklasse. In diesem Fall handelte es sich um eine negative Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten ρ von $-0,645$ ($p < 0,0001$) in Versuch 3 und $-0,222$ ($p = 0,352$) in Versuch 4. Allerdings war diese besonders in Versuch 4 nur schwach ausgeprägt. Bei zunehmendem Wurzelschaden sank somit das Frischgewicht der Pflanzen.

4.3.6 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege

Die Schlupfrate der aus den unbehandelten Kontrollen stammenden Kohlfliegenpuppen lag zwischen 15,5 und 83 % (Tabelle A 6). Es wurde keine durch die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen induzierte Reduktion des Kohlfliegenschlupfes beobachtet. Häufig war die Schlupfrate in den behandelten Versuchsgliedern höher als in der Kontrolle. Allerdings war die Fallzahl oftmals zu niedrig, um aussagekräftige Schlussfolgerungen ziehen zu können.

4.4 Diskussion

4.4.1 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Anzahl an Larven und Puppen

Ungefähr 50–60 % der ausgebrachten Kohlfliegeneier entwickelten sich an unbehandelten Pflanzen bis zum Larven- und Puppenstadium. Eine ähnliche Entwicklungsrate unter kontrollierten Bedingungen beobachteten auch Schroeder *et al.* (1996) und van Sloun (1989), wohingegen sich bei Chen *et al.* (2003b) 60–80 % der Eier zu Puppen entwickelten. Die Entwicklung kann von Faktoren wie Ei- und Larvenvitalität, Temperatur und Feuchtigkeit beeinflusst werden (Finch und Coaker, 1969; Lepage *et al.*, 2012).

Die untersuchten Insektizide SpinTor™, DPX-HGW 86 10 OD, Coragen® sowie Dantop® besaßen eine ausgezeichnete Wirksamkeit gegenüber frühen Entwicklungsstadien der Kleinen Kohlflyege.

Beim Einsatz von Nematoden (*S. feltiae* EN02 (nemaplus®)) und Raubmilben (MACRO-MITE) hing der Erfolg vor allem von der Anzahl der Applikationen beziehungsweise der eingesetzten Individuenanzahl ab. Entomopathogene Nematoden der Art *S. feltiae* bewirkten in der eingesetzten Anzahl von annähernd 180.000 IJ pro Pflanze bei zweifacher Anwendung eine mehr als 50%ige Reduktion an Larven und Puppen verglichen zur unbehandelten Kontrolle. Eine zusätzliche Applikation direkt nach der Eiablage verringerte die Schädlingspopulation abermals um ein Drittel und unterschied sich somit kaum von einer SpinTor™-Behandlung. In der Literatur variieren die Angaben über optimale Ausbringungsmengen. Während Chen *et al.* (2003b) mit Anzahlen von 4.000–8.000 IJ/Pflanze gute Ergebnisse erzielten und Nielsen (2003) 30 IJ/Larve als ausreichend für maximale Mortalität beschrieb, zeigten Schroeder *et al.* (1996) einen linearen Zusammenhang zwischen der ausgebrachten Nematodenkonzentration sowie der Anzahl an Puppen und Wurzelschäden, wobei diese in der höchsten Dosis am geringsten waren. Ab einer Dosis von 100.000 IJ/Pflanze war das Wurzel- und Sprosstrockengewicht signifikant erhöht (Schroeder *et al.*, 1996). Geht man davon aus, dass bei Ausbringung im Feld durch zahlreiche abiotische und biotische Faktoren ein Teil der Nematoden ihr Ziel nicht erreichen kann und zudem, beeinflusst durch den Wirt, die Umwelt und intrinsische Faktoren der Nematoden, ein Teil dieser möglicherweise nicht infektiös ist (Fan und Hominick, 1991), wurde die eingesetzte Menge in den Versuchen angemessen gewählt.

Die bessere Wirksamkeit der dreifachen Ausbringung ist bemerkenswert, da das Eindringen der Nematoden in kleine Wirte erschwert und die Vermehrung in Wirten unter 2 mm physikalisch inhibiert ist (Nielsen, 2003; Nielsen und Philipsen, 2004b). Nielsen (2003) wies in L2 und L3 eine Mortalität von circa 60 % nach, während das L1 nicht oder nur geringfügig

anfällig war. Auch Bracken (1990) und Sulistyanto *et al.* (1994) kamen zu diesem Ergebnis. Laut Bracken (1990) ist eine der Ursachen, warum die Kohlflye nicht komplett mit Nematoden bekämpft werden kann, die Unfähigkeit L1 Larven effizient zu eliminieren. In den durchgeführten Versuchen ist davon auszugehen, dass das zweite Larvenstadium bei den vorherrschenden Temperaturen nach circa zehn Tagen erreicht war (Nielsen, 2003). Somit hätte die später begonnene Ausbringung der Nematoden zu gleichen Ergebnissen führen müssen. Allerdings konnte Bracken (1990) nachweisen, dass in Petrischalen gehaltene L1 Larven anfällig waren, wenn die Zahl der eingesetzten Nematoden hoch war. Auch Bröer (2013) erzielte niedrigste Befallsdichten bei einer Nematodenapplikation vier Tage nach Eiablage im Vergleich zu späteren Applikationen ohne jedoch Ursachen zu nennen, während Chen *et al.* (2003b) keine Unterschiede zwischen Ausbringungen acht Tage vor Eiablage, parallel zu dieser oder acht Tage danach feststellten.

Die Wirksamkeit der Raubmilben war in diesem Versuch eindeutig Dosis-abhängig. Mit zunehmender Milbenanzahl von 5 auf 20 Milben pro Topf sank auch die Anzahl der zur Bonitur aufgefundenen Larven oder Puppen. Insgesamt war die Wirksamkeit etwas schwächer als die der Nematoden. Die von anderen Autoren angegebene Fraßleistung von durchschnittlich zwei (Holstein-Saj *et al.*, 2009), drei (Afifi, 1988) oder fünf (Perotti, 2001) Eiern pro Tag wurde in den hier durchgeführten Versuchen nicht erreicht. Eine mögliche Ursache ist, dass die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche in Töpfen anstelle von kleinen Schalen, wie bei den oben genannten Autoren verwendet, erfolgten und somit das Auffinden der Kohlflyeneier für die Raubmilben erschwert war. Am JKI ergaben Vorversuche in Petrischalen, anders als bei Afifi (1988), dass die Milben bevorzugt frisch geschlüpfte Larven statt Eier abtöteten. Ähnliche Beobachtungen machte auch Perotti (2001) und führte dies darauf zurück, dass kleine Milben wie *M. robustulus* mit ihren Cheliceren leichter L1-Larven als Eier penetrieren können. Diese Larven sind vermutlich besonders schwer zugänglich für die Raubmilben, da sie nach dem Schlupf rasch in den Boden und/oder die Pflanzenwurzel eindringen. Desweiteren unterschieden sich in den genannten Studien die untersuchten Milbenpopulationen, die angebotene Nahrungsquelle (Hausfliegen- (Afifi, 1988), Hornfliegen- (Perotti, 2001) oder Kohlflyeneier (Holstein-Saj *et al.*, 2009)), die Temperatur und das Substrat. Eine geteilte Ausbringung von zweimal zehn Milben brachte keine Unterschiede zu einem einmaligen Einsatz dieser Anzahl. Zum Zeitpunkt der zweiten Ausbringung waren Kohlflyenlarven, wenn überhaupt zugänglich, scheinbar zu groß um noch von Milben gefressen werden zu können. Literatur zur Fraßleistung von *M. robustulus* in größeren Versuchsarealen oder gegenüber anderen Schädlingen als den erwähnten wurde bisher nicht veröffentlicht.

In der eingesetzten Konzentration (23 Mio. Sporen/Pflanze) konnte mit dem entomopathogenen Pilz *B. bassiana* (Naturalis®) keine Reduktion der Schädlingspopulation erzielt werden. Ein separat durchgeführter Versuch mit Kohlrabipflanzen im Gewächshaus ergab, dass weder eine vierfach höhere Sporenkonzentration eine Woche nach Eianlage, noch eine spätere Ausbringung zwei Wochen nach Eianlage, eine Wirksamkeit auf die Entwicklung der Kohlfliege besaßen. Die Versuchsbedingungen sollten bezüglich der Temperatur und Luftfeuchtigkeit den Anforderungen des Pilzes gerecht geworden sein. Laut Hersteller sollten diese bei 20–27 °C und über 60 % rF liegen, wobei die Sporenkeimung bei steigender Luftfeuchtigkeit zunehmend erleichtert wird (e-nema GmbH, o. J.). Ein direkter Virulenztest fand in den beschriebenen Versuchen nicht statt, wurde aber vom Projektpartner in Slowenien durchgeführt (Razinger, 2012, persönliche Mitteilung) und Ergebnisse teils veröffentlicht (Razinger *et al.*, 2014a). Die Autoren beobachteten nach Applikation von Naturalis® in *in-vitro* Tests eine Mortalität der Kohlfliegenlarven von $38,5 \pm 7,3$ %. Aufgrunddessen wurde davon ausgegangen, dass der verwendete Stamm virulent war.

Insgesamt gibt es relativ wenige Studien zur Wirksamkeit von *B. bassiana* gegenüber *D. radicum*. Razinger *et al.* (2014b) erzielten mit einer Sporenkonzentration identisch der am JKI verwendeten zwar signifikant höhere Mortalitäten von Kohlfliegenstadien in *in-vitro* Tests, nicht aber in Gewächshausversuchen. Auch höhere Sporenkonzentrationen von 100 Mio. unterschieden sich in von Vänninen *et al.* (1999a) durchgeführten Gewächshausversuchen nicht signifikant zur Kontrolle bezüglich der Mortalitätsraten, verringerten in einem Fall jedoch das Ausmaß des Wurzelschadens. Nur eine direkte Exposition in Petrischalen tötete Kohlfliegenlarven (Vänninen *et al.*, 1999a). Ansteigende Mortalitäten der Larven auf bis zu 85 % beobachten hingegen Bruck *et al.* (2005) bei Sporenkonzentrationen von 385.000 bis zu 3.850.000 in sterilisiertem Boden.

Aus den Untersuchungen der genannten Autoren geht hervor, dass Bekämpfungserfolge vor allem erzielt wurden, wenn Versuche in keimfreier Umgebung erfolgten. Dies kann auf das Fehlen fungistatischer Effekte anderer Bodenorganismen zurückgeführt werden, die Keimung und Wachstum entomopathogener Pilze nachteilig beeinflussen können (Jaronski, 2007). Folglich ist möglicherweise die geringe Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Bodenflora im Versuchssubstrat eine mögliche Erklärung für die fehlende Wirksamkeit des ausgewählten Pilzes.

Die Applikation von PERLKA® zwei Tage vor Eiablage besaß keinen Einfluss auf die Entwicklung der Kohlfliegenjuvenilstadien. Die im Versuch ausgebrachte Konzentration entsprechend 300 kg/ha führte zu leichten Wuchsanomalien. Junge Blätter waren deutlich gekrümmt mit dunkler Aderung, ältere Blätter dagegen interkostal aufgehellt beziehungsweise leicht chlorotisch. Eine Aufwandmenge entsprechend 500 kg/ha, wie im

Freilandversuch eingesetzt, führte in Vorversuchen zum Absterben der Pflanzen. All diese Symptome deuten stark auf einen Nitratüberschuss hin. Es ist daher anzunehmen, dass die Umsetzung des Kalkstickstoffs über die für eine Wirkung verantwortliche Cyanamidphase stattgefunden hat und sowohl auf Eier und junge Larven einwirken konnte allerdings ohne diese zu beeinflussen.

Verschiedene Autoren konnten letale Wirkungen auf unterschiedliche Schadinsekten (Feng *et al.*, 2007; Tantawi und Isa, 1984), unter anderem auch Dipteren (Chamberlain und Matter, 1986; Grandori, 1938), nachweisen. Es wurden jedoch keine gezielten Versuche zur Bekämpfung von Kohlfiegen durchgeführt. Ritter *et al.* (2014) stellten in Klimakammerversuchen zwar keine toxische, aber repellente Wirkung auf späte Larvenstadien von Drahtwürmern fest. Die Autoren geben an, dass der bisherige Forschungsstand nicht ausreicht, um auf eine repellente Wirkung von Cyanamid auf Drahtwurmlarven unter Praxisbedingungen zu schließen. Der Ansatz könnte auch für die Bekämpfung der Kleinen Kohlfiege im Freiland von Bedeutung sein. Repellente Effekte auf adulte Kohlfiegen konnten in den Klimakammerversuchen am JKI aufgrund der Versuchsdurchführung mit künstlicher Eiablage nicht überprüft werden; ein dauerhafter repellenter Effekt auf Larven trat augenscheinlich nicht auf. Eine direkte Untersuchung dessen sollte jedoch aufgrund des möglichen Potenzials in der Kohlfiegenbekämpfung in Zukunft erfolgen.

4.4.2 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Wurzelschäden

Insbesondere bei Kulturen, deren Wurzeln vermarktet werden, müssen Wurzelschäden vermieden werden. Im Gegensatz zu Kopfkohl, der einen gewissen Kohlfiegenbefall tolerieren kann, ohne dass Qualitätseinbußen auftreten, ist die Bekämpfungsschwelle bei Rettich, Radies oder auch Kohlrüben deutlich niedriger. Schon eine Larve kann hier zu nicht vermarktungsfähiger Ware führen. Demzufolge sollten Pflanzenschutzmaßnahmen im Idealfall Eier vollständig eliminieren und/oder Larven rasch abtöten, bevor Schäden entstehen.

Die Ergebnisse dieses Versuchs verdeutlichen den Einfluss der Wirkungsweise von Pflanzenschutzmaßnahmen. Vermarktungsfähige Rettiche mit Wurzeln in SKL 0 und/oder SKL 1 wurden mit Einsatz der Insektizide DPX-HGW86 10 OD, Coragen[®], Dantop[®] und SpinTor[™] erzielt. Die Insektizide wirken nach Aufnahme durch Fraß, aber auch bei Kontakt innerhalb kurzer Zeit. Zumindest für Cyantraniliprol, den Wirkstoff von DPX-HGW86 10 OD, wurde in Laborversuchen an Lepidopteren sowohl eine larvizide als auch ovi-larvizide Wirkung nachgewiesen (DuPont de Nemours GmbH, 2016).

Ein geringer Anteil vermarktungsfähiger Rettiche trat auch in der mit Raubmilben behandelten Variante auf. Dies stand in diesem konkreten Fall weniger mit der Anzahl der abgetöteten Kohlfiegenstadien, sondern vielmehr mit dem Nahrungsspektrum der Raubmilbe im Zusammenhang. *M. robustulus* ernährt sich von Eiern und Junglarven verschiedener Dipteren (Bloszyk *et al.*, 2005; Costa, 1966; Krantz, 1998) und tötet somit frühe Entwicklungsstadien der Kohlflye ab. Könnte die Bekämpfungsleistung weiter gesteigert werden, entstünden keine Schäden an den Kulturpflanzen, was Raubmilben zu einer optimalen Komponente des IPS machen würde.

In allen anderen Versuchsgliedern waren Wurzeln deutlich und stark geschädigt. Die Wurzeln der behandelten Pflanzen unterschieden sich kaum von denen der unbehandelten Kontrolle. Die Ursache, dass Nematoden in den durchgeführten Versuchen zwar eine bedeutende Reduktion der Kohlfiegenlarven, nicht aber des Wurzelschadens bewirkten, könnte darin begründet liegen, dass die Larven zwar von Nematoden parasitiert, aber nicht sofort abgetötet wurden. So zeigte van Sloun (1989), dass 2,5 % der Larven Nematoden aufwies ohne sofort zu sterben. Diese Larven waren somit in der Lage weiter zu fressen und folglich weitere Schäden zu verursachen. Auch andere Autoren (Bröer, 2013; Chen *et al.*, 2003b; Gulidov, 2011) fanden keine Proportionalität zwischen der Anzahl an Larven und Wurzelschäden. Sie begründen dies zusätzlich mit der Variabilität der Pathogenität und Lebensspanne einer Nematodenpopulation sowie der Kohlfiegenlarven (Chen *et al.*, 2003b; Gulidov, 2011; van Sloun, 1989).

Weder PERLKA[®] noch Naturalis[®] besaßen eine Wirksamkeit gegenüber Kohlfiegenstadien. Der Wurzelschaden war von allen Versuchsgliedern am höchsten. Eine längere Entwicklungszeit durch subletale Effekte und damit verbundene längere Fraßtätigkeit einhergehend mit entsprechenden Schäden erscheint aufgrund der Beobachtungen während des Versuchs unwahrscheinlich. Die entstandenen Schäden scheinen eher mit der höheren Anzahl an Larven und Puppen zusammenzuhängen.

4.4.3 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht

Wurzelschäden spiegelten sich im Frischgewicht der Rettiche zur Ernte wieder. Behandelte Pflanzen waren, PERLKA[®] ausgenommen, schwerer als die unbehandelten Kontrollpflanzen. Die eingesetzte Kalkstickstoffmenge führte in diesem Versuch zu phytotoxischen Symptomen, die das Pflanzenwachstum negativ beeinflussten. In den übrigen Versuchsgliedern verhielt sich das Verhältnis zwischen Wurzelschaden und Gewicht nicht proportional, eine Korrelation war mitunter sehr schwach ausgebildet. Vergleichbare Untersuchungen an Rettichpflanzen sind bisher nicht beschrieben worden. Die

Zusammenhänge zwischen Wurzelschäden und Frischgewicht oder Ertrag wurden jedoch bei verschiedenen Kohlkulturen sowie Raps und anderen ackerbaulichen Kulturen untersucht. Es ist allerdings zu beachten, dass bei Rettich die Wurzel den größten Gewichtsanteil ausmacht und ertragsrelevant ist; Wurzelgewichte wurden jedoch einzig von Simser (1992) betrachtet. Alle Studien vereinen, dass Gewichte/Erträge erst ab einer bestimmten Schadstärke beeinflusst waren. So fanden Simser (1992) und Vänninen *et al.* (1999b) keine Korrelation dieser Parameter, Schroeder *et al.* (1996) dagegen schon. Auch andere Autoren erfassten bei verschiedenen Kulturen und Schädlingen variable Verhältnisse zwischen Wurzelschaden und Pflanzenwachstum (Barker und Olthof, 1976; Erwin *et al.*, 2013; Godfrey *et al.*, 1993; McDonald und Sears, 1991; McDonald und Sears, 1992). Die Pflanzenart beziehungsweise Varietät (Barker und Olthof, 1976) spielt dabei ebenso eine Rolle wie das Entwicklungsstadium der Pflanze zum Zeitpunkt der Schädigung sowie der Ort der Schädigung (Coaker, 1965; Godfrey *et al.*, 1993). So macht es einen Unterschied, ob Seitenwurzeln, Wurzelcortex oder Hauptwurzeln und Zentralzylinder geschädigt werden und so ihre Funktion nicht vollständig erfüllen können. Die Ursache der erzielten Ergebnisse kann ebenso in der natürlichen Variabilität des Pflanzenwachstums begründet liegen. Beispielsweise beobachteten Spike und Tollefson (1989), dass von Maiswurzelbohrerlarven (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) geschädigte Maispflanzen unter optimalen Umweltbedingungen höchst unterschiedliche Erträge aufwiesen.

4.4.4 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege

Subletale Effekte der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen waren nicht erkennbar. Da in allen Versuchen und Versuchsgliedern aus einem Teil der Puppen keine Imagines schlüpften, ist eine durch Pflanzenschutzmaßnahmen bedingte Mortalität bei diesen Puppen ausgeschlossen und von einer natürlichen Sterblichkeit ausgegangen worden. Die Schlupfrate der Fliegen aus behandelten Versuchsgliedern übertraf oftmals die der unbehandelten Kontrolle. Jedoch waren Fallzahlen teils zu gering, um aussagekräftige Schlussfolgerungen abzuleiten. Chandler und Davidson (2005) beobachteten nach Einsatz von entomopathogenen Pilzen eine reduzierte Schlupfrate sowie sporulierendes Myzel auf 30 % der Kadaver. In dem in dieser Arbeit durchgeführten Versuch erfolgte keine Myzelbildung. Auch *S. feltiae* reduzierten in einem von zwei Versuchen den Schlupf der Kohlfliege bei Nielsen und Philipsen (2004a). Das Vorhandensein von Nematoden in Puppen wurde nicht untersucht, aufgrund der hier erzielten Ergebnisse aber ausgeschlossen.

4.5 Schlussfolgerung

Zusammengefasst zeigten die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen eine unterschiedliche Wirksamkeit gegenüber Ei- und Larvenstadien der Kleinen Kohlflye. Mit keiner der untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen konnte ein 100%iger Schutz vor Schäden durch die Kleine Kohlflye erreicht werden. Die beste Wirksamkeit erzielten die Insektizide DPX-HGW86 10 OD, Coragen[®], Dantop[®] und SpinTor[™]. Die verursachten Schäden besaßen in den durchgeführten Versuchen keinen eindeutigen Einfluss auf das Frischgewicht, jedoch auf die Qualität der Pflanzen. Insbesondere entomopathogene Nematoden und Raubmilben zeigten in Klimakammerversuchen großes Potenzial als Alternative in der Bekämpfung der Kleinen Kohlflye. Im nächsten Kapitel wird die Wirksamkeit der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen unter praktischen Bedingungen in Feldversuchen untersucht. Da das Hauptaugenmerk auf Alternativen zu den bestehenden chemischen Insektiziden liegen sollte, wurden Coragen[®] und Dantop[®] dort nicht mit aufgenommen.

5 Wirksamkeit ausgewählter Pflanzenschutzmaßnahmen zur Kohlfiegenbekämpfung unter praxisnahen Bedingungen im Freiland

5.1 Einleitung

Voraussetzung für die praktische Umsetzung eines nachhaltigeren Pflanzenschutzes ist die Verfügbarkeit verschiedener, wirksamer Pflanzenschutzverfahren (BMEL, 2013; BMEL, 2014b; Hillocks und Cooper, 2012). So sollten für eine gezielte, situationsbezogene Bekämpfung bei gleichzeitiger Vermeidung einer Resistenzbildung von Schaderregern entsprechende Wahlmöglichkeiten gegeben sein, um der jeweiligen Situation entsprechend reagieren zu können (BMEL, 2014b).

In Kapitel 4 wurden verschiedene potenzielle nachhaltige Pflanzenschutzmaßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Bevor diese jedoch für die Praxis empfohlen werden können, ist eine Prüfung unter praktischen Bedingungen unerlässlich. Oftmals waren Pflanzenschutzmaßnahmen zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye wirksam in Labor- oder Gewächshausversuchen, nicht jedoch im Freiland (Chandler und Davidson, 2005; Chen *et al.*, 2003b; Jukes *et al.*, 2005; Meadow und Folkedal, 2007; Vänninen *et al.*, 1999b). Verschiedene biotische und abiotische Faktoren können die Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflussen (siehe Kapitel 3.2.1–3.2.4). Folglich sollten Erprobungen unter praxisnahen Bedingungen über mehrere Jahre stattfinden.

Da der regulierende Effekt durch natürliche Feinde nicht zu unterschätzen ist, sollte bei der Wahl der Pflanzenschutzmaßnahmen darauf geachtet werden, dass nachteilige Effekte durch Pflanzenschutzmaßnahmen vermieden werden. Besonders hervorzuheben bei der natürlichen Reduktion von Kohlfiegenpopulationen sind Kurzflügelkäfer der Gattung *Aleochara*, wie *A. bilineata* Gyllenhal und *A. bipustulata* L., sowie als spezifischer solitärer Endoparasitoid der Kohlfiegenlarven die Schlupfwespe *T. rapae* Westwood (Hymenoptera: Figitidae) (Wishart und Monteith, 1954). Nachteilige Effekte chemischer Pflanzenschutzmittel auf *Aleochara* und *Trybliographa* sind hinreichend beschrieben (IOBC Pesticide Side Effect Database, https://www.iobc-wprs.org/ip_ipm/IOBC_Pesticide_Side_Effect_Database.html). Allerdings können auch biologische Pflanzenschutzmittel beziehungsweise Antagonisten die natürlichen Feinde negativ beeinflussen (Biondi *et al.*, 2013). Dabei spielen neben direkter Toxizität auch subletale Effekte eine Rolle (Biondi *et al.*, 2013; Desneux *et al.*, 2007).

Unter subletalen Effekten versteht man per Definition entweder physiologische oder Verhaltensänderungen von Individuen, wie verändertes Fraß- und Orientierungsverhalten, reduzierte Larven- und Puppengröße, verringertes Larven- und Puppengewicht, verlängerte

Entwicklungszeit, verringerten Schlupf und reduzierte Lebensdauer und Fruchtbarkeit (Desneux *et al.*, 2007; Gosselin *et al.*, 2009; Rehan und Freed, 2015).

In den in diesem Kapitel durchgeführten Versuchen wurde die Wirksamkeit der in Kapitel 4 ausgewählten Ansätze, ergänzt durch zusätzliche Pflanzenschutzmaßnahmen, in zwei Anbausätzen pro Saison in den Jahren 2012 bis 2014 unter Berücksichtigung der variablen Eiablageintensität und klimatischen Gegebenheiten an verschiedenen Kohlkulturen untersucht. Zudem ist der Frage nachgegangen worden, wie sich der Zusammenhang zwischen Befall, Wurzelschaden und Ertrag in den Versuchen darstellt und wie erfolgreich eine Bekämpfung sein muss, um optimale Erträge zu gewährleisten. Ferner wurden das Parasitoidenspektrum und potenzielle subletale Effekten der eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Kohlflye und ihre wichtigsten natürlichen Feinde in die Untersuchungen einbezogen.

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Untersuchungsstandorte und Überwachung der Witterungsverhältnisse

Die Freilandversuche wurden auf den Versuchsflächen des Julius Kühn-Instituts durchgeführt. Versuche mit Kohlrabi und Brokkoli erfolgten in Ahlum (Breitengrad: 52.166250, Längengrad: 10.584.608) auf einer gemäß EU-Ökoverordnung zertifizierten Fläche, Brokkoliversuche in Hötzum (Breitengrad: 52.204.786, Längengrad: 10.604.974).

Der Bodentyp in Ahlum entspricht einem sandigen bis schluffigen Lehm (Tongehalt: 17–25 % bzw. 25–35 %), in Hötzum herrscht toniger Lehm (Tongehalt: 35–45 %) vor. Auf beiden Flächen wird eine rotierende Fruchtfolge betrieben. Vorkultur der in 2012 durchgeführten Versuche war in Ahlum Porree und in Hötzum Hafer. Bei im Jahr 2013 durchgeführten Versuchen war die Vorkultur in Ahlum Klee gras und in Hötzum Winterweizen. Im Jahr 2014 stand in Hötzum als Vorkultur Rosenkohl auf der Fläche.

Die Daten der Lufttemperatur stammen vom Deutschen Wetterdienst. Diese wurden von der Wetterstation auf dem Gelände des Thünen-Instituts in Braunschweig in einer Höhe von 2 m gemessen. Mit einem Regenschirm wurde zweimal wöchentlich die Niederschlagsmenge in Hötzum überprüft. Zudem ist die Bodentemperatur in 10 cm Bodentiefe ab 2013 mittels Datalogger kontrolliert worden.

5.2.2 Anzucht der Versuchspflanzen

Alle Jungpflanzen wurden im Gewächshaus bei etwa 16 °C, 50–90 % rF und Langtagbedingungen (16:8) in Erdpresstöpfen angezogen und vor dem Auspflanzen gegebenenfalls in einem Gewächshaus mit Kulturschutznetzabdeckung (BIONET®) akklimatisiert. Als Substrat für Erdpresstöpfe diente Potgrond P Presstopfsubstrat aus aufgedüngtem Torf für Gemüsejungpflanzen (Klasmann-Deilmann GmbH, Geeste, Deutschland). Kohlrabi-, Brokkoli- und Chinakohljungpflanzen, die auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche in Ahlum gepflanzt wurden, sind vom Jungpflanzenproduzenten zugekauft worden. Zum Zeitpunkt des Auspflanzens besaßen die Pflanzen in der Regel zwei voll entwickelte Laubblätter.

5.2.3 Überwachung der Eiablage

Die Eiablage der Kleinen Kohlflyge wurde mit sogenannten Eimanschetten (Freuler und Fischer, 1982) überwacht. Eine Eimanschette besteht aus mehreren Filzringen, die um den Wurzelhals der Pflanze angelegt werden (Abbildung 12). Kohlflygenweibchen legen ihre Eier in oder an die Manschette. Im Jahr 2012 wurde die Eiablage an auf dem Versuchsgelände angebauten Brokkoli-Pflanzen ermittelt (Anbaufläche: 49 m²). Ab 2013 wurden die Eimanschetten in Kontrollparzellen des Kohlflygenversuchs randomisiert angelegt. Dabei

wurden an vier (Ahlum) bis fünf (Hötzum) Kontrollpunkten jeweils fünf Eimanschetten an hintereinanderstehenden Pflanzen angebracht. Mit der eingesetzten Anzahl von 20–25 Eimanschetten erzielt man laut Hommes (2013, persönliche Mitteilung) einen repräsentativen Wert für Flächen mit einem Ausmaß bis zu 1 ha. Die Anbaufläche der Blumenkohlpflanzen in Hötzum betrug 480 m², die von Kohlrabi- und Brokkolipflanzen in Ahlum jeweils 216 m². Die Eimanschetten wurden zweimal wöchentlich kontrolliert. Dadurch sind Beginn, Dauer und Ausmaß der Eiablage nachvollziehbar. Zudem erhält man Auskunft zur Populationsdynamik der Kohlflye, wie Auftreten und Anzahl der verschiedenen Generationen einer Saison.



Abbildung 12: Eimanschette an Blumenkohlpflanze.

5.2.4 Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen

Bei allen Pflanzenschutzmaßnahmen, mit Ausnahme von DPX-HGW86 10 OD und ECOguard[®], die noch nicht in Deutschland zugelassen sind sowie dem Prüfmittel und *M. brunneum* Stamm HJS-1154, handelt es sich um kommerziell erhältliche Produkte (siehe Tabelle 7 und Kapitel 3.2.1–3.2.4). Der entomopathogene Pilz *M. brunneum* wurde aus Boden in Slowenien isoliert. Der Stamm wurde vom Agricultural Institute of Slovenia (AIS) bezogen. Bezug und Lagerung der Nematoden und Raubmilben werden in Kapitel 4.2.2 beschrieben.

5.2.5 Qualitätskontrolle von Nematoden und Raubmilben

Vor jeder Ausbringung von Nematoden und Raubmilben wurde die Qualität (Anzahl lebender Individuen je Lieferung) kontrolliert, um gegebenenfalls die Menge des Trägersubstrats anzupassen. Die Testmethode für entomopathogene Nematoden ist in Kapitel 4.2.3 beschrieben.

Die Qualität der Raubmilben wurde nach der Berlese-Methode überprüft. Zunächst wurde der gesamte Packungsinhalt gewogen. Danach sind 10 Proben à 0,5 g gut durchmischten

Trägermaterials in ein an einem Gestänge befestigtes Teesieb gegeben worden, das 10 cm unter einer 60 W Glühbirne angebracht war. Die von der Glühbirne abgegebene Hitze sowie die Austrocknung des Vermiculits bewirkten, dass die Milben durch das Sieb von der Wärmequelle nach unten flüchteten, wo sie in einer mit Ethanol gefüllten Petrischale aufgefangen wurden. Nach zehn Minuten wurde das Sieb entfernt und fünfmal fest aufgeklopft, um etwaige im Trägermaterial verbliebene Milben mit in das Ethanol zu befördern. Unter dem Binokular wurden dann die Milben im Ethanol gezählt. Anschließend ist die Summe aus Milben in Ethanol und Klopffest gebildet und der Mittelwert berechnet worden. Anhand des Ergebnisses konnte die tatsächlich in der Packung vorhandene Anzahl an Raubmilben und die tatsächlich auszubringende Menge des Trägermaterials hochgerechnet werden.

5.2.6 Versuchsaufbau

Als Versuchsdesign wurde eine randomisierte Blockanlage mit fünf Versuchsgliedern und fünf Wiederholungen bei Blumenkohl (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L. 'Fremont') und vier Versuchsgliedern und vier Wiederholungen bei Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* L. 'Lech') und Brokkoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L. 'Belstar') gewählt. Die Pflanzabstände betragen bei Blumenkohl und Brokkoli praxisübliche 50 cm in der Reihe bei 40 cm Reihenabstand. Kohlrabi wurde mit 30 cm Abstand in der Reihe und 40 cm Reihenabstand gepflanzt. Längs des Kohlrabifeldes wurde jeweils ein Fangstreifen mit Chinakohlpflanzen (*Brassica rapa* ssp. *pekinensis* (LOUR.) 'Michico') angelegt. Dieser bestand aus zwei Reihen mit Pflanzabständen von 50 cm in der Reihe und 40 cm Reihenabstand.

In einer Anbausaison wurden von jeder Kultur jeweils zwei Sätze (Satz 1 (S1) und Satz 2 (S2)) zu einem früheren und einem späteren Pflanztermin angebaut. Eine Ausnahme bildete das Jahr 2013, in dem statt des zweiten Satzes Kohlrabi Brokkoli gepflanzt wurde. Die beiden Sätze standen dabei auf derselben Parzelle versetzt nebeneinander. Durch den wiederholten Anbau konnte der Einfluss des Anbauzeitraumes, inklusive klimatischer Unterschiede, verbunden mit dem unterschiedlichen Auftreten der Kleinen Kohlflyge, auf den Befall untersucht werden. Gleichzeitig wurde somit eine höhere Anzahl von Wiederholungen des Versuchs generiert. Die Pflanzung der ersten Sätze erfolgte Anfang Mai, die der zweiten Sätze Mitte/Ende Juli (Tabelle A 1).

Die Versuche auf der ökologisch bewirtschafteten Fläche in Ahlum wurden nicht gedüngt und Unkraut, wenn nötig, mechanisch entfernt. Blumenkohlpflanzen in Hötzum erhielten in der Regel eine praxisübliche Stickstoffdüngung zur Pflanzung und bei Kopfbildung. Die Grunddüngung erfolgte mit 100–130 kg N/ha Kalkammonsalpeter (KAS, 27 % N, Agravis, Münster, Deutschland) abzüglich N_{\min} nach Bodenuntersuchung. Davon ausgenommen war

das Versuchsglied, in dem Kalkstickstoff (PERLKA[®], 19,8 % N, AlzChem AG, Trostberg, Deutschland) als Pflanzenschutzmaßnahme gegen die Kleine Kohlflye appliziert wurde. In diesem Fall erfolgte eine Gabe von 5 dt/ha PERLKA[®] (99 kg N/ha) zwei bis drei Wochen nach Pflanzung (siehe Tabelle 7). Alle Versuchsglieder erhielten bei Kopfbildung 150 kg N/ha KAS.

Unkräuter wurden in Hötzum im Jahr 2012 mit Centium[®] 36 CS (360 g/l Clomazone, Belchim Crop Protection, Burgdorf, Deutschland) innerhalb einer Woche nach Pflanzung bekämpft. In den Folgejahren wurde Stomp[®] Aqua (455 g/l Pendimethalin, BASF, Limburger Hof, Deutschland) einige Tage vor Pflanzung eingesetzt, da Centium[®] 36 CS Chlorosen an den Kohlpflanzen verursachte. Die Anwendungen erfolgten zulassungsgemäß.

5.2.7 Versuchsdurchführung

Die verschiedenen gegen die Kleine Kohlflye im Freiland durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen sind in Tabelle 6 dargestellt, Aufwandmengen und Applikationszeitpunkte in Tabelle 7.

Tabelle 6: Im Freiland durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen bezogen auf Kultur und Versuchsjahr.

Kultur	Behandlung		
	2012	2013	2014
Blumenkohl	Kontrolle, SpinTor [™] , nemaplus [®] , PERLKA [®] , Naturalis [®]	Kontrolle, SpinTor [™] , DPX-HGW86 10 OD, nemaplus [®] , PERLKA [®]	Kontrolle, SpinTor [™] , nemaplus [®] , MACRO-MITE, nemaplus [®] + MACRO-MITE
Kohlrabi	Kontrolle, SpinTor [™] , nemaplus [®] , ECOguard [®] / Prüfmittel; Chinakohl-Fangstreifen	Kontrolle, SpinTor [™] , nemaplus [®] , MACRO-MITE; Chinakohl-Fangstreifen	
Brokkoli		Kontrolle, SpinTor [™] , Naturalis [®] , <i>M. brunneum</i> (HJS-1154)	

Behandlungen mit SpinTor[™] erfolgten grundsätzlich in Erdpresstopfkisten vor dem Auspflanzen. Das Insektizid wurde mittels Gießkanne in ein bis drei Litern Wasser, je nach Feuchtigkeit des Substrats, ausgebracht. Auch DPX-HGW86 10 OD wurde vor Pflanzung angegossen. Für die Ausbringung der Nematoden wurde eine Stammlösung angesetzt und pro Pflanze annähernd 180.000 Individuen in 50 ml Wasser mit einem Messzylinder an den Wurzelhals angegossen. Die optimale Wassermenge ist in Vorversuchen ermittelt worden.

Nach dem gleichen Prinzip erfolgte die Ausbringung von entomopathogenen Pilzen im Blumenkohl. Die Behandlung der Brokkolipflanzen mit den entomopathogenen Pilzen *B. bassiana* (Naturalis[®]) und *M. brunneum* fand dagegen in den Erdpresstopfkisten vor der Pflanzung statt. Die Konidiensuspensionen wurden mit einer Pipette ausgebracht. Raubmilben wurden im Feld in Trägermaterial um den Wurzelhals herum ausgestreut. In Blumenkohl wurde 2014 im zweiten Satz eine weitere Ausbringung fünf Wochen nach Pflanzung durchgeführt, da die Eiablage der Kleinen Kohlfliege erst nach der zweiten Applikation begann. Bei einer kombinierten Ausbringung von Nematoden und Raubmilben war die Durchführung identisch mit der der Einzelausbringungen. Um ein Abwandern der Raubmilben in andere Versuchsglieder zu verhindern, wurde im Vorfeld ein Zaun aus Rasenkanten um die behandelten Wiederholungen errichtet. Eine gegen die Kleine Kohlfliege ausgerichtete Applikation von Kalkstickstoff (PERLKA[®]) erfolgte durch Ausstreuen zwischen den Versuchspflanzen. Ebenfalls an die Basis der Pflanzen gestreut wurden ECOguard[®] Granulat und ein Prüfmittel der Firma W. Neudorff GmbH KG.

Tabelle 7: Übersicht über die in Freilandversuchen untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen und deren Anwendung.

	Pflanzenschutzmaßnahme	Aufwandmenge	Applikationszeitpunkt	Hersteller
Blumenkohl	SpinTor [™] (Spinosad, 480 g/l AS)	12 ml/1.000 Pfl. in 1–3 l H ₂ O	1–3 Tage vP 2014(1): 3 Tage vP 2014(2): 1 Tag vP	Dow AgroSciences GmbH (München, Deutschland)
	DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol, 100 g/l AS)	24 ml /1.000 Pfl. in 2 l H ₂ O	2013(1): 2 Tage vP 2013(2): 2 Tage vP	DuPont de Nemours GmbH (Neu Isenburg, Deutschland)
	PERLKA [®] (Kalkstickstoff, 19,8 % N)	500 kg/ha	2012(1): 17 Tage nP 2012(2): 14 Tage nP 2013(1): 20 Tage nP 2013(2): 20 Tage nP	AlzChem AG (Trostberg, Deutschland)
	Naturalis [®] (<i>Beauveria bassiana</i> , Stamm ATCC 74040, 0,18 g/l AS)	1 ml (2,3 x 10 ⁷ = 23 Mio. Sporen) in 50 ml H ₂ O/ Pfl.	2012(1): 7 + 17 Tage nP 2012(2): 7 + 15 Tage nP	Andermatt Biocontrol AG (Grossdietwil, Schweiz)
	nemaplus [®] (<i>Steinernema feltiae</i> , Stamm EN02)	Ca. 180.000 in 50 ml H ₂ O/ Pfl.	2012(1): 7 + 17 Tage nP 2012(2): 7 + 15 Tage nP 2013(1): 6 + 23 Tage nP 2013(2): 19 + 32 Tage nP 2014(1): 8 + 18 + 28 Tage nP 2014(2): 10 + 20 + 29 Tage nP	e-nema GmbH (Schwentinnenetal, Deutschland)
	MACRO-MITE (<i>Macrocheles robustulus</i>)	Ca. 10 Individuen/Pfl.	2014(1): 10 + 17 Tage nP 2014(2): 10 + 17 + 36 Tage nP	Koppert B.V. (Berkel en Rodenrijs, Niederlande)

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG
UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

	Pflanzenschutzmaßnahme	Aufwandmenge	Applikationszeitpunkt	Hersteller
Kohlrabi	SpinTor™ (Spinosad, 480 g/l AS)	12 ml/1.000 Pfl. in 1–3 l H ₂ O	1–3 Tage vP	Dow AgroSciences GmbH (München, Deutschland)
	nemaplus® (<i>Steinernema feltiae</i> , Stamm EN02)	Ca. 180.000 in 50 ml H ₂ O/ Pfl.	2012(1): 10 + 19 Tage nP 2012(2): 6 + 15 Tage nP 2013(1): 17 + 31 Tage nP	e-nema GmbH (Schwentinental, Deutschland)
	MACRO-MITE (<i>Macrocheles robustulus</i>)	Ca. 20 Individuen/Pfl.	10 Tage nP	Koppert B.V. (Berkel en Rodenrijs, Niederlande)
	ECOGuard® (Knoblauchgranulat, 450 g/kg)	12 kg/ha	10 + 26 Tage nP	Ecospray Ltd. (Norfolk, Großbritannien)
	Prüfmittel	0,5 g/lfd Meter	4 + 18 Tage nP	W. Neudorff GmbH KG
Brokkoli	SpinTor™ (Spinosad, 480 g/l AS)	12 ml/1.000 Pfl. in 1–3 l H ₂ O	1 Tag vP	Dow AgroSciences GmbH (München, Deutschland)
	Naturalis® (<i>Beauveria bassiana</i> , Stamm ATCC 74040, 0,18 g/l AS)	5 ml Suspension (2,3 x 10 ⁶ Sporen/ml)/Pfl. (±1,15 x 10 ⁷ lebende Sporen/Pfl.)	1 Tag vP	Andermatt Biocontrol AG (Grossdietwil, Schweiz)
	<i>Metarhizium brunneum</i> (Stamm HJS-1154)	2 ml Suspension (4,6 x 10 ⁶ Sporen/ml)/Pfl. (± 2,30 x 10 ⁷ lebende Sporen/Pfl.)	2 Tage vP	Agricultural Institute Slovenia

AS: Aktive Substanz

EA: Eiablage

Pfl. = Pflanze

vP = vor Pflanzung, nP = nach Pflanzung

5.2.8 Versuchsauswertung

Die Ernte der Kohlrabi- und der Chinakohl-Fangpflanzen erfolgte sechs bis acht Wochen nach Pflanzung. Brokkolipflanzen wurden nach elf Wochen bonitiert. Im Blumenkohl wurde, mit Ausnahme der Saison 2013 aufgrund von Überschwemmungen, sechs Wochen nach Pflanzung eine Zwischenbonitur (ZB) durchgeführt, die Endbonitur (EB) erfolgte nach weiteren sechs Wochen. Exakte Daten sind Tabelle A 1 zu entnehmen.

Pro Wiederholung wurden 10–20 Pflanzen aus den beiden mittleren Reihen direkt über der Bodenoberfläche abgeschnitten. Zur Zwischenbonitur sind zehn Pflanzen pro Wiederholung entfernt worden. Das Frischgewicht der oberirdischen Pflanzenteile wurde ermittelt sowie ab 2013 zur Endbonitur der Durchmesser der Blumenkohl- und Brokkoliblume. Blumen mit einem Durchmesser größer oder gleich 11 cm (Blumenkohl) (EU, 2005) beziehungsweise 6 cm (Brokkoli) (VN, 2010) wurden als marktfähig eingestuft, die Qualität der Blumenkohlblumen jedoch nicht evaluiert. Grund war, dass in der Praxis Blumenkohl in mehreren Durchgängen geerntet wird. Dies war in den durchgeführten Versuchen nicht möglich, da zur Bestimmung der Anzahlen von Larven und Puppen im Wurzelraum an einem Termin geerntet werden musste.

Zudem sind die entsprechenden Wurzeln mit Erdballen (ca. 10 x 10 x 10 cm) zur Bonitur des Wurzelschadens und Erfassung der Anzahl an Kohlfiegenpuppen ausgegraben worden. Je fünf Wurzeln wurden in Tüten zusammengefasst und bis zur Auswertung im Kühlraum bei 4 °C gelagert. Puppen wurden aus den Proben durch Auswaschen mittels einer Wurzelwaschvorrichtung (Burkard Manufacturing Co Ltd., Großbritannien) gewonnen. Diese bestand aus einem Gestell, auf das zwei Eimer und ein Aufsatz mit grobem Sieb (5 mm Maschenweite) montiert wurden. Unter dem Auslauf des unteren Eimers befand sich ein feines Sieb (1 mm Maschenweite), in dem ausgespülte Puppen aufgefangen wurden (Abbildung 13).



Abbildung 13: Wurzelwaschvorrichtung.

Die im Sieb gesammelten Rückstände wurden in eine Schale (34 x 30 x 8 cm) gespült, aus welcher Puppen und gegebenenfalls Larven mit einer Pinzette heraus gesammelt wurden. Erstere sind in große (≥ 5 mm) und kleine (< 5 mm) Puppen unterteilt, teilweise gewogen und bis zum Schlupf in einer Klimakammer ($18,8 \pm 2,0$ °C, 50–80% rF, Langtagbedingungen (16:8)) in Petrischalen (9 cm Ø) gehalten worden. Stammten die Puppen aus den zweiten Sätzen, wurde darauf geachtet, dass für neunzehn Wochen eine Lagerung bei 4 °C im

Kühlraum erfolgte, um eine mögliche Diapause zu brechen. Petrischalen waren mit einer Schicht feuchtem Vermiculit gefüllt. Dieses wurde wöchentlich mittels einer mit Leitungswasser befüllten Sprühflasche befeuchtet und Schalen auf geschlüpfte Insekten untersucht. Puppen, aus denen nach circa zwei bis drei Monaten (in Ausnahmefällen nach sechs Monaten) keine Kohlfiegen oder Parasitoide geschlüpft waren, wurden als abgestorben erachtet.

Die Bonitur der Wurzelschäden erfolgte in Anlehnung an die BBA-Richtlinien (Hommes und Wolf, 1991a; Hommes und Wolf, 1991b). Dabei unterschied man vier Schadklassen (Tabelle 8, Abbildung 14).

Tabelle 8: Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen (SKL)

SKL 0	keine sichtbaren Fraßsymptome/ohne Befall
SKL 1	einzelne schwache Fraßstellen/leichter Befall
SKL 2	deutliche Fraßstellen
SKL 3	zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden

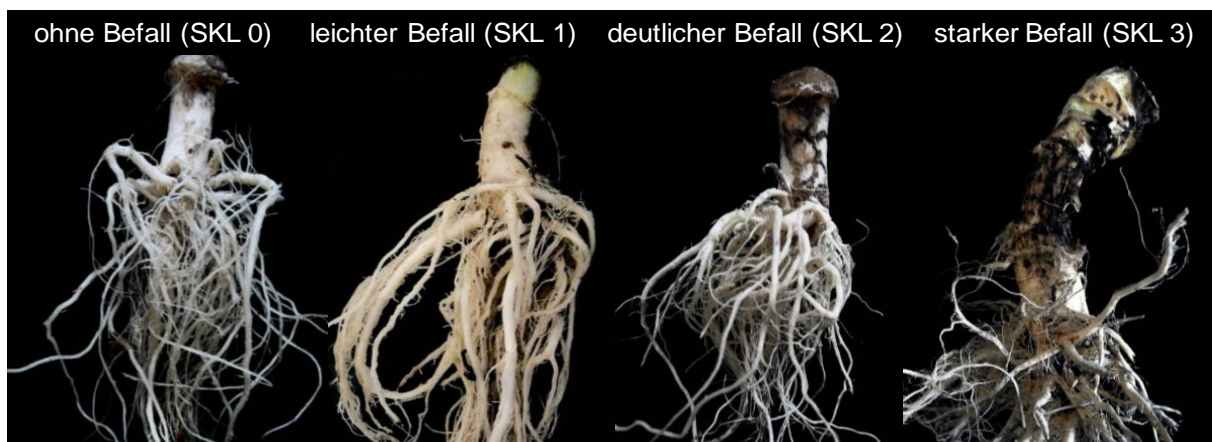


Abbildung 14: Boniturschema der Wurzelschäden am Beispiel von Blumenkohlwurzeln.

5.2.9 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 3.2.3; R Development Core Team, 2015). Die Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen wurde mittels GLMM (Generalized Linear Mixed Model) mit Annahme der Poisson-Verteilung und unter Berücksichtigung des Blocks als Zufallsfaktor analysiert. Vergleiche zwischen den Behandlungen erfolgten mit dem Tukey HSD-Test.

Mögliche Einflüsse des Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Puppengröße und -gewicht erfolgten mit einer ANOVA und anschließendem Tukey HSD-Test.

Zur statistischen Untersuchung der Schadklassen wurden die Daten Freeman-Tukey transformiert und im Anschluss ein LMM (Linear Mixed Model), unter Berücksichtigung des Blocks als Zufallsfaktor, mit anschließendem Tukey HSD-Test berechnet.

Gewichtsunterschiede sind ebenfalls mittels LMM und Tukey HSD-Test untersucht worden. Der Vergleich marktfähiger Köpfe erfolgte mit einem GLMM, wobei hier eine Quasibinomial-Verteilung eingesetzt wurde.

Mögliche Korrelationen zwischen Gewicht und Schadklasse wurden mittels Spearman Rangkorrelation berechnet. Die Untersuchung von Korrelationen zwischen Puppengewicht und Puppengröße erfolgte mittels Pearson-Produkt-Moment Korrelation. Die Korrelationskoeffizienten ρ (Spearman) beziehungsweise ρ (Pearson) können Werte zwischen 1 und -1 annehmen. Werte > 0 geben eine positive lineare Korrelation an, Werte < 0 eine negative lineare Korrelation, die umso stärker ist je näher der Wert an 1 oder -1 liegt.

Da die Anzahl an Larven und Puppen immer pro fünf Wurzeln bestimmt wurde, ist zur Berechnung der Korrelation zwischen Larven/Puppen und Gewicht beziehungsweise Schadklasse jeweils der Mittelwert des Gewichts beziehungsweise der Schadklasse für die entsprechenden Proben berechnet worden. Eine mögliche Wechselbeziehung der untersuchten Variablen muss hier mit Vorsicht interpretiert werden.

Im Vorfeld wurde sichergestellt, dass keine Abhängigkeiten zwischen den Kovariablen vorlagen.

Für alle Versuchsfragen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt.

5.3 Ergebnisse

Aufgrund der Vielzahl an Ergebnissen und unter dem Aspekt, dass Endbonituren für die Praxis die größte Relevanz besitzen, wird der Schwerpunkt im Folgenden hauptsächlich auf diese Bonitur gelegt. Falls nicht anders beschrieben, werden Mittelwerte genannt. Die Rohdaten sind im Anhang aufgeführt.

5.3.1 Blumenkohl

5.3.1.1 Versuchssaison 2012

5.3.1.1.1 Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf in der Versuchssaison 2012 ist in Abbildung 15 dargestellt. Während der Kulturdauer des Blumenkohls wurden in jeder Woche Niederschläge verzeichnet. Diese waren in der zweiten Maihälfte recht niedrig, während im Juni und Anfang Juli höhere Niederschläge fielen. Die höchsten Mengen wurden Anfang Juni und Mitte Juli mit knapp 47 beziehungsweise 43 mm pro Woche gemessen. Im zweiten Satz waren Niederschlagsmengen deutlich geringer und lagen bis auf wenige Ausnahmen unter 10 mm. Die Lufttemperatur stieg Ende Mai (Woche 22) von im Mittel 13 °C auf bis zu 18,7 °C Anfang Juli an. Im Anschluss gingen die Temperaturen bis zur Endbonitur langsam auf 15 °C zurück. Zur Pflanzung des zweiten Satzes in der letzten Julihälfte lag die Temperatur bei 21 °C. Diese nahm ab Ende August kontinuierlich ab, bis sie im Oktober bei 8 °C lag.

5.3.1.1.2 Eiablage der Kleinen Kohlflye

Mit Eimanschetten konnten die ersten Eier eine Woche nach Pflanzung Mitte Mai erfasst werden (Abbildung 15). Es wurden 4,7 Eier pro Eimanschette gezählt. Zwei Wochen nach Pflanzung lag die Anzahl abgelegter Eier pro Eimanschette bei 16,7 Eiern. Im Juni war mit weniger als einem Ei pro Eimanschette eine schwache Eiablage zu verzeichnen. Im Juli stieg die Zahl der abgelegten Eier wieder an; der zweite Eiablagehöhepunkt lag in der ersten Julihälfte mit 24,4 Eiern pro Eimanschette. Im gesamten August wurde eine erhöhte Eiablage von 5,8–12,3 Eiern pro Manschette und Woche beobachtet. Im September erfolgte ein Absinken der Eizahlen, bis im Oktober keine Eier mehr in den Eimanschetten entdeckt wurden. Die Eiablage schien nicht wesentlich durch Witterungsbedingungen beeinflusst.

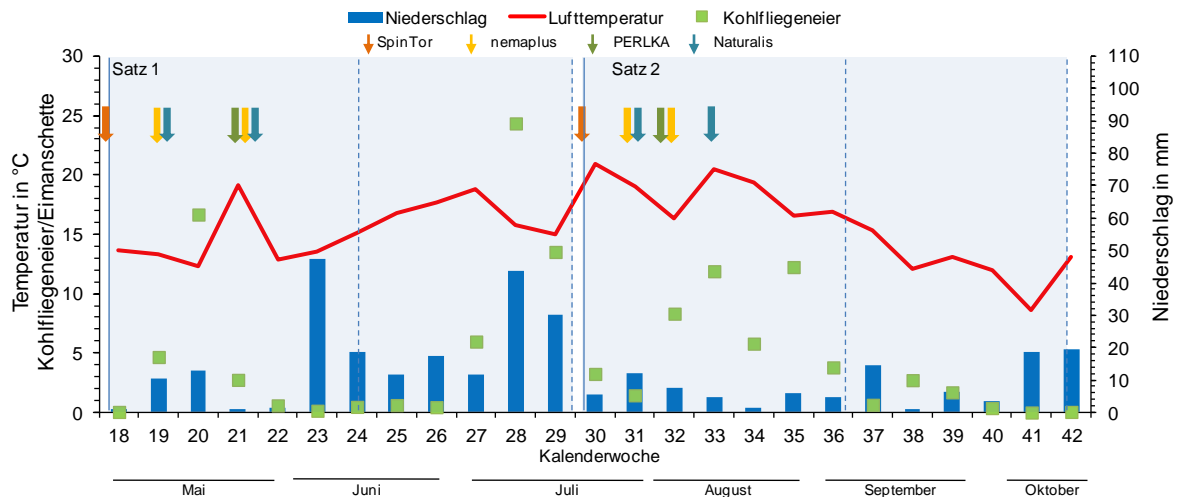


Abbildung 15: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlflye und Pflanzenschutzbehandlungen in 2012. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Die Eiablage der Kleinen Kohlflye wurde 2012 im Brokkoli-Bestand kontrolliert. Durchgezogene Linien symbolisieren die Pflanzung zu Beginn eines Satzes, die unterbrochenen Linien die Bonituren. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), nemaplus® (*S. feltiae*), PERLKA® (Kalkstickstoff), Naturalis® (*B. bassiana*)).

5.3.1.1.3 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

In der Versuchssaison 2012 waren zu allen Boniturterminen Larven bereits verpuppt. Beim Vergleich der Anzahl an Kohlfiegenpuppen wurde deutlich, dass diese zu den Zwischenbonituren (ZB) niedriger war als zu den Endbonituren (EB). Das Verhältnis zwischen den Versuchsgliedern blieb jedoch ähnlich. Zudem wurden im ersten Satz (S1) eines Jahres jeweils weniger Puppen gefunden als im zweiten Satz (S2) (Abbildung 16; Tabelle A 12). Beispielsweise wurden in der Kontrolle 5,9 Puppen zur EB in S1 ermittelt, in S2 dagegen 39,1 Puppen. Während nach Applikationen von nemaplus® und Naturalis® mehrheitlich keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle auftraten ($p \geq 0,007$), war in der Regel eine signifikant erhöhte Puppenzahl nach Applikation von PERLKA® zu verzeichnen ($p < 0,001$). Diese lag im Vergleich mit 10,3 Puppen in S1 und 58,4 Puppen in S2 knapp 50–75 % höher als bei unbehandelten Pflanzen. Im Gegensatz dazu konnte nach Behandlung mit SpinTor™ immer eine signifikant geringere Zahl im Vergleich zu allen Versuchsgliedern detektiert werden ($p < 0,001$). Hier wurden im ersten Satz zum Zeitpunkt der EB 3,4 und im zweiten Satz 14,1 Puppen bonitiert. Aufgrund der höheren Puppenzahl in S2 wirkte sich diese Reduktion hier besonders deutlich aus. In S1 lag diese bei 71,2 % verglichen zur Kontrolle, während sie in S2 92,8 % betrug.

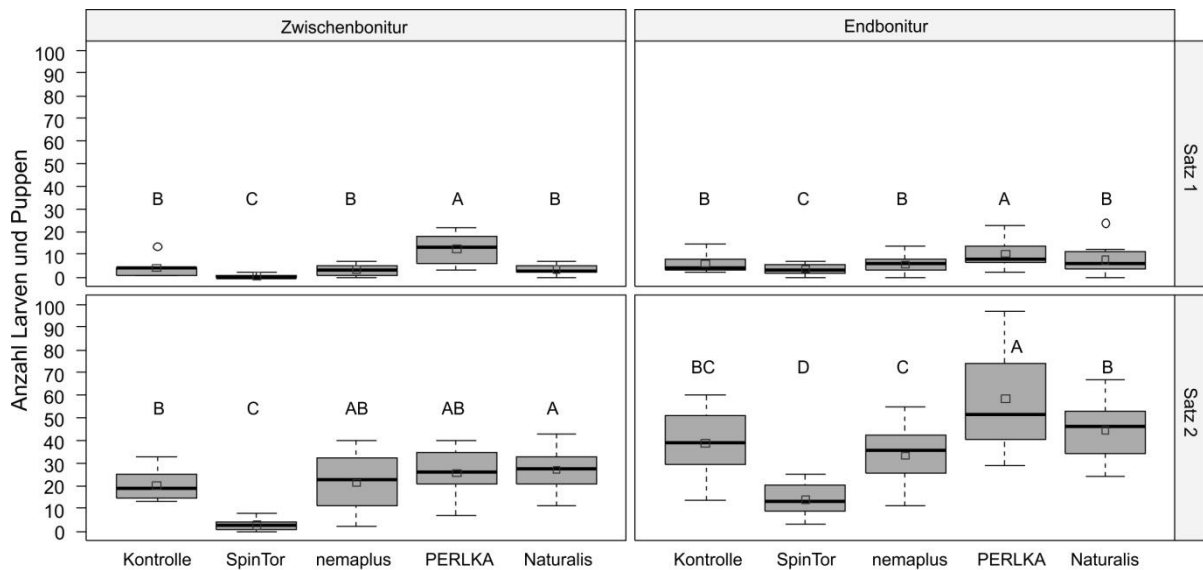


Abbildung 16: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Blumenkohlpflanzen im Jahr 2012. Es wurden die Kohlfiegenstadien von je fünf Wurzelproben zusammengefasst. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage vor Pflanzung angegossen, Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 7 und 17 (Satz 1) sowie 7 und 15 Tage (Satz 2) nach Pflanzung, ebenso Naturalis® (*B. bassiana*). PERLKA® (Kalkstickstoff) ist 17 Tage nach Pflanzung appliziert worden. Die Bonituren erfolgten 6 und 11 Wochen nach Pflanzung. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 10$ (ZB), $n = 20$ (EB S1), $n = 15$ (EB S2); GLMM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, — = Median).

5.3.1.1.4 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

In der Versuchssaison 2012 waren die Wurzelschäden durch die Kleine Kohlflye zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur (ZB) höher als zur Endbonitur (EB). Desweiteren wiesen Wurzeln des ersten Satzes (S1) geringere Schädigungen auf als Wurzeln des zweiten Satzes (S2) (Abbildung 17, Tabelle A 13). Beispielsweise wurden an 41,8 % der Kontrollpflanzen zur EB geringfügige Schädigungen festgestellt (SKL 1), knapp die Hälfte besaß deutliche Schädigungen (SKL 2) und 5,1 % starke (SKL 3). Die restlichen 2 % blieben unbefallen (SKL 0). Dagegen zeigte sich mit 7,9 % leicht befallenen Wurzeln (SKL 1), 90,8 % deutlich (SKL 2) und 1,3 % (SKL 3) stark geschädigten Wurzeln in S2 ein höheres Schadausmaß. In allen Sätzen ähnelte sich die Häufigkeitsverteilung der Schadklassen von nemaplus®- und Naturalis®-behandelten Pflanzen sehr. Ausgenommen die Nematodenvariante zur ZB in S1, die sich durch einen höheren Anteil schadfreier sowie einen geringeren Anteil stark geschädigter Wurzeln abhob, unterschieden sich diese beiden Versuchsglieder nicht signifikant gegenüber der Kontrolle ($p \geq 0,098$). Die zu allen Boniturterminen stärksten Schädigungen traten an Wurzeln PERLKA®-behandelter Pflanzen auf. Zu den Zwischenbonituren lag der Anteil stark geschädigter Wurzeln bei über 50 %, verringerte sich zu den Endbonituren jedoch um das 5–10-fache, woraufhin Wurzeln der SKL 2 (mit je 61 % und 93 %) klar überwogen. Statistische Unterschiede gegenüber der Kontrolle traten nur zur EB in S1 auf ($p = 0,020$). Allerdings unterschied sich diese Variante zum

Zeitpunkt der Zwischenbonituren gegenüber den übrigen Behandlungen (Ausnahme Naturalis® S2) signifikant durch den bereits dargestellten Anteil Wurzeln in SKL 3 ($p \leq 0,002$). Die in der Regel insgesamt am geringsten geschädigten Wurzeln wurden durch Behandlung mit SpinTor™ erzielt. Diese unterschieden sich gegenüber unbehandelter Kontrolle und weiteren Versuchsgliedern in der Regel durch einen höheren Anteil geringfügig geschädigter Wurzeln (SKL 1) (+11 % (EB S1) und +16 % (EB S2) gegenüber der Kontrolle). Die Unterschiede waren in S2 (Ausnahme nemaplus® ZB) gegenüber allen Versuchsgliedern signifikant ($p \leq 0,036$). In S1 zeigten sich die Differenzen gegenüber der Kontrolle insignifikant ($p \geq 0,056$), jedoch wurden signifikante Unterschiede gegenüber PERLKA® ($p \leq 0,001$) sowie zur EB auch gegenüber nemaplus® ($p < 0,001$) und Naturalis® ($p = 0,022$) ermittelt.

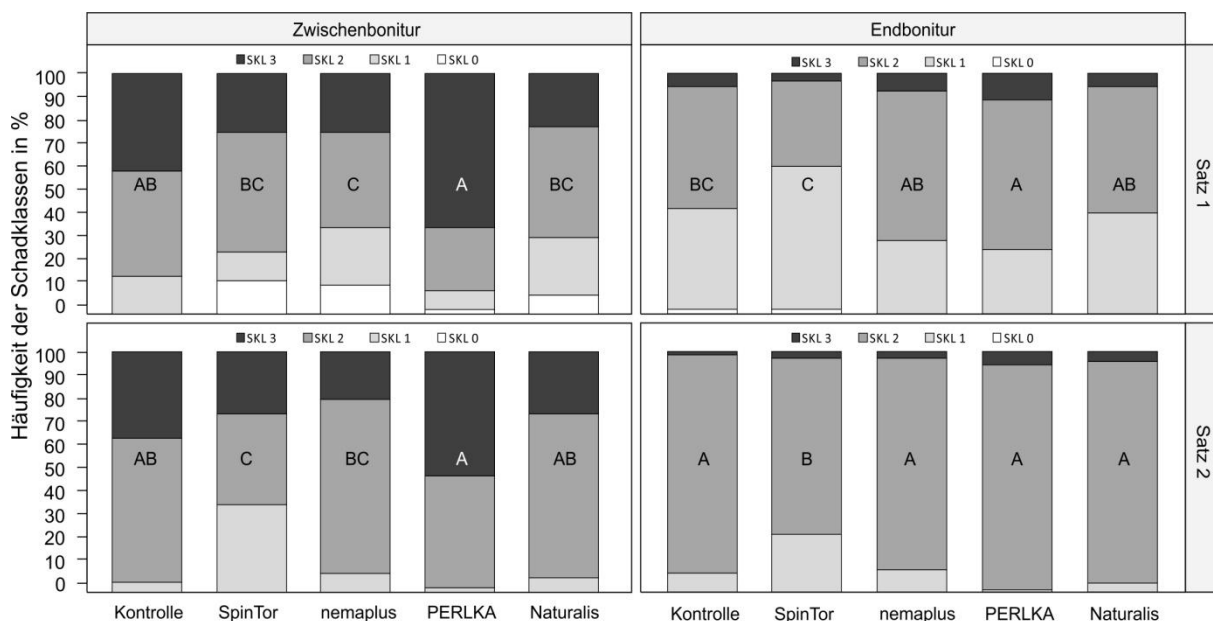


Abbildung 17: Fraßschäden an Blumenkohlwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schädsklassen (SKL) 0–3 in Prozent in 2012. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen, SKL 2 = deutliche Fraßstellen, SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage vor Pflanzung angegossen, Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 7 und 17 (Satz 1) sowie 7 und 15 Tage (Satz 2) nach Pflanzung, ebenso Naturalis® (*B. bassiana*). PERLKA® (Kalkstickstoff) ist 17 Tage nach Pflanzung appliziert worden. Die Bonituren erfolgten 6 und 11 Wochen nach Pflanzung. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schädsklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 50$ (ZB), $n = 98$ (VG1/VG4/VG5), $n = 100$ (VG2/VG3) (EB S1), $n = 76$ (VG1), $n = 75$ (VG2-VG5) (EB S2); LMM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

5.3.1.2 Versuchssaison 2013

5.3.1.2.1 Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf in der Versuchssaison 2013 ist in Abbildung 18 dargestellt. Die Saison begann mit Temperaturen um 10–14 °C und hohen Niederschlagsmengen. Wurden Anfang Mai Niederschlagsmengen von 14 mm gemessen, stiegen diese auf 105 mm Ende Mai an. Das Blumenkohlfeld stand komplett unter Wasser. Im Juni sanken die Wochensummen; Anfang Juni wurden noch 21 mm aufgezeichnet, im restlichen Monat war es mit Ausnahme von KW 25 eher trocken. Wöchentliche Niederschläge traten erst wieder im August auf. Mit wenigen Ausnahmen lagen diese bis zum Oktober unter 10 mm pro Woche.

Gleichzeitig mit Abnahme der Regenfälle zu Beginn der Saison stiegen die Temperaturen auf bis knapp über 20 °C an. Ab Ende Juli sank die Temperatur langsam bis Oktober ab. Insgesamt war die Bodentemperatur im Allgemeinen einige Grad höher als die hier beschriebene Lufttemperatur.

5.3.1.2.2 Eiablage der Kleinen Kohlflye

Das Monitoring der Kohlflegeneiablage begann in Woche 21 (Abbildung 18). In Woche 22 konnte aufgrund des Hochwassers kein Monitoring erfolgen. In den folgenden Wochen war die Eiablage mit weniger als einem Ei pro Eimanschette bis zum Ende der zweiten Julihälfte minimal. Die höchste Anzahl Eier pro Eimanschette in der gesamten Saison wurde Ende Juli mit 7,1 Eiern dokumentiert. Im Verlauf des zweiten Satzes schwankte die Anzahl der abgelegten Eier mit einem Maximalwert von 4,6 Eiern in Woche 36. Nach der Zwischenbonitur des zweiten Satzes in Woche 38 wurden so gut wie keine Eier mehr abgelegt.

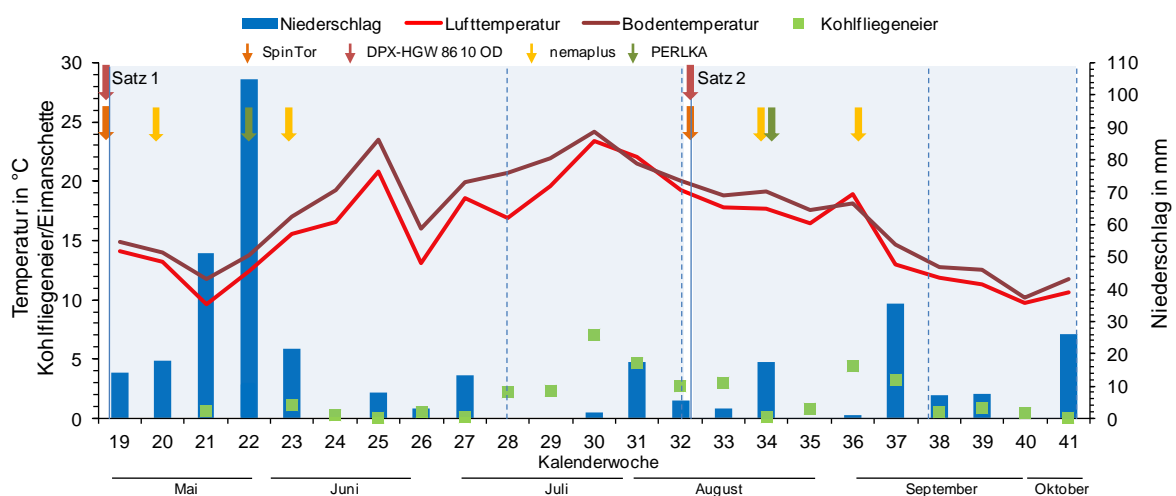


Abbildung 18: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlflye und Pflanzenschutzbehandlungen in Blumenkohl 2013. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, mittlere Bodentemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Durchgezogene Linien symbolisieren die Pflanzung zu Beginn eines Satzes, die unterbrochenen Linien die Bonituren. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol), nemaplus® (*S. feltiae*), PERLKA® (Kalkstickstoff)).

5.3.1.2.3 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

Auch in der Saison 2013 waren zu allen Boniturterminen die meisten Larven verpuppt. Insgesamt wurde zu den Endbonituren (EB) ein höherer Befall registriert als zu den Zwischenbonituren (ZB). Die Anzahl der aufgefundenen Puppen ist, wie auch 2012, im ersten Satz (S1) geringer als im zweiten Satz (S2) gewesen (Abbildung 19, Tabelle A 12). Insbesondere in S1 war der Befall im Jahr 2013 minimal. Durch die Überschwemmung des Feldes und die folgende Trockenheit wurden erst einige Wochen vor der Endbonitur Kohlflegeneier abgelegt. In S1 wurden zur EB 3,7 Puppen bonitiert, während in S2 die Anzahl mit 23,1 Puppen knapp siebenmal höher lag.

Nach Applikation der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen folgte die Anzahl an Larven und Puppen zu allen Boniturterminen grundsätzlich einem ähnlichen Trend. Behandlungen mit entomopathogenen Nematoden führten in der Regel zu einer Verringerung der Puppenzahl verglichen zur Kontrolle. Zur EB S2 betrug die Reduktion 23,4 %; die Unterschiede waren signifikant ($p > 0,001$). Auffällig war der vergleichsweise hohe Befall nach einer Kohlfiegenbekämpfung mit Kalkstickstoff, wobei in allen Sätzen die tendenziell höchsten Puppenzahlen beobachtet wurden. Diese Unterschiede waren zur EB des ersten Satzes signifikant ($p = 0,009$) und mit einer 72,9%igen Erhöhung des Befalls verglichen zur Kontrolle besonders stark ausgeprägt. In der Gesamtbetrachtung aller Sätze unterschied sich die Puppenzahl nach Applikation von DPX-HGW86 10 OD, mit Ausnahme der EB S2, nur geringfügig gegenüber SpinTorTM-behandelten Pflanzen, bei welchen zu allen Boniturterminen die geringste Puppenzahl erzielt wurde. Diese ist, mit Ausnahme der EB von S1, verglichen zur Kontrolle um mehr als die Hälfte verringert worden und unterschied sich somit in S2, DPX-HGW86 10 OD zur Zwischenbonitur ausgenommen, gegenüber allen weiteren Versuchsgliedern signifikant ($p < 0,001$).

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

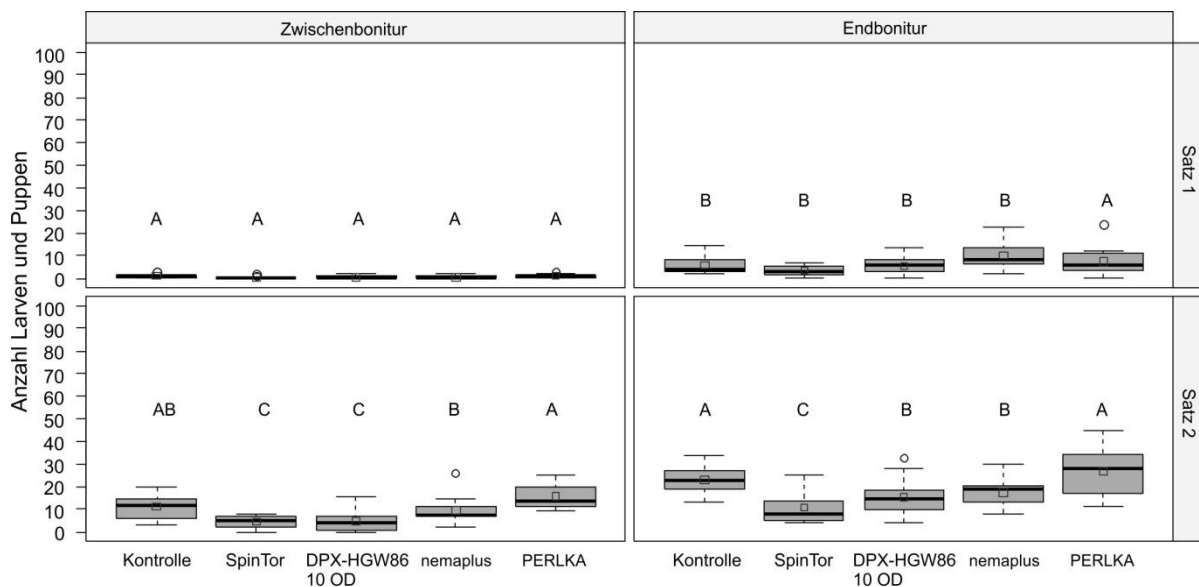


Abbildung 19: Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Blumenkohlpflanzen im Jahr 2013. Es wurden die Kohlflyenstadien von je fünf Wurzelproben zusammengefasst. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1-3 Tage, DPX-HGW 86 10 OD (Cyantraniliprol) zwei Tage vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 6 und 23 (Satz 1) sowie 19 und 32 Tage (Satz 2) nach Pflanzung. PERLKA® (Kalkstickstoff) ist 20 Tage nach Pflanzung appliziert worden. Die Zwischenbonitur erfolgte im ersten Satz nach 9 Wochen, im zweiten Satz nach 7 Wochen. Die Endbonitur fand 3,5 beziehungsweise 3 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 10$ (ZB), $n = 15$ (EB); GLMM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

5.3.1.2.4 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

In der Versuchssaison 2013 konnten nur Wurzeln des ersten Blumenkohlsatzes hinsichtlich des Wurzelschadens untersucht werden. Zur Endbonitur (EB) waren verglichen zur Zwischenbonitur (ZB) deutlich mehr Wurzeln stärker geschädigt (Abbildung 20, Tabelle A 13). In der Kontrolle wiesen 10,7 % aller Wurzeln bei der EB keinen Befall auf (SKL 0), was nur knapp einem Fünftel verglichen zur Zwischenbonitur entspricht. Insgesamt wurde die Mehrheit der Wurzeln zur Endbonitur SKL 2 (deutliche Fraßstellen) zugeordnet, 18,7 % waren geringfügig befallen (SKL 1), 29,3 % stark (SKL 3). Die Wurzeln unterschieden sich nach Behandlungen mit nemaplus®, DPX-HGW86 10 OD, SpinTor™ und PERLKA® hinsichtlich der Schadklassenverteilung sowohl zum Zeitpunkt der ZB als auch zum Zeitpunkt der EB nicht signifikant von der unbehandelten Kontrolle und untereinander ($p \geq 0,209$). Dennoch nahm der Prozentsatz unbefallener Wurzeln in behandelten Versuchsgliedern in der Regel zu. Beispielsweise wurde zur EB bei SpinTor™-behandelten Pflanzen mit doppelt so vielen befallsfreien Wurzeln wie in der Kontrolle der insgesamt höchste Anteil ungeschädigter Wurzeln erzielt.

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG
UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

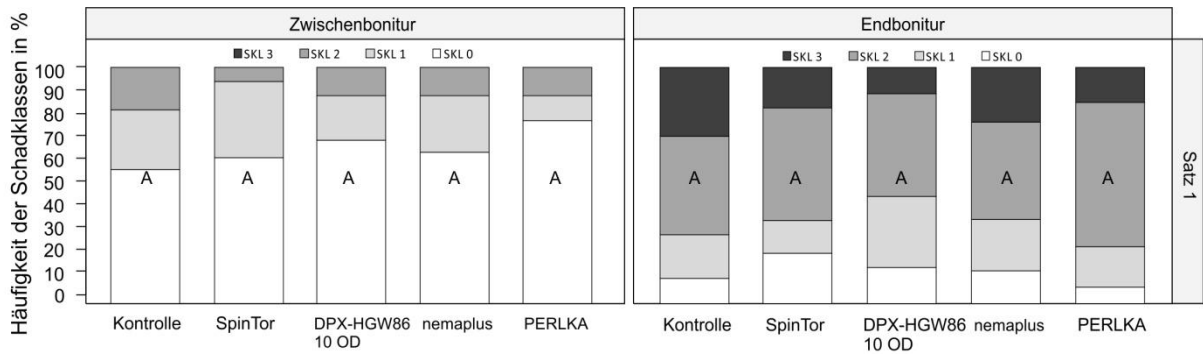


Abbildung 20: Fraßschäden an Blumenkohlwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schädsklassen (SKL) 0–3 in Prozent in 2013. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL1 = einzelne schwache Fraßstellen, SKL 2 = deutliche Fraßstellen, SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1-3 Tage, DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) zwei Tage vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 6 und 23 nach Pflanzung. PERLKA® (Kalkstickstoff) ist 20 Tage nach Pflanzung appliziert worden. Die Zwischenbonitur erfolgte nach 9 Wochen, die Endbonitur fand 3,5 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schädsklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 50 (ZB); n = 75 (EB); LMM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

5.3.1.3 Versuchssaison 2014

5.3.1.3.1 Witterungsverlauf

Der Witterungsverlauf der Versuchssaison 2014 ist in Abbildung 21 dargestellt. Sowohl in Satz 1 als auch in Satz 2 wurden in jeder Woche Niederschläge verzeichnet. In Satz 1 schwankten die Wochensummen vor allem im Mai und Juni, bevor sie sich im restlichen Verlauf des ersten Satzes im Bereich von 11–23 mm bewegten. Im zweiten, Ende Juli gepflanzten Satz, wurden eine Woche nach Pflanzung Höchstmengen von 103,5 mm gemessen. In den darauffolgenden Wochen gingen die Niederschlagsmengen deutlich zurück.

Die Bodentemperatur lag in der Regel einige Grad über der Lufttemperatur. Zur Pflanzung des ersten Satzes lag letztere bei 11 °C, erstere bei 13 °C. Zwei Wochen nach Pflanzung stieg die Lufttemperatur auf 18 °C an. Im Folgenden traten bis Mitte Juni Schwankungen auf, im Anschluss stiegen die Temperaturen bis zur Ernte des ersten Satzes kontinuierlich an. Ab Ende August gingen die Temperaturen bis auf 11 °C Ende Oktober zurück.

5.3.1.3.2 Eiablage der Kleinen Kohlflye

Mit der Aufzeichnung der Eiablage wurde in Woche 20 begonnen (Abbildung 21). Zu diesem Zeitpunkt war diese mit unter einem Ei minimal, stieg in der kommenden Woche jedoch auf fünf Eier pro Eimanschette an. Ende Mai sank die Anzahl der abgelegten Eier und blieb bis Mitte Juli im Bereich von weniger als einem abgelegten Ei pro Eimanschette.

Im zweiten Satz begann das Monitoring in der zweiten Augustwoche (KW 32). Allerdings wurden erst Ende August/Anfang September erste Eier in den Eimanschetten gefunden. Die Anzahl Eier blieb gering; das Maximum waren 13,8 Eier zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur. Die Eiablage schien nicht durch Witterungsbedingungen beeinflusst zu sein.

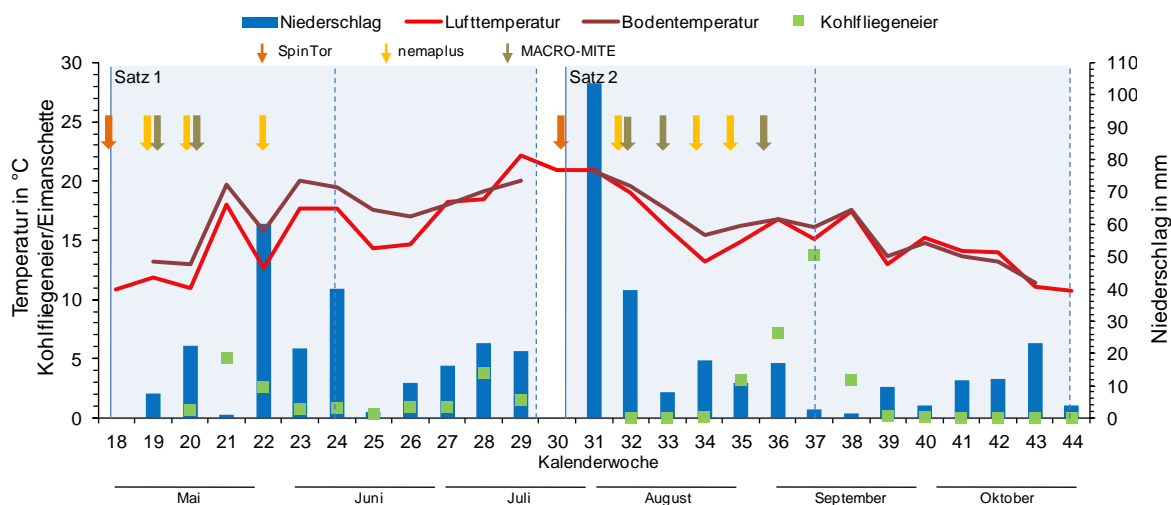


Abbildung 21: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlflye und Pflanzenschutzbehandlungen in Blumenkohl 2014. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, mittlere Bodentemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Durchgezogene Linien symbolisieren die Pflanzung zu Beginn eines Satzes, die unterbrochenen Linien die Bonituren. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), nemaplus® (*S. feltiae*), MACRO-MITE (*M. robustulus*)).

5.3.1.3.3 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

In der Saison 2014 war ein Teil der Larven noch nicht verpuppt. Wie in den Jahren zuvor wurde zum Zeitpunkt der Endbonitur (EB) ein höherer Befall an Kontrollpflanzen registriert als zur Zwischenbonitur (ZB). Zudem war die Anzahl der aufgefundenen Larven und Puppen im ersten Satz (S1), mit beispielsweise 4,4 Larven und Puppen zur EB, jeweils niedriger als im zweiten Satz (S2), in dem 36,6 Puppen zur EB gezählt worden sind (Abbildung 22; Tabelle A 12). Mit Nematoden und Raubmilben sowie einer Kombination dieser Antagonisten konnte überwiegend eine Reduktion der Kohlfiegenstadien erzielt werden, welche sich in S2 (Ausnahme MACRO-MITE EB) signifikant von der Kontrolle unterschied ($p < 0,001$). Dabei ergab sich mehrheitlich nach Applikation von nemaplus[®] eine stärkere Verringerung der Larven- und Puppenzahlen im Vergleich zu Ausbringungen von Raubmilben, während zu den ZB die Kombination die stärkste Reduktion erzielte. So wurden beispielsweise nach Applikation von Nematoden Verringerungen der Larven- und Puppenzahlen um 27–29 % gegenüber unbehandelten Pflanzen zu den EB erzielt, während nach Ausbringung von Raubmilben diese Werte bei 29,5 % (EB S1) und 7,6 % (EB S2) lagen. Die deutlich geringsten Larven- und Puppenzahlen sind mit einer Anwendung von SpinTor[™] erreicht worden. Diese unterschieden sich, MACRO-MITE zur EB S1 ausgenommen, gegenüber allen anderen Versuchsgliedern signifikant ($p \leq 0,006$) und waren zu den EB gegenüber unbehandelten Pflanzen um 63,3 % (EB S1) bis 75,1 % (EB S2) verringert.

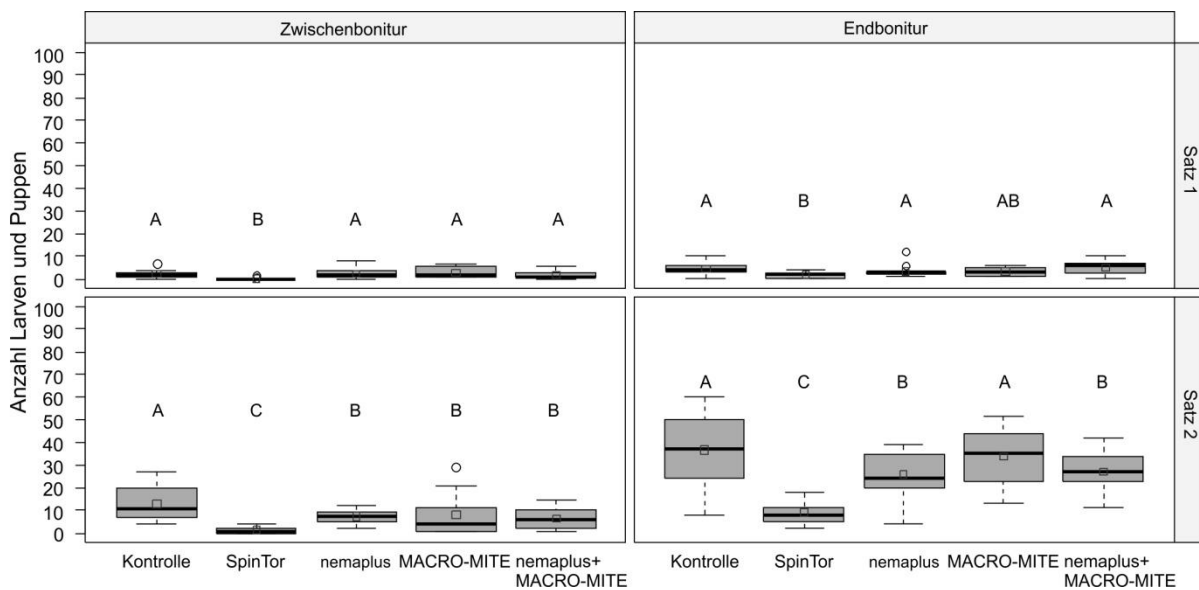


Abbildung 22: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Blumenkohlpflanzen im Jahr 2014. Es wurden die Kohlfiegenstadien von je fünf Wurzelproben zusammengefasst. SpinTorTM (Spinosad) wurde drei Tage (Satz 1) und einen Tag (Satz 2) vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus[®] (*S. feltiae*) erfolgten 8, 18 und 28 (Satz 1) sowie 10, 17 und 36 Tage (Satz 2) nach Pflanzung. MACRO-MITE (*M. robustulus*) ist in beiden Sätzen 10 und 17 Tage nach Pflanzung ausgebracht worden, im zweiten Satz erfolgte eine zusätzliche dritte Behandlung nach 36 Tagen. Die Zwischenbonitur erfolgte im ersten Satz nach 6,5 Wochen, im zweiten Satz nach 6 Wochen. Die Endbonitur fand jeweils 6 und 6,5 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 10 (ZB), n = 15 (EB S1), n = 10 (EB S2); GLMM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

5.3.1.3.4 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

In der Versuchssaison 2014 waren Wurzelschäden zur Zwischenbonitur (ZB) in der Regel höher als zur Endbonitur (EB). Zwar sind zu letzterer weniger befallsfreie (SKL 0), dafür jedoch auch weniger deutlich (SKL 2) und stark (SKL 3) geschädigte Wurzeln im Vergleich bonitiert worden. Zudem wurden die Wurzeln der Blumenkohlpflanzen im ersten Satz (S1) deutlich geringer durch Larvenfraß geschädigt als im zweiten Satz (S2) (Abbildung 23, Tabelle A 13). Beispielsweise ergab die EB des S1 einen hohen Anteil Wurzeln ohne Fraßschaden (SKL 0) durch Larven der Kleinen Kohlflye. Dieser machte in der unbehandelten Kontrolle 36 % aus. Weiterhin zeigten sich 61,3 % der Kontrollwurzeln leicht (SKL 1), der Rest deutlich (SKL 2) geschädigt. In S2 waren dagegen in der Kontrolle nur 2 % der Wurzeln befallsfrei (SKL 0), 8 % wiesen leichten Befall auf (SKL 1) und 90 % wurden der SKL 2 zugeordnet. Wurzeln von mit nemaplus[®], MACRO-MITE und einer Kombination dieser Antagonisten behandelten Pflanzen hoben sich nur geringfügig und somit insignifikant untereinander ($p \geq 0,495$) sowie gegenüber den Kontrollen ($p \geq 0,348$) ab. Demgegenüber unterschied sich die Häufigkeitsverteilung SpinTorTM-behandelter Pflanzen signifikant von unbehandelten Kontrollen ($p \leq 0,037$) hauptsächlich durch einen 28 % höheren Anteil ungeschädigter Wurzeln (SKL 0) (EB S1) beziehungsweise 26 % mehr Wurzeln in der SKL 1 (EB S2). Desweiteren traten in Satz 2, mit Ausnahme von MACRO-MITE-behandelten

Pflanzen und nemaplus®-behandelten Pflanzen zur Zwischenbonitur, signifikante Unterschiede gegenüber den weiteren Versuchsgliedern auf ($p \leq 0,039$).

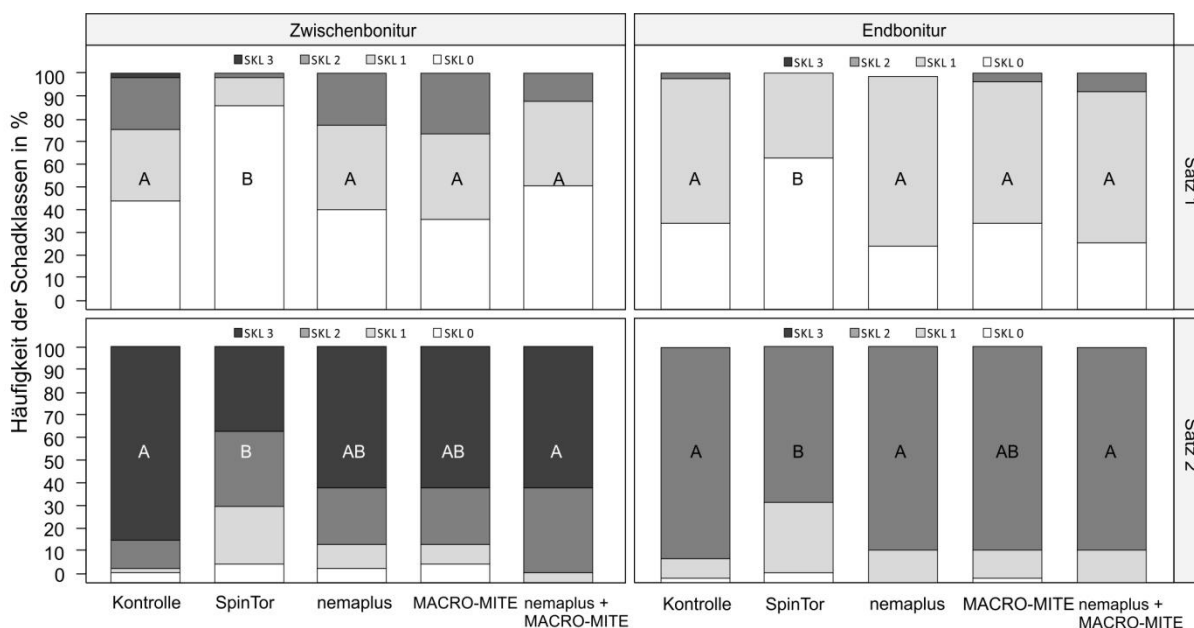


Abbildung 23: Fraßschäden an Blumenkohlwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schädsklassen (SKL) 0–3 in Prozent in 2014. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL1 = einzelne schwache Fraßstellen, SKL 2 = deutliche Fraßstellen, SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden. SpinTor™ (Spinosad) wurde drei Tage (Satz 1) und einen Tag (Satz 2) vor Pflanzung angewendet. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 8, 18 und 28 (Satz 1) sowie 10, 17 und 36 Tage (Satz 2) nach Pflanzung. MACRO-MITE (*M. robustulus*) ist in beiden Sätzen 10 und 17 Tage nach Pflanzung ausgebracht worden, im zweiten Satz erfolgte eine zusätzliche dritte Behandlung nach 36 Tagen. Die Zwischenbonitur erfolgte im ersten Satz nach 6,5 Wochen, im zweiten Satz nach 6 Wochen. Die Endbonitur fand jeweils 6 und 6,5 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schädsklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 50$ (ZB), $n = 75$ (EB S1), $n = 50$ (EB S2); LMM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

5.3.1.4 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht in der Saison 2012–2014

Zwischen den unterschiedlichen Sätzen gab es zum Teil recht große Differenzen bezüglich des Frischgewichts. So traten bei Kontrollpflanzen zur Zwischenbonitur (ZB) Gewichte von 249,5 g bis 1126,6 g auf, während diese zur Endbonitur (EB) zwischen 1808,2 g und nahezu 5000 g lagen (Tabelle 9). Insgesamt lagen die Frischgewichte von Pflanzen der verschiedenen Versuchsglieder innerhalb eines Satzes relativ dicht beisammen, wobei die Varianz groß war. Signifikant höhere Frischgewichte gegenüber unbehandelten Pflanzen traten einzig 2014 zur ZB S2 nach Ausbringungen einer Kombination von nemaplus® und MACRO-MITE auf ($p = 0,006$). Zur EB waren die so behandelten Pflanzen allerdings leichter als Pflanzen aller anderen Versuchsglieder. Ein klarer Trend, der sich in einem oder mehreren Sätzen wiederholte, war nicht zu erkennen. Allerdings sind in den mit Kalkstickstoff behandelten Varianten tendenziell häufiger geringere Gewichte als in den anderen oder Kontrollvarianten gemessen worden. Diese Differenzen waren im Jahr 2013 zur ZB S2

gegenüber SpinTor™ und DPX-HGW86 10 OD sowie zur EB gegenüber letzterem und nemaplus® signifikant ($p \leq 0,029$).

Auch die Marktfähigkeit der Blumen schien durch die unterschiedlichen Behandlungen nicht signifikant beeinflusst ($p \geq 0,828$). Im Vergleich zeigte sich, dass die Marktfähigkeit bei mindestens 94 %, oftmals aber höher lag und in mehreren Fällen 100 % erreichte.

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

Tabelle 9: Absolutes Frischgewicht der Blumenkohlpflanzen in Gramm (MW ± SE), relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle und Anteil marktfähiger Köpfe in Prozent. Als marktfähig sind Blumen mit einem Durchmesser von ≥ 11 cm definiert. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage, DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol) zwei Tage vor Pflanzung angegossen. Im Jahr 2012 erfolgten Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) 7 und 17 (Satz 1) sowie 7 und 15 Tage (Satz 2) nach Pflanzung, ebenso Naturalis® (*B. bassiana*). 2013 ist nemaplus® 6 und 23 (Satz 1) sowie 19 und 32 Tage (Satz 2) nach Pflanzung appliziert worden, 2014 nach 8, 18 und 28 (Satz 1) sowie 10, 17 und 36 Tagen. PERLKA® (Kalkstickstoff) wurde 17 (2012) und 20 Tage (2013) nach Pflanzung appliziert. MACRO-MITE (*M. robustulus*) ist in beiden Sätzen 10 und 17 Tage nach Pflanzung ausgebracht worden, im zweiten Satz zusätzlich nach 36 Tagen. Im Jahr 2012 erfolgten Zwischenbonituren 6 und Endbonituren 11 Wochen nach Pflanzung, 2013 wurde die Zwischenbonitur im ersten Satz nach 9 Wochen, im zweiten Satz nach 7 Wochen durchgeführt. Die Endbonitur fand 3,5 beziehungsweise 3 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. In der Saison 2014 erfolgte die Zwischenbonitur im ersten Satz nach 6,5 Wochen, im zweiten Satz nach 6 Wochen. Die Endbonitur fand jeweils 6 und 6,5 Wochen nach der Zwischenbonitur statt. Versuchsglieder eines Boniturtermins mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. (n = 50 (ZB), EB: Satz 1 2012: n = 98 (VG1/VG4/VG5), 100 (VG2/VG3), Satz 2 2012: n = 76 (VG1), 75 (VG2–VG5), Satz 1 und Satz 2 2013: n = 75, Satz 1 2014: n = 75, Satz 2 2014: n = 50. LMM, Tukey HSD-Test (Frischgewichte); GLMM (Quasibinomial-Verteilung), Tukey HSD-Test (Anteil marktfähiger Köpfe)).

	Satz 1					Satz 2				
	Behandlung	Zwischenbonitur Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Endbonitur Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Markt- fähige Köpfe in %		Zwischenbonitur Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Endbonitur Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Markt- fähige Köpfe in %		
2012	Kontrolle	769,0 ± 33,1 (100,0 %)	a 4442,7 ± 179,4 (100,0 %)	a	n.e.	990,8 ± 52,4 (100,0 %)	a 4721,1 ± 190,1 (100,0 %)	ab	n.e.	
	SpinTor™	810,7 ± 37,0 (105,4 %)	a 4245,6 ± 139,6 (95,6 %)	a	n.e.	1080,9 ± 39,6 (109,1 %)	a 4754,1 ± 182,0 (100,7 %)	ab	n.e.	
	nemaplus®	791,6 ± 34,8 (102,9 %)	a 4574,5 ± 147,2 (103,0 %)	a	n.e.	1137,6 ± 42,4 (114,8 %)	a 4527,1 ± 201,4 (95,9 %)	ab	n.e.	
	PERLKA®	729,8 ± 36,1 (94,9 %)	a 4255,4 ± 141,4 (95,8 %)	a	n.e.	1048,2 ± 46,8 (105,8 %)	a 4311,4 ± 196,6 (91,3 %)	b	n.e.	
	Naturalis®	774,1 ± 37,5 (100,7 %)	a 4431,8 ± 158,0 (99,7 %)	a	n.e.	1004,7 ± 36,3 (101,4 %)	a 5119,8 ± 200,7 (108,4 %)	a	n.e.	
2013	Kontrolle	1226,6 ± 55,1 (100,0 %)	a 2826,7 ± 115,5 (100,0 %)	a	96,0	a 525,0 ± 24,3 (100,0 %)	ab 1808,2 ± 73,1 (100,0 %)	ab	96,0	a
	SpinTor™	1336,1 ± 53,7 (108,9 %)	a 3108,5 ± 99,5 (110,0 %)	a	98,7	a 625,3 ± 33,0 (119,1 %)	a 1816,2 ± 74,3 (100,4 %)	ab	97,3	a
	DPX-HGW86	1339,1 ± 51,8 (109,2 %)	a 3064,4 ± 102,7 (108,4 %)	a	98,7	a 622,8 ± 32,6 (118,6 %)	a 1936,7 ± 72,3 (107,1 %)	a	100,0	a
	nemaplus®	1313,5 ± 55,6 (107,1 %)	a 3028,4 ± 103,3 (107,1 %)	a	97,3	a 557,2 ± 24,1 (106,1 %)	ab 1940,5 ± 77,6 (107,3 %)	a	98,7	a
	PERLKA®	1191,6 ± 43,5 (97,1 %)	a 3004,5 ± 120,1 (106,3 %)	a	100,0	a 508,4 ± 30,3 (96,8 %)	b 1639,3 ± 69,1 (90,7 %)	b	94,7	a
2014	Kontrolle	249,5 ± 12,2 (100,0 %)	ab 1964,5 ± 70,2 (100,0 %)	a	97,3	a 327,9 ± 19,8 (100,0 %)	b 3166,0 ± 157,0 (100,0 %)	a	98,0	a
	SpinTor™	270,0 ± 13,2 (108,2 %)	a 2124,0 ± 81,6 (108,1 %)	a	100,0	a 349,1 ± 23,8 (100,0 %)	ab 3559,2 ± 144,9 (100,0 %)	a	100,0	a
	nemaplus®	265,8 ± 13,1 (106,5 %)	a 2023,9 ± 80,4 (103,0 %)	a	100,0	a 357,1 ± 20,9 (102,3 %)	ab 3482,3 ± 144,4 (97,8 %)	a	98,0	a
	MACRO-MITE	218,7 ± 9,7 (87,6 %)	b 1902,9 ± 71,1 (96,9 %)	a	97,3	a 361,4 ± 28,2 (103,5 %)	ab 3438,7 ± 121,8 (96,6 %)	a	100,0	a
	nemaplus® + MACRO-MITE	264,4 ± 13,6 (106,0 %)	ab 2013,5 ± 72,2 (102,5 %)	a	100,0	a 434,0 ± 29,3 (124,3 %)	a 3337,1 ± 133,9 (93,8 %)	a	98,0	a

n.e.: nicht erhoben

5.3.1.5 **Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze**

Da die Anzahl der Larven und Puppen immer pro fünf Wurzeln bestimmt wurde, ist zur Berechnung der Korrelation zwischen Larven/Puppen und Gewicht beziehungsweise Schadklasse jeweils der Mittelwert des Gewichts beziehungsweise der Schadklasse für die entsprechenden Proben herangezogen worden. Eine mögliche Wechselbeziehung der untersuchten Variablen muss hier mit Vorsicht interpretiert werden.

Eine Wechselbeziehung zwischen der Anzahl zur Ernte bonitierter Kohlfiegenlarven und -puppen sowie dem verursachten Wurzelschaden war nicht oder nur tendenziell vorhanden. In der Versuchssaison 2013 und zur Endbonitur des ersten Satzes im Jahr 2012 zeigte sich kein Zusammenhang der untersuchten Parameter ($\rho < 0,09$; $p > 0,36$). In den übrigen Versuchen lag der Korrelationskoeffizient zwischen 0,21 und 0,46 (Tabelle A 49). Auch zwischen Wurzelschaden und Frischgewicht bestand in der Regel kein Zusammenhang ($\rho < 0,1$; $p > 0,104$).

5.3.2 Kohlrabi und Chinakohl-Fangstreifen

5.3.2.1 Witterungsverlauf

Die Witterungsverläufe während der Kulturdauer von Kohlrabi und des Chinakohl-Fangstreifens in der Versuchssaison 2012 und 2013 sind in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt. In beiden im Jahr 2012 angebauten Kohlrabi- und Chinakohlsätzen wurden durchgängig in jeder Woche Niederschläge verzeichnet. Nach der Pflanzung des ersten Satzes Anfang Mai lagen diese bei 10,5–13 mm, bevor Ende Mai Niederschläge stark zurückgingen. Im Juni waren Regenmengen deutlich höher. Im zweiten Satz fielen nach der Pflanzung in Woche 29 Niederschläge von 30 mm, im verbleibenden Juli und August lagen diese im Bereich von 1,5–12 mm.

Die Lufttemperatur lag im ersten Satz 2012 nach Pflanzung bei 13 °C und stieg im Folgenden dann langsam auf bis zu 18,7 °C zur Ernte. Zur Pflanzung des zweiten Satzes bewegte sich die Temperatur im Bereich von 15 °C. Auch hier erfolgte in der folgenden Woche ein Anstieg der Temperatur im Bereich von 16–20 °C.

Während der Kulturperiode des Kohlrabis und des Chinakohl-Fangstreifens im Jahr 2013 fielen ausgenommen Woche 24 in jeder Woche Niederschläge. Ende Mai nahm die Niederschlagsmenge zu; ein Höhepunkt wurde in Woche 22 (Ende Mai/Anfang Juni) mit 105 mm erreicht.

Luft- und Bodentemperatur verliefen 2013 nahezu identisch. Zur Pflanzung betragen die Temperaturen circa 15 °C. Bis in die zweite Maihälfte fielen die Temperaturen leicht ab, bevor sie im Juni auf 20,9 °C anstiegen.

5.3.2.2 Eiablage der Kleinen Kohlflye

Die Überwachung der Eiablage begann 2012 in der zweiten Maihälfte in Woche 21 (Abbildung 24). Das Monitoring der Eiablage erfolgte ausschließlich an Kohlrabipflanzen, da die Eimanschetten aufgrund der Morphologie von Chinakohlpflanzen an diese nicht angelegt werden konnten. Im ersten Satz wurden maximal 0,5 Eier in den Eimanschetten gefunden. Im zweiten Satz wurde in Woche 29 erstmals die Anzahl der Eier bonitiert. Im Durchschnitt wurden hier pro Eimanschette 1,9 Eier gezählt. Die Anzahl stieg leicht an, bis in KW 32 ein Maximum von 21,5 Eiern erreicht war. Die letzte Bonitur in der folgenden Woche ergab 15,7 Eier pro Eimanschette.

Im Jahr 2013 war die Eiablage während des gesamten Versuchszeitraums gering (Abbildung 25). Mit 2,6 Eiern pro Eimanschette wurden in Woche 22 die meisten Eier abgelegt. Die Aufzeichnung endete in Woche 25. Die Eiablage schien nicht durch Witterungsbedingungen beeinflusst.

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

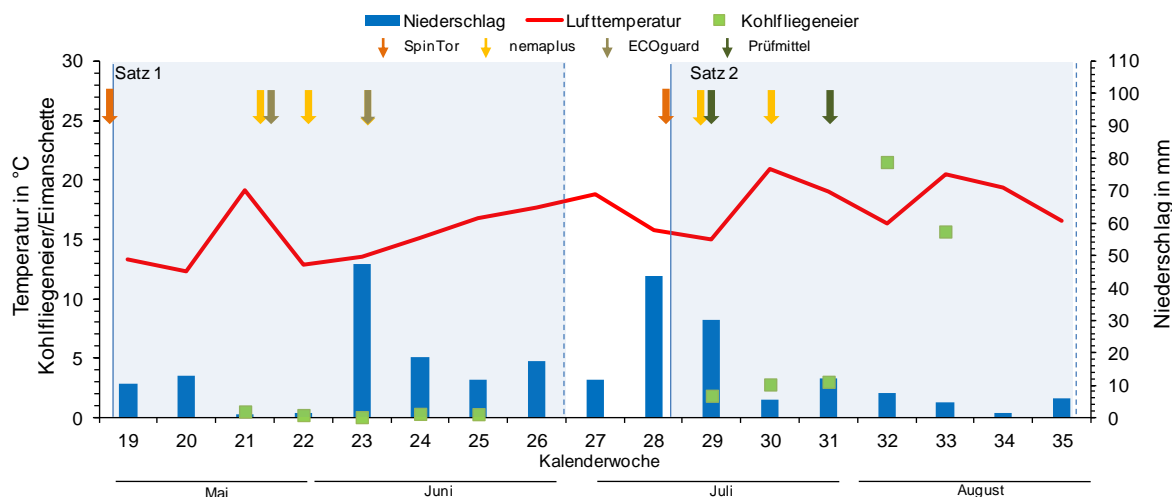


Abbildung 24: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlflye und Pflanzenschutzbehandlungen in Kohlrabi 2012. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Durchgezogene Linien symbolisieren die Pflanzung zu Beginn eines Satzes, die unterbrochenen Linien die Bonituren. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), nemaplus® (*S. feltiae*), ECOguard (Knoblauchgranulat)).

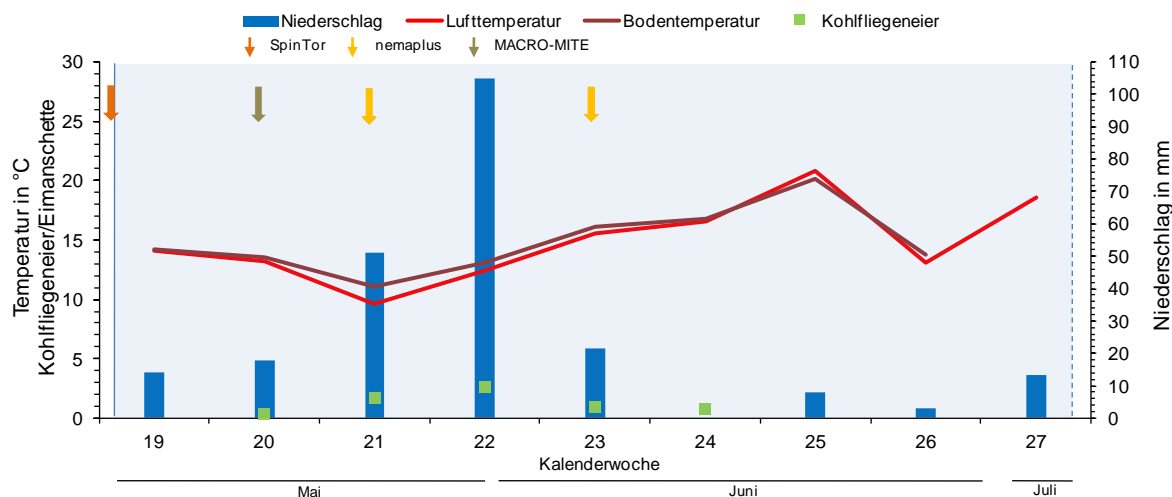


Abbildung 25: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlflye und Pflanzenschutzbehandlungen in Kohlrabi 2013. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, mittlere Bodentemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Die durchgezogene Linie symbolisiert die Pflanzung, die unterbrochene Linie die Bonitur. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), nemaplus® (*S. feltiae*), MACRO-MITE (*M. robustulus*)).

5.3.2.3 Anzahl der Kohlflyenlarven und -puppen

In der Versuchssaison 2012 waren sowohl im ersten (S1) als auch im zweiten Satz (S2) nahezu alle Larven bei den Bonituren verpuppt. Im Folgejahr wurde nur ein Satz mit Kohlrabi angebaut. Der Anteil an noch nicht verpuppten Larven betrug hier 50 %. An Kontrollpflanzen wurden 2012 in S1 2,4 Puppen gezählt, im Folgejahr 6,1 (Abbildung 26, Tabelle A 14). Der zweite Satz 2012 unterschied sich vom ersten durch eine deutlich höhere Anzahl an Larven und Puppen. Hier sind in der Kontrolle 33,9 Puppen ermittelt worden. Im Jahr 2012 wurde in beiden Sätzen, abgesehen von der SpinTor™-Behandlung, mit keinem der eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen (nemaplus®, ECOguard®, Prüfmittel) die im Wurzelbereich aufgefundene Anzahl an Puppen verglichen zur Kontrolle verringert. Im Gegenteil war die

Befallsdichte, insbesondere in S1 erhöht, im Fall von nemaplus® sogar signifikant ($p = 0,002$). Währenddessen ist 2013 mit allen eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen (SpinTor™, nemaplus®, MACRO-MITE) ein signifikant niedrigerer Befall zum Zeitpunkt der Ernte festgestellt worden als in der Kontrolle ($p \leq 0,001$). Dabei führte eine zweifache Applikation mit nemaplus® zu einer Halbierung der Anzahl an Larven und Puppen verglichen zur Kontrolle (von 6,1 auf 3,2), eine Ausbringung von MACRO-MITE hatte eine weitere Reduktion (auf 2,4 Larven und Puppen; 60,6 %) zur Folge. In allen Anbausätzen resultierte eine Behandlung mit SpinTor™ in einer gegenüber allen Versuchsgliedern signifikant niedrigeren Anzahl an Kohlfiegenpuppen ($p < 0,001$). Gegenüber unbehandelten Pflanzen war diese um 83,3 % (S1 2012), 91,1 % (S2 2012) sowie 93,4 % (2013) reduziert. Pflanzen des Chinakohl-Fangstreifens wiesen in den ersten Sätzen einen deutlich höheren Anteil an Larven und Puppen auf als im zweiten Satz. In ersterem wurde verglichen zur Kontrolle vier- beziehungsweise fünffach höherer Befall festgestellt. Dieser unterschied sich signifikant gegenüber allen anderen Versuchsgliedern (Kontrolle, SpinTor™, ECOguard®, nemaplus®, MACRO-MITE) ($p < 0,005$), ausgenommen der nemaplus®-Behandlung in 2012 ($p = 0,119$). Im zweiten Satz war die Anzahl an Puppen im Wurzelbereich der Fangpflanzen mit 20 Puppen signifikant geringer als bei der Kontrolle sowie nach Applikation von Prüfmittel und nemaplus® ($p < 0,001$).

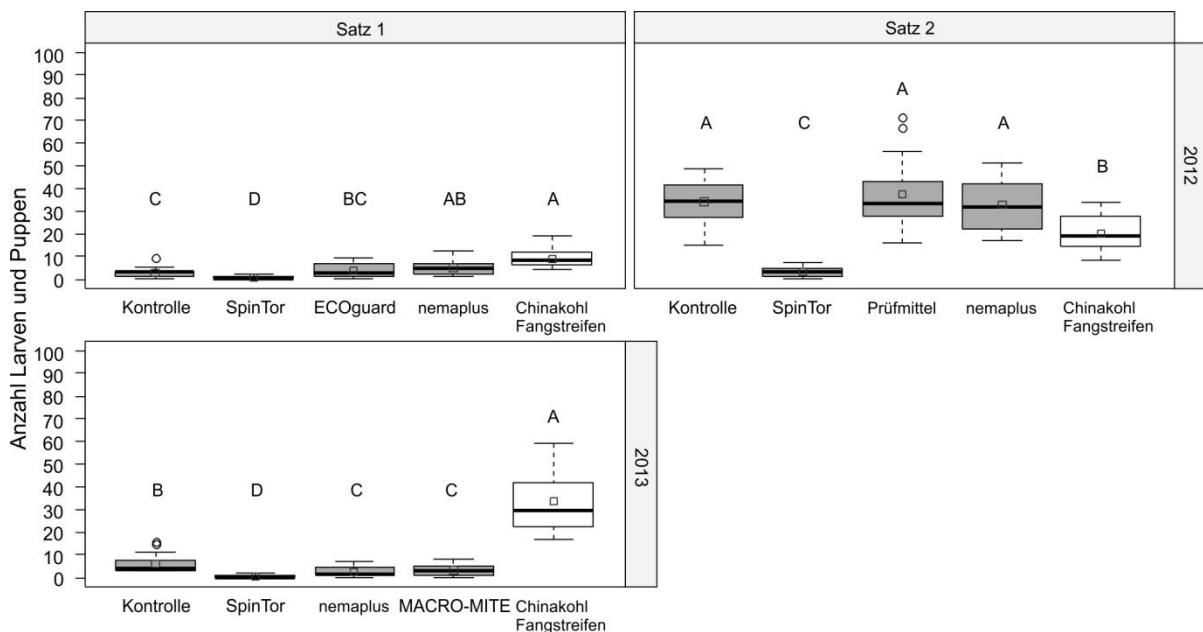


Abbildung 26: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Kohlrabi- und Chinakohlpflanzen (Fangstreifen) im Jahr 2012 und 2013. Es wurden die Kohlfiegenstadien von je fünf Wurzelproben zusammengefasst. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 10 und 19 (Satz 1 2012), 6 und 15 Tage (Satz 2 2012) und 7 und 31 Tage (Satz 1 2013) nach Pflanzung. ECOguard® (Knoblauchextrakt) ist 10 und 26 Tage, das Prüfmittel 4 und 18 Tage nach Pflanzung angestreut worden. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) fand 10 Tage nach Pflanzung statt. Bonituren erfolgten 7 (Satz 1 2012), 8 (Satz 2 2012) sowie 6 Wochen (Satz 1 2013) nach Pflanzung. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 16$; GLMM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

5.3.2.4 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

Im Vergleich unterschieden sich die verschiedenen Sätze deutlich hinsichtlich des Wurzelschadens. Die geringsten Schäden zeigten Pflanzen des ersten Satzes (S1) der Saison 2012. Hier wies ein Großteil der Wurzeln der Kontrolle mit je über 30 % keine (SKL 0) oder geringfügige (SKL 1) Schädigungen auf, die restlichen Wurzeln waren deutlich befallen (SKL 2). Im zweiten Satz (S2) lag der Befall der Wurzeln deutlich höher. Wurzeln ohne Fraßschaden kamen nicht vor. Hier sind 60,3 % der Kontrollwurzeln stark beschädigt gewesen (SKL 3), der Rest deutlich (SKL 2). Im ersten Satz 2013 war ein Großteil der Kontrollwurzeln befallsfrei (10 %), während 63,8 % deutlich geschädigt (SKL 2) und 25 % leicht befallen (SKL 1) waren (Abbildung 27, Tabelle A 15). Die verschiedenartig behandelten Pflanzen unterschieden sich, mit Ausnahme der SpinTorTM-Behandlung, weder in der Versuchssaison 2012 noch in 2013 signifikant von der Kontrolle und untereinander bezüglich der Verteilung der Schadklassen ($p \geq 0,223$); die Wurzelschädigungen variierten nur minimal. Dies gilt auch für Wurzeln des Chinakohl-Fangstreifens ($p \geq 0,578$), wobei diese in den ersten Sätzen tendenziell stärker geschädigt waren als die der übrigen Versuchsglieder, während in S2 das Gegenteil auftrat. Mit SpinTorTM angegossene Kohlrabipflanzen wiesen in allen Versuchen die signifikant niedrigsten Fraßschäden an den Wurzeln auf ($p \leq 0,002$).

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

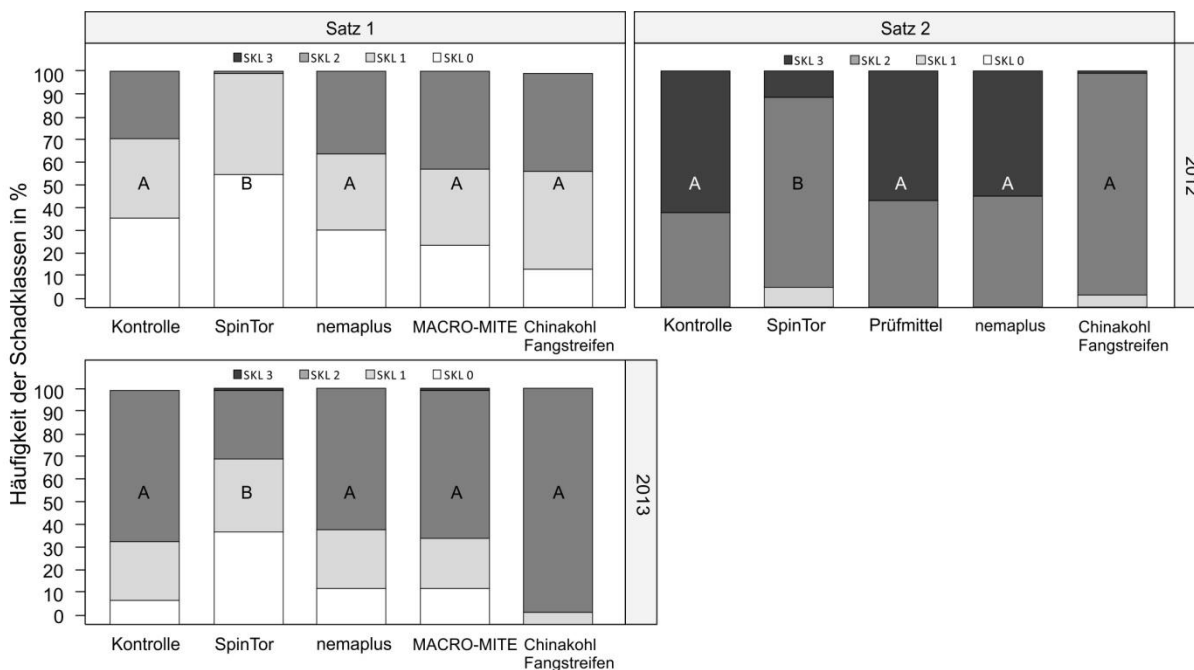


Abbildung 27: Fraßschäden an Kohlrabi- und Chinakohlwurzeln (Fangstreifen) dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in 2012 und 2013. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL1 = einzelne schwache Fraßstellen, SKL 2 = deutliche Fraßstellen, SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 10 und 19 (Satz 1 2012), 6 und 15 Tage (Satz 2 2012) und 7 und 31 Tage (Satz 1 2013) nach Pflanzung. ECOguard® (Knoblauchextrakt) ist 10 und 26 Tage, das Prüfmittel 4 und 18 Tage nach Pflanzung angestreut worden. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) fand 10 Tage nach Pflanzung statt. Bonituren erfolgten 7 (Satz 1 2012), 8 (Satz 2 2012) sowie 6 Wochen (Satz 1 2013) nach Pflanzung. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 80; LMM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

5.3.2.5 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht

Zwischen den verschiedenen Sätzen und Jahren traten bezogen auf das Frischgewicht geringe auf die Anbaubedingungen zurückzuführende Unterschiede auf. Kontrollpflanzen wogen 1051,6 g (S1 2012), 1251,1 g (S2 2012) und 1101,3 g (2013) (Tabelle 10). Weder in den zwei Anbausätzen im Jahr 2012 noch in 2013 ergaben sich bedeutende Unterschiede im Frischgewicht zwischen den verschiedenen Versuchsgliedern. Tendenziell hatten SpinTor™-behandelte Pflanzen ein minimal höheres Frischgewicht, während Pflanzen nach Behandlungen mit ECOguard®, dem Prüfmittel und MACRO-MITE ein minimal niedrigeres Gewicht aufwiesen. Behandlungen mit Nematoden folgten keinem konsistenten Trend bezüglich des Gewichts. All diese Unterschiede waren, mit Ausnahme von MACRO-MITE in 2013 ($p \leq 0,047$), nicht signifikant ($p \geq 0,077$).

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG
UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

Tabelle 10: Absolutes Frischgewicht der Kohlrabipflanzen in Gramm (MW \pm SE) sowie relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle. SpinTor™ (Spinosad) wurde 1–3 Tage vor Pflanzung angegossen. Applikationen mit nemaplus® (*S. feltiae*) erfolgten 10 und 19 (Satz 1 2012), 6 und 15 Tage (Satz 2 2012) und 7 und 31 Tage (Satz 1 2013) nach Pflanzung. ECOguard® (Knoblauchextrakt) ist 10 und 26 Tage, das Prüfmittel 4 und 18 Tage nach Pflanzung angestreut worden. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) fand 10 Tage nach Pflanzung statt. Bonituren erfolgten 7 (Satz 1 2012), 8 (Satz 2 2012) sowie 6 Wochen (Satz 1 2013) nach Pflanzung. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 80; LMM, Tukey HSD-Test).

	Satz 1	Satz 2		
Behandlung	Frischgewicht \pm SE in g (rel. Frischgewicht)	Frischgewicht \pm SE in g (rel. Frischgewicht)		
2012	Kontrolle	1051,6 \pm 31,6 (100,0 %)	a	1251,1 \pm 39,2 (100,0 %) a
	SpinTor™	1119,9 \pm 36,1 (106,5 %)	a	1274,8 \pm 48,3 (101,9 %) a
	ECOguard® (Satz 1)			
	Prüfmittel (Satz 2)	1005,6 \pm 33,8 (95,6 %)	a	1167,1 \pm 40,8 (93,3 %) a
	nemaplus®	1081,9 \pm 33,7 (102,9 %)	a	1241,2 \pm 40,1 (99,2 %) a
2013	Kontrolle	1101,3 \pm 26,0 (100,0 %)	a	n.e.
	SpinTor™	1018,0 \pm 21,2 (102,3 %)	a	n.e.
	nemaplus®	1126,3 \pm 28,6 (99,9 %)	a	n.e.
	MACRO-MITE	1100,5 \pm 22,2 (92,4 %)	b	n.e.

n.e.: nicht erhoben

5.3.2.6 Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Schadklasse und Frischgewicht der Pflanze

Aufgrund der Tatsache, dass die Anzahl von Larven und Puppen immer pro fünf Wurzeln bestimmt wurde, ist zur Berechnung der Korrelation zwischen Larven/Puppen und Gewicht beziehungsweise Schadklasse jeweils der Mittelwert des Gewichts beziehungsweise der Schadklasse für die entsprechenden Proben herangezogen worden. Infolgedessen muss eine mögliche Wechselbeziehung der untersuchten Variablen hier mit Vorsicht interpretiert werden.

In den drei Kohlrabiversuchen ergab sich eine positiv-lineare Beziehung zwischen der Anzahl aufgefundener Kohlfiegenlarven -und puppen sowie der Stärke des durch Larvenfraß verursachten Wurzelschadens. Diese war jedoch mit einem Korrelationskoeffizienten von um die 0,4 ($p = 0,001$) relativ schwach ausgeprägt (Tabelle A 50). Der Wurzelschaden stand in keinem Zusammenhang mit dem Frischgewicht der Pflanzen ($\rho = 0,018$; $p = 0,742$ (Satz 1 2012), $\rho = 0,02$; $p = 0,718$ (Satz 2 2012), $\rho = -0,038$; $p = 0,49$ (Satz 1 2013)).

5.3.3 Brokkoli

5.3.3.1 Witterungsverlauf

Die Witterungsbedingungen während der Kulturdauer des Brokkoli sind in Abbildung 28 dargestellt. Nach Pflanzung waren, abgesehen von Woche 35 und 40, in jeder Woche Niederschläge zu verzeichnen. Diese lagen im Allgemeinen bei unter 10 mm. Ausnahmen bildeten Woche 31 und 34 mit 17,5 mm sowie die Wochen 37 und 41 mit jeweiligen Wochensummen von 35,5 und 26 mm.

Luft- und Bodentemperatur verliefen annähernd identisch. Zur Pflanzung lagen die Temperaturen bei circa 20 °C. Kurz nach der Pflanzung wurde ein Maximalwert von 23,5 °C erreicht. Im Anschluss war ein nahezu stetiger Abfall der Temperaturen bis zur Ernte im Oktober zu beobachten.

5.3.3.2 Eiablage der Kleinen Kohlfliege

Das Monitoring der Eiablage begann in Woche 31 (Abbildung 28). Zu diesem Zeitpunkt waren im Durchschnitt sechs Eier pro Eimanschette abgelegt. Die höchste Anzahl abgelegter Eier wurde in der folgenden Woche mit 21,2 Eiern erfasst. Im verbleibenden Versuchszeitraum schwankte die Zahl der abgelegten Eier von 1,9 bis 8, wobei die höchste Ablage in den ersten zwei Septemberwochen ermittelt wurde. Die Eiablage schien nicht durch Witterungsbedingungen beeinflusst.

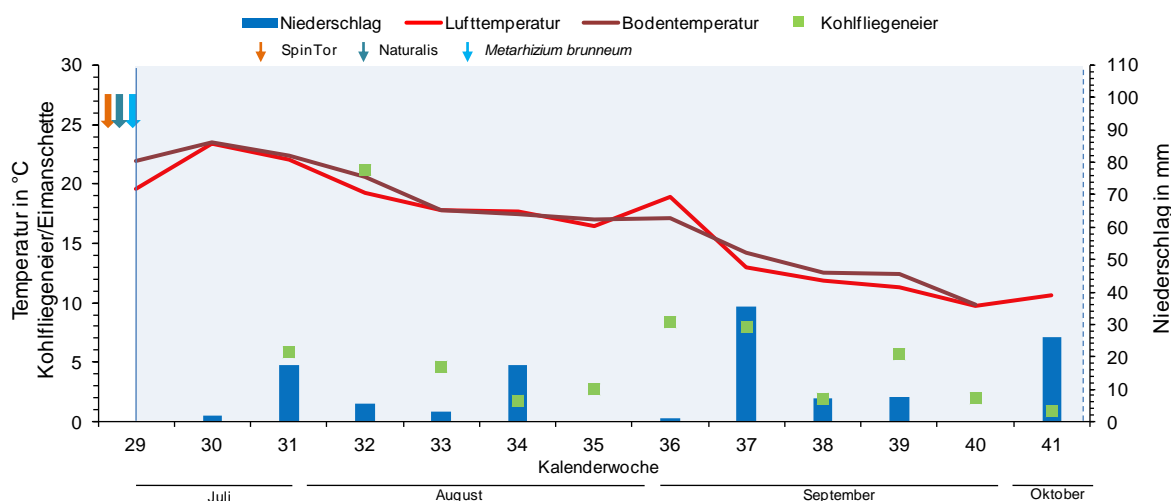


Abbildung 28: Witterungsverlauf, Eiablage der Kleinen Kohlfliege und Pflanzenschutzbehandlungen in Brokkoli 2013. Dargestellt sind mittlere Lufttemperatur in °C, mittlere Bodentemperatur in °C, Niederschlagssumme in mm und Anzahl Eier pro Eimanschette pro Woche. Die durchgezogene Linie symbolisiert die Pflanzung, die unterbrochene Linie die Bonitur. Die verschiedenen Pflanzenschutzbehandlungen sind mit Pfeilen dargestellt (SpinTor™ (Spinosad), Naturalis® (*B. bassiana*), *M. brunneum* (Stamm HJS-1154)).

5.3.3.3 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

Zur Bonitur waren alle Kohlfiegenlarven bereits verpuppt. In der Kontrolle wurden 66 Puppen dokumentiert (Abbildung 29, Tabelle A 16). Behandlungen mit den entomopathogenen Pilzen *B. bassiana* (Naturalis®) und *M. brunneum* resultierten in einer leichten Verringerung der Befallsdichte um 9 % gegenüber unbehandelten Pflanzen. Die Unterschiede waren nicht signifikant ($p > 0,140$). Dagegen reduzierte eine Behandlung mit SpinTor™ die Anzahl von Larven und Puppen verglichen zur Kontrolle um 62,9 %. Die Unterschiede waren signifikant gegenüber allen anderen Versuchsgliedern ($p < 0,001$).

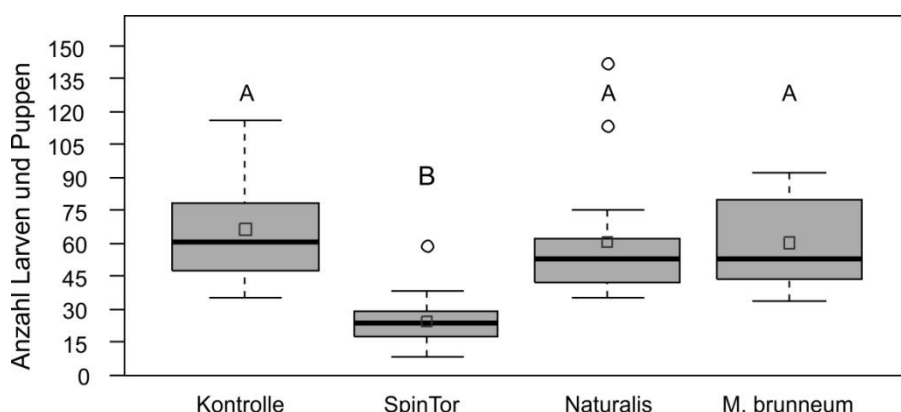


Abbildung 29: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Brokkolipflanzen im Jahr 2013. Es wurden die Kohlfiegenstadien von je fünf Wurzelproben zusammengefasst. SpinTor™ (Spinosad) wurde wie Naturalis® (*B. bassiana*) einen Tag vor Pflanzung ausgebracht, *M. brunneum* (Stamm HJS-1154) zwei Tage vor Pflanzung. Die Bonitur fand 11,5 Wochen nach Pflanzung statt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 16$; GLMM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

5.3.3.4 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

Insgesamt betrachtet wiesen alle Wurzeln Fraßschäden auf, welche mehrheitlich der SKL 2 (deutliche Fraßstellen) zugeordnet wurden. In der Kontrolle machte dieser Anteil 95 % aus, die übrigen Wurzeln befanden sich zu gleichen Anteilen in der SKL 1 (leichte Schädigungen) und SKL 3 (starke Schädigungen) (Abbildung 30, Tabelle A 17). Zwischen der unbehandelten Kontrolle und Behandlungen mit entomopathogenen Pilzen konnten nahezu keine Unterschiede bezüglich der Wurzelschädigungen gefunden werden ($p \geq 0,932$). Signifikant geringere Schäden zeigten sich (einzig) an Wurzeln SpinTor™-behandelter Pflanzen ($p \leq 0,018$), was hauptsächlich auf einen geringeren Anteil deutlich geschädigter Wurzeln (SKL 2) zugunsten von SKL 1 zurückzuführen war.

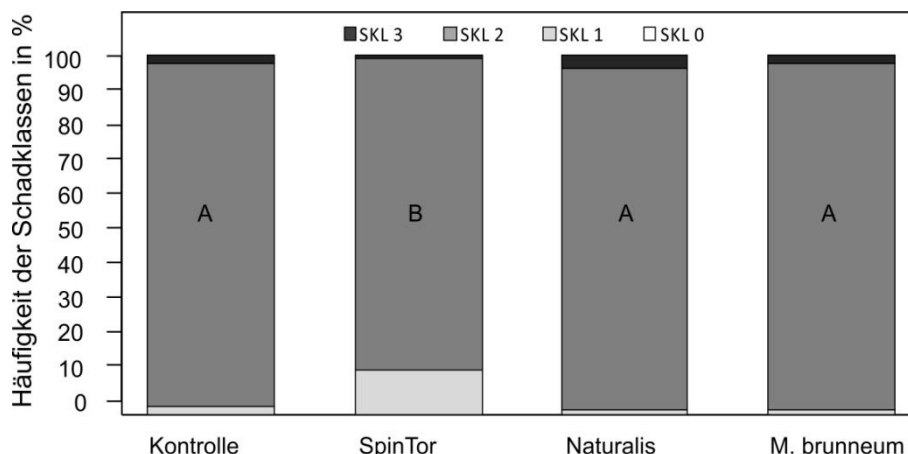


Abbildung 30: Fraßschäden an Brokkoliwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent in 2013. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL1 = einzelne schwache Fraßstellen, SKL 2 = deutliche Fraßstellen, SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt, keine Feinwurzeln mehr vorhanden. SpinTor™ (Spinosad) wurde wie Naturalis® (*B. bassiana*) einen Tag vor Pflanzung ausgebracht, *M. brunneum* (Stamm HJS-1154) zwei Tage vor Pflanzung. Die Boniture fand 11,5 Wochen nach Pflanzung statt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 80; LMM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

5.3.3.5 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht

Kontrollpflanzen wogen durchschnittlich 1288,5 g, das Gewicht der Blumen betrug 255,2 g (Tabelle 11). Zwischen den unterschiedlichen Versuchsgliedern waren nur geringe Abweichungen bezüglich der Gewichte von Pflanzen und Blumen erkennbar. Tendenziell waren die Gewichte höher, wenn Pflanzen mit SpinTor™ behandelt wurden. Dieser Unterschied war beim Gewicht der Blume gegenüber der Naturalis®-Behandlung signifikant ($p = 0,041$), nicht jedoch beim Frischgewicht der ganzen Pflanze ($p \geq 0,833$).

Tabelle 11: Absolutes Frischgewicht der Brokkolipflanzen in Gramm (MW \pm SE), relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle und Anteil marktfähiger Köpfe in Prozent. Als marktfähig sind Blumen mit einem Durchmesser ≥ 6 cm definiert. SpinTor™ (Spinosad) wurde wie Naturalis® (*B. bassiana*) einen Tag vor Pflanzung ausgebracht, *M. brunneum* (Stamm HJS-1154) zwei Tage vor Pflanzung. Die Bonitur fand 11,5 Wochen nach Pflanzung statt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 80; LMM, Tukey HSD-Test (Gewicht), GLMM (Quasibinomial-Verteilung), Tukey HSD-Test (Anteil marktfähiger Köpfe)).

Behandlung	Frischgewicht Pflanze \pm SE in g (rel. Frischgewicht)		Frischgewicht Blume \pm SE in g (rel. Frischgewicht)		Marktfähige Köpfe in %	
Kontrolle	1288,5 \pm 36,7 (100,0 %)	a	255,2 \pm 13,8 (100,0 %)	ab	97,5	a
SpinTor™	1331,3 \pm 39,6 (103,3 %)	a	285,2 \pm 13,4 (111,8 %)	a	100,0	a
Naturalis®	1305,2 \pm 33,0 (101,3 %)	a	237,7 \pm 10,8 (93,1 %)	b	97,5	a
<i>M. brunneum</i>	1293,4 \pm 33,8 (100,4 %)	a	252,7 \pm 12,7 (99,0 %)	ab	100,0	a

5.3.3.6 Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze

Aufgrunddessen dass die Anzahl an Puppen und Larven immer pro fünf Wurzeln bestimmt wurde, ist zur Berechnung der Korrelation zwischen Larven/Puppen und Gewicht beziehungsweise Schadklasse jeweils der Mittelwert des Gewichts beziehungsweise der Schadklasse für die entsprechenden Proben herangezogen worden. Deshalb muss eine mögliche Wechselbeziehung der untersuchten Variablen hier mit Vorsicht interpretiert werden.

Es bestand eine positiv-lineare Beziehung zwischen der Anzahl Larven und Puppen und der Schadklasse. Mit einem Korrelationskoeffizienten von $\rho = 0,296$ ($p = 0,017$) war diese allerdings sehr schwach ausgeprägt (Tabelle A 51). Dies bedeutet, dass bei steigender Anzahl aufgefundener Larven und Puppen der Fraßschaden an den Wurzeln ebenfalls zunahm. Der Vergleich des Frischgewichts mit der Schadklasse ergab dagegen minimalen beziehungsweise keinen Zusammenhang ($\rho = -0,116$; $p = 0,036$).

5.3.4 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen sowie auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlflye und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler

5.3.4.1 Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen

Bei Betrachtung aller Freilandversuche ergab sich weder insgesamt, noch bezogen auf die einzelnen Versuchsglieder, ein Trend bezüglich des Verhältnisses von großen und kleinen Kohlfiegenpuppen (Tabelle A 21–Tabelle A 23). Faktisch waren große Puppen 5–6 mm, kleine 3–4 mm lang.

Gewichtstechnisch lag das Verhältnis zwischen großen und kleinen Puppen in allen Versuchen bei ungefähr 2:1 (Tabelle A 18–Tabelle A 24). Große Puppen wogen dabei zwischen 7,8 und 13,6 mg, kleine zwischen 4,0 und 6,7 mg. In der Versuchssaison 2014 waren Puppen der behandelten Versuchsglieder insgesamt schwerer als die unbehandelte Kontrolle, teilweise waren diese Unterschiede signifikant. 2013 waren im Brokkoliversuch die Puppen der Kontrollen etwas schwerer. Im zweiten Satz Blumenkohl der Saison 2013 waren zur ZB die großen Puppen in der Kontrolle etwas schwerer, nicht aber die kleinen und zur Endbonitur wogen Puppen aus der unbehandelten Variante mehr als die übrigen Versuchsglieder, DPX-HGW86 10 OD ausgenommen. Größe und Gewicht der Puppen (aus 2014) korrelierten miteinander (Korrelationskoeffizient $\rho = 0,63$ – $0,82$; $p < 0,001$) (Tabelle A 52).

5.3.4.2 Schlupfrate der Kleinen Kohlflye und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler

Neben der Kleinen Kohlflye schlüpften aus Puppen Schlupfwespen (*T. rapae*) und Kurzflügelkäfer (*A. bilineata*).

Tendenzen hinsichtlich der Schlupfraten zwischen Versuchsgliedern sind in keinem der Freilandversuche, in denen der Schlupf aus Kohlflyenpuppen untersucht wurde, beobachtet worden; weder insgesamt noch bezüglich auf Kohlflye, Schlupfwespe oder Kurzflügelkäfer (Tabelle 12–Tabelle 15). Beispielsweise schlüpften, über alle Versuche betrachtet, aus Puppen behandelter Pflanzen in einigen Sätzen mehr, in anderen Sätzen dagegen weniger Individuen als in der Kontrolle, unabhängig der betrachteten Insektenspezies. Die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen besaßen folglich weder nachteilige Effekte auf die Kleine Kohlflye noch auf ihre wichtigsten natürlichen Feinde. Die Schlupfraten variierten hingegen zwischen den verschiedenen Sätzen und Versuchen zum Teil beträchtlich. Beispielsweise lagen diese bei Kohlflyen zwischen 0–76 % und bei *T. rapae* und *A. bilineata* zwischen 0–50 %. Die Datengrundlage war heterogen, weshalb keine statistische Auswertung erfolgte.

Die Gesamtschlupfrate, also die Schlupfrate aller Insekten und Versuchsglieder innerhalb eines Versuchs, lag in Blumenkohlversuchen zwischen 8,1 % (Zwischenbonitur Satz 2 2013) und 77,3 % (Zwischenbonitur Satz 1 2014). Insgesamt war die Schlupfrate bei Blumenkohlversuchen in der Saison 2013 am niedrigsten. Die höchste Schlupfrate wurde hier mit 11,9 % ermittelt (EB S2). In der Saison 2014 lag die niedrigste Schlupfrate bei 21,7 % (EB S1). Von den Kohlrabiversuchen wurde nur die Saison 2013 bezüglich des Schlupfes ausgewertet. Die Schlupfrate der Puppen betrug 76,4 %, die der Puppen aus dem Chinakohl-Fangstreifen 61,5 %. Des Weiteren schlüpften Insekten aus 37,6 % der Puppen aus dem Brokkoli-Versuch.

Das Verhältnis der Gesamtschlupfraten von Kohlflye, Schlupfwespe und Kurzflügelkäfer war bei allen Puppen aus ZB tendenziell ausgeglichen. Allerdings schlüpften 2014 keine Kurzflügelkäfer aus Puppen, die zur Zwischenbonitur des zweiten Satzes erfasst wurden. Aus allen zur Endbonitur gesammelten Puppen schlüpften dagegen 4–5-mal so viele Schlupfwespen wie Kohlflyen. Der Schlupf der Kurzflügelkäfer unterlag keinem Trend; insgesamt schlüpften deutlich weniger Kurzflügelkäfer verglichen zu den anderen untersuchten Spezies.

Zwischen der Puppengröße und der daraus geschlüpften Spezies bestand ein enger Zusammenhang (Tabelle A 25–Tabelle A 34). Schlupfwespen schlüpften vor allem aus kleinen Puppen, Kohlflyen und Kurzflügelkäfer aus großen Puppen.

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

Tabelle 12: Schlupfrate der Kleinen Kohlflye, Schlupfwespen und Kurzflügelkäfern aus an Blumenkohl im Jahr 2013 (Satz 2) erfassten Kohlflyenpuppen (Σ = Summe).

		Zwischenbonitur Schlupfrate in %				Endbonitur Schlupfrate in %						
Behandlung	n	Kleine Kohlflye	Schlupfwespe	Kurzflügelkäfer	Σ Gesamt	Behandlung	n	Kleine Kohlflye	Schlupfwespe	Kurzflügelkäfer	Σ Gesamt	
		(<i>D. radicum</i>)	(<i>T. rapae</i>)	(<i>A. bilineata</i>)				(<i>D. radicum</i>)	(<i>T. rapae</i>)	(<i>A. bilineata</i>)		
Satz 1	Kontrolle	n.e.	n.e.	n.e.		Kontrolle	44	0,0	9,1	4,5	13,6	
	SpinTor™	n.e.	n.e.	n.e.		SpinTor™	30	3,3	0,0	3,3	6,7	
	DPX- HGW86 10					DPX- HGW86 10						
	OD	n.e.	n.e.	n.e.		OD	33	0,0	6,1	3,0	9,1	
	nemaplus®	n.e.	n.e.	n.e.		nemaplus®	49	2,0	4,1	2,0	8,2	
	PERLKA®	n.e.	n.e.	n.e.		PERLKA®	89	1,1	7,9	0,0	9,0	
MW Gesamt						MW Gesamt		1,3	5,4	2,6	9,3	
Satz 2	Kontrolle	98	2,0	1,0	2,0	5,1	Kontrolle	323	0,9	4,6	3,1	8,7
	SpinTor™	38	0,0	2,6	2,6	5,3	SpinTor™	140	0,0	8,6	3,6	12,1
	DPX- HGW86 10						DPX- HGW86 10					
	OD	46	0,0	4,3	4,3	8,7	OD	213	0,9	8,5	8,9	18,3
	nemaplus®	86	5,8	2,3	1,2	9,3	nemaplus®	245	1,2	5,3	3,3	9,8
	PERLKA®	142	6,3	2,8	2,8	12,0	PERLKA®	373	1,9	6,2	2,4	10,5
MW Gesamt			2,8	2,6	2,6	8,1	MW Gesamt		1,0	6,6	4,3	11,9

n.e.: nicht erhoben

WIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER PFLANZENSCHUTZMAßNAHMEN ZUR KOHLFLIEGENBEKÄMPFUNG UNTER PRAXISNAHEN BEDINGUNGEN IM FREILAND

Tabelle 13: Schlupfrate der Kleinen Kohlflye, Schlupfwespen und Kurzflügelkäfern aus an Blumenkohl im Jahr 2014 erfassten Kohlflyenpuppen (Σ = Summe).

		Zwischenbonitur Schlupfrate in %				Endbonitur Schlupfrate in %						
Behandlung	n	Kleine Kohlflye	Schlupfwespe	Kurzflügelkäfer	Σ Gesamt	Behandlung	n	Kleine Kohlflye	Schlupfwespe	Kurzflügelkäfer	Σ Gesamt	
		(<i>D. radicum</i>)	(<i>T. rapae</i>)	(<i>A. bilineata</i>)				(<i>D. radicum</i>)	(<i>T. rapae</i>)	(<i>A. bilineata</i>)		
Satz 1	Kontrolle	16	25,0	37,5	25,0	87,5	Kontrolle	40	5,0	5,0	5,0	15,0
	SpinTor™	2	0,0	50,0	50,0	100,0	SpinTor™	20	0,0	15,0	5,0	20,0
	nemaplus®	9	33,3	0,0	44,4	77,8	nemaplus®	42	0,0	11,9	7,1	19,0
	MACRO-MITE	26	23,1	15,4	7,7	46,2	MACRO-MITE	33	6,1	9,1	15,2	30,3
	nemaplus® + MACRO-MITE	4	50,0	25,0	0,0	75,0	nemaplus® + MACRO-MITE	58	1,7	6,9	15,5	24,1
MW Gesamt			26,3	25,6	25,4	77,3	MW Gesamt		2,6	9,6	9,6	21,7
Satz 2	Kontrolle	59	11,9	37,3	0,0	49,2	Kontrolle	350	6,9	30,6	8,3	45,7
	SpinTor™	2	0,0	0,0	0,0	0,0	SpinTor™	87	8,0	41,4	2,3	51,7
	nemaplus®	21	28,6	38,1	0,0	66,7	nemaplus®	247	7,7	23,9	6,9	38,5
	MACRO-MITE	26	23,1	23,1	0,0	46,2	MACRO-MITE	324	9,9	36,7	4,9	51,5
	nemaplus® + MACRO-MITE	16	31,3	6,3	0,0	37,5	nemaplus® + MACRO-MITE	252	7,9	37,3	9,5	54,8
MW Gesamt			19,0	20,9	0,0	39,9	MW Gesamt		8,1	34,0	6,4	48,4

Tabelle 14: Schlupfrate der Kleinen Kohlflye, Schlupfwespen und Kurzflügelkäfern aus an Kohlrabi und Chinakohl im Jahr 2013 erfassten Kohlfiegenpuppen (Σ = Summe).

Kohlrabi Schlupfrate in %						Chinakohl Schlupfrate in %					
Behandlung	n	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)	Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)	Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)	Σ Gesamt	Behandlung	n	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)	Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)	Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)	Σ Gesamt
Kontrolle	42	76,2	11,9	0,0	88,1	Kontrolle	481	20,8	37,6	3,1	61,5
SpinTor™	5	20,0	40,0	0,0	60,0						
nemaplus®	26	57,7	23,1	0,0	80,8						
MACRO- MITE	13	76,9	0,0	0,0	76,9						
MW Gesamt		57,7	18,7	0,0	76,4						

Tabelle 15: Schlupfrate der Kleinen Kohlflye, Schlupfwespen und Kurzflügelkäfern aus an Brokkoli im Jahr 2013 erfassten Kohlfiegenpuppen (Σ = Summe).

Brokkoli Schlupfrate in %					
Behandlung	n	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)	Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)	Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)	Σ Gesamt
Kontrolle	1036	14,2	17,6	3,5	35,2
SpinTor™	381	8,9	22,0	5,5	36,5
Naturalis®	957	12,3	23,9	2,8	39,1
<i>M. brunneum</i>	945	15,3	19,8	4,6	39,7
MW Gesamt		12,7	20,8	4,1	37,6

5.4 Diskussion

5.4.1 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen

Im Folgenden wird die Eignung der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflyge unter praktischen Bedingungen diskutiert.

Die Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen wird im Freiland von verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren beeinflusst. In den beschriebenen Freilandversuchen traten insbesondere variable Niederschlagsmengen (Bodenwassergehalte) auf. Welche möglichen Auswirkungen klimatische Faktoren auf die Wirksamkeit der ausgewählten Pflanzenschutzmaßnahmen besitzen können, wird in der folgenden Diskussion erörtert.

5.4.1.1 SpinTor™ und DPX-HGW86 10 OD

Die praxisübliche Gießanwendung der Jungpflanzen mit dem zugelassenen Pflanzenschutzmittel SpinTor™ erwies sich in den unterschiedlichen Versuchen, unabhängig von Umweltvariablen (Temperatur und Bodenfeuchtigkeit), als wirksamste Behandlung. Auch in Praxisversuchen von Richter und Michel (2009) überzeugte die Anwendung mit Wirkungsgraden von 98 %. DPX-HGW86 10 OD zeigte eine etwas schwächere Wirksamkeit.

5.4.1.2 Entomopathogene Nematoden

Die entomopathogenen Nematoden (*S. feltiae* EN02 (nemaplus®)) bewiesen Potenzial Larven der Kleinen Kohlflyge abzutöten. So wurde bei den Bonituren mehrheitlich eine geringere Anzahl an Larven und Puppen im Vergleich zur Kontrolle aufgefunden. Diese Unterschiede waren allerdings gering und nur selten signifikant, so dass die Bekämpfungsleistung von Nematoden gegenüber Kohlfiegenlarven insgesamt nicht ausreichend konsistent sowie oftmals zu schwach war. Diese Einschätzung teilen auch van Sloun (1989), Nielsen und Philipsen (2004a), Chen *et al.* (2003b), Simser (1992) sowie Vänninen *et al.* (1999b). Aufgrund der in Kapitel 4 durchgeführten Versuche ist zwar davon auszugehen, dass der gewählte Stamm in der Lage ist Kohlfiegenlarven, auch in frühen Larvenstadien, abzutöten. Welche Einflüsse konkret für die variierenden Erfolge in den Versuchen verantwortlich sind, ist jedoch schwer zu fassen.

Einige der oben genannten Autoren deuten an, dass neben Applikationsart und -dosis auch der Applikationszeitpunkt eine Rolle spielt. Kohlfiegenlarven sind nur während der sehr kurzen Zeitspanne bis zum Eindringen in die Wurzel für Nematoden zugänglich (Georgis *et al.*, 2006). Entomopathogene Nematoden sind zwar mitunter in der Lage in die Fraßtunnel zu folgen, ihre Effektivität ist dann aber begrenzt (Royer *et al.*, 1996). Daher sollte die Ausbringung rechtzeitig erfolgen, um eine ausreichende Wirksamkeit zu erzielen. Zudem

stellten Royer *et al.* (1996) fest, dass Nematoden eine gewisse Vorlaufzeit brauchen, bevor sie erste Larvenstadien der Kohlflye auf Wirtssuche erfolgreich abfangen können. Auch Nielsen und Philipsen (2004a) zeigten, dass eine frühe Ausbringung der Nematoden in Zusammenhang mit einer Etablierung in der Wurzelzone zu einer besseren Wirksamkeit gegen die Kohlflye führte. In einem zweiten Experiment der genannten Autoren konnten die Ergebnisse jedoch nicht bestätigt werden. Um durchgängig lebende Nematoden im Wurzelraum zu gewährleisten, erfolgte in den am JKI durchgeführten Versuchen nach einer ersten Ausbringung circa eine Woche nach Pflanzung eine zweite Applikation knapp zehn Tage später. Die Populationsdynamik der Kleinen Kohlflye wurde mittels des Simulationsmodells SWAT (Gebelein *et al.*, 2004) überwacht. Zum Zeitpunkt der Applikationen hatten sich laut SWAT Kohlflyeier bis zum zweiten oder dritten Larvenstadium entwickelt. Da im Klimakammerversuch gute Erfahrungen mit einer zusätzlichen Ausbringung direkt nach Eiablage gemacht wurden, erfolgte im Jahr 2014 auch eine Applikation direkt nach Pflanzung. Diese schien jedoch unter Freilandbedingungen, ebenso wie bei Beck *et al.* (2013), keinen zusätzlichen Nutzen zu besitzen. Allerdings fehlen in den Versuchen parallele Untersuchungen von zweimaliger und dreimaliger Ausbringung. Aufwandmengen, vergleichbar mit denen in den durchgeführten Versuchen, wurden von Beck *et al.* (2013) und Schroeder *et al.* (1996) eingesetzt. Beste Resultate wurden dabei mit 200.000 Nematoden pro Pflanze und einer Angießbehandlung (ca. zwei Wochen nach Pflanzung) erzielt. Die Kleine Kohlflye konnte zwar nicht vollständig bekämpft, aber der Wurzelschaden signifikant verringert werden (Schroeder *et al.*, 1996). Die gleiche Anzahl Nematoden wirkte in Experimenten von Beck *et al.* (2013) bei einer Spritzung von Pflanztrays vor Pflanzung. In den am JKI durchgeführten Versuchen wurde die Nematodensuspension wie bei Schroeder *et al.* (1996) langsam um den Wurzelhals der Pflanzen angegossen, um das Einsickern zu ermöglichen und einen Oberflächenabfluss zu verhindern.

Neben den genannten Faktoren kann eine Vielzahl biotischer und abiotischer Faktoren sowie deren Kombination die Wirksamkeit der entomopathogenen Nematoden beeinflussen. Im Freiland können Antagonisten wie Kolllembolen und Milben die Ausgangspopulationen der Nematoden verringern (Wilson und Gaugler, 2004). Vor allem wirken jedoch abiotische Faktoren limitierend. Direkt nach der Ausbringung können UV-Licht und Austrocknung nachteilig sein (Smits, 1996). So zeigten Gaugler *et al.* (1992), dass abhängig von der Spezies, bereits eine kurzzeitige Exposition gegenüber UV-Licht eine Inaktivierung bewirken kann. Eine 10–20 minütige Exposition reduzierte nicht zwingend die Überlebensfähigkeit, jedoch die Virulenz der Nematoden (Shapiro-Ilan *et al.*, 2015). Zu weiteren Faktoren, die immensen Einfluss auf die Leistung der Nematoden haben können, gehören Bodenfeuchtigkeit, Temperatur und Bodentyp beziehungsweise -textur (Kaya, 1990).

Eine zu geringe Bodenfeuchtigkeit wird oftmals für die variable Wirksamkeit unter Freilandbedingungen verantwortlich gemacht (Lewis und Raun, 1978; Gaugler *et al.*, 1994 in: Koppenhöfer *et al.*, 1995). Georgis und Gaugler (1991) empfehlen daher eine Ausbringung auf feuchten Böden, um die Überlebenswahrscheinlichkeit zu erhöhen und die Beförderung in die Zielzone zu verbessern. Ebenso sollte eine Bewässerungsgabe von 10–20 mm nach der Behandlung folgen und in 3-Tage Intervallen fortgeführt werden. Ein Hersteller empfiehlt die Nematoden innerhalb von 30–60 Minuten nach Ausbringung in den Boden einzuregnen und den Boden zwei Wochen lang feucht zu halten, was jedoch in der gärtnerischen Praxis nicht praktikabel ist. Im Versuchszeitraum war der Boden (meist) durch natürliche Niederschläge befeuchtet und unterlag während der Wachstumsperiode natürlichen Witterungsbedingungen. Es fielen mit wenigen Ausnahmen in jeder Woche Niederschläge, die stark in ihrer Intensität schwankten. Eine permanent feuchte Bodenoberfläche war in unseren Versuchen nicht gegeben. Allerdings zeigten die zum Zeitpunkt der Ausbringungen noch nicht tief eingewurzelten Pflanzen im Feld niemals Welkesymptome, sodass davon ausgegangen werden kann, dass eine gewisse Bodenfeuchtigkeit im Wurzelraum bestand. Eine Zusatzberegnung erfolgte nicht, da die Versuche unter möglichst praxisnahen Bedingungen durchgeführt werden sollten und eine Beregnung von den im Projekt mitwirkenden Landwirten nicht durchgeführt wurde (Brassart, 2013, persönliche Mitteilung). Demzufolge wurden Nematoden in den beschriebenen Versuchen bei sowohl geringen als auch deutlich höheren Bodenfeuchtigkeiten ausgebracht. Eindeutige Unterschiede in der Wirksamkeit bei verschiedenen Feuchtigkeitsregimen im Feld konnten jedoch nicht festgestellt werden.

Die Bodentemperatur beeinflusst vor allem die Aktivität der Nematoden (Kaya, 1990). Sie wirkt somit direkt auf die Wirtssuche, aber auch Pathogenität und Überlebensrate (Chen *et al.*, 2003a; Kung *et al.*, 1991). Da gerade die erste Kohlfliegen-Generation zu Beginn der Pflanzsaison im Frühjahr hohe Schäden verursacht (Kahrer und Gross, 2002), hängt der Erfolg der Nematoden von ihrem Potenzial ab, bei niedrigen Temperaturen eine ausreichende Wirksamkeit zu entfalten (Chen *et al.*, 2003a). *S. feltiae* gehört zu den kältetoleranten Spezies und der verwendete *S. feltiae* Stamm EN02 soll bereits bei Bodentemperaturen von 8–28 °C aktiv sein (Grewal *et al.*, 1994b). Obwohl auch in Braunschweig die Bodentemperatur am Anfang der Versuche oftmals knapp unter 15 °C lag, schien dies nicht ausschlaggebend für die Ergebnisse unserer Versuche zu sein, da keine deutlichen Unterschiede zwischen den im Frühjahr und im Sommer durchgeführten Experimenten existierten. Chen *et al.* (2003b) beobachteten eine bessere Wirksamkeit der Nematoden im Sommer und führten dies auf die ungünstigeren Klimabedingungen (Temperatur) und deren Folgen zum Beginn der Saison zurück. In Versuchen von Chen *et al.* (2003a) war *S. feltiae* zwar die einzige Art, die Kohlfliegenlarven bereits bei 10 °C

abtötete, ihre Penetrationsleistung war jedoch deutlich verlangsamt und die Effizienz reduziert. Ähnliche Ergebnisse publizierten Radová und Trnková (2010). Um eine geringe Mobilität als limitierenden Faktor zu umgehen, sollten die Nematoden folglich in unmittelbarer Nähe des Wirts ausgebracht werden (Chen *et al.*, 2003a).

Aufgrund dieser zahlreichen Einflüsse kann die Anzahl der Nematoden innerhalb von 2–6 Wochen nach Ausbringung auf unter 1 % der Ausgangszahl sinken (Smits, 1996), was Folgeapplikationen erforderlich machen kann.

5.4.1.3 Raubmilben

Bislang wurden nur wenige Untersuchungen mit *M. robustulus* gegenüber *D. radicum* durchgeführt (Holstein-Saj *et al.*, 2009; Hulas und Lascaux, 2011; Lascaux *et al.*, 2015). Zwar waren die Ergebnisse der Klimakammerversuche (siehe Kapitel 4) vielversprechend, in den Freilandversuchen konnten die Raubmilben die Schädlingspopulation jedoch nicht ausreichend verringern. Die Wirksamkeit war meist etwas geringer als die der Nematoden. Im Gegensatz zu Nematoden, die Larvenstadien der Kleinen Kohlflyge abtöten, bekämpfen die Raubmilben vorrangig Diptereneier und frisch geschlüpfte Larven (Bloszyk *et al.*, 2005; Costa, 1966; Krantz, 1998).

Während die Kohlflyge in Untersuchungen von Lascaux *et al.* (2015) mit einer Anzahl von 250 Milben/m² (Herstellerempfehlung) bekämpft werden konnte, berichten Holstein-Saj *et al.* (2009) von Gewächshausversuchen, in denen 300 Milben/m² keinen Unterschied zur unbehandelten Kontrolle bewirkten. In den am JKI durchgeführten Versuchen wurden mit einmalig annähernd 20 Milben je Kohlrabipflanze (≈ 166 Milben/m²) und zweimal beziehungsweise dreimal jeweils circa 10 Milben je Blumenkohlpflanze (≈ 66 Milben/m²) deutlich geringere Anzahlen an Milben ausgebracht. Das Eiablage-Monitoring zeigte jedoch, dass die Raubmilben zu Terminen ausgebracht wurden, an denen weniger als ein Kohlflygenei pro Manschette abgelegt worden war und insgesamt maximal fünf Kohlflygeneier pro Eimanschette und Woche im Blumenkohl in 2014 abgelegt wurden. Direkt im Anschluss stieg die Kohlflygeneiablage im zweiten Satz Blumenkohl und im Kohlrabi einmalig leicht an, bevor so gut wie keine Eier mehr dazu kamen. Somit ist davon auszugehen, dass die ausgebrachten Mengen ausreichend dosiert waren, um die geringe Anzahl an Eiern und/oder Larven zu bekämpfen. Auch erfolgte der Einsatz frühzeitig und sollte den Eiablagezeitraum der Kohlflyge abgedeckt haben.

Möglicherweise ist der geringe Bekämpfungserfolg in den Freilandversuchen auf biotische oder abiotische Faktoren zurückzuführen. Es ist anzunehmen, dass Raubmilben im Feld von anderen Arthropoden gefressen werden und zudem Umweltbedingungen großen Einfluss auf die Persistenz besitzen könnten. So hat die Temperatur einen entscheidenden Einfluss auf Lebensdauer und Reproduktionsrate (Filipponi und Mosna, 1968). Vom Produzenten wird

eine Mindesttemperatur von 15 °C empfohlen. Diese Ansprüche waren in den durchgeführten Versuchen erfüllt. Weiterhin sind Milben anfällig gegenüber Trockenheit (Filipponi und Mosna, 1968) und benötigen feuchte Böden für eine Massenvermehrung (Costa, 1966). Diese Voraussetzung war in den Versuchen grundsätzlich gegeben, jedoch ist nicht auszuschließen, dass die Bodenoberfläche über einige Tage hinweg abtrocknete. Grosman *et al.* (2011) stellten fest, dass sich eine Decklage aus Biotop® (Produkt basierend auf Kartoffelschale) auf der Substratoberfläche positiv auf Populationswachstum, Etablierung und Performance der Milben auswirkte, während Hulas und Lascaux (2011) keine Unterschiede beobachteten. Die Abdeckung bewirkt unter anderem eine höhere Feuchtigkeit der Bodenoberfläche (Koppert B. V., 2015), vor allem soll jedoch ein Anstieg der Futtermilbenpopulation für das Populationswachstum der Raubmilben gesorgt haben (Grosman *et al.*, 2011). Eine Decklage im Freiland auszubringen, ist jedoch nicht praktikabel. Weiterhin zeigten Ergebnisse am Agricultural Institute of Slovenia, dass Abdeckungen des Bodens beispielsweise durch Strohmulch auch fördernd auf die Kohlfiegenentwicklung wirken können. Es ist zweifelhaft, dass ein Ausbringen von Raubmilben dem in ausreichendem Maß entgegenwirken kann. Ebenso beobachteten Lascaux *et al.* (2015) zum Teil einen höheren Anteil geschädigter Pflanzen nach Mulchausbringung. Auch in unseren Versuchen befanden sich im ausgebrachten Trägermaterial Futtermilben. Leider fehlen Untersuchungen zur Präferenz der Beute und ob eine Konditionierung durch die Zucht besteht. So wäre es möglich, dass Raubmilben die Futtermilben den Kohlflegeneiern oder -larven vorzogen, was den Bekämpfungserfolg schmälern könnte.

5.4.1.4 **Kombinierte Anwendung von entomopathogenen Nematoden und Raubmilben**

Eine kombinierte Ausbringung von *S. feltiae* und *M. robustulus* führte zu keinem konsistenten Ergebnis unter Freilandbedingungen. Die Wirksamkeit dieser Kombination von Antagonisten auf die Kleine Kohlflye ist bisher noch nicht erforscht worden; bislang wurden einzig Untersuchungen gegen Thripse im Gewächshaus durchgeführt (Pozzebon *et al.*, 2014). Die Autoren beschreiben als Ergebnis eine promptere Thripsbekämpfung bei kombinierter Anwendung. Denkbar beim gleichzeitigen Einsatz von Antagonisten sind additive, synergistische oder antagonistische Interaktionen (Ansari *et al.*, 2006; Ansari *et al.*, 2004). Die Kombination wurde am JKI jedoch ausschließlich in der Saison 2014 untersucht, sodass weitere Versuche erfolgen sollten.

5.4.1.5 **Entomopathogene Pilze**

Eine weitere nachhaltige Möglichkeit zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye ist der Einsatz von entomopathogenen Pilzen. Experimente zur Wirkung auf die Kleine Kohlflye erfolgten bisher hauptsächlich in Labor- und Gewächshausexperimenten (Bruck *et al.*, 2005; Myrand

et al., 2015; Razinger *et al.*, 2014a; Razinger *et al.*, 2014b; Vänninen *et al.*, 1999a; Vänninen *et al.*, 1999b) und seltener unter Feldbedingungen (Chandler und Davidson, 2005; Vänninen *et al.*, 1999b).

Mit *B. bassiana* und *M. anisopliae*, beziehungsweise *M. brunneum* wurden unter kontrollierten Bedingungen teils beträchtliche Effekte auf die Populationen von *D. radicum* erzielt (Bruck *et al.*, 2005; Chandler und Davidson, 2005; Razinger *et al.*, 2014a; Razinger *et al.*, 2014b; Vänninen *et al.*, 1999a; Vänninen *et al.*, 1999b). Dabei erwiesen sich sowohl Eier, Larven und Puppen (Bruck *et al.*, 2005; Chandler und Davidson, 2005; Razinger *et al.*, 2014b) als auch Adulte (Meadow *et al.*, 2000) als anfällig. Frisch geschlüpfte Larven kommen in Kontakt mit Inokulum, wenn sie sich durch das Substrat bewegen um in die Wurzel einzudringen. Nach Vänninen *et al.* (1999b) ist unklar, wie effektiv Sporen sich an die Kutikula des Insekts anlagern und ob diese beim Eindringen in die Wurzel wieder entfernt werden.

Im Freiland erfolgt die Ausbringung von entomopathogenen Pilzen oftmals inundativ, in der Hoffnung, dass eine Wirksamkeit besteht, sobald der anvisierte Schädling in den behandelten Bereich vordringt (Bruck, 2005).

In den beschriebenen Versuchen hatte Naturalis[®] (*B. bassiana*) keine signifikanten Auswirkungen. Damit Pilzsporen nicht in Bodenrissen verlagert werden (Chandler und Davidson, 2005) und somit ihren Bestimmungsort nicht oder nicht in ausreichender Menge erreichen, wurde die Sporensuspension bei ausreichend feuchtem Boden vorsichtig um den Wurzelhals appliziert. In dem in Kooperation mit dem Agricultural Institute of Slovenia durchgeführten Versuch wurden Brokkoli-Jungpflanzen in Anzuchtboxen inokulativ wenige Tage vor dem Auspflanzen ins Freiland mit einer Sporenlösung behandelt. Dies hat den Vorteil, dass Sporen direkt in den Zielbereich gelangen. Neben *B. bassiana* (Naturalis[®]) wurde mit *M. brunneum* (Stamm HJS-1154) ein weiterer entomopathogener Pilz getestet. Allerdings zeigten beide auch in diesem Versuch keine deutlich positiven Effekte. Auch Vänninen *et al.* (1999b) sowie Chandler und Davidson (2005) konnten keine adäquate Bekämpfung mit entomopathogenen Pilzen im Freiland erzielen.

Ein wichtiger Faktor, der die Wirksamkeit beeinflusst, ist die Wahl des Pilzstamms. Stämme unterscheiden sich in ihrer Persistenz und Fähigkeit einen Wirt erfolgreich zu infizieren (Inglis *et al.*, 2001). Die ausgewählten Stämme bewiesen in vom Projektpartner (Razinger, 2012, persönliche Mitteilung und Razinger *et al.*, 2014b) im Labor durchgeführten Versuchen ihr Potenzial zur Kohlfiegenbekämpfung. In den eigenen Klimakammerversuchen (siehe Kapitel 4) zeigte sich aber, dass der ausgewählte *Beauveria*-Stamm unter den gewählten Bedingungen nicht geeignet ist, die Kleine Kohlflyge ausreichend zu dezimieren.

Verschiedene Autoren berichten von einer höheren Pathogenität von Pilzen der Gattung *Metarhizium* verglichen mit *Beauveria* (Bruck *et al.*, 2005; Myrand *et al.*, 2015; Razinger *et*

al., 2014a; Vänninen *et al.*, 1999a; Vänninen *et al.*, 1999b). Dies konnte weder in den in Slowenien noch in Deutschland durchgeführten Freilandversuchen bestätigt werden. Zwischen *Beauveria*- und *Metarhizium*-Behandlung waren keine Unterschiede erkennbar. Eine Bekämpfung durch entomopathogene Pilze wird nur erreicht, wenn das (anfällige) Insekt mit einer ausreichenden Menge infektiösem Inokulum in Kontakt kommt; günstige Umweltbedingungen stellen eine weitere Voraussetzung dar (Lacey *et al.*, 2015). Eine Reduktion der Konidien durch verschiedene abiotische und biotische Faktoren kann eine mögliche Ursache einer unzureichenden Wirksamkeit sein. Neben den bereits erwähnten Voraussetzungen für eine Infektion sind Sonneneinstrahlung, Temperatur und Feuchtigkeit die wichtigsten Faktoren für Überleben und Infektiosität (Meikle *et al.*, 2003).

Das Risiko einer Inaktivierung durch Sonnenstrahlung (Inglis *et al.*, 2001) ist beim Ausbringen vor Pflanzung deutlich geringer als bei einer Angießbehandlung im Feld. In den Versuchen wurden in jeder Woche Regenfälle verzeichnet, sodass eine ausreichende Feuchtigkeit im wurzelnahen Raum oder auf dem Integument der Insekten (Inglis *et al.*, 2001) vorhanden gewesen sein sollte. Die Temperaturen lagen in den ersten vier Wochen nach Pflanzung im Bereich von 20 °C, bevor sie langsam absanken. Inglis *et al.* (2001) zeigte, dass Isolate aus Europa Insekten in einem Bereich von 8–30 °C infizieren konnten.

Weitere wichtige Einflussfaktoren sind die Bodentextur, der Bodentyp und der Gehalt an organischer Substanz, welche vor allem die Verlagerung von Sporen beeinflussen. In sandigen Böden und Böden mit geringer organischer Substanz verbleiben weniger Sporen an der Bodenoberfläche als beispielsweise in lehmigen Böden (Ignoffo *et al.*, 1977; Keller und Zimmerman, 1989; Storey und Gardner, 1988). Verantwortlich dafür könnte die Porengröße und Kationenaustauschkapazität der Böden sein (Inglis *et al.*, 2001), verbunden mit der Wasserinfiltrationsrate (Studdert und Kaya, 1990). Andererseits kann ein hoher Anteil organischer Substanz auch die antagonistische Aktivität gegen die Pilze begünstigen (Studdert und Kaya, 1990). Fungistatische Effekte anderer Bodenorganismen können Keimung und Wachstum nachteilig beeinflussen oder direkt toxisch wirken, was zu verringerter Persistenz und Wirksamkeit führt (Jaronski, 2007). Eine höhere Wirksamkeit von entomopathogenen Pilzen in autoklaviertem Substrat wurde beispielsweise von Bruck *et al.* (2005), Razinger *et al.* (2014b) und Jaronski (2007) beschrieben. Entomopathogene Pilze scheinen wenig wettbewerbsfähig gegenüber anderen Bodenpilzen zu sein (Meyling und Eilenberg, 2007; Pereira *et al.*, 1993; Studdert und Kaya, 1990). Auch andere Bodenorganismen, wie Kolllembolen oder Regenwürmer, nehmen Konidien auf und sorgen somit für Verteilung und Entfernung aus dem Boden (Brownbridge *et al.*, 2012; Broza *et al.*, 2001; Dromph, 2003).

Die Komplexität der verschiedenen Faktoren macht es schwer Schlussfolgerungen über den Einfluss einzelner Faktoren bezüglich Persistenz oder Wirksamkeit zu ziehen (Inglis *et al.*, 2001).

5.4.1.6 Knoblauchgranulat und Prüfmittel

Eine toxische Wirkung von Knoblauchextrakten wurde gegenüber Insekten verschiedener Ordnungen nachgewiesen (Prowse *et al.*, 2006). Die Wirkung des in dieser Arbeit getesteten Knoblauchgranulats (ECOguard® Granulat) basiert auf einer Hemmung des Enzyms Acetylcholinesterase (siehe Kapitel 3.2.2.2) nach Kontakt mit Eiern und jungen Larven (Ecospray Ltd., o. J.). Das Prinzip des Prüfmittels beruht hingegen auf einer attract-und-kill-Strategie. Weitere Informationen zu Inhaltsstoffen können aufgrund einer Vereinbarung mit dem Hersteller (W. Neudorff GmbH KG) nicht gegeben werden.

Beide Produkte, ECOguard® Granulat und Prüfmittel zeigten keine Wirkung in den durchgeführten Versuchen, sondern es wurden insignifikant mehr Larven und Puppen zur Bonitur gezählt. Allerdings wurde jeder Versuch nur einmal durchgeführt, sodass die Datengrundlage zu gering ist, um konkrete Aussagen machen zu können. Zudem war insbesondere im Versuch mit ECOguard® Granulat die Eiablage minimal und die Anzahl bonitierter Larven und Puppen zu Versuchsende gering. Das Granulat wurde insgesamt zweimal mit einem Abstand von ungefähr zwei Wochen ausgebracht. Da mehr als 90 % der Substanz innerhalb einer Woche abgebaut werden können (EFSA, 2012), wäre eine regelmäßige Ausbringung, vor allem in Eiablagephasen und zu Beginn der Jungpflanzenentwicklung, wichtig. Dies wurde in am JKI durchgeführten Folgeversuchen berücksichtigt (Ergebnisse nicht dargestellt). Hier zeigte sich, dass bei moderatem Befall vier Applikationen im Abstand von sieben Tagen, was der maximalen Anzahl zugelassener Anwendungen entspricht (EFSA, 2012) keine Verringerung der Populationsdichte verglichen zur Kontrolle bewirkten (Hommes, 2016, persönliche Mitteilung). Auch andere Autoren erzielten mit Pflanzenschutzprodukten auf Knoblauchbasis zwar toxische oder deterrente Effekte auf die Kleine Kohlflye unter kontrollierten Bedingungen, nicht jedoch im Freiland (Jukes *et al.*, 2005; Meadow und Folkedal, 2007). Die genannten Autoren geben für die bessere Wirkung im Gewächshaus optimale Feuchtigkeitsbedingungen sowie Timing an.

5.4.1.7 Kalkstickstoff

Das in Kalkstickstoff enthaltene Cyanamid besitzt letale Effekte auf Insektenspezies verschiedener Ordnungen (Ritter *et al.*, 2014). Neben Fuchs und Kunz (1954) zeigten auch Grandori (1953) und Hoffmann (1954) in: Müller (1955), dass Cyanamid unter besonderen Bedingungen chemisch unverändert von der Pflanze aufgenommen und transportiert werden kann. Diese Studien scheinen vielversprechend für die Bekämpfung der Kleinen Kohlflye,

da einerseits Eier und frei im Boden vorkommende Larvenstadien durch die Bodenwirkung abgetötet, andererseits saugende Larven durch die Substanz im Pflanzengewebe erfasst werden könnten. Dies ist insbesondere interessant, wenn, wie im Freiland üblich, mehrere Kohlfiegenstadien gleichzeitig auftreten.

Allerdings wurden nach Applikation von geperltem Kalkstickstoff (PERLKA®) in den durchgeführten Freilandversuchen grundsätzlich mehr Larven und Puppen zu den Bonituren ausgezählt als in der unbehandelten Kontrolle. Diese Unterschiede waren größtenteils signifikant. Auch gegenüber den anderen Versuchsgliedern war die Befallsdichte zumeist erhöht. Ähnliche Beobachtungen wurden am Agricultural Institute of Slovenia gemacht. In den durchgeführten Freilandversuchen lag kein toxischer Effekt auf verschiedene Kohlfiegenstadien vor.

Zum Zeitpunkt der Cyanidphase dürften unter Freilandbedingungen vor allem Eier und junge Larven im Boden anwesend gewesen sein, auf die auch in den in Kapitel 4 durchgeführten Klimakammerversuchen keine Wirkung nachgewiesen werden konnte. Ritter *et al.* (2014) stellten zwar keine toxische, jedoch aber repellente Wirkung auf späte Larvenstadien von Drahtwürmern (*Agriotes ustulatus*) unter Laborbedingungen fest. Eine Übertragung der Versuche von Ritter *et al.* (2014) ins Freiland fehlte jedoch. Der Ansatz ist jedoch für die Bekämpfung der Kleinen Kohlflye interessant. Im Fall eines Repellenteffekts von Kalkstickstoff auf Adulte könnte dieser vor allem in Push-Pull-Strategien eingesetzt werden; ein abschreckender Effekt auf Larvenstadien sorgt dagegen möglicherweise dafür, dass Larven länger Insektiziden oder Infektionen ausgesetzt sind.

In den beschriebenen Versuchen schienen die mit Kalkstickstoff behandelten Pflanzen jedoch sehr attraktiv für *D. radicum* zu sein beziehungsweise die Entwicklung bis zum Puppenstadium zu unterstützen. Eine höhere Attraktivität durch den Stickstoffgehalt ist jedoch unwahrscheinlich, da die anderen Pflanzen mit entsprechenden Mengen Kalkammonsalpeter gedüngt wurden. Auch phytotoxische Symptome, die Wirtswahl oder Entwicklung beeinflusst haben könnten, traten im Freiland nicht auf. Eine Ausbringung von Eimanschetten in der Kalkstickstoffvariante hätte Aufschluss gegeben, ob die Eiablage beeinflusst war. Möglicherweise stehen die scheinbar positiven Einflüsse einer Kalkstickstoffausbringung auf die Kohlfiegenentwicklung, auch unter kontrollierten Bedingungen (Kapitel 4), im Zusammenhang mit einer Beeinflussung der Mikroorganismenpopulation des Bodens beziehungsweise Substrats. Kalkstickstoff besitzt beispielsweise letale Wirkung auf einer Vielzahl von Schadpilzen und Bakterien (Müller, 1955). Finch und Coaker (1969) zeigten, dass sich Pilzinfektionen der Wurzel negativ auf Kohlfiegenlarven auswirkten. Somit könnte der Einsatz von PERLKA® die Kohlfiegenentwicklung durch Abtöten von für die Larven antagonistischen Mikroorganismen positiv beeinflussen. Eine andere mögliche Erklärung des beobachteten Ergebnisses ist,

dass zwar kein repellenter Effekt auf die Kohlflye, jedoch auf die natürlichen Feinde auftrat. Untersuchungen zum Einfluss von Kalkstickstoff auf diese sind aber nicht bekannt.

5.4.1.8 Fangstreifen

Ziel des Einsatzes von Fangpflanzen ist, den Schädling auf diese zu locken, dort abzufangen (Hokkanen, 1991) und somit die Schädlingsdichte in der Hauptkultur zu reduzieren (Rousse *et al.*, 2003). Damit einhergehend werden weniger Eier in dieser abgelegt, sodass weniger Schäden zu erwarten sind (Siekmann und Hommes, 2007b). Fangpflanzen können beispielsweise in einem Fangstreifen neben und/oder zwischen der Hauptkultur angebaut werden. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung des Konzepts ist die Auswahl der Fangpflanzen, die deutlich attraktiver als die Hauptkultur sein müssen (Siekmann und Hommes, 2007b). In den durchgeführten Versuchen wurde Chinakohl (*Brassica rapa* L. spp. *pekinensis*) als Fangpflanze ausgewählt, der als besonders attraktiv für die Kleine Kohlflye gilt (Rousse *et al.*, 2003). Dabei ging man davon aus, dass die Entwicklung der Larven nicht durch die Wirtspflanzenart beeinflusst wurde. Chinakohl war, geschlossen aus der Anzahl bonitierter Larven und Puppen, in zwei von drei Versuchen stärker befallen als die Hauptkultur. Beispielsweise wurden in der Saison 2013 in Satz 1 knapp fünfmal so viele Larven und Puppen im Wurzelbereich von Chinakohlpflanzen verglichen zu unbehandelten Kohlrabipflanzen sowie deutlich höhere Befallsdichten als in den behandelten Versuchsgliedern dokumentiert. Dabei schienen die Fangpflanzen jeweils im ersten Satz besonders attraktiv auf Kohlfiegen zu wirken, während 2012 im zweiten Satz weniger Larven und Puppen auf Fangpflanzen als in der Hauptkultur erfasst wurden. Leider konnte im Jahr 2013 kein zweiter Satz angebaut werden, sodass die Ergebnisse nicht bestätigt werden konnten.

Möglicherweise stehen die erzielten Ergebnisse im Zusammenhang mit der Populationsdynamik der Kleinen Kohlflye sowie Alter und Physiologie der Pflanzen. Der Anflug der Kohlflye erfolgt von Nahrungs- und Schutzpflanzen aus und kann sich im zeitlichen Verlauf ändern (Lukoschik, 1990). Innerhalb eines Tages alternieren Weibchen zwischen Hecken und Böschungen, wo Paarung und Nahrungsaufnahme erfolgen und Kohlkulturen, wo die Eiablage stattfindet (Josso *et al.*, 2013). Die Positionierung des Fangstreifens war möglicherweise ungünstig gewählt, da dieser unter Umständen entgegen der Einwanderungsrichtung der Kohlfiegen am anderen Ende des Feldes lag und somit von diesen olfaktorisch beispielsweise aufgrund der Distanz und/oder Windrichtung nicht wahrgenommen wurde. Ein Fangstreifen um die gesamte Kohlrabikultur könnte in diesem Fall zu höheren Fangquoten in Chinakohl führen. Dabei ist darauf zu achten, blühende Unkräuter in der Hauptkultur zu entfernen, da diese der in der Kultur geschlüpften Kohlflye als Nahrungspflanzen dienen, wodurch der Schädling im Bestand gehalten und der

Fangstreifen um die Hauptkultur wirkungslos wird. Möglich wäre dagegen eine Exposition von Blühpflanzen im Fangstreifen. Inwieweit diese die Wirksamkeit der Fangpflanzen erhöhen, sollte jedoch in Versuchen überprüft werden. Unter Umständen könnte im Fall einer starken Anlockung und Förderung des Schädlings die Eiablage nicht auf die Fangpflanzen beschränkt bleiben und der Befallsdruck auch in der Hauptkultur steigen.

Die Eiablage in den ersten Sätzen war relativ gering, während diese im zweiten Satz vier und fünf Wochen nach Pflanzung stark zunahm. Gouinguéné *et al.* (2006) beschreiben, dass bereits anwesende Eier und Schädigungen durch Larven die Oviposition anderer Weibchen stimulieren und somit Eier bevorzugt an schon befallene Pflanzen abgelegt werden. Folglich wäre zu erwarten, dass Chinakohl insbesondere im zweiten Satz attraktiv auf die Kohlflyge wirkt. Allerdings verändern sich die Eigenschaften der Pflanzen mit Reife und Entwicklungsstadium (Boege und Marquis, 2005; Cook *et al.*, 2007; Wallace und Eigenbrode, 2002) sowie biotischem und abiotischem Stress (Heil, 2014; Holopainen und Gershenson, 2010; Soler *et al.*, 2007) und somit auch ihre Wirkung auf Schädlinge (Eigenbrode *et al.*, 2016), weshalb Chinakohl zu dem entsprechenden Zeitpunkt möglicherweise nicht attraktiver als Kohlrabi wirkte.

Um zu verhindern, dass Fangpflanzen zunächst den Schädling anziehen, später aber eine Verbreitung in die Hauptkultur aus dem Fangstreifen heraus erfolgt (Siekmann und Hommes, 2007b), sollten mehrere Sätze Fangpflanzen angebaut und stark befallene Pflanzen entfernt werden. Dabei könnten jüngere Pflanzen auch eine höhere Attraktivität auf den Schädling ausüben. Denkbar wäre auch der Anbau sogenannter „dead-end“ Fangpflanzen, die besonders attraktiv auf den Schädling wirken, auf denen Nachkommen aber nicht überleben können (Shelton und Nault, 2004), da ihre Inhaltsstoffe schädlich auf Larven wirken (Badenes-Perez *et al.*, 2014). Allerdings besteht auf diesem Gebiet noch Forschungsbedarf, welche Pflanzen sich zur Kontrolle der Kleinen Kohlflyge eignen.

Eine weitere Möglichkeit die Schädlingsbekämpfung zu unterstützen, bietet der Einsatz von Pflanzen, die die Nützlingspopulation im Feld fördern. Hierzu können Blühpflanzen gehören (wie zum Beispiel Buchweizen und Dill), von denen insbesondere die auf Nektar angewiesenen Parasitoide wie *T. rapae* angezogen werden und profitieren (Nilsson *et al.*, 2011), wobei die gewählten Pflanzen den Nützling mehr fördern sollten als den Schädling. Adulte und Larven von Kurzflügelkäfern benötigen keinen Nektar; sie reagieren auf Infochemikalien von (geschädigten) Wirtspflanzen, Eiern, Larven und Puppen der Kohlflyge (Fournet *et al.*, 2001; Royer und Boivin, 1999).

Rousse *et al.* (2003) beobachteten in Parzellen mit Rüben als Fangpflanzen einen Anstieg von *Aleochara* spp. und damit einhergehend eine erhöhte Prädation und verringerte Schädigung der Hauptkultur. Dieser Effekt war jedoch auf die unmittelbare Nähe des Fangstreifens beschränkt, in dem die Prädatoren scheinbar am aktivsten waren. Diese

Ergebnisse lassen sich zwar nicht direkt mit den am JKI durchgeführten Versuchen vergleichen, da keine Referenzparzelle ohne Fangstreifen in die Untersuchungen einbezogen war und nicht direkt die Parasitierung, sondern der Schlupf aus den zur Bonitur gesammelten Kohlfiegenpuppen untersucht wurde, dennoch zeigte sich in den Versuchen, dass aus Puppen des Fangstreifens mehr *Aleochara* spp. und *T. rapae* schlüpften als aus denen der Hauptkultur. Infolgedessen kann auf eine höhere Dichte natürlicher Feinde im Fangstreifen, ähnlich den Beobachtungen von Rouse *et al.* (2003) geschlossen werden. Allerdings beruhen die Untersuchungen einzig auf der Saison 2013. Ob das Ergebnis auf die höhere Dichte an Kohlfiegenstadien im Fangstreifen zurückzuführen ist, kann nicht abschließend geklärt werden, da vergleichende Untersuchungen aus 2012 fehlen. Desweiteren war ein Monitoring der Eiablage im Fangstreifen aufgrund der Morphologie der Chinakohlpflanzen nicht möglich, so dass nur Larven- und Puppenzahlen betrachtet werden konnten. Auch in der Literatur sind keine eindeutigen Zusammenhänge beschrieben. Der Schlupf von natürlichen Feinden aus Puppen der Hauptkultur schien in Braunschweig nicht von der Entfernung zum Fangstreifen beeinflusst. Für eine möglichst effektive Bekämpfung ist es unabdingbar, dass sich Prädatoren beziehungsweise Parasitoide im Feld ausbreiten und nicht auf die Nähe des Fangstreifens begrenzt sind. Dafür könnte zum einen die Anordnung der Fangpflanzen sorgen (Rouse *et al.*, 2003).

5.4.2 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Wurzelschäden und Frischgewichte

Ein Befall durch die Kleine Kohlflye führt im schlimmsten Fall zum Absterben von *Brassica*-Pflanzen (Felkl *et al.*, 2005). Aber auch weniger geschädigte Pflanzen können mitunter ihre Vermarktungsfähigkeit einbüßen (Freuler und Lindner, 1979). Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, wie sich der Zusammenhang zwischen Befall, Schäden und Ertrag in den Versuchen darstellte und wie erfolgreich eine Bekämpfung sein muss, um optimale Erträge zu gewährleisten.

Blumenkohl, und insbesondere die in dieser Arbeit angebaute Sorte 'Fremont', gilt als sehr attraktiv für die Kleine Kohlflye und hochanfällig gegenüber von Larven verursachten Schädigungen (Chaney *et al.*, 1997; Felkl *et al.*, 2005; Vänninen *et al.*, 1999b). Daher gehen Vänninen *et al.* (1999b) davon aus, dass auch geringe Änderungen der Schädlingsanzahlen im Ertrag reflektiert werden.

In der Gesamtbetrachtung gab es sowohl relativ schwach als auch stärker geschädigte Sätze. In keinem Versuch fielen Pflanzen aufgrund eines Kohlfiegenbefalls aus. Das gleiche gilt für Kohlrabi- und Brokkoliversuche. Vergleicht man alle Versuche miteinander, kann von der Anzahl der bonitierten Larven und Puppen nicht direkt auf die Stärke des Schadens geschlossen werden. Beispielsweise wiesen wenig geschädigte Wurzeln zum Teil eine

vergleichsweise höhere Befallsdichte auf. Gulidov (2011), Vänninen *et al.* (1999a) und Vänninen *et al.* (1999b) konnten ebenso keine beziehungsweise nur schwache bis mittelstarke Korrelationen zwischen Larven- und/oder Puppenzahl und dem Schaden beobachten, was möglicherweise zum einen von der Regenerationsfähigkeit der Pflanzen und dem Ort der Schädigung abhängt, da frühe Schädigungen an den Seitenwurzeln während des Wachstums kompensiert werden können. Zum anderen wird das Pflanzenwachstum nicht allein durch Schädlingsbesatz, sondern auch durch Bodenfeuchtigkeit und -fruchtbarkeit sowie die Temperatur beeinflusst (Hatfield und Prueger, 2015; Spike und Tollefson, 1989). Weiterhin könnten Faktoren wie unterschiedliche Aktivität der Kohlfiegenlarven, Eigenschaften der Pflanze (Alter und Lignifizierung der Wurzeln) Einfluss haben (Bligaard, 1999; van Sloun, 1989) und Zusammenhänge zwischen der Wirkungsweise der Pflanzenschutzmaßnahmen, Befallsdichte und Schädigungen überlagern. Dies zeigt die große Bedeutung von Freilandversuchen zur Validierung von Versuchen unter kontrollierten Bedingungen. Dennoch besaßen in der Gesamtbetrachtung die oftmals am stärksten befallenen Varianten, wie beispielsweise Kalkstickstoff, tendenziell mehr Wurzeln in den höheren Schadklassen, während der geringere Wurzelschaden nach SpinTor™-Applikation die niedrigere Anzahl an Larven und Puppen reflektierte.

Wurzelschädigungen durch Insekten führen häufig zu Ertragsverlusten, da durch die Fraßtätigkeit Wasser- und Nährstoffversorgung sowie damit verbunden die Pflanzenentwicklung beeinträchtigt werden kann (Broatch *et al.*, 2010; Coaker, 1965). Zum anderen wirkt die Kompensation des Wurzelverlustes sich oftmals nachteilig auf die oberirdische Biomasse aus (Hunter, 2001). In den beschriebenen Versuchen besaßen die Fraßschäden an den Wurzeln keinen Einfluss auf das Pflanzenwachstum beziehungsweise den Ertrag, gemessen am Frischgewicht der oberirdischen Pflanzenteile. Die Gewichtsunterschiede zwischen den verschiedenen Varianten waren im Gegenteil gering, mit großer Variation innerhalb eines Versuchsglieds. In der Literatur bestehen gegensätzliche Darstellungen der Zusammenhänge von Wurzelschäden und Ertrag der Kohlpflanzen in Freilandversuchen. So fand Simser (1992) keine Korrelation zwischen Wurzelschaden und Blattgewichten. Ebenso führte eine Verringerung des Wurzelschadens in Versuchen von Vänninen *et al.* (1999b) zu keiner Ertragsänderung, während bei Schroeder *et al.* (1996) signifikante Verringerungen des Wurzelschadens mit ebenfalls signifikanten Steigerungen des Trockengewichts von Wurzeln und Stängeln einhergingen (siehe auch Kapitel 4.4.4). Auch hier gilt, dass Pflanzen einen gewissen Schaden und damit verbundenen Verlust der Wurzelmasse tolerieren können, ohne gleichzeitig mit einem reduzierten Sprossgewicht zu reagieren (Maack, 1977). Neben den bereits erwähnten das Pflanzenwachstum beeinflussenden Faktoren, wie Wasser- und Nährstoffversorgung, spielt

dabei auch der Zeitpunkt der Schädigung eine wichtige Rolle, da insbesondere Jungpflanzen ohne gut entwickeltes Wurzelsystem empfindlich auf Larvenfraß reagieren (Bligaard, 1999). Deshalb sollte, wie in Kapitel 3.1.5 (Tabelle 1) beschrieben, eine bestimmte Anzahl an Kohlfliegeneiern zu bestimmten Zeitpunkten oder Entwicklungsabschnitten nicht überschritten werden um wirtschaftliche Schäden zu vermeiden. Der kritischste Maßstab wird dabei von Bligaard (1999) und Maack (1977) angelegt. Demnach darf eine Zahl von 2–4 Eiern in der ersten Woche nach Pflanzung (Bligaard, 1999) beziehungsweise fünf Eiern pro Woche und Blumenkohlpflanze in den ersten zwei Wochen nach Pflanzung (Maack, 1977) nicht überschritten werden, wenn Ertragsverluste verhindert werden sollen. Insgesamt gilt für den Zeitraum von bis zu sechs Wochen für Blumenkohl die Zahl von 25 Eiern pro Pflanze und Woche (Maack, 1977), was bei Annahme, dass sich im Freiland aufgrund von Prädation, Trockenheit und Schwierigkeiten beim Eindringen in die Wurzel selten mehr als 20 % der Larven entwickeln (Bligaard, 1999; Finch und Coaker, 1969; Maack, 1977), fünf Puppen pro Wurzel entspricht.

In den am JKI durchgeführten Versuchen bestand zwischen der Anzahl der abgelegten Eier und der Kohlfiegenlarven und -puppen an den Kontrollpflanzen zur Bonitur kein direktes Verhältnis. Die Larvenentwicklung ist im Voraus schwer absehbar (Maack, 1977). Laut Bligaard (1999) sind Pflanzen vier Wochen nach Pflanzung nur zu schützen, wenn mehr als 100 Eier abgelegt werden. Diese Angaben konnten in den am JKI durchgeführten Versuchen nicht bestätigt werden. Allerdings wurde die von Maack (1977) für die ersten zwei Wochen nach Pflanzung angegebene Zahl in den durchgeführten Freilandversuchen nur im ersten Satz in der Saison 2012 und 2014 im zweiten Satz überschritten.

Die Höhe der aufgetretenen Wurzelschädigungen reichte augenscheinlich nicht aus, um Ertragsverluste zu verursachen. Allerdings traten, legt man das Eiablagemonitoring zugrunde, Larven erst nach der für die Pflanzen kritischen Phase auf, sodass eine Bekämpfung um Ertragsverluste zu verhindern nicht hätte stattfinden müssen. Weiterhin gilt 'Fremont' als Sorte mit hoher Kompensationsfähigkeit aufgrund hoher Anzahl von Lateralwurzeln (Felkl *et al.*, 2005). Somit lässt sich, in Verbindung mit der Eiablagedynamik, auch das Phänomen erklären, dass Blumenkohlwurzeln in der Versuchssaison 2012 und in 2014 zur Zwischenbonitur stärker geschädigt waren als zur Endbonitur; das Wachstum der Wurzeln führte zur Nivellierung der Schädigungen, insbesondere da, anders als 2013, auch nach der Zwischenbonitur keine bedeutende Eiablage mehr erfolgte.

Wirtschaftliche Schäden können auch entstehen, wenn aufgrund des Schadens die Notbildung einer nicht vermarktbar Blume auftritt (Freuler und Lindner, 1979). Selbst geringe Schäden können die Uniformität der Blumen beeinflussen, was dazu führt, dass mehr Erntegänge nötig werden und Kosten steigen (Ellis *et al.*, 2015). Daher wurde neben dem Frischgewicht auch die Anzahl vermarktungsfähiger Blumen ermittelt. Auch diese blieb

von den Wurzelschäden unbeeinflusst. Dabei wurde sich nur auf den für die Vermarktung relevanten Mindestdurchmesser und nicht auf die Qualität bezogen. Der Anteil marktfähiger Köpfe lag bei 94–100 %, woraus zu schließen ist, dass ein Befall in der hier vorliegenden Größenordnung nicht qualitätsrelevant ist und nicht bekämpft werden müsste; der aufgetretene Kohlfiegenbefall schien tolerierbar.

Aussagen, wie erfolgreich eine Bekämpfung sein muss, können daher auf Grundlage der erzielten Ergebnisse nicht getroffen werden. Sie verdeutlichen jedoch, dass Schwellenwerte Richtwerte angeben, die individuell angepasst werden müssen (Hommes, 1987). Neben wirtschaftlichen Hintergründen, wie Vermarktungsform, Preisen und Kosten sollten auch Ei- und Larvenmortalität, Toleranz der Kulturpflanze inklusive Nährstoffversorgung und Wirkung anderer Schadfaktoren in die Bewertung einfließen (Bligaard *et al.*, 1999; Hommes, 1987; Verreet und Dehne, 2013).

5.4.3 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf Größe und Gewicht der Kohlfiegenpuppen sowie auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege und ihrer wichtigsten natürlichen Gegenspieler

Neben dem direkten Effekt der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Kleine Kohlfliege können möglicherweise subletale Effekte Einfluss auf Nachfolgegenerationen der Kohlfliege ausüben und auch die natürlichen Feinde der Kohlfliege können von subletalen Effekten betroffen sein.

Subletale Effekte äußern sich unter anderem durch reduzierte Larven- und Puppengröße, verringertes Larven- und Puppengewicht, verlängerte Entwicklungszeit, verringerten Schlupf sowie reduzierte Lebensdauer und Fruchtbarkeit (Desneux *et al.*, 2007; Gosselin *et al.*, 2009; Rehan und Freed, 2015). Zu solchen subletalen Effekten kann es durch den direkten Kontakt der Insekten mit Pflanzenschutzmitteln kommen, aber auch nach indirektem Kontakt bei der Nahrungssuche und über die Nahrungsaufnahme sowie bei Gegenspielern der Kohlfliege zusätzlich über die Nahrungskette (Rännbäck *et al.*, 2015).

Bei der Kleinen Kohlfliege ist bekannt, dass die Fruchtbarkeit der adulten Fliege mit steigendem Puppengewicht zunimmt (Finch und Coaker, 1969). Zur Untersuchung von möglichen subletalen Effekten wurden in der vorliegenden Arbeit Puppengröße und -gewicht sowie die Schlupfrate der in den Freilandversuchen und Klimakammerversuchen gesammelten Puppen in Abhängigkeit der verschiedenen eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen betrachtet.

Bei Nielsen und Philipsen (2004a) bewirkte *S. feltiae* beispielsweise eine Verringerung der Größe von Kohlfiegenpuppen in einem von zwei Experimenten. Eine latente Pilzinfektion beeinflusste in Experimenten von Hokkanen (1993) den Larvenfraß und damit auch das Puppengewicht. Weiterhin wurde eine verlängerte Entwicklungszeit überlebender Larven

nach Applikation von Knoblauchgranulat beschrieben (Jukes *et al.*, 2005). In den am JKI durchgeführten Freilandversuchen beeinflussten die eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen allerdings weder das Gewicht noch die Größe der Kohlfiegenpuppen; es konnte kein Trend bezüglich des Verhältnisses von großen und kleinen Kohlfiegenpuppen zwischen den unterschiedlich behandelten Versuchsvarianten festgestellt werden.

In verschiedenen Studien besaßen entomopathogene Pilze und Nematoden nicht nur einen Effekt auf Puppengewicht und -größe, sondern auch auf die Schlupfrate aus Kohlfiegenpuppen (Chandler und Davidson, 2005; Nielsen und Philipsen, 2004a). In den im Rahmen dieser Arbeit realisierten Versuchen war der Schlupf der Insekten durch die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen allerdings nicht verändert. Lukoschik (1990) stellte fest, dass sich verschiedene Pflanzenschutzmittel zwar nicht auf die Schlupfrate auswirkten, jedoch die Gesamtparasitierungsrate der Puppen, die sich an unbehandelten Pflanzen entwickelt hatten, höher war. Dies verdeutlicht, dass der Einfluss von Pflanzenschutzmaßnahmen auf die natürlichen Feinde der Kleinen Kohlfiege nicht unterschätzt werden sollte und unterstreicht die Notwendigkeit auch die Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmaßnahmen auf die wichtigsten natürlichen Gegenspieler zu untersuchen (Biondi *et al.*, 2013). Diese können die verschiedensten physiologischen oder das Verhalten beeinflussenden Auswirkungen auf Populationswachstum und Ökosystemdienstleistungen sein. Die Parasitierungskapazität ist der am ausgiebigsten untersuchte Parameter für subletale Effekte (Barret *et al.*, 1994; Eijsackers, 1993 in: Alix *et al.* 2001). In der vorliegenden Arbeit wurde die Schlupfrate der Parasitoide als Indikator der Parasitierung herangezogen. Ein direkter Rückschluss auf den Effekt der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Parasitierungsrate konnte nicht gezogen werden, da aus einem Teil der Puppen nichts schlüpfte. Zwar wurden ungeschlüpfte Puppen geöffnet, oftmals war der Inhalt aber vertrocknet oder verpilzt, so dass dieser nicht erschlossen werden konnte (natürliche Mortalität). Anhand der aus den Puppen geschlüpfte Insekten wurde jedoch gefolgert, dass keine nachteiligen Effekte auf die wichtigsten natürlichen Feinde vorlagen. Augenscheinlich war die Parasitierung (geschlossen aus dem Schlupf der Parasitoide) durch die verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen, verglichen zur Kontrolle, nicht beeinflusst. Puppen waren ausschließlich von *T. rapae* und *A. bilineata* parasitiert.

Die Gesamtschlupfrate variierte dabei stark zwischen Jahren und Sätzen, wie auch die Zusammensetzung der Parasitoidenpopulationen. Ähnliche Beobachtungen machten auch andere Autoren (Block *et al.*, 1987; Finch und Collier, 1984; Hummel *et al.*, 2010; Langer, 1996; Lukoschik, 1990; Read, 1962; Turnock *et al.*, 1995). Als Ursachen sind beispielsweise natürliche Fluktuationen, Kulturmaßnahmen sowie Wirtspflanzenarten angegeben (Kacem-Haddjel-Mrabet und Nenon, 2003; Langer, 1996), und auch Hyperparasitismus könnte eine Rolle spielen (Bromand, 1980; Wadsworth, 1915; Wishart und Monteith, 1954).

Das Verhältnis der Gesamtschlupfraten von Kohlflye, Schlupfwespe und Kurzflügelkäfer war bei Puppen der Zwischenbonituren tendenziell ausgeglichen. Aus den zur Endbonitur gewonnenen Puppen schlüpften dagegen 4–5-mal so viele Schlupfwespen wie Kohlflyen. Die Schlupfrate der Kurzflügelkäfer lag dabei meist deutlich unter der der Schlupfwespen, wo Raten bis 50 % dokumentiert wurden. Indes bemerkten Block *et al.* (1987) einen höheren Schlupf von *A. bilineata* verglichen zur Schlupfwespe; allerdings erfassten die Autoren einen Anstieg von *T. rapae* zum Ende der Saison, während die Parasitierung durch *A. bilineata* abnahm. Diese Erkenntnis teilten auch Finch und Collier (1984), in deren Studien früh schlüpfende Generationen von *D. radicum* vermehrt von *A. bilineata* und später schlüpfende Populationen von *T. rapae* parasitiert waren. Währenddessen verzeichnete Lukoschik (1990) unabhängig der Flugphase einen nahezu ausschließlichen Schlupf der Hymenoptere.

Die Kleine Kohlflye schlüpfte in allen Sätzen vor ihren Parasitoiden. Dies wird von Finch und Collier (1984) als Beleg für eine gute Synchronisation zwischen Wirt und Parasitoid gedeutet, da somit sichergestellt wird, dass bereits Larvenstadien der Kohlflye vorhanden sind, wenn *T. rapae* schlüpft. Ähnliches gilt für den Puppenparasitoiden und Eiprädatoren *Aleochara*. Auf die dafür zugrundeliegenden Einzelheiten der Diapauseentwicklung soll in dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

Zwar schien die Puppengröße nicht von den verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflusst, dafür jedoch eindeutig von der Parasitierung. Kohlflyen und Kurzflügler schlüpften insgesamt deutlich häufiger aus großen, Schlupfwespen aus kleinen Puppen. Dies entspricht der von Grandgirard *et al.* (2002) gemachten Beobachtung, dass von *T. rapae* parasitierte Puppen deutlich kleiner sind, da Larven weniger Nahrung aufnehmen (Grandgirard, 2003). Zudem sind parasitierte Puppen laut Block *et al.* (1987) leichter. Desweiteren wies Ahlström-Olsson (1994) nach, dass *A. bilineata* normal große Puppen bevorzugt parasitierte, während *A. bipustulata* kleinere Puppen präferierte. Auch dieses Ergebnis wurde in den Schlupfuntersuchungen bestätigt, da es sich bei allen geschlüpften Kurzflüglern um *A. bilineata* handelte.

5.5 Schlussfolgerung

Die verschiedenen im Freiland untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen besaßen oftmals eine inkonsistente Wirksamkeit bezüglich der Bekämpfung der Kleinen Kohlflye. Die Referenzbehandlung mit SpinTor™ führte, unabhängig von äußeren Faktoren, zu insgesamt geringsten Befallsstärken und Wurzelschäden. Die Unterschiede waren im Vergleich zu den anderen Behandlungen meist signifikant. Vergleichsweise eigneten sich von den ausgewählten Alternativen entomopathogene Nematoden der Art *S. feltiae* am besten für den Einsatz im IPS.

Zwischen der Anzahl an Larven und Puppen im Wurzelbereich und dem Wurzelschaden ergab sich kein direkter Zusammenhang. Auch das Frischgewicht der Pflanzen sowie der Anteil marktfähiger Köpfe waren nicht nachweisbar durch die Schädigungen der Wurzeln beeinflusst. Welche Einflüsse konkret für die variierenden Erfolge in den Versuchen verantwortlich sind, ist jedoch schwer aus den Daten nachzuvollziehen.

In den beschriebenen Versuchen konnte kein direkter Einfluss des Eiablagezeitpunkts beziehungsweise des Befallsdrucks auf die Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen festgestellt werden.

Keine der eingesetzten Pflanzenschutzmaßnahmen beeinflusste Gewicht und Größe der Puppen oder die Schlupfrate der Kohlflye sowie deren natürliche Gegenspieler *Aleochara* spp. und *T. rapae* nachteilig. Letztere schlüpften häufiger aus kleinen Kohlflyepuppen, während Kohlflye und Kurzflügelkäfer hauptsächlich aus größeren Puppen schlüpften.

Die Identifizierung und Eliminierung begrenzender Faktoren könnte den Erfolg im Freiland erhöhen. Dies betrifft insbesondere die biotischen Gegenspieler. Daher wird in Kapitel 6 der Frage nachgegangen, welche Substratfeuchtigkeitsbedingungen für Nematoden und Raubmilben als potenziell erfolgreichste nachhaltige Strategien optimal sind, beziehungsweise ob die Effizienz bei einer bestimmten Bodenfeuchtigkeit verbessert werden kann. Zudem werden Untersuchungen zum Einfluss des Substrattyps, auch unter dem Aspekt der wiederholten Austrocknung und Wiederbewässerung und der Auswirkung auf die Persistenz, durchgeführt.

6 Einfluss von Substratfeuchtigkeit und -typ auf die Effizienz von Raubmilben und entomopathogenen Nematoden

6.1 Einleitung

Der Bekämpfungserfolg der Kleinen Kohlflyge mit entomopathogenen Nematoden und Raubmilben unter Freilandbedingungen erwies sich in den in Kapitel 5 sowie in von anderen Arbeitsgruppen durchgeführten Versuchen (Chen *et al.*, 2003b; Lascaux *et al.*, 2015; Simser, 1992; van Sloun, 1989; Vänninen *et al.*, 1999b) als variabel. Dies ist einer der Hauptgründe, weshalb Antagonisten nur selten in der Praxis eingesetzt werden (Gaugler, 1988; Klein, 1990; Smith, 1999 in: Grant und Villani, 2003). Daraus ergibt sich die Frage, welche Bedingungen einen optimalen Einsatz der Gegenspieler ermöglichen, denn um bestmögliche Resultate zu erzielen, ist das Verständnis der Ökologie, Biologie und Gewährleistung optimaler Einsatzbedingungen Voraussetzung.

Die Effizienz von sowohl Nematoden als auch Raubmilben wird von verschiedenen abiotischen und biotischen Faktoren beeinflusst. Dazu gehören Bodenfeuchtigkeit wie auch -textur, Temperatur und (UV-)Licht (Costa, 1966; Croll und Matthews, 1977; Filipponi und Mosna, 1968; Kaya, 1990; Koppenhöfer *et al.*, 1995; Koppert B. V., 2015).

Die Bodenfeuchtigkeit wird von vielen Autoren als am wichtigsten erachtet (Klein, 1990; Curran, 1993 in: Grant und Villani, 2003) und die variable Wirksamkeit von Nematoden unter Freilandbedingungen oftmals mit zu geringer Bodenfeuchtigkeit begründet (Lewis und Raun, 1978; Kain *et al.*, 1981; Gaugler *et al.*, 1994 in: Koppenhöfer *et al.*, 1995). Im Fall der entomopathogenen Nematoden hängt die optimale Bodenfeuchtigkeit neben der Nematodenspezies auch vom Bodentyp ab, da die Zusammensetzung der Bodenpartikel und der Gehalt an organischer Substanz die Wasserverfügbarkeit im Boden stark beeinflussen (Koppenhöfer und Fuzy, 2006). So verfügen Substrate mit hohem Torfanteil beispielsweise über einen größeren Anteil an Makro- und Mikroporen, Speicherkapazität und verfügbaren Wasseranteil (Brückner, 1997). Böden mit hohen Tongehalten besitzen im Vergleich zu sandigen Böden feinere Bodenporen, die insbesondere bei hohen Wasserpotenzialen schlecht durchlüftet sein können (Koppenhöfer und Fuzy, 2006).

Die Interaktion von Bodentyp, Feuchtigkeit und Belüftung kann die Mobilität und den Energieverbrauch der Nematoden beeinflussen (Wallace, 1971 in: Koppenhöfer und Fuzy, 2006) und damit auch deren Persistenz (Koppenhöfer und Fuzy, 2006) sowie Effizienz Wirte zu lokalisieren und zu parasitieren (Ebssa *et al.*, 2004). Entomopathogene Nematoden benötigen eine relativ hohe Feuchtigkeit um nicht auszutrocknen und einen Wasserfilm zur Fortbewegung. Sinkt die Bodenfeuchtigkeit ab, kann der Wasserfilm zu dünn zur Fortbewegung werden oder die Nematoden treten in eine Art Ruhezustand ein (Barrett, 1991

in: Grewal, 2000), ist die Feuchtigkeit dagegen zu hoch, wird die Bewegungsfähigkeit ebenfalls eingeschränkt (Koppenhöfer *et al.*, 1995). Zudem führt Sauerstoffmangel zu ineffektiver Nutzung von Nahrungsreserven einhergehend mit reduzierter Lebensdauer (Croll und Matthews, 1977).

Aufgrund natürlicher Adaption und ihrer Suchstrategie sind einige Spezies toleranter gegenüber Austrocknung als andere (Radová und Trnková, 2010). Entomopathogene Nematoden werden in „Ambusher“ und „Cruiser“ eingeteilt (Ansari und Butt, 2011). Zudem wird eine intermediäre Form beschrieben, zu der auch *S. feltiae* gehört (Ansari und Butt, 2011). Die direkte Wirtssuche ist eine Eigenschaft, die sie mit „Cruisern“ teilen, während die geringere Fortbewegungsdistanz in rauhem Substrat mit „Ambushern“ geteilt wird (Grewal *et al.*, 1994a). Es ist davon auszugehen, dass Spezies, die an der Bodenoberfläche auf Wirte lauern („Ambusher“), toleranter gegenüber Austrocknung sind, da sie an schnelle Feuchtigkeitsveränderungen des Substrats angepasst sind (Grewal, 2000). Eine Form der Anpassung ist die Anhydrobiose, ein reversibles physiologisches Stadium der Dormanz als Überlebensstrategie unter Trockenstress (Solomon *et al.*, 1999). Entomopathogene Nematoden, die sowohl eine geringe Austrocknungstoleranz als auch niedriges anhydrobiotisches Potenzial besitzen, wandern dagegen häufig in tiefere Bodenschichten, die einen höheren Feuchtigkeitsgehalt aufweisen (Salame und Glazer, 2015).

S. feltiae, als intermediäre Form, zeigte in Experimenten von Alekseev *et al.* (2006) sowie Jess und Bingham (2007) anhydrobiontisches Verhalten und war häufig in den oberen Bodenschichten anzufinden, während die Spezies laut Lewis (2002) Austrocknung durch Wanderung in tiefere Bodenschichten umgeht. Niedrige Wirtsmortalitäten durch Nematoden in trockenen Böden werden daher häufig mit Anhydrobiose oder Immobilität begründet, wodurch die Anzahl aktiver, infektiöser Nematoden sinkt (Grant und Villani, 2003).

Auch die Raubmilbe *M. robustulus* bevorzugt feuchte Böden mit lockerer Struktur (Koppert B. V., 2015) und reagiert laut Filipponi und Mosna (1968) empfindlich auf Trockenheit. In Versuchen zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye (Holstein-Saj *et al.*, 2009; Lascaux *et al.*, 2015) werden die Feuchtigkeitsbedingungen jedoch nicht erwähnt und detaillierte Studien zu präferierten Substratfeuchtigkeiten wurden bisher nicht veröffentlicht.

In den am JKI durchgeführten Freilanduntersuchungen variierten die Feuchtigkeitsgehalte des Bodens; die Bodenoberfläche trocknete einerseits zeitweise aus, andererseits war der Boden nach heftigen Regenfällen auch bisweilen gesättigt.

Um kausalen Faktoren der Variabilität der Effizienz der genannten Antagonisten nachzugehen und die wesentlichen Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Einsatz dieser zu bestimmen, wird in diesem Kapitel untersucht, inwiefern unterschiedliche

Substratfeuchtigkeiten und Substrattypen die Leistungsfähigkeit von *S. feltiae* und *M. robustulus* beeinflussen. Die Effizienz wurde in zwei Substrattypen – tonigem Lehm des Versuchsfelds (feinporiges Substrat) und Tonsubstrat:Sand-Gemisch (mittel-grobporiges Substrat) – in Topfversuchen mit Rettichpflanzen verglichen. In beiden Substraten wurden drei verschiedene Feuchtigkeitsgehalte – trocken, feucht, nass – eingestellt. Um den Einfluss anderer Einflussfaktoren, wie beispielsweise Temperatur, auszuschließen, wurden die Versuche unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer durchgeführt.

Desweiteren interessierte, ob ein kombinierter Einsatz der Antagonisten *S. feltiae* und *M. robustulus* unter kontrollierten Bedingungen, auch vor dem Hintergrund unterschiedlicher Substratfeuchtigkeiten, Einfluss auf den Bekämpfungserfolg der Kleinen Kohlflye besaß, indem antagonistische, synergistische oder additive Effekte auftraten. Empirische Studien zeigten, dass Prädatoren die Effizienz von Nematoden reduzieren können (Kaya, 2002). Andererseits beobachteten Premachandra *et al.* (2003) bei einer Kombination von entomopathogenen Nematoden (*S. feltiae*) und Raubmilben (*Hypoaspis aculeifer* Canestrini (Acarina: Laelapidae)) synergistische Effekte. Kombinierte Ausbringungen sind folglich nur dann sinnvoll, wenn eine Verbesserung der Effizienz im Vergleich zu Einzelausbringungen erreicht wird.

6.2 Material und Methoden

6.2.1 Anzucht der Versuchspflanzen und Insekten

Die Aufzucht der Rettichpflanzen (*Raphanus sativus* L. 'Rex') erfolgte im Gewächshaus des Julius Kühn-Instituts in Braunschweig. Pflanzen wurden bei 25 °C, 40–80 % rF, Langtagbedingungen (16:8) vorgezogen und bei Erscheinen der ersten Laubblätter in 14er Töpfe pikiert. Als Substrat diente zum einen eine Mischung aus Tonsubstrat (80 % Hochmoortorf, Ton, Kalkdünger, NPK-Dünger) der Klasmann-Deilmann GmbH und Sand im Mischungsverhältnis 50:50 (Versuch I, Versuch II A). In Versuch II B stammte das Substrat vom Versuchsfeld in Hötzum. Hierbei handelte es sich um tonigen Lehm (35–45 % Ton). Die Pflanzen wurden nicht zusätzlich gedüngt, die im Substrat enthaltenen Nährstoffe erwiesen sich als ausreichend, während der Versuchsdurchführung traten keine Mangelsymptome auf. Die Anzucht der Kleinen Kohlfliege erfolgte wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben.

6.2.2 Bezug der Pflanzenschutzmaßnahmen

Bei allen Pflanzenschutzmaßnahmen handelt es sich um kommerziell erhältliche Produkte (siehe Tabelle 17 und Kapitel 4.2.2). Zur Überprüfung der Persistenz von Nematoden wurden Larven der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella* L.) verwendet. Die Larven stammten aus der Dauerzucht des Julius Kühn-Instituts (Institut für Biologischen Pflanzenschutz, Darmstadt) und wurden kurzzeitig bis zur Ausbringung bei 8 °C im Kühlschrank in mit Streu gefüllten Plastikdosen gelagert.

6.2.3 Qualitätskontrolle von Nematoden und Raubmilben

Vor jeder Ausbringung von Antagonisten wurde eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Die Überprüfung der Qualität von entomopathogenen Nematoden ist in Kapitel 4.2.3 beschrieben, die von Raubmilben in Kapitel 5.2.5.

6.2.4 Versuchsaufbau

Versuche wurden mit sechs Wochen alten Rettichpflanzen in der Klimakammer (18,8 ± 2,0 °C, 70 % rF, Langtagbedingungen (16:8)) durchgeführt. Einige Tage vor Versuchsbeginn wurden die Pflanzen aus der Anzucht in die Klimakammer überführt. Dort wurden jeweils fünf oder sechs Pflanzen mit Untersetzer in einer Schale (55 x 35 x 8 cm) auf die beiden in der Klimakammer befindlichen Tische (jeweils 0,9 x 4 m) platziert. Die Schalen wurden mit Wasser und einen Tropfen Spülmittel bis etwa zur halben Höhe der Untersetzer gefüllt. Dies sollte verhindern, dass Raubmilben auf Pflanzen anderer Versuchsglieder gelangen konnten. Versuche wurden mit sechs Versuchsgliedern und drei Wiederholungen (= Substratfeuchtigkeiten) à fünf Pflanzen in Versuch I und mit vier Versuchsgliedern zu je

drei Wiederholungen (= Substratfeuchtigkeiten) à zehn Pflanzen in Versuch II A und II B durchgeführt. Desweiteren sind zur regelmäßigen Überprüfung der Persistenz von Nematoden und Raubmilben in den betreffenden Versuchsvarianten jeweils vier Extrapflanzen pro Wiederholung kultiviert worden. Die Aufstellung der Schalen in der Kammer entsprach einer vollständig randomisierten Anlage.

6.2.5 Versuchsdurchführung

6.2.5.1 Einstellen der Substratfeuchtigkeit

Alle Versuche wurden mit drei verschiedenen Substratfeuchtigkeiten durchgeführt. Neben der praxisüblichen Substratfeuchtigkeit für Pflanze und Gegenspieler sollte auch der Einfluss der beiden Extreme trockenes Substrat und nasses Substrat auf die Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen untersucht werden. Hierzu wurden sechs Pflanzen von oben bewässert, bis ein optisch entsprechendes Ergebnis erzielt war. Das Pflanzenwachstum sollte nicht beeinflusst werden, das heißt die Pflanzen sollten weder Trockenstress noch Staunässe ausgesetzt sein. Die Bodenfeuchtigkeit (Vol.-%) wurde im Anschluss mittels Bodenfeuchtigkeitssensor (ThetaProbe Type ML2x, Delta-T Devices Ltd.) ermittelt. Daraus ergab sich beispielsweise eine Bodenfeuchtigkeit von 20 % (trockenes Substrat), 30 % (optimale Bodenfeuchte) und 40 % (nasses Substrat). Im Folgenden ist eine Woche lang täglich zur gleichen Zeit die Substratfeuchtigkeit gemessen worden. Aus den Feuchtigkeitsverlusten (%) über Nacht und der benötigten Wassermenge (ml) um die gewünschte Feuchtigkeit wieder einzustellen wurde eine Tabelle erstellt (Tabelle A 2). Diese diente als Grundlage für die Bewässerung der Versuchspflanzen.

Zwei Tage vor Versuchsbeginn beziehungsweise Anlage der Kohlfliogeneier erfolgte die Einstellung der verschiedenen Zielsubstratfeuchtigkeiten. Pro Versuchsglied wurde eine trockene, eine optimal feuchte und eine nasse Variante eingestellt (Tabelle 16, Abbildung 32). Dazu wurde die aktuelle Substratfeuchtigkeit (Vol.-%) eines jeden Topfes mittels Bodenfeuchtigkeitssensor ermittelt und die Differenz zwischen aktueller Feuchtigkeit und Sollwert errechnet. Anhand der in Vorversuchen erstellten Tabelle (Tabelle A 2) konnte abgelesen werden, welche Wassermenge nötig war, um die gewünschte Feuchtigkeit einzustellen. Die benötigte Wassermenge wurde mit einem Messzylinder abgemessen und vorsichtig von oben angegossen. Im weiteren Verlauf sind diese Schritte täglich wiederholt worden um die Substratfeuchtigkeit möglichst konstant zu halten.



Abbildung 31: Messung der Substratfeuchtigkeit mit dem Bodenfeuchtigkeitssensor, dargestellt am Beispiel einer Rosenkohlpflanze.

Tabelle 16: Substrattyp und Einstellungen der Substratfeuchtigkeit in Vol.-% der verschiedenen Versuche.

Versuch	Substrat	Substratfeuchtigkeit in Vol.-%
Versuch I	Tonsubstrat:Sand (50:50)	20 (trocken)
		30 (feucht)
		40 (nass)
Versuch II A	Tonsubstrat:Sand (50:50)	20 (trocken)
		35 (feucht)
		50 (nass)
Versuch II B	Toniger Lehm	20 (trocken)
		30 (feucht)
		40 (nass)



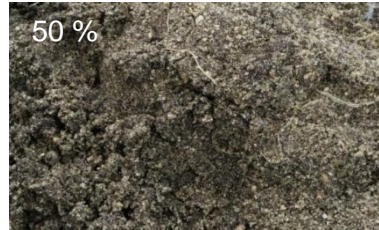



Trocken	Feucht	Nass
		
		

Abbildung 32: Charakter des Substrats nach Einstellung der jeweiligen Substratfeuchten in den verschiedenen Substraten (oben: Tonsubstrat:Sand, unten: toniger Lehm) in Versuch II A und II B. Trocken eingestellte Substrate waren direkt nach dem Gießen in den oberen 3 cm feucht und trockneten bis zur nächsten Bewässerung aber komplett aus. Die Substrate waren weder bindig noch formbar. Bei feucht gehaltenen Substraten waren die oberen Substratschichten nach dem Gießen nass, tiefer liegende Schichten waren durchweg feucht. Bis zur nächsten Bewässerung trocknete die Substratoberfläche komplett ab. Insgesamt konnte das Substrat als krümelig bezeichnet werden und ließ sich formen. Das Substrat in den nassen Varianten war nach dem Gießen komplett nass und blieb komplett feucht bis zur nächsten Bewässerung; es war bindig und formbar.

6.2.5.2 Ausbringung der Kohlflegeneier und Pflanzenschutzmaßnahmen

Zu Versuchsbeginn wurden an den Wurzelhals einer jeden Pflanze zehn ein bis zwei Tage alte Kohlflegeneier mit einem feinen Pinsel angelegt. Diese stammten aus der institutseigenen Zucht (siehe Kapitel 4.2.1). Im Anschluss erfolgte die Ausbringung der Pflanzenschutzmaßnahmen, wie in Tabelle 17 dargestellt. Die Behandlung mit SpinTor™ vor der Eiablage simulierte das praxisübliche Angießen kurz vor Auspflanzen der Jungpflanzen. Die Applikation erfolgte wie in Kapitel 4.2.5 beschrieben. Für die Ausbringung der Nematoden (*S. feltiae*, Stamm EN02) ist eine Stammlösung angesetzt worden und pro Topf wurden annähernd 180.000 Individuen in 25 ml Wasser mit einem Messzylinder um den Wurzelhals ausgebracht. Die optimale Wassermenge ist im Vorfeld durch Experimentieren ermittelt worden. Im Vorfeld fand jeweils eine Qualitätskontrolle der Nematoden statt (siehe Kap. 4.2.3).

Die verschiedenen Substratfeuchtigkeiten wurden stets vor Ausbringung der Nematoden eingestellt. Daher bekamen Pflanzen, die mit Nematoden angegossen wurden, an Tagen der Ausbringung 25 ml Wasser zusätzlich. Somit war sichergestellt, dass Nematoden gut in den Boden eindringen konnten. In den trockenen Varianten wäre die geringe Wassermenge eventuell ein weiterer Faktor gewesen, der die Nematodeneffizienz hätte beeinflussen können, da der Boden sehr schnell ausgetrocknet ist.

Die Ausbringung der Raubmilben erfolgte wie in Kapitel 4.2.5 beschrieben. Wurden Nematoden und Raubmilben kombiniert ausgebracht, geschah dies wie bei Einzelausbringungen.

Tabelle 17: Übersicht über die bei verschiedenen Bodenfeuchtigkeiten untersuchten Pflanzenschutzmaßnahmen und deren Anwendung.

Pflanzenschutzmaßnahme	Aufwandmenge	Applikationszeitpunkt	Hersteller
SpinTor™ (Spinosad)	0,012 ml in 4 ml H ₂ O/Topf (\cong 12 ml/1.000 Pfl.)	2 Tage vor EA	Dow AgroSciences GmbH (München, Deutschland)
nemaplus® (<i>Steinernema feltiae</i> EN02)	180.000 in 25 ml H ₂ O/Topf	EA u. 10 u. 20 Tage nach EA	e-nema GmbH (Schwentental, Deutschland)
MACRO-MITE (<i>Macrocheles robustus</i>)	20 Milben/Topf	EA	Koppert B.V. (Berkel en Rodenrijs, Niederlande)
nemaplus® + MACRO-MITE	Siehe Einzelausbringung	Siehe Einzelausbringung	

EA: Eiablage

6.2.5.3 Überprüfung der Persistenz von Nematoden und Raubmilben

Jeweils eine Woche nach Ausbringung der Nematoden und zwei Wochen nach Versuchsende wurde deren Persistenz bei unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten überprüft. Pro Topf sind drei Larven der Großen Wachsmotte ausgebracht und durch je einen Runddosendeckel am Entfliehen gehindert worden.

Die Substratfeuchtigkeit der Töpfe wurde derweil weiter mit der Bodenfeuchtigkeitssonde gemessen und nach Bedarf bewässert. Somit ist überprüft worden, ob Nematoden auch bei geringer Feuchtigkeit aktiv waren und nicht durch höhere Feuchtigkeiten wieder aktiviert wurden. In Anlehnung an Koppenhöfer *et al.* (1995) sind nach 48–72 Stunden Larven entfernt und für 48 Stunden in mit feuchtem Filterpapier ausgelegten Petrischalen inkubiert worden. Befallene Larven färbten sich braun. Zudem wurden Larven mit einem Skalpell aufgeschnitten und die Hämolymphe unter dem Binokular auf Vorhandensein von Nematoden untersucht.



Abbildung 33: Überprüfen der Persistenz von Nematoden mit Larven der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella* L.). A) Ausbringung, B) Vergleich von gesunder (links) und infizierter Larve (rechts), C) Nematoden in der Hämolymphe.

Mit der Überprüfung der Persistenz von *M. robustulus* bei unterschiedlichen Bodenfeuchtigkeiten wurde ebenfalls eine Woche nach Ausbringung der Raubmilben begonnen. In wöchentlichem Abstand erfolgte die Untersuchung insgesamt viermal. Dazu wurden in Versuch II A und II B die oberen 2 cm Substrat eines Topfes mit einem Löffel entfernt und das Material visuell unter dem Binokular auf Vorhandensein von *M. robustulus* (Bestimmungsschlüssel: Costa (1966)) untersucht.

6.2.6 Versuchsauswertung

Die Versuchsauswertung erfolgte nach vier Wochen. Zu diesem Zeitpunkt waren die meisten Kohlfiegenlarven verpuppt. Die Bonitur erfolgte wie in Kapitel 4.2.6 beschrieben.

6.2.7 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit R (Version 3.2.3; R Development Core Team, 2015). Analysen über alle Substratfeuchtigkeiten erfolgten wie in Kapitel 4.2.7 ausführlich beschrieben mittels GLM (Generalized Linear Model) mit Annahme der Poisson-Verteilung für Unterschiede in der Anzahl an Kohlfliedenlarven und -puppen, einem linearen Modell zur Untersuchung von Unterschieden bezüglich der Schadklassen (Freeman-Tukey transformierte Daten) und einer ANOVA zur Untersuchung von Gewichtsunterschieden. Mittelwertsvergleiche zwischen den Behandlungen erfolgten mit dem Tukey HSD-Test.

Die statistische Überprüfung des Einflusses der Substratfeuchtigkeit erfolgte sowohl für Vergleiche zwischen Versuchsgliedern zu einer Substratfeuchtigkeit als auch innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Feuchtigkeitsstufen mittels der Funktion Pairwise Test. Differenzen in der Anzahl an Kohlfliedenlarven und -puppen und zwischen Wurzelschadklassen wurden jeweils mit der Methode des Holm-adjustierten asymptotischem Wilcoxon Rangsummentests untersucht, Frischgewichte mit Holm-adjustiertem Welch Two Sample t-Test.

Mögliche Korrelationen zwischen der Anzahl an Puppen und der Schadklasse, beziehungsweise Schadklasse und Gewicht sind mittels Spearman Rangkorrelation berechnet worden. Die Korrelationsanalyse zwischen Substratfeuchtigkeit und der Anzahl an Larven und Puppen, Schadklasse und Frischgewicht erfolgte mit der Pearson-Produkt-Moment Korrelation. Die Korrelationskoeffizienten ρ (Spearman) beziehungsweise ρ (Pearson) können Werte zwischen 1 und -1 annehmen. Werte > 0 geben eine positive lineare Korrelation an, Werte < 0 eine negative lineare Korrelation, die umso stärker ist je näher der Wert an 1 oder -1 liegt.

Für alle Versuchsfragen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % gewählt.

6.3 Ergebnisse

Falls nicht anders beschrieben, werden Mittelwerte genannt. Die Rohdaten sind im Anhang aufgeführt.

6.3.1 Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

In allen Versuchen waren zur Bonitur mehr Larven als Puppen in den Proben vorhanden. Um die Unterschiede zwischen den verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen herauszustellen wurde zunächst die Anzahl an Larven und Puppen der unterschiedlichen Varianten ungeachtet der ungleich eingestellten Bodenfeuchtigkeiten betrachtet.

Von zehn pro Topf ausgebrachten Kohlflegeneiern wurden 5,5 beziehungsweise 5,4 Larven und Puppen im Tonsubstrat:Sand-Gemisch sowie 4,5 Larven und Puppen im tonigen Lehm in den unbehandelten Kontrollen zur Bonitur aufgefunden (Abbildung 34, Tabelle A 53). In allen Versuchen entwickelten sich nach Ausbringung der verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen signifikant weniger Larven und Puppen im Vergleich zu Kontrollpflanzen ($p < 0,01$). Nach Angießen von SpinTor™ wurde nahezu keine Entwicklung der Kohlfiegenstadien ausgemacht; die Reduktion der Larven und Puppen lag gegenüber der Kontrolle bei mehr als 90 %. Damit unterschied sich diese Variante sowohl signifikant gegenüber der Kontrolle wie auch nemaplus®- und MACRO-MITE Ausbringungen ($p > 0,001$). Der Einsatz von sowohl Nematoden als auch Raubmilben führte verglichen zur Kontrolle zu einer Verringerung der aufgefundenen Larven und Puppen um mehr als 50 %. Dabei wurde durch nemaplus®-Applikation die Anzahl der Larven und Puppen geringfügig stärker reduziert ($p = 0,558$). Die in Versuch I getestete Kombination von Nematoden und Raubmilben ergab eine weitere Reduktion der Larven- und Puppenanzahl (um 77,1 % gegenüber der Kontrolle), die sich insignifikant von den weiteren Behandlungen unterschied ($p > 0,085$).

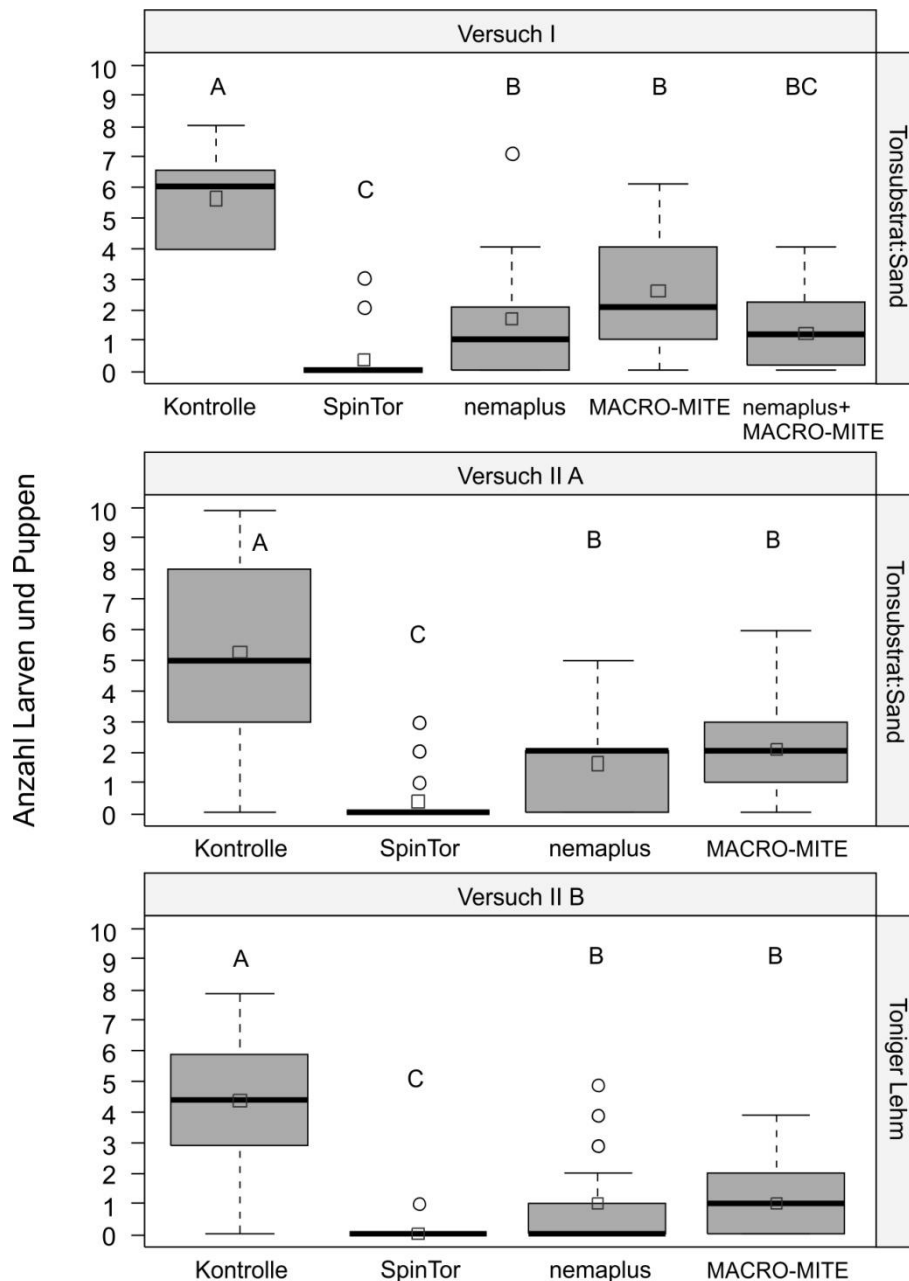


Abbildung 34: Anzahl der Kohlfliegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen. SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemaplus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 15 (Versuch I), n = 30 (Versuch II)); GLM (Poisson-Verteilung), Tukey HSD-Test, □ = arithmetisches Mittel, – = Median).

Im Folgenden soll der Einfluss der unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten und des Substrattyps auf die Wirksamkeit von Nematoden und Raubmilben untersucht werden. Dabei wurden Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern, vor allem aber auch innerhalb verglichen. Nachfolgend genannte Haupttendenzen waren unabhängig vom Substrattyp. In der Gesamtbetrachtung entsprachen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsgliedern tendenziell den zuvor beschriebenen (Abbildung 35, Tabelle A 54).

Bezüglich der unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalte gab es keine signifikanten Unterschiede bei SpinTor™-behandelten Pflanzen ($p = 1,000$). Nach Angießen mit SpinTor™ wurden in keinem Versuch Larven oder Puppen in nassen Proben entdeckt. Auch in den trockenen oder feuchten Varianten waren die Anzahlen mit unter 0,8 unbedeutend.

Der Einfluss der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten wurde insbesondere bei mit Nematoden oder Raubmilben behandelten Pflanzen deutlich. Signifikante Unterschiede traten ausschließlich in Versuch II A auf ($p \leq 0,015$), wobei einheitliche Tendenzen in allen Versuchen ersichtlich waren. Die Entwicklung der Kohlfiegenstadien war nach Applikation von nemaplus® in trockenem Substrat am schwächsten. Die Unterschiede zu feuchteren Varianten waren in Versuch II A signifikant ($p = 0,002$). Mit Zunahme der Substratfeuchtigkeit stieg in Versuch I die Anzahl der aufgefundenen Larven und Puppen um 33,3 % (trocken-feucht) und 60 % (feucht-nass) an. In Versuch II A und B unterschieden sich feuchte und nasse Varianten kaum. Trockene, feuchte und nasse Varianten unterschieden sich nicht von SpinTor™ behandelten Pflanzen ($p \geq 0,086$) (Ausnahmen: nasse Varianten Versuch I ($p = 0,047$) und Versuch II A ($p = 0,001$)).

Nach Einsatz von MACRO-MITE war bezüglich der Bodenfeuchtigkeit ein gegenläufiger Trend erkennbar. Die meisten Larven und Puppen wurden in allen Versuchen in trocken eingestelltem Substrat ermittelt (3,6 (Versuch I) und 2,9 (Versuch II A und B)). Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Feuchtigkeitsstufen waren jedoch nicht signifikant ($p \geq 0,4$). Die feuchten und nassen Varianten unterschieden sich in Versuch II A und B statistisch nicht von mit SpinTor™ und nemaplus® behandelten Pflanzen desselben Feuchtigkeitsniveaus ($p \geq 0,086$).

Eine Kombination der Gegenspieler war in trockenem Substrat mit einer SpinTor™-Behandlung gleichzusetzen und damit tendenziell ($p = 0,682$) wirksamer als eine Einzelbehandlung mit Nematoden. In feuchtem und nassem Substrat unterschied sich diese Behandlung nur geringfügig ($p = 0,904$) von einer Einzelausbringung mit MACRO-MITE in nassem Substrat.

In den trocken gehaltenen Kontrollvarianten lag die Anzahl an Larven und Puppen bei im Mittel 4,6 beziehungsweise 4,7. Auch in der Kontrolle hatte die Substratfeuchtigkeit teilweise einen Einfluss auf die Entwicklung der Kohlfiegenstadien. Während in tonigem Lehm nahezu keine Unterschiede bonitiert wurden, zeigte sich bei in Tonsubstrat:Sand-Gemisch durchgeführten Versuchen eine tendenziell höhere Anzahl an Larven und Puppen in der feuchten Variante. Hier war die Anzahl der Larven und Puppen 2–3-mal höher ($p = 1,000$).

EINFLUSS VON SUBSTRATFEUCHTIGKEIT UND -TYP AUF DIE EFFIZIENZ VON RAUBMILBEN UND ENTOMOPATHOGENEN NEMATODEN

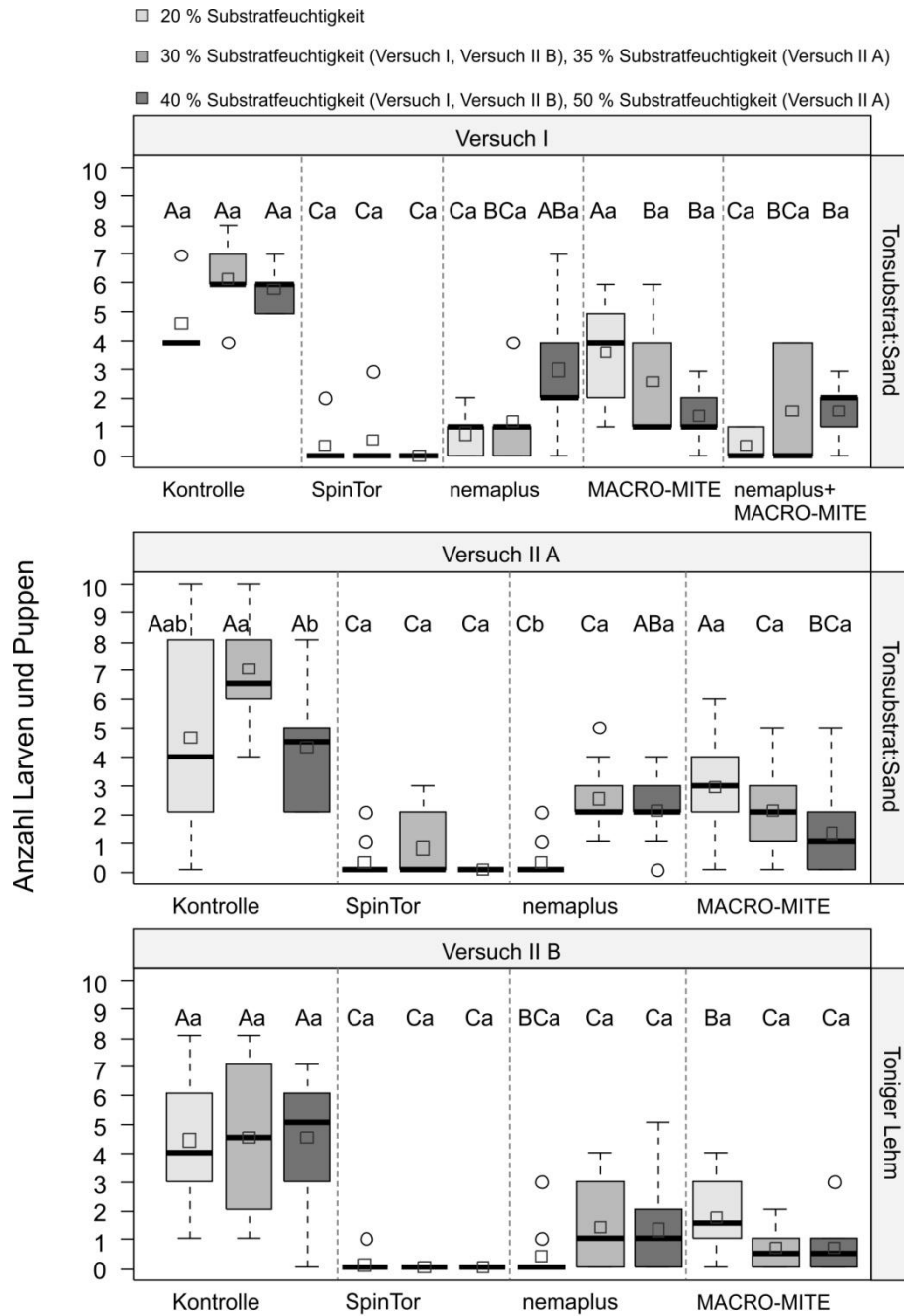


Abbildung 35: Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen im Wurzelbereich von Rettichpflanzen unter Berücksichtigung der unterschiedlich eingestellten Bodenfeuchtigkeiten. SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemapulus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Box-Whisker Plots mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Großbuchstaben geben Unterschiede zwischen Versuchsgliedern zur jeweiligen Substratfeuchtigkeit an, Kleinbuchstaben innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten (n = 5 (Versuch I), n = 10 (Versuch II), □ = arithmetisches Mittel, – = Median, Holm-adjustierter asymptotischer Wilcoxon Rangsummentest).

6.3.2 Einteilung der Wurzelschäden in Schadklassen

Auch bezüglich der Schadklassenverteilung wurden zunächst unabhängig von den unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten die Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsgliedern betrachtet.

Mit Ausnahme SpinTor™-behandelter Pflanzen befand sich in allen Versuchen der Hauptteil der untersuchten Rettichwurzeln in Schadklasse 2 (deutliche Fraßstellen) (Abbildung 36, Tabelle A 55). Dessen ungeachtet unterschieden sich die Kontrollen der drei Versuche hinsichtlich der Intensität der Fraßschäden deutlich voneinander. In Versuch I und Versuch II B waren 73,3 % beziehungsweise 53,7 % der Rettichwurzeln der SKL 2 (deutliche Fraßstellen), der Rest der SKL 3 (zahlreiche deutliche Fraßstellen) zugeteilt und somit nicht marktfähig. Dagegen sind in Versuch II A je 3 % befallsfrei (SKL 0) oder nur gering beschädigt (SKL 1) und damit vermarktungsfähig gewesen, während 86,7 % SKL 2 und 6,7 % SKL 3 zugeordnet worden sind. Das Verteilungsmuster der Schadklassen nach nemaplus®-Behandlung entsprach nahezu der Verteilung der Kontrollwurzeln ($p > 0,873$). Nach MACRO-MITE-Applikation war die Intensität der Wurzelschäden im Vergleich zu Kontrolle und nemaplus®-Behandlung tendenziell schwächer. Während die Unterschiede in Versuch I ein eher geringes Ausmaß zeigten, wurden diese in Versuch II A und B deutlicher. Beispielsweise waren hier mit jeweils 6,7 % und 16,7 % Rettiche ohne beziehungsweise mit leichten Fraßspuren vorhanden, die somit vermarktbar waren. Die Unterschiede waren in Versuch II B gegenüber unbehandelten und mit Nematoden behandelten Pflanzen signifikant (Kontrolle $p < 0,001$, nemaplus® $p = 0,007$). Eine in Versuch I durchgeführte kombinierte Ausbringung von Nematoden und Raubmilben ergab, verglichen zu den Einzelausbringungen, ein insignifikant verringertes Schadausmaß ($p > 0,146$). Keine der Wurzeln war stark geschädigt (SKL 3), stattdessen zeigten 20 % leichten Befall (SKL 1) und die übrigen 80 % deutlichen (SKL 2). In allen Versuchen unterschieden sich SpinTor™-behandelte Pflanzen signifikant von allen anderen Varianten durch geringeren Fraßschaden an Rettichwurzeln ($p < 0,001$). In Versuch I wiesen 86,7 % der Rettiche keinerlei Fraßsymptome auf, die übrigen waren leicht beschädigt. Alle Rettiche erfüllten somit die Vermarktungsnormen. Der Anteil schadfreier Wurzeln lag in den anderen Versuchen bei 73 %, wobei 13 % beziehungsweise 23 % leicht beschädigt und die restlichen Wurzeln in SKL 2 eingeordnet wurden.

EINFLUSS VON SUBSTRATFEUCHTIGKEIT UND -TYP AUF DIE EFFIZIENZ VON RAUBMILBEN UND ENTOMOPATHOGENEN NEMATODEN

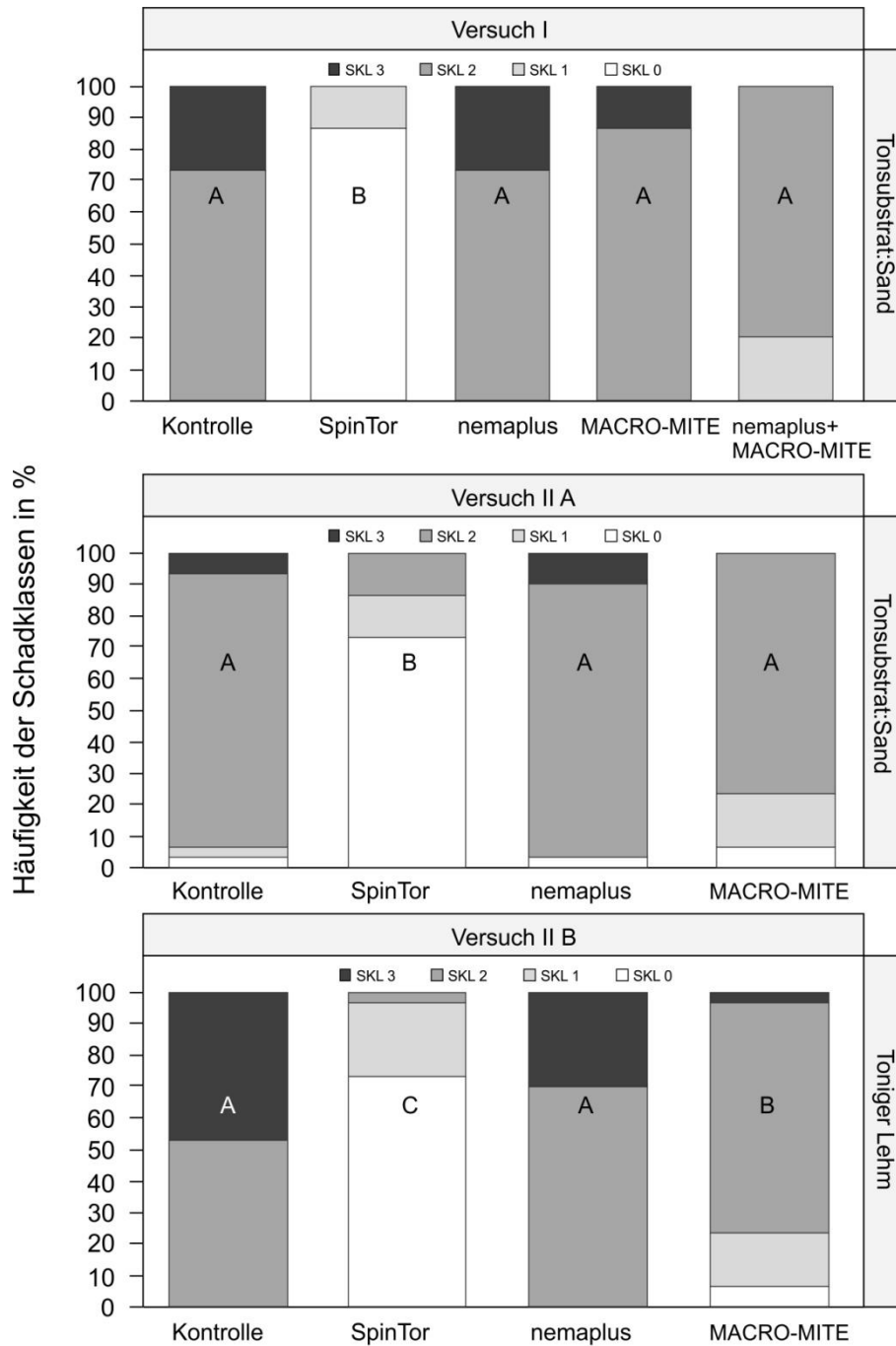


Abbildung 36: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemaplus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von 10 Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (n = 15 (Versuch I), n = 30 (Versuch II); LM, Tukey HSD-Test für Freeman-Tukey transformierte Daten).

Auch hinsichtlich der Wurzelschäden wurde der Einfluss der unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten und -typen untersucht.

Ein Einfluss des Substrattyps war nicht erkennbar (Abbildung 37, Tabelle A 56). Bezogen auf die Substratfeuchtigkeit sind Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchsgliedern zu einer bestimmten Feuchtigkeit, vor allem aber der Einfluss der Feuchtigkeit innerhalb eines Versuchsgliedes untersucht worden. Gesamt gesehen entsprachen die Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern tendenziell den zuvor beschriebenen. Die Unterschiede zwischen den Substratfeuchtigkeiten innerhalb eines Versuchsglieds waren in keinem Versuch signifikant ($p = 1,000$). Desweiteren waren keine eindeutigen Tendenzen zu erkennen, wie man aufgrund der Anzahl an Larven und Puppen erwarten würde.

EINFLUSS VON SUBSTRATFEUCHTIGKEIT UND -TYP AUF DIE EFFIZIENZ VON RAUBMILBEN UND ENTOMOPATHOGENEN NEMATODEN

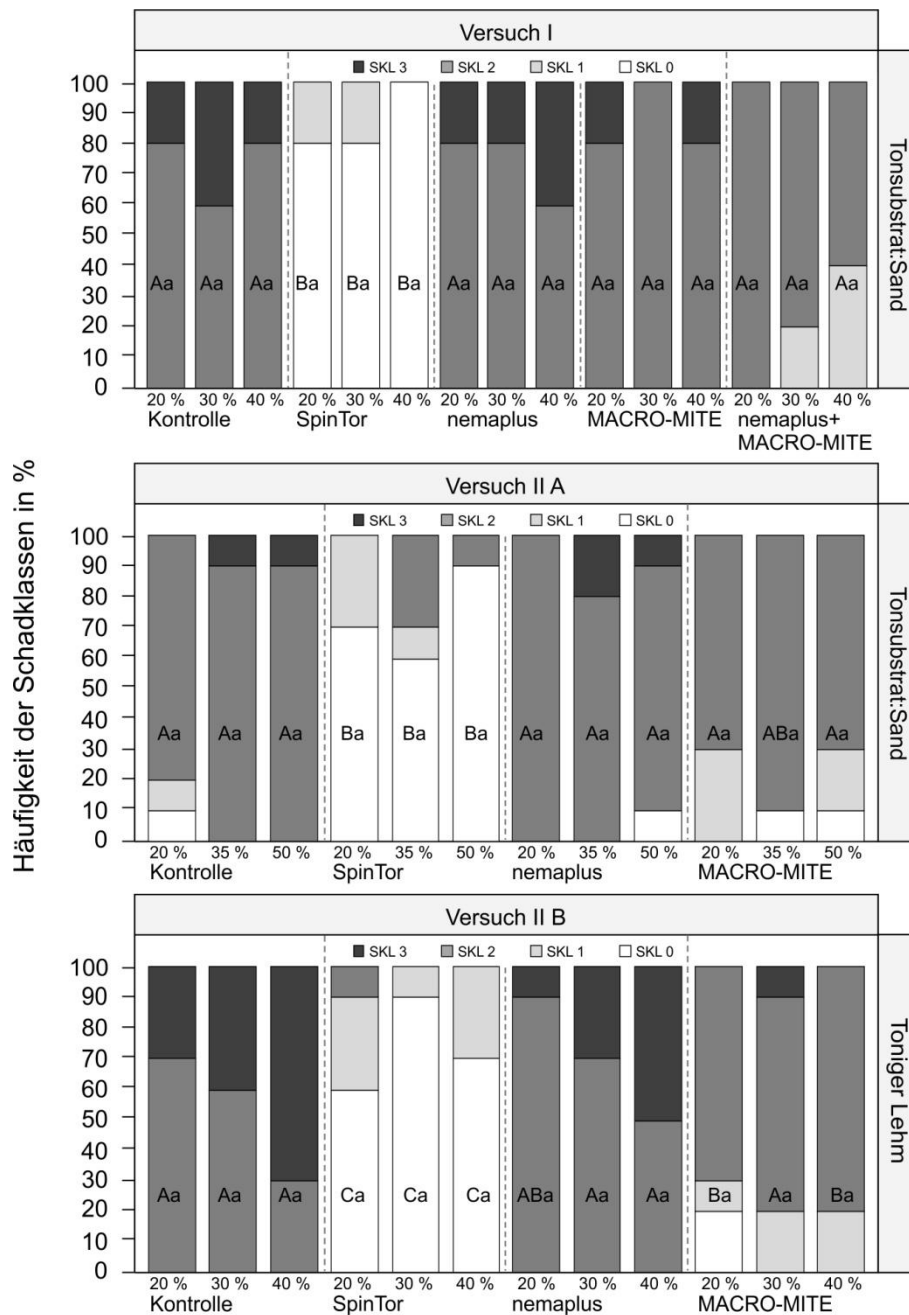


Abbildung 37: Fraßschäden an Rettichwurzeln dargestellt als Häufigkeitsverteilung der Schadklassen (SKL) 0–3 in Prozent unter Berücksichtigung der unterschiedlich eingestellten Bodenfeuchtigkeiten. SKL 0 = keine sichtbaren Fraßsymptome, SKL 1 = einzelne schwache Fraßstellen (noch vermarktungsfähig), SKL 2 = deutliche Fraßstellen (nicht mehr vermarktungsfähig), SKL 3 = zahlreiche deutliche Fraßstellen, Wurzel stark geschädigt (nicht mehr vermarktungsfähig). SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemapulus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von 10 Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich in der Verteilung der Schadklassen signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%. Großbuchstaben geben Unterschiede zwischen Versuchsgliedern zur jeweiligen Substratfeuchtigkeit an, Kleinbuchstaben innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten (n = 5 (Versuch I), n = 10 (Versuch II), Holm-adjustierter asymptotischer Wilcoxon Rangsummentest).

6.3.3 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf das Frischgewicht

Ein Vergleich der Frischgewichte der verschiedenen Versuchsglieder, ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten ergab dass mit SpinTor™ behandelte Pflanzen in allen Versuchen das höchste Frischgewicht aufwiesen. Unterschiede waren gegenüber Kontrollpflanzen und in Versuch II A und B auch gegenüber den übrigen Versuchsgliedern signifikant ($p \leq 0,039$). Mit nemaplus® oder MACRO-MITE behandelte Pflanzen unterschieden sich dagegen in keinem Versuch signifikant von der unbehandelten Kontrolle ($p > 0,23$) (Tabelle 18). Dennoch erzielten behandelte gegenüber unbehandelten Pflanzen tendenziell höhere Gewichte. Letztere wogen in Versuch I $33,7 \pm 3,1$ g, in Versuch II A $43,5 \pm 2,4$ g, und in Versuch II B $27,2 \pm 1,5$ g. Die Gewichtsunterschiede zwischen Kontrolle und anderen Varianten waren in Versuch I am größten. Eine kombinierte Ausbringung von Nematoden und Raubmilben unterschied sich gegenüber der Kontrolle durch ein nahezu doppelt so hohes und somit signifikant höheres Frischgewicht ($p < 0,006$). Differenzen zu Einzelausbringungen waren nicht signifikant ($p > 0,653$). Außerdem unterschied sich die kombinierte Ausbringung nur minimal von SpinTor™-behandelten Pflanzen ($p = 0,998$). Gegenüber unbehandelten Pflanzen waren nach SpinTor™-Behandlung Gewichtsanstiege um 78,3 % (Versuch I), 35,4 % (Versuch II A) und 36,8 % (Versuch II B) zu verzeichnen. Diese Unterschiede waren gegenüber unbehandelten Pflanzen und in Versuch II A und II B auch gegenüber den weiteren Versuchsgliedern signifikant ($p < 0,039$).

Das Pflanzenwachstum im tonigen Lehm in Versuch II B schien verglichen zum Tonsubstrat:Sand-Gemisch verlangsamt. Die Pflanzen waren deutlich kleiner und leichter.

Tabelle 18: Absolutes Frischgewicht der Rettichpflanzen in Gramm (MW \pm SE) sowie relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle. SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemaplus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Versuchsglieder mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($n = 15$ (Versuch I), $n = 30$ (Versuch II); ANOVA, Tukey HSD-Test).

	Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
Behandlung	Frischgewicht \pm SE in g (rel. Frischgewicht)		Frischgewicht \pm SE in g (rel. Frischgewicht)		Frischgewicht \pm SE in g (rel. Frischgewicht)	
Kontrolle	$33,7 \pm 3,1$ (100,0 %)	b	$43,5 \pm 2,4$ (100,0 %)	b	$27,2 \pm 1,5$ (100,0 %)	b
SpinTor™	$60,0 \pm 5,6$ (178,3 %)	a	$58,8 \pm 2,8$ (135,4 %)	a	$37,2 \pm 1,8$ (136,8 %)	a
nemaplus®	$47,5 \pm 4,9$ (141,1 %)	ab	$40,8 \pm 2,3$ (93,9 %)	b	$29,2 \pm 1,1$ (107,6 %)	b
MACRO-MITE®	$47,5 \pm 5,5$ (141,1 %)	ab	$52,0 \pm 2,8$ (119,8 %)	b	$29,6 \pm 1,4$ (109,0 %)	b
nemaplus® + MACRO-MITE	$57,4 \pm 3,0$ (170,5 %)	a		n.e.		n.e.

n.e.: nicht erhoben

Bisher wurden die betrachteten Frischgewichte eines Versuchsglieds über alle unterschiedlichen Substratfeuchtigkeiten gemittelt. Im Folgenden sollen die Gewichte nun separat in jeder Feuchtigkeitsabstufung untersucht werden.

Die auffälligste Beobachtung war, dass Rettiche, mit wenigen Ausnahmen, mit Zunahme der Substratfeuchtigkeit ein höheres Frischgewicht aufwiesen (Tabelle 19). Die Gewichtsunterschiede zwischen trocken und nass kultivierten Pflanzen waren innerhalb eines Versuchsglieds in Versuch II B am geringsten.

Signifikant waren die Unterschiede zwischen trocken und nass kultivierten Pflanzen beispielsweise in allen Versuchen bei SpinTorTM-behandelten Pflanzen ($p \leq 0,009$). Hier wurden Gewichtsdifferenzen von 24,6 % (Versuch II A) bis 47,2 % (Versuch I) beobachtet. Signifikante Differenzen wurden in Versuch I und Versuch II B auch nach Ausbringung von Raubmilben (+61,3 %, $p = 0,045$ (Versuch I); +35 %, $p = 0,0008$ (Versuch II B)) und in ersterem nach Ausbringung von Nematoden (+49,8 %, $p = 0,015$) beobachtet.

Insgesamt betrachtet schien die Substratfeuchtigkeit einen größeren Einfluss auf das Gewicht der Rettiche zu haben als der Fraßschaden der Kleinen Kohlflye.

EINFLUSS VON SUBSTRATFEUCHTIGKEIT UND -TYP AUF DIE EFFIZIENZ VON RAUBMILBEN UND ENTOMOPATHOGENEN NEMATODEN

Tabelle 19: Absolutes Frischgewicht der Rettichpflanzen in Gramm (MW ± SE) sowie relatives Frischgewicht in Prozent, bezogen auf das Gewicht der Kontrolle unter Berücksichtigung der unterschiedlich eingestellten Bodenfeuchtigkeiten. In Versuch I und Versuch II A wuchsen Rettiche in Tonsubstrat:Sand-Gemisch, in Versuch II B in tonigem Lehm. SpinTor™ (Spinosad) wurde zwei Tage vor Eiablage ausgebracht. Die Ausbringung von MACRO-MITE (*M. robustulus*) erfolgte direkt nach Eiablage, die von nemaplus® (*S. feltiae*) zur Eiablage und zwei weitere Male im Abstand von zehn Tagen. Bonituren wurden vier Wochen nach Eiablage durchgeführt. Versuchsvarianten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant in ihrem absoluten Frischgewicht zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %. Großbuchstaben geben Unterschiede zwischen Versuchsgliedern zur jeweiligen Substratfeuchtigkeit an, Kleinbuchstaben innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten (n = 5 (Versuch I), n = 10 (Versuch II), Holm-adjustierter Welch Two Sample t-Test).

Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
Behandlung und Bodenfeuchte	Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Behandlung und Bodenfeuchte	Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)	Behandlung und Bodenfeuchte	Frischgewicht ± SE in g (rel. Frischgewicht)
Kontrolle 20 %	27,4 ± 5,3 (100,0 %)	Ca Kontrolle 20 %	61,2 ± 4,0 (100,0 %)	Aa Kontrolle 20 %	22,0 ± 1,6 (100,0 %)
Kontrolle 30 %	39,1 ± 6,8 (100,0 %)	Ca Kontrolle 35 %	57,1 ± 4,1 (100,0 %)	Aa Kontrolle 30 %	29,1 ± 2,9 (100,0 %)
Kontrolle 40 %	34,5 ± 3,3 (100,0 %)	Ca Kontrolle 50 %	74,1 ± 4,1 (100,0 %)	Aa Kontrolle 40 %	30,4 ± 2,2 (100,0 %)
SpinTor™ 20 %	45,9 ± 3,1 (167,3 %)	Bb SpinTor™ 20 %	74,6 ± 4,1 (121,8 %)	Ab SpinTor™ 20 %	31,0 ± 1,7 (141,2 %)
SpinTor™ 30 %	47,2 ± 4,8 (120,9 %)	BCb SpinTor™ 35 %	79,7 ± 7,1 (139,5 %)	Aab SpinTor™ 30 %	34,6 ± 2,2 (118,8 %)
SpinTor™ 40 %	87,0 ± 5,1 (252,2 %)	Aa SpinTor™ 50 %	98,9 ± 4,0 (133,5 %)	Aa SpinTor™ 40 %	45,8 ± 3,1 (151,0 %)
nemaplus® 20 %	26,3 ± 3,5 (95,8 %)	Cb nemaplus® 20 %	59,4 ± 2,4 (97,1 %)	Aab nemaplus® 20 %	26,4 ± 2,0 (120,4 %)
nemaplus® 30 %	63,8 ± 6,6 (163,2 %)	Ba nemaplus® 35 %	53,6 ± 3,7 (93,9 %)	Ab nemaplus® 30 %	28,5 ± 2,0 (97,7 %)
nemaplus® 40 %	52,4 ± 4,0 (151,9 %)	Ba nemaplus® 50 %	75,8 ± 4,6 (102,3 %)	Aa nemaplus® 40 %	32,8 ± 1,6 (107,9 %)
MACRO-MITE 20 %	26,2 ± 1,9 (95,7 %)	Cb MACRO-MITE 20 %	63,1 ± 5,0 (103,0%)	Aa MACRO-MITE 20 %	24,0 ± 1,8 (109,4 %)
MACRO-MITE 30 %	48,4 ± 4,1 (124,0 %)	BCa MACRO-MITE 35 %	74,0 ± 4,9 (129,6 %)	Aa MACRO-MITE 30 %	27,9 ± 2,1 (95,8 %)
MACRO-MITE 40 %	67,8 ± 8,7 (196,8 %)	ABa MACRO-MITE 50 %	80,6 ± 7,1 (108,8 %)	Aa MACRO-MITE 40 %	36,9 ± 1,7 (121,4 %)
nemaplus® + MACRO-MITE 20 %	48,5 ± 3,4 (177,0 %)	Ba n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
nemaplus® + MACRO-MITE 30 %	60,4 ± 4,7 (154,7 %)	Ba n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
nemaplus® + MACRO-MITE 40 %	63,2 ± 5,8 (183,3 %)	Ba n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

n.e.: nicht erhoben

6.3.4 Untersuchung der Persistenz

In allen untersuchten Substrattypen und Feuchtigkeitsstufen konnten ein und zwei Wochen nach Nematoden-Ausbringung diese mittels *Galleria*-Ködern nachgewiesen werden. Die Persistenzüberprüfung der Raubmilben gestaltete sich schwieriger. In Tonsubstrat:Sand-Gemisch wurde eine Woche nach Ausbringung in trockenem und nassem Substrat eine Milbe entdeckt, in trockenem Substrat ebenso drei Wochen nach Ausbringung. Im tonigen Lehm ist eine Woche nach Einsatz in trockenem und feuchtem Substrat je eine Milbe nachgewiesen worden.

6.3.5 Korrelation zwischen der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden und Frischgewicht der Pflanze sowie Einfluss der Substratfeuchtigkeit

In allen drei Versuchen zeigte sich, betrachtet über alle verschiedenen Substratfeuchtigkeiten, eine positiv-lineare Korrelation zwischen der Anzahl an Larven und Puppen und der Schadklasse (Tabelle A 68). Der Korrelationskoeffizient ρ lag bei 0,63 ($p < 0,001$) (Versuch I und Versuch II A) und 0,71 ($p < 0,001$) (Versuch II B). Zwischen der Schadklasse und dem Frischgewicht war diese Korrelation negativ-linear und schwächer ausgeprägt ($\rho = -0,38$; $p = 0,0002$ (Versuch I), $\rho = -0,52$; $p < 0,001$ (Versuch II A), $\rho = -0,35$; $p < 0,001$ (Versuch II B)). Bei einer höheren Anzahl an Larven und Puppen im Wurzelbereich der Rettichpflanzen stieg somit die Intensität der Wurzelschäden, das Frischgewicht sank. Ausnahme bildete abermals (wie auch in Kapitel 4) die MACRO-MITE-Variante, in der der Wurzelschaden trotz höherer Anzahl Puppen und Larven niedriger war, als in der nemaplus[®]-Variante.

Zudem wurde der Einfluss der Substratfeuchtigkeit auf die Anzahl der Larven und Puppen, die Schadklasse und das Frischgewicht untersucht (Tabelle A 68). In allen Versuchen bestand ein positiv-linearer Zusammenhang zwischen Substratfeuchtigkeit und dem Frischgewicht, was bedeutet, dass Rettiche bei einer höheren Substratfeuchtigkeit schwerer waren ($\rho = 0,55$; $p < 0,001$ (Versuch I), $\rho = 0,38$; $p < 0,001$ (Versuch II A), $\rho = 0,49$; $p < 0,001$ (Versuch II B)). Substratfeuchtigkeit und Anzahl an Larven und Puppen beziehungsweise Schadklasse korrelierten nicht miteinander ($\rho \leq 0,09$; $p \geq 0,32$).

6.3.6 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen auf die Schlupfrate der Kleinen Kohlflye

Aufgrund der geringen Anzahl aufgefundener Kohlfiegenpuppen konnte die Schlupfrate ausschließlich in Versuch I und Versuch II A betrachtet werden (Tabelle A 57). Diese lag in den unbehandelten Kontrollen bei 81,5 % und 71,8 %. Eine Behandlung mit SpinTor[™] hatte

keine negativen Effekte auf den Schlupf. Nach Einsatz von nemaplus[®] war die Schlupfrate verglichen zur Kontrolle niedriger. Allerdings war die Fallzahl oftmals zu niedrig, um aussagekräftige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Auch die Substratfeuchtigkeit während der Larvenentwicklung besaß keinen Einfluss auf den späteren Schlupf der Fliegen (Tabelle A 58), daher wird im nachfolgenden Diskussionsteil nicht weiter darauf eingegangen.

6.4 Diskussion

6.4.1 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf die Anzahl der Kohlfiegenlarven und -puppen

Der Substratfeuchtigkeit, in Verbindung mit dem Substrattyp, wird von vielen Autoren eine zentrale Rolle bezüglich der Effizienz von Nematoden und Raubmilben zugewiesen. Feuchtigkeitsregime unterliegen im Freiland hoher Variabilität und mitunter trocknen Böden oberflächlich völlig aus, was eine mögliche Ursache für die inkonsistente Wirksamkeit der Antagonisten ist. Eine Analyse, inwiefern Substratfeuchtigkeit und -typ die Wirksamkeit der Antagonisten bei der Bekämpfung der Kleinen Kohlflye beeinflussen, könnte daher den Bekämpfungserfolg im Freiland erhöhen. Zudem stellt sich die Frage, ob und wie die Antagonisten interagieren.

Aufgrund der Ansprüche von Nematoden und Raubmilben lag die Vermutung nahe, dass die Antagonisten in den feucht eingestellten Varianten dieses Versuchs die höchste Wirksamkeit besitzen. Ähnliche Erkenntnisse gewannen bereits andere Autoren. Beispielsweise beobachteten Koppenhöfer *et al.* (1995) die höchste Infektiosität von Nematoden bei mittleren statt geringen und sehr hohen Feuchtigkeitsgehalten des Bodens. Währenddessen stieg bei Grant und Villani (2003) die Mortalität des Wirts mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit an. Beide bemerkten Unterschiede zwischen den untersuchten Nematodenspezies.

Tatsächlich besaß die Substratfeuchtigkeit in den hier durchgeführten Versuchen bedeutenden Einfluss auf die Wirksamkeit von Nematoden und Raubmilben. Anders als erwartet wurden nach nemaplus®-Behandlung die höchsten Mortalitätsraten der Kohlfiegenlarven in den trocken gehaltenen Varianten erzielt. In Versuch I war der Unterschied gegenüber dem feucht eingestellten Substrat relativ gering, während in Versuch II auch in feuchten Varianten eine deutlich reduzierte Wirksamkeit auftrat. Die ausgebrachten Nematoden traten scheinbar auch in trockenem Substrat nicht (oder nur zu einem gewissen Teil) in einen Ruhezustand ein beziehungsweise reichte deren Anzahl aus, um eine Mortalität zu bewirken. Möglicherweise ist die bessere Wirksamkeit unter trockenen Bedingungen durch das Verhalten von Wirt und Nematoden begründet.

In nahezu ausgetrockneten Substraten/Böden sind Nematoden gewissermaßen gezwungen sich in Bodenrissen oder von Wurzeln geformten Gängen aufzuhalten, in denen (noch) höhere Feuchtigkeitspotenziale herrschen. Duncan und McCoy (2001) beschreiben, dass durch den hydraulischen Zug der Wurzeln lokal vorteilhafte Feuchtigkeitsbedingungen für Nematoden entstehen können. Auch Downes und Griffin (1996) beschreiben, dass Nematoden von Wurzeln geformte Pfade nutzen. Entomopathogene Nematoden können Feuchte wahrnehmen und sich dorthin orientieren (Salame und Glazer, 2015). Kohlfiegenlarven verhalten sich bei der Wirtssuche ähnlich (Peters, 2016, persönliche

Mitteilung). Daher ist die Chance, dass Nematoden auf solchen Feuchtepfeilen auf ihre Wirte treffen, hoch und anscheinend höher als bei gleichmäßiger Feuchtigkeitsverteilung im Substrat. Es ist möglich, dass Nematoden schon beim Angießen in diese Gänge gelangen, insbesondere in Substraten, die leicht verklumpen. In feuchten Böden sind Nematoden dagegen besser verteilt und die Wahrscheinlichkeit auf den Wirt zu treffen sinkt (Peters, 2016, persönliche Mitteilung). Zur Wirtsfindung nutzten entomopathogene Nematoden in verschiedenen Laborversuchen CO₂- und Temperaturgradienten (Burman und Pye, 1980; Lewis, 2002) sowie chemische Gradienten, Stoffe des Wirts und dessen Ausscheidungen (Grewal *et al.*, 1994a; Lewis *et al.*, 1992; Pye und Burman, 1981). Kontroverserweise ist die Orientierung von entomopathogenen Nematoden zum Wirt unter praxisnahen Bedingungen laut Peters (2016, persönliche Mitteilung) eher ungerichtet und erfolgt zufällig. Hinzu kommt, dass in den am JKI durchgeführten Versuchen die Nematoden möglicherweise, insbesondere in trockenem Substrat, vermehrt in den oberen Bodenschichten aktiv waren, da das Substrat durch die Überkopfbewässerung dort feuchter als am Topfboden gewesen ist. Somit wären diese dort agglomeriert, wo aufgrund der Feuchtigkeitsbedingungen auch die Kohlfiegenlarven hauptsächlich vermutet wurden, solange noch kein Eindringen in die Wurzel erfolgt war.

Eine andere Hypothese ist, dass Kohlfiegenlarven in feuchtem Substrat schneller in die Rettichwurzeln eindringen können und somit das Zusammentreffen mit Nematoden verringert wird. In den beschriebenen Versuchen zeigte sich in allen Versuchsgliedern inklusive der Kontrolle, dass insbesondere in den nass gehaltenen Varianten Rettiche stark von innen zerfressen waren, während die trockenen Varianten eher im äußeren Bereich Fraßschäden aufwiesen. Tatsächlich schienen die Wurzeln in trocken gehaltenem Substrat härter und verholzter; eine Beobachtung, die auch Maack (1977) machte. Diese Theorie müsste jedoch in weiteren Versuchen genauer untersucht werden; gerade auch vor dem Hintergrund, ob bei Pflanzen mit generell härteren Wurzeln, wie beispielsweise Blumenkohl, vergleichbare Beobachtungen gemacht werden.

Die Prädationsleistung von Raubmilben stieg hingegen mit zunehmender Substratfeuchtigkeit kontinuierlich an. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da *M. robustulus* als empfindlich gegenüber Trockenheit gilt (Filipponi und Mosna, 1968). Zudem besitzt die Milbe laut Filipponi und Mosna (1968) eine gute Adaption gegenüber höheren Feuchtigkeitsgehalten, wobei niedrige Sauerstoffgehalte, die bei sehr nassen Böden auftreten können, nachteilig wirken können. Anaerobe Bedingungen wurden in den Versuchen jedoch nicht erreicht. Ob und wie Aktivität, Fertilität oder Lebensdauer von Feuchtigkeitsbedingungen beeinflusst werden, ist nicht beschrieben. Raubmilben der Gattung *M. robustulus* bevorzugen feuchte Böden mit lockerer Struktur (Costa, 1966; Koppert B. V., 2015), detailliertere Angaben zum präferierten Bodentyp sind nicht vorhanden.

Allerdings ist *M. robustulus* natürlicherweise in frischem Dung (und Kompost) anzutreffen (Krantz, 1998), weshalb davon auszugehen ist, dass eine Präferenz für feuchte, humose Substrate besteht.

Nicht beeinflusst von der Substratfeuchtigkeit war die Wirksamkeit von SpinTor™, mit dem die beste Reduktion von Kohlfiegenentwicklungsstadien erzielt wurde.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Substrats besaß scheinbar auch einen Einfluss auf die Kohlfiegenentwicklung. Zumindest in Ton:Sand-Gemisch schien sich in der unbehandelten Kontrolle die Fliege in feuchtem Substrat deutlich besser zu entwickeln als in den trockenen Varianten. Dies könnte an der für die Kohlfiegenentwicklung suboptimalen Bedingungen liegen, da Eier und besonders Larven sehr empfindlich auf Trockenheit reagieren (Finch und Coaker, 1969; Lepage *et al.*, 2012). In tonigem Lehm gab es diesbezüglich keine Unterschiede. Lehm, oder allgemein feine Böden, speichern die Bodenfeuchtigkeit länger (Koppenhöfer und Fuzy, 2006), weshalb auch in den trockenen Varianten die Substratfeuchtigkeit im nahen Wurzelbereich vermutlich hoch genug gewesen ist, um die Larvenentwicklung nicht nachteilig zu beeinflussen.

Der Substrattyp schien in den hier beschriebenen Versuchen keinen Einfluss auf die Effizienz der Antagonisten zu besitzen. Sowohl in Tonsubstrat:Sand-Gemisch als auch in tonigem Lehm agierten diese in derselben Weise. Im Allgemeinen wird davon ausgegangen, dass die Wirksamkeit gegen Bodeninsekten in feineren Böden abnimmt (Georgis und Poinar, 1983; Koppenhöfer und Fuzy, 2006). Grund ist bezüglich der Nematoden die Größe von Bodenporen in Verbindung mit dem Feuchtigkeitsgehalt und der Belüftung, was Mobilität, Energieverbrauch und Persistenz von Nematoden beeinflusst (Kaya, 1990; Kung *et al.*, 1991). Dies wird von einigen Autoren bestätigt (Molyneux und Bedding, 1984), während andere gegenteilige Beobachtungen beschrieben (Georgis und Gaugler, 1991; Shapiro-Ilan *et al.*, 2000) und einzig die Feuchtigkeit dafür verantwortlich machen (Georgis und Gaugler, 1991).

Der Einfluss des Substrattyps schien auch in den am JKI durchgeführten Versuchen vom Effekt der Substratfeuchtigkeit überlagert. Die Böden waren sich zwar in ihrer Konsistenz nicht ähnlich, dafür aber in ihren Feuchtigkeitseigenschaften. Die Kleine Kohlfiege entwickelte sich allerdings in tonigem Lehm insgesamt langsamer, was im Zusammenhang mit dem verlangsamten Pflanzenwachstum im tonigen Lehm stehen könnte. Das Substrat war für das Rettichwachstum suboptimal. Vermutlich waren dadurch die Pflanzenqualität und damit die Nahrungsbedingungen der Kohlfiegenlarven beeinflusst.

Weiterhin wurde der Frage nachgegangen, wie sich eine Kombination von *S. feltiae* und *M. robustulus* bei der Kohlflygenbekämpfung unter kontrollierten Bedingungen sowie in Abhängigkeit von der Substratfeuchtigkeit auswirkt. Dabei sind additive, synergistische oder auch antagonistische Effekte denkbar (Ansari *et al.*, 2004; Ansari *et al.*, 2006).

Additive Effekte treten auf, wenn eine voneinander unabhängige Wirkung der eingesetzten Antagonisten besteht, diese also nicht interagieren. Als Synergismus wird eine sich ergänzende Handlung zweier Antagonisten bezeichnet, die einen größeren Effekt besitzt als die additive Handlung beider Antagonisten. Desweiteren können antagonistische Beziehungen auftreten, wenn Konkurrenz um den Wirt als Ressource zwischen Gegenspielern auftritt und die Wirkung unter den additiven Effekt sinkt (Kaya, 2002). Welche Effekte in Erscheinung treten, ist abhängig von den eingesetzten Spezies, Wirten und Applikationszeitpunkten (Ansari *et al.*, 2004; Ansari *et al.*, 2006).

Eine kombinierte Applikation zweier Antagonisten ist nur dann sinnvoll, wenn diese unabhängig voneinander agieren oder sich in ihrer Wirkung ergänzen. Denn sobald zwei Organismen um den Wirt als Ressource konkurrieren, wird oftmals die Fitness reduziert oder eine Spezies verdrängt. Unter Feldbedingungen treten direkte Konkurrenz oder Coinfektionen jedoch weniger häufig auf, und ein Vermeidungsverhalten ist wahrscheinlicher (Koppenhöfer und Grewal, 2005). Grundsätzliches Ziel einer kombinierten Ausbringung ist die Verbesserung der Effizienz sowie gleichermaßen eine Verringerung der Kosten, wenn ein Einsatz geringerer Anzahlen ausreichend effektiv ist (Lacey *et al.*, 2015).

Die Auswirkung eines kombinierten Einsatzes wurde in verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Raubmilben- und Nematodenspezies gegen Thripse untersucht (Ebssa *et al.*, 2006; Pozzebon *et al.*, 2014; Premachandra *et al.*, 2003). Alle Autoren beschrieben eine höhere Schädlingsreduktion in der kombinierten Anwendung. Auch gegen die Kleine Kohlflyge führte eine Kombination von *S. feltiae* und *M. robustulus* in dem hier durchgeführten Experiment zu einer geringeren Anzahl an Kohlflygenlarven und -puppen sowie zu verminderten Wurzelschäden gegenüber den Einzelausbringungen. Die erzielten Ergebnisse decken sich mit den Untersuchungen von Pozzebon *et al.* (2014). Dort zeigte sich, dass eine alleinige Anwendung von Nematoden Thripspopulationen mit einer zeitlichen Verzögerung verringerte. Eine kombinierte Anwendung erzielte dagegen eine prompte Wirkung. Ursächlich hierfür ist höchstwahrscheinlich das Verhalten der Antagonisten. Während Raubmilben vor allem Eier oder frisch geschlüpfte Larven fressen (Bloszyk *et al.*, 2005; Costa, 1966; Krantz, 1998), brauchen Nematoden ein bis zwei Tage um Larvenstadien abzutöten (Burnell und Stock, 2000). Zudem werden laut Bracken (1990), Nielsen (2003) und Sulistyanto *et al.* (1994) bevorzugt ältere Larvenstadien infiziert, sodass unter Umständen schon Schaden entstanden ist. Somit könnte eine Kombination Vorteile mit sich bringen, indem die Nematoden diejenigen Larven abtöten, die von Raubmilben nicht

aufgefunden/abgetötet wurden oder zu groß sind. Zudem sind Raubmilben eher an der Bodenoberfläche aktiv, während Nematoden ein größeres Bodenvolumen erschließen können.

Hinsichtlich der Substratfeuchtigkeit schien der Einfluss der Nematoden in den Klimakammeruntersuchungen in trocken gehaltenem Substrat zu überwiegen, während in nassem Substrat der Einfluss der Raubmilben zu dominieren schien. Die Anzahl der aufgefundenen Larven und Puppen ähnelte jeweils der Einzelausbringung zu der jeweiligen Feuchtigkeitsstufe. In der feuchten Substratvariante lag die Anzahl der Puppen und Larven etwa zwischen den Einzelausbringungen. Ein Einsatz der Kombination könnte somit bei variierenden Bodenfeuchtigkeiten sinnvoll sein. Um eine konkrete Empfehlung abzugeben, sind mehr Wiederholungen des Versuchs nötig.

6.4.2 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf die Wurzelschäden

In der Gesamtbetrachtung war die Mehrheit der bonitierten Rettichwurzeln deutlich durch Kohlfiegenlarven geschädigt. Eine Ausnahme bildeten Pflanzen, die mit Spintor™ behandelt waren und einen Anteil von 90–100 % vermarktungsfähigen Wurzeln aufwiesen. Tendenziell war ein Zusammenhang zwischen der Anzahl aufgefundener Larven und Puppen sowie Wurzelschäden, über alle Substratfeuchtigkeiten betrachtet, vorhanden. Auf Ebene der einzelnen Substratfeuchtigkeiten sind dagegen keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Anzahl an Larven und Puppen und der Schadklasse beobachtet worden.

Auch in diesem Versuch wurde deutlich, dass für die Bewertung der Effizienz der eingesetzten Maßnahmen nicht nur die Schädlingsdichte mit dem Schadausmaß in Beziehung steht, sondern dass wie in Kapitel 4.4.2 ausführlich diskutiert, die zeitlich/räumliche und spezifische Wirkungsweise der Pflanzenschutzmaßnahmen eine wesentliche Rolle spielt.

Die kombinierte Ausbringung von *S. feltiae* und *M. robustulus* führte zu verminderten Wurzelschäden gegenüber den Einzelausbringungen. Insgesamt ließ sich mit diesen Antagonisten keine zufriedenstellende Verringerung des Schadausmaßes an Rettichwurzeln erzielen.

6.4.3 Einfluss der Pflanzenschutzmaßnahmen sowie Substratfeuchtigkeit und -typ auf das Frischgewicht

Wurzelschäden spiegelten sich teilweise im Frischgewicht der Rettiche zur Ernte wieder. Spintor™-behandelte Pflanzen wiesen ein höheres Gewicht auf als die Pflanzen der übrigen Versuchsglieder. Insgesamt betrachtet war der Zusammenhang zwischen Wurzelschäden

und Frischgewicht der Pflanzen jedoch gering, die Korrelation schwach ausgeprägt. Ursachen könnten in der natürlicher Variabilität des Pflanzenwachstums begründet liegen sowie unterschiedlicher Vitalität/Pathogenität der Larven. Zum anderen spielen womöglich auch Ort und Zeitpunkt der Schädigung eine Rolle (siehe Kapitel 4.4.3).

Insgesamt betrachtet schien die Substratfeuchtigkeit einen größeren Einfluss auf das Gewicht der Rettiche zu besitzen als der Fraßschaden der Kleinen Kohlflye. Mit wenigen Ausnahmen wiesen Rettiche mit Zunahme der Substratfeuchtigkeit ein höheres Frischgewicht auf, eine Beobachtung, die ebenso von Coaker (1965) und Maack (1977) gemacht wurde. Um zu überprüfen, welchen Effekt leicht anaerobe Bedingungen auf Kohlflyenlarven und Antagonisten besitzen, müssten Versuche mit noch höheren Feuchtigkeitsgehalten durchgeführt werden.

Desweiteren wurde das Pflanzenwachstum vom Substrattyp beeinflusst. Das Pflanzenwachstum in tonigem Lehm war verglichen zum Tonsubstrat:Sand-Gemisch verlangsamt. Die Pflanzen waren deutlich kleiner und leichter; das Substrat war für das Wachstum der Rettichpflanzen suboptimal. Die Entwicklung des Wurzelsystems wird von verschiedenen Bodenfaktoren beeinflusst, die untereinander in komplexer Wechselwirkung stehen (Fußeder, 1984). Dazu gehören beispielsweise die Korngrößenverteilung (Vine *et al.*, 1981 in: Fußeder, 1984), der mechanische Eindringwiderstand (Horn *et al.*, 1987), Porengrößenverteilung, Wasserangebot und Porenvolumen, Lufthaushalt, pH-Wert wie auch Nährstoffangebot und biologische Aktivität (Jansen *et al.*, 1998). Es ist davon auszugehen, dass die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Substrate sich in den genannten Faktoren unterscheiden. Vermutlich besitzt der tonige Lehm aufgrund seiner Substratstruktur eine geringere Durchwurzelungskapazität infolge des höheren Eindringwiderstands sowie des geringeren Sauerstoffgehalts und lässt damit einhergehend eine verringerte Erschließung der Bodennährstoffe zu, was ein reduziertes Wurzelwachstum zur Folge hat. Allerdings sind die physikalischen und chemischen Parameter der hier verwendeten Substrate nicht näher untersucht worden, weshalb keine eindeutigen Zusammenhänge nachweisbar sind. Die geringere Pflanzenqualität könnte jedoch auch die beobachtete langsamere Larvenentwicklung der Kleinen Kohlflye in tonigem Lehm erklären (siehe Kapitel 6.4.1).

6.4.4 Persistenz der Antagonisten

Eine wichtige Voraussetzung für die Wirksamkeit der eingesetzten Antagonisten ist ihre Präsenz beziehungsweise die Persistenz. Diese sollte möglichst hoch sein, um eine optimale Bekämpfung mit möglichst wenigen Folgeausbringungen zu gewährleisten. Allerdings lässt diese keine Schlüsse auf die Quantität zu, sondern ist nur ein Maß, ob Individuen anwesend und virulent waren.

Um zu überprüfen, ob die verschiedenen Substratfeuchtigkeiten und -typen eventuell nachteilig auf die ausgebrachten Antagonisten wirkten, wurde deren Anwesenheit regelmäßig überwacht. Somit sollte auch sichergestellt werden, dass die beobachteten Resultate tatsächlich auf die ausgebrachten Spezies zurückzuführen waren. Als besonders einflussreich auf das Überleben der Antagonisten und damit auch auf die Persistenz unter den kontrollierten Bedingungen gelten Feuchtigkeitsgehalt und Bodentyp (Alekseev *et al.*, 2006; Filipponi und Mosna, 1968; Koppert B. V., 2015; Kung *et al.*, 1990; Kung *et al.*, 1991). In trockenen Substraten wurden bei Alekseev *et al.* (2006) kaum Nematoden aus den oberen Schichten isoliert. Zudem ist aufgrund der bereits genannten Faktoren (Anhydrobiose, ungeeigneter Porenwassergehalt, Sauerstoffmangel) anzunehmen, dass unter trockenen und nassen Bodenbedingungen das Überleben beziehungsweise die Aktivität oder Virulenz von Nematoden verringert ist.

Während des Versuchszeitraums wurden Nematoden in allen Substraten und Feuchtigkeiten nachgewiesen. Möglicherweise waren in den am JKI durchgeführten Versuchen insbesondere in trockenem Substrat die Nematoden vermehrt in den oberen Bodenschichten aktiv, da durch die Überkopfbewässerung das Substrat dort feuchter als am Topfboden gewesen ist. Sauerstoffmangel war in den nassen Varianten auszuschließen. Die gegebenen Bedingungen besaßen somit offensichtlich keinen negativen Einfluss auf die Persistenz der Nematoden.

Auch Raubmilben benötigen laut Costa (1966), Filipponi und Mosna (1968) und dem Produzenten feuchte Böden für optimale Lebensbedingungen. Die Monitoringmethode der Raubmilben war unzureichend. In beiden Substraten konnte eine Woche nach Ausbringung *M. robustulus* nachgewiesen werden; in Tonsubstrat:Sand-Gemisch sogar noch drei Wochen nach Ausbringung. Schlussfolgerungen, dass die gegebenen Bedingungen auch auf Raubmilben keine nachteiligen Effekte besaßen, können allerdings aufgrund der geringen Anzahl der aufgefundenen Milben nicht gezogen werden; hierfür wären weiterführende Untersuchungen nötig.

6.5 Schlussfolgerung

Sowohl der Einsatz von Nematoden (*S. feltiae*) als auch Raubmilben (*M. robustulus*) führte zu einer signifikanten Verringerung der Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen verglichen zur unbehandelten Kontrolle. Dabei war die Wirksamkeit der Nematoden in trockenem Substrat höher als in den nasseren Varianten, während andererseits nach Einsatz von Raubmilben eine geringere Anzahl an Larven und Puppen bei höheren Substratfeuchtigkeiten beobachtet wurde. Mit keinem der eingesetzten Antagonisten konnte eine zufriedenstellende Verringerung der Wurzelschäden erreicht werden, wobei mit Raubmilben ein wesentlich besseres Ergebnis erzielt wurde als mit Nematoden. Eine kombinierte Ausbringung der Antagonisten führte gegenüber den Einzelausbringungen in der Gesamtbetrachtung zu einer geringeren Anzahl an Kohlfiegenstadien sowie zu verminderten Wurzelschäden. Eine Behandlung mit SpinTor™ führte unabhängig der Substratfeuchtigkeit in allen Versuchen zu einer vergleichsweise niedrigeren Anzahl an Kohlfiegenlarven und -puppen, Wurzelschäden sowie einem höheren Frischgewicht. Bezüglich des Frischgewichts schien der Feuchtigkeitsgehalt des Substrats eine größere Bedeutung zu besitzen als die Fraßschäden der Kleinen Kohlflye. Mit wenigen Ausnahmen wiesen Rettiche mit Zunahme der Substratfeuchtigkeit ein höheres Frischgewicht auf. Der Substrattyp spielte keine Rolle für die Wirksamkeit der Antagonisten. Allerdings war die Entwicklungsgeschwindigkeit der Kohlflye in tonigem Lehm geringer. Sowohl Nematoden als auch Raubmilben konnten noch mehrere Wochen nach Ausbringung nachgewiesen werden.

7 Fazit und Schlussfolgerungen für die Praxis

Nachhaltiger Integrierter Pflanzenschutz ist gekennzeichnet durch die Kombination verschiedenartiger Pflanzenschutzmaßnahmen zur Bekämpfung von Schadorganismen, dessen letzte Möglichkeit auch im Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel besteht (BMEL, 2013). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Wirksamkeit verschiedener nachhaltiger Pflanzenschutzmaßnahmen gegenüber der Kleinen Kohlflye zu beurteilen. Die Ergebnisse lieferten nicht nur Wirksamkeitsdaten zu verschiedenen Pflanzenschutzmaßnahmen, sondern bestätigten die Wichtigkeit, alternative Bekämpfungsmöglichkeiten nicht nur unter Klimakammerbedingungen zu untersuchen, sondern vor allem auch im Freiland zu testen. Unter kontrollierten Bedingungen erzielte Versuchsergebnisse geben durchaus wichtige Hinweise über die grundsätzliche Wirksamkeit einzelner Maßnahmen, sind zudem analog an verschiedenen Orten realisierbar und in der Regel sicher statistisch bewertbar. Die Ergebnisse lassen sich oft aber nicht direkt ins Freiland übertragen, was primär auf die dort herrschenden komplexen und oft hoch variablen biotischen und abiotischen Einflussfaktoren zurückzuführen ist. Praktische Versuche können zu einem tieferen Verständnis der im Freiland wirkenden Einflussgrößen und sich daraus ergebenden Anforderungen für eine erfolgreiche Kontrolle des Schädling beitragen, die ihrerseits wieder Ansätze für die Analyse unter kontrollierten Bedingungen ergeben.

In den beschriebenen Versuchen wurde einzig mit dem zugelassenen Insektizid SpinTor™ (Spinosad) eine hohe Wirkungssicherheit unabhängig von Umweltvariablen gewährleistet. Eine ähnlich gute Wirksamkeit besaß DPX-HGW86 10 OD (Cyantraniliprol), das in naher Zukunft eine Zulassung in Deutschland erhalten könnte. Diese geringe Anzahl von sicher wirkenden Pflanzenschutzmitteln erfordert wegen drohender Resistenzprobleme auch die Einbindung von Pflanzenschutzmaßnahmen ins Pflanzenschutzkonzept, die weniger wirksam oder inkonsistenter in ihrem Verhalten sind.

Alle getesteten alternativen Pflanzenschutzmaßnahmen zeigten sich unter den gewählten Bedingungen bislang nicht für einen praktischen Einsatz geeignet. PERLKA®, Naturalis®/M. brunneum, ECOguard® und Prüfmittel zeigten keine Wirksamkeit. Nematoden und Raubmilben sowie deren Kombination besitzen eindeutiges Potenzial in der Reduktion von Larven und Puppen, für eine Empfehlung zum praktischen Einsatz waren die Ergebnisse insbesondere bei Berücksichtigung der im Folgenden diskutierten Kosten-Nutzen-Relation zu variabel.

Um nicht nur die Langzeit-, sondern auch die Kurzzeitwirkung der eingesetzten Maßnahmen besser einschätzen zu können, kann es Sinn machen, zusätzliche frühere Bonituren durchzuführen. Insbesondere bei prophylaktisch oder kurz nach Pflanzung eingesetzten Maßnahmen kann durch späteren und nicht mehr kontrollierten Larvenfraß die Anfangswirkung durch die später hervorgerufenen Schäden überlagert werden. Weitere

Untersuchungen, ob höhere Anzahlen/Mengen oder Folgeapplikationen erfolgreicher wären, wie auch Untersuchungen zum Einfluss der Bewässerung im Feld, könnten mehr Aufschluss geben und sollten in weiteren Versuchen überprüft werden. Bezüglich der Antagonisten hätten genauere Beobachtungen der Persistenz Einblick geben können, ob diese über eine längere Zeitspanne beziehungsweise zum richtigen Zeitpunkt präsent waren und theoretisch Fliegenstadien bekämpfen konnten.

In Versuchen unter kontrollierten Bedingungen wurden insbesondere mit Nematoden deutlich höhere Wirkungsgrade als im Freiland erzielt. Daraus kann gefolgert werden, dass bei diesen Antagonisten biotische und abiotische Bedingungen einen besonders hohen Einfluss auf die Wirksamkeit besitzen. Die in Kapitel 6 beschriebenen Versuche zeigen, dass unter den gegebenen Versuchsbedingungen die Substratfeuchtigkeit bedeutenden Einfluss auf die Wirksamkeit der Antagonisten hatte, der Einfluss des Substrattyps dagegen minimal war. Die Leistungsfähigkeit der Raubmilben nahm mit steigenden Feuchtigkeitsbedingungen zu, während Nematoden scheinbar unter relativ trockenen Bedingungen, vermutlich aufgrund des Verhaltens von Wirt und Nematode sowie Eigenschaften der Pflanze, am wirksamsten waren. Es ist nicht auszuschließen, dass im Freiland bezüglich der Leistungsfähigkeit der Nematoden noch weitere Faktoren relevant sind, allerdings ist aufgrund der komplexen Wechselwirkungen eine genaue Benennung der jeweiligen Einflussgrößen aus den bisherigen Versuchen schwierig. Konsequenzen für mögliche Managementmaßnahmen um Bekämpfungserfolge zu erhöhen, können so noch nicht vorgeschlagen werden. Georgis *et al.* (2006) bezeichnen das Erreichen von Vorhersehbarkeit als wahrscheinlich größte Herausforderung der biologischen Bekämpfung, weshalb weitere intensive Forschung erforderlich ist.

Neben der Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahme stehen für den Anbauer natürlich auch die Kosten dafür im Vordergrund. Zwar sollen im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes nichtchemische Maßnahmen Vorrang haben, allerdings wird dabei nicht berücksichtigt, ob diese technisch realisierbar oder von der Kosten-Nutzen-Relation und verfügbaren Arbeitskapazität akzeptabel sind (Reschke und Böhmer, 2013). Im Folgenden werden die Kosten der in den Freilandversuchen gegen die Kleine Kohlflyge durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen vergleichend aufgeführt. Dabei konnten nur die kommerziell erhältlichen Präparate einbezogen werden.

Die reinen Materialkosten für das Angießen der Jungpflanzen mit SpinTor™, bei der Mehrheit der Anbauer ein Standardverfahren, belaufen sich auf knapp 5 € für 1.000 Pflanzen. Die deutlich günstigste Maßnahme war das Ausbringen von Kalkstickstoff; mit einem Preis von 38 Cent betragen die Kosten nur einen Bruchteil des SpinTor™-Preises pro Anwendung an 1.000 Pflanzen. Eine zweimalige Ausbringung von ECOguard® würde vermutlich bei 4–5 € liegen. Allerdings können weitere Applikationen notwendig werden.

Dagegen waren die finanziellen Aufwendungen für entomopathogene Nematoden, Pilze und Raubmilben bei einer Anwendung in den hier ausgebrachten Mengen erheblich höher. Zwar ist beispielsweise nemaplus® bei einmaliger Ausbringung „nur“ nahezu doppelt so teuer wie SpinTor™, allerdings summieren sich die Beträge bei erneuten Applikationen, sodass im Endeffekt bei einem dreifachen Einsatz schnell fünfmal so hohe Kosten anfallen (knapp 25 €). Zudem empfehlen Georgis und Gaugler (1991) Folgebewässerungen nach Behandlungen, was die Kosten weiter steigen ließe. Die finanziellen Aufwendungen für MACRO-MITE lagen in der vorliegenden Arbeit ebenfalls in diesem Bereich. Allerdings wird vom Hersteller bei Befall eine höhere Einsatzmenge empfohlen. Unter der Voraussetzung eines bestehenden Befalls und einer erforderlichen dreifachen Ausbringung würden die Kosten auf über 100 € steigen. Kosten in nahezu gleicher Höhe traten außerdem bei einer zweifachen Ausbringung von Naturalis® im Feld auf. Eine Reduktion der Aufwandmenge und Ausbringung vor der Pflanzung in Erdpresstöpfen senkte den Preis auf das Niveau des Nematoden- und Raubmilbeneinsatzes (Tabelle 20).

Tabelle 20: Vergleich der Kosten (pro 1.000 Pflanzen) für die verschiedenen im Freiland durchgeführten Pflanzenschutzmaßnahmen. Dabei wurden nur die Pflanzenschutzmaßnahmen berücksichtigt, die kommerziell erhältlich sind. Die Berechnungen erfolgten auf Grundlage der Nettopreise inkl. Mehrwertsteuer praxisüblicher Packungsgrößen. Ausbringungskosten wurden nicht einkalkuliert.

Pflanzen- schutzmaß- nahme	Kosten/Packung	Aufwandmenge	Aufwand- menge/ 1.000 Pflanzen	Kosten/ 1.000 Pflanzen	Anzahl Behand- lungen	Gesamtkosten Ausbringung
SpinTor™ (Spinosad)	205,50 €/500 ml 1 ml = 0,411 €	12 ml/1.000 Pfl.	12 ml	4,93 €	1	4,93 €
PERLKA® (Kalkstickstoff)	51,00 €/100 kg 1 kg = 0,51 €	500 kg/ha	0,75 kg	0,38 €	1	0,38 €
Naturalis® (<i>Beauveria bassiana</i>)	49,50 €/1 l	1 ml Naturalis $\hat{=}$ 2,3x10 ⁷ Sporen/Pfl.	1 l	49,50 €	2	99,00 €
		bzw. 5 ml Suspension (2,3 x 10 ⁶ Sporen/ml)/Pfl. ($\hat{=}$ 1,15 x 10 ⁷ lebende Sporen/Pfl.)	bzw. 0,5 l	24,75 €	1	24,75 €
nemaplus® (<i>Steinernema feltiae</i>)	22,50 €/50 Mio. 1 Mio = 0,45 €	180.000/Pfl.	18 Mio.	8,10 €	3	24,30 €
MACRO-MITE (<i>Macrocheles robustus</i>)	57,71€/50.000 Stk.	66/m ² $\hat{=}$ 10/Pfl. (Blumenkohl);	10.000	11,54 €	2	23,08 €
		166/m ² $\hat{=}$ 20/Pfl. (Kohlrabi)	20.000	23,08 €	1	23,08 €
ECOguard®	Voraussichtlich ca. 15 €/kg	12 kg/ha	144 g	2,16 €	2	4,32 €

Nicht berücksichtigt wurden dabei Ausbringungskosten (Maschinenkosten) sowie Arbeitskosten. Ursache ist, dass obwohl Versuche unter angewandten Aspekten durchgeführt wurden, sie dennoch einen starken Grundlagencharakter aufweisen. Pflanzenschutzmaßnahmen wurden beispielsweise per Hand ausgebracht. Eine mechanische Ausbringung der Pflanzenschutzmaßnahmen, wie sie hier eingesetzt worden sind, ist noch nicht praxisreif. Ebenso konnten keine Daten für Erlöse erhoben werden, da unter den gewählten Versuchsbedingungen kein direkter Vermarktungsanbau stattfand. Eine sinnvolle ökonomische Analyse war so nicht möglich. Weiterhin unberücksichtigt blieben die möglichen gesundheitlichen, sozialen und ökologischen Auswirkungen der Maßnahmen.

Mit Bezug auf die bisher diskutierten Aspekte Wirksamkeit und Kosten steht dem konventionellen und nach EU-Ökoverordnung produzierenden Anbauer zurzeit einzig SpinTor™ als verlässliche und ökonomische Maßnahme der Kohlfiegenbekämpfung zur Verfügung. Desweiteren ist im konventionellen Anbau zusätzlich Dantop® zugelassen. Daraus ergibt sich die Problematik des steigenden Resistenzrisikos und den daraus entstehenden Folgen, wenn längerfristig nicht mehr Wirkstoffe zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye verfügbar sind. Diese Sachlage ist gegenwertig auch über Lückenindikationen nicht zu verbessern.

Die aktuelle Situation verdeutlicht, dass die Forschung zu nachhaltigen Konzepten wie auch die Weiterentwicklung der bestehenden Pflanzenschutzmaßnahmen von enormer Wichtigkeit ist. Aufgrund der Resistenzproblematik könnte ansonsten das eintreten, was bei Betrieben, die einigen ökologischen Anbauverbänden angeschlossen sind, schon der Fall ist – es sind keine wirksamen zugelassenen Pflanzenschutzmittel verfügbar.

Die Gründe, warum nachhaltige Maßnahmen bisher im Freiland nicht oder kaum eingesetzt werden, sind also ihre hohen Bezugskosten, unzuverlässige Wirksamkeit und teilweise aufwändige Ausbringung. Grundsätzlich stehen die Kosten und Einfachheit der Anwendung in Konkurrenz zu anderen Technologien (Lacey *et al.*, 2015). Es erscheint wesentlich zu erwähnen, dass gerade im Gemüsebau kein grundsätzliches Akzeptanzproblem durch die Praxis besteht. Bei entsprechender Wirksamkeit und im Rahmen liegenden Mehrkosten würden nachhaltige Alternativen aufgrund der derzeitigen Pflanzenschutzsituation durchaus ein hohes Potenzial haben beziehungsweise würde gar keine Wahl bestehen als diese auch zu implementieren.

Aus diesem Grund sollte der Fokus weiterer angewandter Forschung auf Effizienzsteigerung, Applikationstechnik und Kostensenkung liegen, wobei diese miteinander in Zusammenhang stehen. Eine Steigerung der Effizienz könnte zum einen durch die Selektion leistungsfähigerer Ökotypen von Raubmilben, entomopathogenen Nematoden und Pilzstämmen bezüglich Virulenz, Wirtsfindung und Resistenz gegenüber Umweltextremen erfolgen (Georgis *et al.*, 2006; Grewal *et al.*, 2005). Zum anderen könnten verbesserte Formulierungen zusammen mit der Ausbringungstechnik den Erfolg der Methode steigern,

was bisher noch nicht realisiert wurde. So soll die Ausbringung von Wirtskadavern sowie der Zusatz von Adjuvantien und Additiven oder auch Saatgutbehandlungen und Behandlungen in Erdpresstöpfen vor der Pflanzung Schutz vor nachteiligen Bedingungen bieten sowie dafür sorgen, dass die Pflanzenschutzmaßnahme direkt in den Zielbereich gelangt (Bruck, 2005; Dolinski *et al.*, 2015; Ehlers, 1996; Lacey *et al.*, 2010; Shapiro-Ilan *et al.*, 2009; Shapiro-Ilan *et al.*, 2006; Shapiro-Ilan *et al.*, 2012). Weiterhin könnten Kombinationen von verschiedenen Maßnahmen den Wirkungsgrad steigern (Choo *et al.*, 1996).

Durch Steigerung der Wirksamkeit, Verbesserung von Formulierungen und Ausbringungstechnik können die indirekten Kosten gesenkt werden, da geringere Mengen des Produkts ausreichend sind und eventuell auch geringere Ausbringungskosten entstehen. Ferner ist davon auszugehen, dass die direkten Erwerbskosten ebenfalls sinken, wenn der Markt anzieht und damit die Weiterentwicklung der Massenproduktion steigt (Ehlers, 1996).

Wie sollte eine optimale Bekämpfung also aussehen? Die ausgewählte Maßnahme sollte vor allem verlässlich sein, dazu einfach durchzuführen, kostengünstig und möglichst über eine lange Zeitspanne wirken. Wenn nicht präventiv angewendet, muss zudem eine rasche Wirkung eintreten. Dazu sollte ein möglichst geringes Risiko für Mensch, Umwelt und Nichtzielorganismen sowie für die Entwicklung von Resistenzen bestehen.

Eine optimale praktische Bekämpfung mit den in dieser Arbeit beschriebenen verfügbaren Pflanzenschutzmaßnahmen verbindet mehrere Verfahren. Um Kulturen vor Befall zu schützen oder diesen zumindest zu reduzieren, kann es sich lohnen Barrieren zur Verhinderung des Zuflugs der Kohlflyge zu errichten. Dies können Insektenschutzzäune ebenso sein wie Fangstreifen, die unter Umständen auch die äußerst wichtigen natürlichen Feinde der Kohlflyge fördern. Prognosesysteme sowie Monitoringverfahren zur Überwachung der Eiablage können bei der Wahl der geeigneten Pflanzenschutzmaßnahme unterstützen. Je nach erwartetem Befall, der Kultur und dem Vermarktungsziel kann zum Beispiel eine geringere Bekämpfung toleriert werden.

Eine gute Wahl zum Zeitpunkt der erwarteten Eiablage oder als Prophylaxe zur oder nach Pflanzung sind schnell wirkende Pflanzenschutzmaßnahmen. Dies könnten beispielsweise, wie die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten, effiziente Raubmilben sein, da diese sich von Eiern und Junglarven ernähren, wodurch ein Schaden gar nicht erst entsteht. Insbesondere die Ergebnisse der Klimakammerversuche bestätigten, dass nach Raubmilbeneinsatz die Wurzeln schwächer geschädigt waren als nach Ausbringung von Nematoden, obwohl letztere die Larven stärker dezimierten. Daher böte sich eine kombinierte Ausbringung von Raubmilben mit leistungsfähigen Nematodenstämmen an, da in den am JKI durchgeführten Versuchen sowohl verringerte Anzahlen an Kohlfiegenlarven- und puppen als auch Wurzelschäden verglichen zu den Einzelausbringungen auftraten. Voraussetzung bei einem Einsatz von prophylaktischen Anwendungen zum Beispiel vor dem Auspflanzen ist eine gute

Persistenz. Zwar könnten wie erwähnt robustere Raubmilben- und Nematodenstämme selektiert werden, je nach Bedingungen im Freiland, Empfindlichkeit der Kultur sowie Anforderungen an das Ernteprodukt werden aber bei andauerndem Befallsdruck wiederholte Ausbringungen erforderlich sein. Dies ist auch der Fall, wenn insbesondere zum Ende der Saison mehrere Entwicklungsstadien gleichzeitig vorkommen. Multiple Behandlungen werden sich daher auch bei hoher Nachhaltigkeit an der Wirtschaftlichkeit messen lassen müssen.

Bei sehr empfindlichen Kulturen oder in kritischen Phasen mit hohem Befallsdruck sind in absehbarer Zeit keine wirklichen Alternativen zu chemischen Pflanzenschutzmitteln zu erkennen. Anhand der im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse bieten sich Maßnahmen mit den Wirkstoffen Spinosad (nicht systemisch) und Cyantraniliprol (systemisch, vermutlich ovizide Wirkung) an. Wenn Kulturen angebaut werden, deren Wurzeln vermarktet werden sollen, wie beispielsweise Radies, Rüben oder Rettich, bedeuten auch geringe Fraßschäden einen Verlust, da geschädigte Ware nicht verkauft werden kann. Die Bekämpfungsschwelle liegt hier unter Umständen bei einer Larve, ein Wert, der mit dem alleinigen Einsatz biologischer Verfahren nicht einzuhalten ist.

Trotz unterschiedlich starker Schädigungen der Wurzeln konnten keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Schadklasse und Ertrag festgestellt werden. Der in den Freilandversuchen aufgetretene Befall schien nicht bekämpfungswürdig. Eine Verallgemeinerung, dass damit die Bekämpfungswürdigkeit der Kleinen Kohlflye generell in Frage gestellt werden muss, sollte aber aus diesen wenigen Studien nicht gezogen werden. Es kann durchaus angebracht sein, auch kleine Populationen der Kohlflye zu bekämpfen, da unter ungünstigen Bedingungen selbst geringe Schädigungen Einfluss auf Pflanzenwachstum, Ertrag und Qualität des Ernteprodukts ausüben können.

Treten beispielsweise neben der Fraßschädigung weitere Stressfaktoren, wie zum Beispiel Bodentrockenheit oder Nährstoffmangel auf, kann das kompensatorische Potenzial begrenzt sein (Spike und Tollefson, 1989). Weiterhin bieten bereits geringe Schädigungen Eintrittspforten für Sekundärpathogene, wodurch sowohl Wachstumsverzögerungen als auch Ausfälle auftreten können (Keunecke, 2009; Shuhang *et al.*, 2016). Desweiteren kann selbst eine geringe Schädigung die Uniformität der Blumen beeinflussen, was mehrere Erntegänge nötig werden und Kosten steigen lässt (Ellis *et al.*, 2015), ein Faktor, der in den am JKI durchgeführten Versuchen nicht berücksichtigt werden konnte. Zudem kann aufgrund des Schadens die Notbildung einer nicht vermarktaren Blume auftreten (Freuler und Lindner, 1979). Ein weiteres Problem stellt der oberirdische Befall dar, wodurch oberirdische Ernteorgane nicht vermarktbar sind (Finch, 1989). Schlussendlich ist bei einer Bekämpfung mit einem geringeren Aufbau nachfolgender Generationen zu rechnen, was langfristig zu niedrigerem Befallsdruck führt.

8 Literaturverzeichnis

- Adams, B.J., Fodor, A., Koppenhöfer, H.S., Stackebrandt, E., Stock, S.P., Klein, M.G. (2006).** Reprint of "Biodiversity and systematics of nematode-bacterium entomopathogens" [Biol. Control 37 (2006), 32-49]. Biological Control 38(1): 4–21.
- Afifi, A.M. (1988).** Laboratory studies of the biology and feeding habits of three macrochelid mites (Acari: Gamasida: Macrochelidae). Bulletin de la Société Entomologique d'Egypte, 68: 169–174.
- Ahlström-Olsson, M. (1994).** Host preference of *Aleochara bilineata* and *A. bipustulata* in relation to host size and host fly species (Diptera: Anthomyiidae): a laboratory study. Norwegian Journal of Agricultural Sciences, 16: 283–291.
- Ahuja, I., Rohloff, J., Bones, A.M. (2010).** Defence mechanisms of Brassicaceae: implications for plant-insect interactions and potential for integrated pest management. A review. Agronomy for Sustainable Development, 30(2): 311–348.
- Akhurst, R.J. (1982).** Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp., bacteria symbiotically associated with insect pathogenic nematodes of the families Heterorhabditidae and Steinernematidae. Microbiology, 128(12): 3061–3065.
- Alekseev, E., Glazer, I., Samish, M. (2006).** Effect of soil texture and moisture on the activity of entomopathogenic nematodes against female *Boophilus annulatus* ticks. BioControl, 51(4): 507–518.
- Alix, A., Cortesero, A.M., Nénon, J.P., Anger, J.P. (2001).** Selectivity assessment of chlorfenvinphos reevaluated by including physiological and behavioral effects on an important beneficial insect. Environmental Toxicology and Chemistry, 20(11): 2530–2536.
- AlzChem (o. J.).** Kalkstickstoff Perlka®. <http://www.alzchem.com/de/landwirtschaft/kalkstickstoff-perlka> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Ansari, M.A., Butt, T.M. (2011).** Effect of potting media on the efficacy and dispersal of entomopathogenic nematodes for the control of black vine weevil, *Otiorhynchus sulcatus* (Coleoptera: Curculionidae). Biological Control, 58(3): 310–318.
- Ansari, M.A., Shah, F.A., Tirry, L., Moens, M. (2006).** Field trials against *Hoplia philanthus* (Coleoptera : Scarabaeidae) with a combination of an entomopathogenic nematode and the fungus *Metarhizium anisopliae* CLO 53. Biological Control, 39(3): 453–459.
- Ansari, M.A., Tirry, L., Moens, M. (2004).** Interaction between *Metarhizium anisopliae* CLO 53 and entomopathogenic nematodes for the control of *Hoplia philanthus*. Biological Control, 31(2): 172–180.
- Badenes-Perez, F.R., Reichelt, M., Gershenson, J., Heckel, D.G. (2014).** Using plant chemistry and insect preference to study the potential of *Barbarea* (Brassicaceae) as a dead-end trap crop for diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Phytochemistry, 98: 137–144.
- Bailey, A.S., Bertaglia, M., Fraser, I.M., Sharma, A., Douarin, E. (2009).** Integrated pest management portfolios in UK arable farming: results of a farmer survey. Pest Management Science, 65(9): 1030–1039.
- Barker, K., Olthof, T.H. (1976).** Relationships between nematode population densities and crop responses. Annual Review of Phytopathology 14(1): 327–353.
- Bathon, H. (1996).** Impact of entomopathogenic nematodes on non-target hosts. Biocontrol Science and Technology, 6(3): 421–434.

- Beck, B., Spanoghe, P., Moens, M., Brusselman, E., Temmerman, F., Pollet, S., Nuyttens, D. (2013).** Improving the biocontrol potential of *Steinernema feltiae* against *Delia radicum* through dosage, application technique and timing. *Pest Management Science*, 70(5): 841–851.
- Bidochka, M.J., Kasperski, J.E., Wild, G.A.M. (1998).** Occurrence of the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* in soils from temperate and near-northern habitats. *Canadian Journal of Botany*, 76(7): 1198–1204.
- Biondi, A., Zappala, L., Stark, J.D., Desneux, N. (2013).** Do biopesticides affect the demographic traits of a parasitoid wasp and its biocontrol services through sublethal effects? *PLoS One*, 8(9): 1–11.
- Bligaard, J. (1999).** Damage thresholds for cabbage root fly (*Delia radicum*(L.)) in cauliflower assessed from pot experiments. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 49(1): 57-64.
- Bligaard, J., Meadow, R., Nielsen, O., Percy-Smith, A. (1999).** Evaluation of felt traps to estimate egg numbers of cabbage root fly, *Delia radicum*, and turnip root fly, *Delia floralis* in commercial crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 90(2): 141–148.
- Block, W., Turnock, W.J., Jones, T.H. (1987).** Cold resistance and overwintering survival of the cabbage root fly, *Delia radicum* (Anthomyiidae), and its parasitoid, *Trybliographa rapae* (Cynipidae), in England. *Oecologia*, 71(3): 332–338.
- Bloszyk, J., Gwiazdowicz, D.J., Bajerlein, D., Halliday, R.B. (2005).** Nests of the white stork *Ciconia ciconia* (L.) as a habitat for mesostigmatic mites (Acari, Mesostigmata). *Acta Parasitologica*, 50(2): 171–175.
- BMEL (2013).** Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Broschueren/NationalerAktionsplanPflanzenschutz.pdf?__blob=publicationFile (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- BMEL (2014a).** Aktionsplan "Pflanzenschutz im Obst- und Gemüsebau". https://www.nap-pflanzenschutz.de/fileadmin/user_upload/_imported/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/Aktuelles/AP_ObstGemuese.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- BMEL (2014b).** Nachhaltiger Pflanzenschutz. Bund – Länder – Programm zum Schließen von Indikationslücken im Pflanzenschutz. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. http://lueckenindikationen.julius-kuehn.de/dokumente/upload/d060a_bund_l%C3%A4nder_programm_l%C3%BCckenindikationen.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Boege, K., Marquis, R.J. (2005).** Facing herbivory as you grow up: the ontogeny of resistance in plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(8): 441–448.
- Boemare, N., Laumond, C., Mauleon, H. (1996).** The entomopathogenic nematode-bacterium complex: biology, life cycle, and vertebrate safety. *Biocontrol Science and Technology*, 6: 333–345.
- Bomford, M.K., Vernon, R.S., Päts, P. (2000).** Importance of collection overhangs on the efficacy of exclusion fences for managing cabbage flies (Diptera: Anthomyiidae). *Environmental Entomology*, 29(4): 795–799.

- Bracken, G.K. (1990).** Susceptibility of 1st-instar cabbage maggot, *Delia radicum* (L) (Anthomyiidae, Diptera), to strains of the entomogenous nematodes *Steinernema feltiae* Filipjev, *Steinernema bibionis* (Bovien), *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, and *Heterorhabditis heliothidis* (Khan, Brooks, and Hirschmann). Canadian Entomologist, 122(7–8): 633–639.
- Brassart, H. (2013).** Persönliches Gespräch mit Heiner Brassart, Berater Gemüsebau bei der Westhof Bio-Gemüse GmbH & Co. KG im Rahmen der Projekttreffen; Juni 2013.
- Broatch, J.S., Dodsall, L.M., O'Donovan, J.T., Harker, K.N., Clayton, G.W. (2010).** Responses of the specialist biological control agent, *Aleochara bilineata*, to vegetational diversity in canola agroecosystems. Biological Control, 52(1): 58–67.
- Bröer, J.M. (2013).** Untersuchung zum Bekämpfungszeitpunkt der Kleinen Kohlflye *Delia radicum* mit dem entomopathogenen Nematoden *Steinernema feltiae*. Bachelorarbeit, Leibniz Universität Hannover.
- Bromand, B. (1980).** Investigations on the biological control of the cabbage rootfly (*Hylemya brassicae*) with *Aleochara bilineata*. IOBC/WPRS Bulletin, 3: 349–62.
- Brownbridge, M., Reay, S.D., Nelson, T.L., Glare, T.R. (2012).** Persistence of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an endophyte following inoculation of radiata pine seed and seedlings. Biological Control, 61(3): 194–200.
- Broza, M., Pereira, R.M., Stimac, J.L. (2001).** The nonsusceptibility of soil Collembola to insect pathogens and their potential as scavengers of microbial pesticides. Pedobiologia, 45(6): 523–534.
- Bruck, D.J. (2005).** Ecology of *Metarhizium anisopliae* in soilless potting media and the rhizosphere: implications for pest management. Biological Control, 32(1): 155–163.
- Bruck, D.J., Snelling, J.E., Dreves, A.J., Jaronski, S.T. (2005).** Laboratory bioassays of entomopathogenic fungi for control of *Delia radicum* (L.) larvae. Journal of Invertebrate Pathology, 89(2): 179–183.
- Brückner, U. (1997).** Physical properties of different potting media and substrate mixtures - especially air and water capacity. International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium, 450: 263–270.
- Brunel, E., Fournet, S. (1996).** Fauna associated with the cabbage root fly in sequential sowings of turnip. IOBC/WPRS Bulletin, 19: 140–146.
- Burman, M., Pye, A.E. (1980).** *Neoaplectana carpocapsae*: movements of nematode populations on a thermal gradient. Experimental Parasitology, 49(2): 258–265.
- Burnell, A.M., Stock, S.P. (2000).** *Heterorhabditis*, *Steinernema* and their bacterial symbionts - lethal pathogens of insects. Nematology, 231–42.
- BVL (2014a).** PSM-Zulassungsbericht. http://www.bvl.bund.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-11635-1021433-XxgSeHdMle6UFFEM-DAT/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/005314-00-18.pdf?__blob=publicationFile%26v=2 (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- BVL (2014b).** PSM-Zulassungsbericht (Registration Report) Pflanzenschutzmittel: Naturalis. http://www.bvl.bund.de/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-32731-365653-xXJd7kBzsPRiqdx-c-DAT/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/01_zulassungsberichte/007198-00-00.pdf?__blob=publicationFile%26v=2 (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- BVL (2016).** Pflanzenschutzmittelverzeichnis - Verzeichnis Teil 2. Gemüsebau - Obstbau - Zierpflanzenbau. www.bvl.bund.de/infopsm (Letzter Zugriff: 13.01.2017).
- Capinera, J.L. (2008).** Cabbage maggot or cabbage root fly, *Delia radicum* (Linnaeus) (Diptera: Anthomyiidae). In: Capinera, J.L. (Ed.). Encyclopedia of Entomology. Springer Verlag, 2. Auflage, 690-693.

- Chamberlain, W.F., Matter, J.J. (1986).** Control of stable flies (Diptera, Muscidae) with a unique nitrogen-fertilizer, calcium cyanamide. *Journal of Economic Entomology*, 79(6): 1573–1576.
- Chandler, D., Davidson, G. (2005).** Evaluation of entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against soil-dwelling stages of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) in glasshouse and field experiments and effect of fungicides on fungal activity. *Journal of Economic Entomology*, 98(6): 1856–1862.
- Chaney, W.E., Toscano, N.C., Bentley, W.J., Natwick, E.T. (1997).** Cole crops. UC IPM Pest Management Guidelines. UC ANR Publication 3339. <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/rI08300111.html> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Chen, S., Li, J., Han, X., Moens, M. (2003a).** Effect of temperature on the pathogenicity of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) to *Delia radicum*. *BioControl*, 48(6): 713–724.
- Chen, S.L., Han, X.Y., Moens, M. (2003b).** Biological control of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) with entomopathogenic nematodes. *Applied Entomology and Zoology*, 38(4): 441–448.
- Choo, H.Y., Koppenhöfer, A.M., Kaya, H.K. (1996).** Combination of two entomopathogenic nematode species for suppression of an insect pest. *Journal of Economic Entomology*, 89(1): 97–103.
- Cleveland, C.B., Bormett, G.A., Saunders, D.G., Powers, F.L., McGibbon, A.S., Reeves, G.L., Rutherford, L., Balcer, J.L. (2002).** Environmental fate of spinosad. 1. Dissipation and degradation in aqueous systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(11): 3244–3256.
- Coaker, T. (1965).** The effect of irrigation on the yield of cauliflower and cabbage crops damaged by the cabbage root fly. *Plant Pathology*, 14(2): 75–82.
- Collier, R.H., Finch, S. (1983a).** Completion of diapause in field populations of the cabbage root fly (*Delia radicum*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 34(2): 186–192.
- Collier, R.H., Finch, S. (1983b).** Effects of intensity and duration of low temperatures in regulating diapause development of the cabbage root fly (*Delia radicum*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 34(2): 193–200.
- Cook, S.M., Rasmussen, H.B., Birkett, M.A., Murray, D.A., Pye, B.J., Watts, N.P., Williams, I.H. (2007).** Behavioural and chemical ecology underlying the success of turnip rape (*Brassica rapa*) trap crops in protecting oilseed rape (*Brassica napus*) from the pollen beetle (*Meligethes aeneus*). *Arthropod-Plant Interactions*, 1(1): 57.
- Corre, G.I., Ferret, M., Dupont, S., Carof, S., Maisonneuve, J.C. (2004).** Integrated control against *Delia radicum* with *Aleochara bilineata*. *Phytoma*, 571: 30–32.
- Costa, M. (1966).** Notes on Macrochelids associated with manure and coprid beetles in Israel. I. *Macrocheles robustulus* (Berlese, 1904), development and biology. *Acarologia*, 8(4): 532–548.
- Croll, N.A., Matthews, B.E. (1977).** Biology of nematodes. Blackie & Son Limited.
- Crüger, G., Backhaus, G.F., Hommes, M., Smoka, S., Vetten, H.-J. (2002).** Pflanzenschutz im Gemüsebau. Eugen Ulmer Verlag, 4. Auflage, 62–63.
- Darvas, B., Szappanos, A. (2003).** Male and female morphology of some central European *Delia* (Anthomyiidae) pests. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 49(2): 87–101.
- Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.M. (2007).** The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annual Review of Entomology*, 52: 81–106.

- Dolinski, C., Shapiro-Ilan, D., Lewis, E.E. (2015).** Insect cadaver applications: Pros and cons. In: Campos-Herrera, R. (Ed.). Nematode pathogenesis of insects and other pests: Ecology and applied technologies for sustainable plant and crop protection. Springer Verlag, 207–229.
- Donald, E.C., Lawrence, J.M., Porter, I.J. (2004).** Influence of particle size and application method on the efficacy of calcium cyanamide for control of clubroot of vegetable brassicas. *Crop Protection*, 23(4): 297–303.
- Dornan, A.P., Stewart, J.G., Sears, M.K. (1994).** Application of the cabbage looper equivalent model to lepidopterous pests of Brussels sprouts in Prince Edward Island. *The Canadian Entomologist*, 126(4): 961–969.
- Dosdall, L.M., Herbut, M.J., Cowle, N.T., Micklich, T.M. (1996a).** The effect of seeding date and plant density on infestations of root maggots, *Delia* spp. (Diptera: Anthomyiidae), in canola. *Canadian Journal of Plant Science*, 76(1): 169–177.
- Dosdall, L.M., Herbut, M.J., Cowle, N.T., Micklich, T.M. (1996b).** The effect of tillage regime on emergence of root maggots (*Delia* spp.) (Diptera: Anthomyiidae) from canola. *The Canadian Entomologist*, 128(06): 115–1165.
- Dow AgroSciences GmbH, (2015).** SpinTor. http://msdssearch.dow.com/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-11635-1022623-hEvDxsXxQUL3244c-DAT/PublishedLiteratureDAS/dh_0973/0901b80380973415.pdf?filepath=de/pdfs/noreg/011-02140.pdf%26fromPage=GetDoc (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Downes, M.J., Griffin, C.T. (1996).** Dispersal behaviour and transmission strategies of the entomopathogenic nematodes *Heterorhabditis* and *Steinernema*. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 347–356.
- Dromph, K.M. (2003).** Collembolans as vectors of entomopathogenic fungi. *Pedobiologia*, 47(3): 245–256.
- Duncan, L.W., McCoy, C.W. (2001).** Hydraulic lift increases herbivory by *Diaprepes abbreviatus* larvae and persistence of *Steinernema riobrave* in dry soil. *Journal of Nematology*, 33(2-3): 142–146.
- DuPont de Nemours GmbH (2015).** DuPont™ Verimark™ insecticide. [http://www.bartlett.ca/Bartlett/nmb/MSDSLabel.nsf/8460d34ed1cd521385257c9a0068b6b7/5acd3d65960be35085257cc400432199/\\$FILE/Verimark%20label%20english.pdf](http://www.bartlett.ca/Bartlett/nmb/MSDSLabel.nsf/8460d34ed1cd521385257c9a0068b6b7/5acd3d65960be35085257cc400432199/$FILE/Verimark%20label%20english.pdf) (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- DuPont de Nemours GmbH (2016).** DuPont™ Benevia® insecticide. http://www.dupont.com.au/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-11635-995885-MoybpgljPD5ZwYkq-DAT/content/dam/dupont/tools-tactics/crop/Australia-label-SDS-finder/documents/Benevia%20insecticide%2066684_54183.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- DuPont de Nemours GmbH (o. J.).** Coragen®. http://www.dupont.de/content/dam/dupont/products-and-services/crop-protection/documents/de_de/Produktinfo/DuPont_Produktinformation_Coragen_2017.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- e-nema GmbH (o. J.).** Naturalis®. Anwendungsdatenblatt. <http://www.e-nema.de/assets/Uploads/Downloads/Anwendungshinweise-Naturalis.pdf> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Ebssa, L., Borgemeister, C., Poehling, H.-M. (2006).** Simultaneous application of entomopathogenic nematodes and predatory mites to control western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *Biological Control*, 39(1): 66–74.

- Ebssa, L., Borgemeister, C., Poehling, H.M. (2004).** Effects of post-application irrigation and substrate moisture on the efficacy of entomopathogenic nematodes against western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 112(1): 65–72.
- Ecospray_Ltd. (o. J.).** Product sheet. <http://www.ecospray.com/products/agriculture/> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- EFSA (2012).** Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance garlic extract. *EFSA Journal*, 10(2). <http://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/2520> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- EFSA (2014).** Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance cyantraniliprole. *EFSA Journal*, 12(9). <https://www.efsa.europa.eu/de/efsajournal/pub/3814> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Ehlers, R.U. (1996).** Current and future use of nematodes in biocontrol: Practice and commercial aspects with regard to regulatory policy issues. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 303–316.
- Ehlers, R.U. (2003).** Entomopathogenic nematodes in the European biocontrol market. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 68(4): 3–16.
- Ehlers, R.U., Hokkanen, H.M.T. (1996).** Insect biocontrol with non-endemic entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp): Conclusions and recommendations of a combined OECD and COST Workshop on Scientific and Regulatory Policy Issues. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 295–302.
- Eigenbrode, S.D., Birch, A.N.E., Lindzey, S., Meadow, R., Snyder, W.E., Pocock, M. (2016).** Review: A mechanistic framework to improve understanding and applications of push-pull systems in pest management. *Journal of Applied Ecology*, 53(1): 202–212.
- Ei Titi, A. (1977).** Die Ermittlung der wirtschaftlichen Schadensschwelle für die Kleine Kohlfliege (*Erioischia brassicae* Bouché) im Blumenkohlanbau. 1. Beziehung zwischen Schädlingsdichte, chemischer Bekämpfung und Ertrag. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 84: 65–77.
- Ellis, S., White, S., Holland, J., Smith, B., Collier, R., Jukes, A. (2015).** Encyclopaedia of pests and natural enemies in field crops. In: Boys, E. (Ed.). AHDB Cereals & Oilseeds Publications, 1–123.
- Elzen, G.W., Elzen, P.J., King, E.G. (1998).** Laboratory toxicity of insecticide residues to *Orius insidiosus*, *Geocoris punctipes*, *Hippodamia convergens*, and *Chrysoperla carnea*. 1998 Proceedings Beltwide Cotton Conferences, San Diego, California, USA, 5-9 January 1998, 2: 1235–1238.
- Erwin, A.C., Geber, M.A., Agrawal, A.A. (2013).** Specific impacts of two root herbivores and soil nutrients on plant performance and insect-insect interactions. *Oikos*, 122(12): 1746–1756.
- EU (2005).** Verordnung (EG) Nr. 963/98 der Kommission vom 7. Mai 1998 zur Festsetzung der Vermarktungsnormen für Blumenkohl/Karfiol (Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 135 vom 08.05.1998), Stand 06.01.2005. http://ernaehrungsdenkwerkstatt.de/fileadmin/user_upload/EDWText/TextElemente/Lebensmittel/Blumenkohl_EU_Vermarktungsnorm.pdf (Letzter Zugriff 02.02.2017).
- EU (2006).** Mitteilung der Kommission vom 12. Juli 2006: „Hin zu einer thematischen Strategie zur nachhaltigen Nutzung von Pestiziden“ [KOM(2006) 372 endg. - Nicht im Amtsblatt veröffentlicht]. Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uriserv:l28178> (Letzter Zugriff 15.01.2017).

- EU (2009).** Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über einen Aktionsrahmen der Gemeinschaft für die nachhaltige Verwendung von Pestiziden. Amtsblatt der Europäischen Union vom 24.11.2009. <http://eur-lex.europa.eu/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-29347-3231260-J0lcRxRJWfd6fFKS-DAT/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0071:0086:de:PDF> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Fan, X., Hominick, W.M. (1991).** Efficiency of the *Galleria* (wax moth) baiting technique for recovering infective stages of entomopathogenic rhabditids (Steinernematidae and Heterorhabditidae) from sand and soil. *Revue de Nématologie*, 14(3): 381–387.
- Felkl, G., Jensen, E.B., Kristiansen, K., Andersen, S.B. (2005).** Tolerance and antibiosis resistance to cabbage root fly in vegetable *Brassica* species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 116(1): 65–71.
- Feng, M.X., Wang, P.S., Jiang, R.D., Wang, J.Q., Zhang, T., Cheng, X. (2007).** Application of several pesticides incorporated into soil in controlling nematodes. *Journal of Agro-Environment Science*, 26: 643–646.
- Ferry, A., Le Tron, S., Dugravot, S., Cortesero, A.M. (2009).** Field evaluation of the combined deterrent and attractive effects of dimethyl disulfide on *Delia radicum* and its natural enemies. *Biological Control*, 49(3): 219–226.
- Filipponi, A., Mosna, B. (1968).** Influenza di fattori ecologici e genetici sulla natalità e mortalità di *Macrocheles robustulus* (Berlese, 1904). *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 4: 551–571.
- Finch, S. (1978).** Volatile plant chemicals and their effect on host plant finding by the cabbage root fly (*Delia brassicae*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 24(3): 350–359.
- Finch, S. (1989).** Ecological considerations in the management of *Delia* pest species in vegetable crops. *Annual Review of Entomology*, 34: 117–137.
- Finch, S. (1993).** Integrated pest management of the cabbage root fly and the carrot fly. *Crop Protection*, 12(6): 423–430.
- Finch, S. (1996).** Effect of beetle size on predation of cabbage root fly eggs by ground beetles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 81(2): 199–206.
- Finch, S., Coaker, T.H. (1969).** A method for the continuous rearing of the cabbage root fly *Erioischia brassicae* (Bch.) and some observations on its biology. *Bulletin of Entomological Research*, 58(3): 619–627.
- Finch, S., Collier, R.H. (1984).** Parasitism of overwintering pupae of cabbage root fly, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae), in England and Wales. *Bulletin of Entomological Research*, 74(1): 79–86.
- Finch, S., Collier, R.H. (1985).** Laboratory studies on aestivation in the cabbage root fly (*Delia radicum*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 38(2): 137–143.
- Finch, S., Collier, R.H. (2000).** Host-plant selection by insects - a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96(2): 91–102.
- Finch, S., Collier, R.H. (2012).** The influence of host and non-host companion plants on the behaviour of pest insects in field crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 142(2): 87–96.
- Finch, S., Skinner, G. (1974).** Some factors affecting efficiency of water traps for capturing cabbage root flies. *Annals of Applied Biology*, 77(3): 213–226.

- Foster, S.P., Denholm, I., Rison, J.L., Portillo, H.E., Margaritopoulos, J., Slatere, R. (2012).** Susceptibility of standard clones and European field populations of the green peach aphid, *Myzus persicae*, and the cotton aphid, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae), to the novel anthranilic diamide insecticide cyantraniliprole. *Pest Management Science*, 68(4): 629–633.
- Fournet, S., Poinso, D., Brunel, E., Nénon, J.P., Cortesero, A.M. (2001).** Do female coleopteran parasitoids enhance their reproductive success by selecting high-quality oviposition sites? *Journal of Animal Ecology*, 70(6): 1046–1052.
- Fournet, S., Stapel, J.O., Kacem-Haddjel-Mrabet, N., Nénon, J.P., Brunel, E. (2000).** Life history comparison between two competitive *Aleochara* species in the cabbage root fly, *Delia radicum*: implications for their use in biological control. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 96(3): 205–211.
- Freier, B., Burth, U., Klingauf, F. (1999).** Integrierter Pflanzenschutz als Leitbild - Die Anforderungen liegen über der derzeitigen Handlungsnorm der gutem fachlichen Praxis. *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*, 51(3): 66–70.
- Freuler, J., Fischer, S. (1982).** Description d'un piège à oeufs pour la mouche du chou, *Delia brassicae* Wiedemann. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 55: 77–85.
- Freuler, J., Lindner, A. (1979).** Die Schätzung des wirtschaftlichen Schadens der Kleinen Kohlflye (*Delia brassicae* Hoffm.) (Diptera : Anthomyiidae) im Blumenkohlfeld. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* 52(4): 369–376.
- Fuchs, W.H., Kunz, H.D. (1954).** Über die innertherapeutische Wirkung von Cyanamid. *Naturwissenschaften*, 41(1): 20–20.
- Fußeder, A. (1984).** Der Einfluß von Bodenart, Durchlüftung des Bodens, N-Ernährung und Rhizosphärenflora auf die Morphologie des seminalen Wurzelsystems von Mais. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 147(5): 553–564.
- Gaugler, R., Bednarek, A., Campbell, J.F. (1992).** Ultraviolet inactivation of heterorhabditid and steinernematid nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology*, 59(2): 155–160.
- Gebelein, D., Hommes, M., Otto, M. (2004).** SWAT: Ein Simulationsmodell für Kleine Kohlflye, Möhrenflye und Zwiebflye. Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst. https://www.julius-kuehn.de/fileadmin/dam_uploads/_GF/swat/Programmbeschreibung%20SWAT.pdf (Letzter Zugriff Mai 2016).
- Georgis, R., Gaugler, R. (1991).** Predictability in biological control using entomopathogenic nematodes. *Journal of Economic Entomology*, 84(3): 713–720.
- Georgis, R., Koppenhöfer, A.M., Lacey, L.A., Bélair, G., Duncan, L.W., Grewal, P.S., Samish, M., Tan, L., Torr, P., van Tol, R.W.H.M. (2006).** Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Biological Control*, 38(1): 103–123.
- Georgis, R., Poinar, G.O. (1983).** Effect of soil texture on the distribution and infectivity of *Neoplectana carpocapsae* (Nematoda: Steinernematidae). *Journal of Nematology*, 15(2): 308–311.
- Godfrey, L., Meinke, L.J., Wright, R.J. (1993).** Vegetative and reproductive biomass accumulation in field corn: response to root injury by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 86(5): 1557–1573.
- Gordon, R., Cornect, M. (1986).** Toxicity of the insect growth regulator diflubenzuron to the rove beetle *Aleochara bilineata*, a parasitoid and predator of the cabbage maggot *Delia radicum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 42(2): 179–185.

- Gosselin, M.E., Bélair, G., Simard, L., Brodeur, J. (2009).** Toxicity of spinosad and *Beauveria bassiana* to the black cutworm, and the additivity of sublethal doses. *Biocontrol Science and Technology*, 19(2): 201–217.
- Gouinguéné, S.P.D., Poiger, T., Städler, E. (2006).** Eggs of cabbage root fly stimulate conspecific oviposition: Evaluation of the activity and determination of an egg-associated compound. *Chemoecology*, 16(2): 107–113.
- Goulson, D. (2013).** REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, 50(4): 977–987.
- Grandgirard, J. (2003).** Localisation et exploitation des patches d'hôtes chez le parasitoïde *Trybliographa rapae* W. (Hymenoptera: Figitidae): approche théorique et application à la lutte biologique contre la mouche du chou *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae). Thèse de doctorat, Université de Rennes.
- Grandgirard, J., Poinot, D., Krespi, L., Nénon, J.P., Cortesero, A.M. (2002).** Costs of secondary parasitism in the facultative hyperparasitoid *Pachycrepoideus dubius*: does host size matter? *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 103(3): 239–248.
- Grandori, R. (1938).** The disinfecting action of calcium cyanamide against the house fly shown experimentally. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*, 8: 233–250.
- Grandori, R. (1953).** Cyanamide, a systemic Insecticide. *Bollettino di Zoologia Agraria e di Bachicoltura*, 3: 177–182.
- Grant, J.A., Villani, M.G. (2003).** Soil moisture effects on entomopathogenic nematodes. *Environmental Entomology*, 32(1): 80–87.
- Grewal, P.S. (2000).** Anhydrobiotic potential and long-term storage of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae). *International Journal for Parasitology*, 30(9): 995–1000.
- Grewal, P.S., Ehlers, R.U., Shapiro-Ilan, D.I. (2005).** Critical issues and research needs for expanding the use of nematodes in biocontrol. In: Grewal, P.S., Ehlers, R.U., Shapiro-Ilan, D.I. (Eds.). *Nematodes as biocontrol agents*. CABI Publishing.
- Grewal, P.S., Lewis, E.E., Gaugler, R., Campbell, J.F. (1994a).** Host finding behaviour as a predictor of foraging strategy in entomopathogenic nematodes. *Parasitology*, 108(2): 207–215.
- Grewal, P.S., Selvan, S., Gaugler, R. (1994b).** Thermal adaptation of entomopathogenic nematodes: niche breadth for infection, establishment, and reproduction. *Journal of Thermal Biology*, 19(4): 245–253.
- Griffiths, G.C.D. (1986).** Phenology and dispersion of *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae) in canola fields at Morinville, Alberta. *Quaestiones Entomologicae*, 22: 29–50.
- Grosman, A., Messelink, G., Groot, E.d. (2011).** Combined use of a mulch layer and the soil-dwelling predatory mite *Macrocheles robustulus* (Berlese) enhance the biological control of sciarids in potted plants. *IOBC/WPRS Bulletin*, 68: 51–54.
- Gulidov, S. (2011).** Bekämpfung der Kleinen Kohlflye *Delia radicum* mit dem entomopathogenen Nematoden *Steinernema feltiae* unter Gewächshausbedingungen. 1. Zwischenbericht WeGa -Projekt.
- Gummert, A. (2013).** Integrierter Pflanzenschutz im Zuckerrübenanbau. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Hartmann, R. (2017).** Persönliche Mitteilung von einem Fachberater Gemüse des Demeter e. V., Darmstadt, Deutschland. Telefonat am 13.03.2017.
- Haseli, A., Konrad, P. (1987).** An alternative for plant protection in vegetables. Pest attack control with nets. *Gemüse*, 7: 320–324.

- Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015).** Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10: 4–10.
- Hawkes, C., Coaker, T.H. (1976).** Behavioural responses to host-plant odours in adult cabbage root fly (*Erioischia brassicae* (Bouché)). In: Jermy, T. (Ed.). *The host-plant in relation to insect behaviour and reproduction*. Springer Verlag, 85-89.
- Heil, M. (2014).** Herbivore-induced plant volatiles: targets, perception and unanswered questions. *New Phytologist*, 204(2): 297–306.
- Hillocks, R.J., Cooper, J.E. (2012).** Integrated pest management – can it contribute to sustainable food production in Europe with less reliance on conventional pesticides? *Outlook on Agriculture*, 41(4): 237–242.
- Hoffmann, G.M., Schmutterer, H. (1999).** Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Eugen Ulmer Verlag, 2. Auflage.
- Hokkanen, H.M.T. (1991).** Trap cropping in pest management. *Annual Review of Entomology*, 36: 119–138.
- Hokkanen, H.M.T. (1993).** Overwintering survival and spring emergence in *Meligethes aeneus*: effects of body weight, crowding, and soil treatment with *Beauveria bassiana*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 67(3): 241-246.
- Holopainen, J.K., Gershenson, J. (2010).** Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. *Trends in Plant Science*, 15(3): 176–184.
- Holstein-Saj, R., van Wensveen, W., de Groot, E., Messelink, G. (2009).** Geïntegreerde bestrijding van koolvlieg in radijs met nieuwe bodenroofmijt. Wageningen UR Glastuinbouw, <http://edepot.wur.nl/266303> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Hominick, W.M., Reid, A.P., Bohan, D.A., Briscoe, B.R. (1996).** Entomopathogenic nematodes: biodiversity, geographical distribution and the convention on biological diversity. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 317–332.
- Hommes, M. (1987).** Schadensschwelen im Gemüsebau. *TASPO Magazin*, 10: 32–33.
- Hommes, M. (1993).** Einsatz von Kulturschutznetzen im Gartenbau. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 289: 104–110.
- Hommes, M. (2013).** Persönliche Mitteilung vom Leiter des Instituts für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst am Julius Kühn-Institut, Gespräch am 02.05.2013.
- Hommes, M. (2016).** Persönliche Mitteilung vom Leiter des Instituts für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst am Julius Kühn-Institut, Gespräch am 15.12.2016.
- Hommes, M., Wolf, E. (1991a).** Richtlinie für die Prüfung von Mitteln gegen die Kleine Kohlflye an Kohl (5 - 2.2.3.1). Richtlinien für die Prüfung von Pflanzenschutzmitteln im Zulassungsverfahren, Teil II. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- Hommes, M., Wolf, E. (1991b).** Richtlinie für die Prüfung von Mitteln gegen die Kleine Kohlflye an Rettich und Radies (5 - 2.2.3.2). Richtlinien für die Prüfung von Pflanzenschutzmitteln im Zulassungsverfahren, Teil II. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft.
- Hooks, C.R.R., Johnson, M.W. (2003).** Impact of agricultural diversification on the insect community of cruciferous crops. *Crop Protection*, 22(2): 223–238.
- Horn, R., Stork, J., Dexter, A.R. (1987).** Untersuchungen über den Einfluß des Bodengefüges für den Eindringwiderstand in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 150(5): 342–347.

- Hulas, N., Lascaux, E. (2011).** Study of the action of the predatory mite *Macrocheles robustulus* Berlese (Acari: Macrochelidae) on the cabbage root fly, *Delia radicum* Linne (Diptera: Anthomyiidae) and the bean seed fly, *Delia platura* Meigen (Diptera: Anthomyiidae) in radish crop under plastic tunnels and in open-field. Les Cochenilles: ravageur principal ou secondaire. 9ème Conference Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, SupAgro, Montpellier, France.
- Hummel, J.D., Dossall, L.M., Clayton, G.W., Harker, K.N., O'Donovan, J.T. (2010).** Responses of the parasitoids of *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae) to the vegetational diversity of intercrops. *Biological Control*, 55(3): 151–158.
- Hunter, M.D. (2001).** Out of sight, out of mind: the impacts of root-feeding insects in natural and managed systems. *Agricultural and Forest Entomology*, 3(1): 3–9.
- Ignoffo, C.M., Garcia, C., Hostetter, D.L., Pinnell, R.E. (1977).** Vertical movement of conidia of *Nomuraea rileyi* through sand and loam soils. *Journal of Economic Entomology*, 70(2): 163–164.
- Inglis, G.D., Goettel, M.S., Butt, T.M., Strasser, H. (2001).** Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests. In: Butt, T.M., Jackson, C., Magan, N. (Eds.). *Fungi as biocontrol agents: Progress, problems and potential*. CABI Publishing, 27–69.
- Jansen, H., Bachthaler, E., Fölster, E., Scharpf, H.-P. (1998).** *Gärtnerischer Pflanzenbau*. Eugen Ulmer Verlag.
- Jaronski, S.T. (2007).** Soil ecology of the entomopathogenic ascomycetes: A critical examination of what we (think) we know. In: Ekesi, S. and Maniania, N.K. (Eds.). *Use of entomopathogenic fungi in biological pest management*. *Research SignPosts*, 91–144.
- Jehle, J.A.H., A.; Keller, B.; Kleespies, R. G.; Koch, E.; Larem, A.; Schmitt, A.; Stephan, D. (2014).** Statusbericht biologischer Pflanzenschutz 2013. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut*, 173: 1–121.
- Jess, S., Bingham, J.F.W. (2007).** Biological control of sciarid and phorid pests of mushroom with predatory mites from the genus *Hypoaspis* (Acari: Hypoaspidae) and the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *Bulletin of Entomological Research*, 94(02): 159–167.
- Jonasson, T. (1994).** Parasitoids of *Delia* root flies in brassica vegetable crops: Coexistence and niche separation in two *Aleochara* species (Coleoptera: Staphylinidae). *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 16: 379–386.
- Jones, T.H. (1986).** Patterns of parasitism by *Trybliographa rapae* West., a cynipid parasitoid of the cabbage root fly. PhD thesis, University of London.
- Josso, C., Le Ralec, A., Raymond, L., Saulais, J., Baudry, J., Poinot, D., Cortesero, A.M. (2013).** Effects of field and landscape variables on crop colonization and biological control of the cabbage root fly *Delia radicum*. *Landscape Ecology*, 28(9): 1697–1715.
- Jukes, A., Collier, R., Finch, S. (2005).** Attempts to reduce cabbage root fly infestations by applying garlic and other 'natural' products. *IOBC/WPRS Bulletin*, 28(4): 45–52.
- Kacem-Haddjel-Mrabet, N., Nenon, J.P. (2003).** Effect of the host-plant on the biological characteristics of *Trybliographa rapae* W. (Hymenoptera: Figitidae), endoparasitoid of the cabbage root fly *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae). *IOBC/WPRS Bulletin*, 26(3): 135–140.
- Kacem-Haddjel-Mrabet, N. (1999).** Ecobiologie de *Trybliographa rapae* W., endoparasitoïde de la mouche du chou *Delia radicum* L. (Diptera: Anthomyiidae). Thèse de doctorat, Université de Rennes.

- Kahrer, A., Gross, M. (2002).** Gemüseschädlinge. Erkennung, Lebensweise, Bekämpfung. Österreichischer Agrarverlag.
- Kaya, H.K. (1990).** Soil ecology. In: Gaugler, R., Kaya, H.K. (Eds.). Entomopathogenic nematodes in biological control. CRC Press, 93–116.
- Kaya, H.K. (2002).** Natural enemies and other antagonists. In: Gaugler, R. (Ed.). Entomopathogenic nematology. CABI Publishing.
- Keller, S., Zimmerman, G. (1989).** Mycopathogens of soil insects. In: Wilding, N., Collins, N.M., Hammond, P.M., Webber, J.F. (Eds.). Insect-fungus interactions. Academic Press, 240–270.
- Kergunteuil, A., Dugravot, S., Mortreuil, A., Le Ralec, A., Cortesero, A.M. (2012).** Selecting volatiles to protect brassicaceous crops against the cabbage root fly, *Delia radicum*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 144(1): 69–77.
- Keunecke, H. (2009).** Einfluss von Kohlfliiegenbefall auf die Infektion und Schadwirkung von *Verticillium longisporum* und *Phoma lingam* an Raps. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Klasse, H.-J. (1999).** Calcium cyanamide - a unique source of nitrogen promoting healthy growth and improving crop quality of vegetables. In: Anac, D., Martin-Prével, P. (Eds.). Improved crop quality by nutrient management. Springer Verlag, 233-236.
- Klasse, H.-J. (2015).** Bodenhygiene mit Kalkstickstoff. Nadel Journal, 3: 35-37.
- Klug, E. (2017).** Persönliche Mitteilung von einem Berater für Gemüsebau der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover, Deutschland. Telefonat am 27.01.2017.
- Koppenhöfer, A.M., Fuzy, E.M. (2006).** Effect of soil type on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *Steinernema glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *Heterorhabditis bacteriophora*. Journal of Invertebrate Pathology, 92(1): 11–22.
- Koppenhöfer, A.M., Grewal, P.S. (2005).** Compatibility and interactions with agrochemicals and other biological agents. In: Grewal, P.S., Ehlers, R.U., Shapiro-Ilan, D.I. (Eds.). Nematodes as biocontrol agents. CABI Publishing.
- Koppenhöfer, A.M., Kaya, H.K., Taormino, S.P. (1995).** Infectivity of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae) at different soil depths and moistures. Journal of Invertebrate Pathology 65(2): 193–199.
- Koppert B. V. (2015).** MACRO-MITE. Produktdatenblatt. <https://www.koppertbio.de/schaedlinge/thrips/zur-bekämpfung/macro-mite/> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Koštál, V. (1992).** Orientation behavior of newly hatched larvae of the cabbage maggot, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae), to volatile plant metabolites. Journal of Insect Behavior, 5(1): 61–70.
- Krantz, G.W. (1998).** Reflections on the biology, morphology and ecology of the Macrochelidae. Experimental and Applied Acarology, 22(3): 125–137.
- Kreiselmaier, J. (2017).** Persönliche Mitteilung vom Pflanzenschutzberater im Gemüsebau vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, Neustadt a. d. Weinstraße, Deutschland. E-Mail am 25.01.2017.
- Kung, S.-P., Gaugler, R., Kaya, H.K. (1990).** Soil type and entomopathogenic nematode persistence. Journal of Invertebrate Pathology, 55(3): 401–406.
- Kung, S.-P., Gaugler, R., Kaya, H.K. (1991).** Effects of soil temperature, moisture, and relative humidity on entomopathogenic nematode persistence. Journal of Invertebrate Pathology, 57: 242–249.

- Lacey, C.M., Lacey, L.A., Roberts, D.R. (1988).** Route of invasion and histopathology of *Metarhizium anisopliae* in *Culex quinquefasciatus*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 52(1): 108–118.
- Lacey, L.A., Grzywacz, D., Shapiro-Ilan, D.I., Frutos, R., Brownbridge, M., Goettel, M.S. (2015).** Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology*, 13: 21-41.
- Lacey, L.A., Shapiro-Ilan, D.I., Glenn, G.M. (2010).** Post-application of anti-desiccant agents improves efficacy of entomopathogenic nematodes in formulated host cadavers or aqueous suspension against diapausing codling moth larvae (Lepidoptera: Tortricidae). *Biocontrol Science and Technology*, 20(9): 909–921.
- Langer, V. (1996).** Insect-crop interactions in a diversified cropping system: Parasitism by *Aleochara bilineata* and *Trybliographa rapae* of the cabbage root fly, *Delia radicum*, on cabbage in the presence of white clover. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 80(2): 365–374.
- Lascaux, E., Gerard, S., Dutertre, R. (2015).** Bilan de 4 années d'étude de solutions de biocontrôle dans la lutte contre les mouches du genre *Delia* sp. en maraîchage. AFPP – Cinquième conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection de plantes, Lille, France.
- Lepage, M.P., Bourgeois, G., Brodeur, J., Boivin, G. (2012).** Effect of soil temperature and moisture on survival of eggs and first-instar larvae of *Delia radicum*. *Environmental Entomology*, 41(1): 159–165.
- Lewis, E.E. (2002).** Behaviour ecology. In: Gaugler, R., Kaya, H.K. (Eds.). *Entomopathogenic nematodes in biological control*. CRC Press, 93–115.
- Lewis, E.E., Gaugler, R., Harrison, R. (1992).** Entomopathogenic nematode host finding: response to host contact cues by cruise and ambush foragers. *Parasitology*, 105(2): 309–315.
- Lukoschik, A. (1990).** Untersuchungen zur Biologie der Kleinen Kohlflye, *Delia radicum* (L.), und der Möglichkeit einer Prognose ihres ersten Erscheinens im Kohl- und Rapsanbaugesamt um Glückstadt/Schleswig-Holstein. Dissertation, Universität Hamburg.
- Maack, G. (1977).** Schädigung der kleinen Kohlflye und Möglichkeiten zur Reduzierung des Insektizidaufwandes bei der Bekämpfung. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*. Parey Verlag, 270.
- Mailloux, G., Belloncik, S. (1995).** Repression of *Artogeia rapae* (L.) (Lepidoptera: Pieridae) and *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Yponomeutidae) on fresh-market and processing cabbage, using composite action thresholds for chemical and biological control. *Applied Entomology and Zoology*, 30(1): 43–56.
- Mašán, P. (2001).** Mites of the cohort Uropodina (Acarina, Mesostigmata) in Slovakia. *Annotationes Zoologicae et Botanicae*, 2: 231–320.
- Maus, C., Mittmann, B., Peschke, K. (1998).** Host records of parasitoid *Aleochara Gravenhorst* species (Coleoptera: Staphylinidae) attacking puparia of cyclorrhaphous Diptera. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 45(2): 231–254.
- McDonald, R., Sears, M. (1991).** Effects of root damage by cabbage maggot, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae), on yield of canola, *Brassica campestris* L., under laboratory conditions. *The Canadian Entomologist*, 123(04): 861–867.
- McDonald, R., Sears, M. (1992).** Assessment of larval feeding damage of the cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) in relation to oviposition preference on canola. *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 957–962.

- Meadow, R., Folkedal, A. (2007).** Natural insecticides for the control of root flies in *Brassica*. IOBC/WPRS Bulletin, 30(8): 61–63.
- Meadow, R., Johansen, T.J. (2005).** Exclusion fences against brassica root flies (*Delia radicum* and *D. floralis*). IOBC/WPRS Bulletin, 28(4): 39–45.
- Meadow, R., Vandenberg, J.D., Shelton, A.M. (2000).** Exchange of inoculum of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. (Hyphomycetes) between adult flies of the cabbage maggot *Delia radicum* L. (Diptera : Anthomyiidae). Biocontrol Science and Technology, 10(4): 479–485.
- Meikle, W.G., Jaronski, S.T., Mercadier, G., Quimby, P.C. (2003).** A distributed delay routine-based simulation model of *Beauveria bassiana* conidial stability in response to environmental stressors. BioControl, 48(5): 561–578.
- Meyling, N.V., Eilenberg, J. (2007).** Ecology of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* in temperate agroecosystems: Potential for conservation biological control. Biological Control, 43(2): 145–155.
- Molyneux, A.S., Bedding, R.A. (1984).** Influence of soil texture and moisture on the infectivity of *Heterorhabditis* sp. D1 and *Steinernema glaseri* for larvae of the sheep blowfly *Lucilia cuprina*. Nematologica, 30(3): 358–365.
- Müller, H. (1955).** Untersuchungen über die Wirkung des Cyanamids im Kalkstickstoff auf pathogene und nichtpathogene Mikroorganismen des Bodens. Archiv für Mikrobiologie, 22: 285–306.
- Myrand, V., Buffet, J.P., Guertin, C. (2015).** Susceptibility of cabbage maggot larvae (Diptera: Anthomyiidae) to hypocreales entomopathogenic fungi. Journal of Economic Entomology, 108(1): 34–44.
- Natwick, E.T. (2009).** Cabbage maggot. UC IPM Pest Management Guidelines: Cole Crops. UC ANR Publication 3442. <http://www.ipm.ucdavis.edu/PMG/r108300111.html> (Letzter Zugriff 26.02.2016).
- Neveu, N., Krespi, L., Kacem-Haddjel-Mrabet, N., Nénon, J.-P. (2000).** Host-stage selection by *Trybliographa rapae*, a parasitoid of the cabbage root fly *Delia radicum*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 96(3): 231–237.
- Nielsen, O. (2003).** Susceptibility of *Delia radicum* to steinernematid nematodes. BioControl, 48(4): 431–446.
- Nielsen, O., Philipsen, H. (2004a).** Occurrence of *Steinernema* species in cabbage fields and the effect of inoculated *S. feltiae* on *Delia radicum* and its parasitoids. Agricultural and Forest Entomology, 6(1): 25–30.
- Nielsen, O., Philipsen, H. (2004b).** Recycling of entomopathogenic nematodes in *Delia radicum* and in other insects from cruciferous crops. BioControl, 49(3): 285–294.
- Nilsson, U., Rännbäck, L.M., Anderson, P., Eriksson, A., Rämert, B. (2011).** Comparison of nectar use and preference in the parasitoid *Trybliographa rapae* (Hymenoptera: Figitidae) and its host, the cabbage root fly, *Delia radicum* (Diptera: Anthomyiidae). Biocontrol Science and Technology, 21(9): 1117–1132.
- Orr, N., Shaffner, A.J., Richey, K., Crouse, G.D. (2009).** Novel mode of action of spinosad: Receptor binding studies demonstrating lack of interaction with known insecticidal target sites. Pesticide Biochemistry and Physiology, 95(1): 1–5.
- Ownley, B.H., Griffin, M.R., Klingeman, W.E., Gwinn, K.D., Moulton, J.K., Pereira, R.M. (2008).** *Beauveria bassiana*: Endophytic colonization and plant disease control. Journal of Invertebrate Pathology, 98(3): 267–270.
- Parsons, C.K., Dixon, P.L., Colbo, M. (2007).** Relay cropping cauliflower with lettuce as a means to manage first-generation cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) and minimize cauliflower yield loss. Journal of Economic Entomology, 100(3): 838–846.

- Pava-Ripoll, M., Angelini, C., Fang, W., Wang, S., Posada, F.J., St. Leger, R. (2011).** The rhizosphere-competent entomopathogen *Metarhizium anisopliae* expresses a specific subset of genes in plant root exudate. *Microbiology*, 157(1): 47–55.
- Pelereys, C., van Bogaert, H., van Keymeulen, M. (1983).** Biologische Bekämpfung von Kohlflieden. *TASPO Magazin*, 1: 31-32.
- Pereira, R.M., Stimac, J.L., Alves, S.B. (1993).** Soil antagonism affecting the dose-response of workers of the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*, to *Beauveria bassiana* conidia. *Journal of Invertebrate Pathology* 61(2): 156–161.
- Perotti, A. (2001).** Prey location and predation rates of predatory mites (Acrari: Macrochelidae) on immature stages of pest flies (Diptera: Muscidae). *Systematic and Applied Acarology*, 6: 27–33.
- Peters, A. (2015).** Persönliche Mitteilung von einem der Gesellschafter der e-nema GmbH, Schwentinental, Deutschland. Telefonat am 23.01.2015.
- Peters, A. (2016).** Persönliche Mitteilung von einem der Gesellschafter der e-nema GmbH, Schwentinental, Deutschland. Telefonat am 08.06.2016.
- Pflanzenschutzgesetz (2012).** Pflanzenschutzgesetz vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148, 1281), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 84 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist.
- Poinar, G.O. (1979).** Nematodes for biological control of insects. CRC Press.
- Pozzebon, A., Boaria, A., Duso, C. (2014).** Single and combined releases of biological control agents against canopy- and soil-dwelling stages of *Frankliniella occidentalis* in cyclamen. *BioControl*, 60(3): 341–350.
- Premachandra, W., Borgemeister, C., Berndt, O., Ehlers, R.U., Poehling, H.M. (2003).** Combined releases of entomopathogenic nematodes and the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* to control soil-dwelling stages of western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *BioControl*, 48(5): 529–541.
- Prowse, G.M., Galloway, T.S., Foggo, A. (2006).** Insecticidal activity of garlic juice in two dipteran pests. *Agricultural and Forest Entomology*, 8(1): 1–6.
- Pye, A.E., Burman, M. (1981).** *Neoplectana carpocapsae*: Nematode accumulations on chemical and bacterial gradients. *Experimental Parasitology*, 51(1): 13–20.
- Radtke, M., Koper, C.M. (2013).** Environmental fate and ecological risk assessment for the registration of the new chemical cyantraniliprole - amended. U. S. Environmental Protection Agency, 1–311. http://pollinatorstewardship.org/wp-content/uploads/2013/06/EPA_CYANTRANILIPROLE_ENVIRONMENTAL-FATE_2013.pdf (Letzter Zugriff 12.03.2016).
- Radová, Š., Trnková, Z. (2010).** Effect of soil temperature and moisture on the pathogenicity of two species of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Steinernematidae). *Journal of Agrobiology*, 27(1): 1–7.
- Rännbäck, L.-M., Cotes, B., Anderson, P., Ramert, B., Meyling, N.V. (2015).** Mortality risk from entomopathogenic fungi affects oviposition behavior in the parasitoid wasp *Trybliographa rapae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 124: 78–86.
- Rännbäck, L.M. (2015).** Biological control strategies against the cabbage root fly *Delia radicum*. Effect of predators, parasitoids and pathogens. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Razinger, J. (2012).** Persönliche Mitteilung vom Projektpartner am Agricultural Institute of Slovenia. Gespräch am 07.07.2012.
- Razinger, J., Lutz, M., Schroers, H.-J., Urek, G., Grunder, J. (2014a).** Evaluation of insect associated and plant growth promoting fungi in the control of cabbage root flies. *Journal of Economic Entomology*, 107(4): 1348–1354.

- Razinger, J., Lutz, M., Schroers, H.J., Palmisano, M., Wohler, C., Urek, G., Grunder, J. (2014b).** Direct plantlet inoculation with soil or insect-associated fungi may control cabbage root fly maggots. *Journal of Invertebrate Pathology*, 120: 59–66.
- Razinger, J., Lutz, M., Schroers, H.J., Urek, G., Grunder, J. (2013).** Laboratory bioassays of entomopathogenic or potentially plant growth promoting fungal strains for the control of cabbage root fly (*Delia radicum* L.) and their rhizosphere competence. In: Trdan, S., Macek, J. (Eds.). *Zbornik predavanj in referatov*, 11. Slovenskega Posvetovanja o Varstvu Rastlin Z Mdnarodno Udeležbo, 239-243.
- Read, D.C. (1962).** Notes on the life history of *Aleochara bilineata* (Gyll.) (Coleoptera: Staphylinidae) and on its potential value as a control agent for the cabbage maggot, *Hylemya brassicae* (Bouche) (Diptera: Anthomyiidae). *Canadian Entomol*, 94(4): 417–424.
- Rehan, A., Freed, S. (2015).** Lethal and sub-lethal effects of spinosad on the life-history traits of armyworm, *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae), and its fitness cost of resistance. *Entomological Research*, 45(5): 247–253.
- Rehner, S.A. (2005).** Phylogenetics of the insect pathogenic genus *Beauveria*. In: Vega, E., Blackwell, M. (Eds.). *Insect-fungal associations: Ecology and evolution*. Oxford University Press, 3–23.
- Reschke, M., Böhmer, B. (2013).** Bedeutung des Pflanzenschutzes auf betrieblicher Ebene. In: Poehling, H.-M., Verreet, J.-A. (Hrsg.). *Lehrbuch der Phytomedizin*. Ulmer Verlag, 518–527.
- Richter, E., Michel, M. (2009).** Aktuelles zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflye im Kohlgemüse. *Gemüsebau. Infoblatt für den Gartenbau in Mecklenburg-Vorpommern*, 18(5): 278–283.
- Rickard, S. (2010).** The value of crop protection. An assessment of the full benefits for the food chain and living standards. Crop protection association, http://www.cropprotection.org.uk/media/1047/cpa_the_value_of_crop_protection_rickard_report.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Ritter, C., Richter, E., Knoelck, I., Katroschan, K.-U. (2014).** Laboratory studies on the effect of calcium cyanamide on wireworms (*Agriotes ustulatus*, Coleoptera: Elateridae). *Journal of Plant Diseases and Protection*, 121(3): 133–137.
- Roberts, D.W., St. Leger, R.J.S. (2004).** *Metarhizium* spp., cosmopolitan insect-pathogenic fungi: Mycological aspects. In: Laskin, A.I., Bennet, J.W., Gadd, G.M. (Eds.). *Advances in Applied Microbiology*, 54: 1–70.
- Roessingh, P., Städler, E. (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.
- Rohde, C., Moino Jr, A., Silva, M.A.T.d., Carvalho, F.D., Ferreira, C.S. (2010).** Influence of soil temperature and moisture on the infectivity of entomopathogenic nematodes (Rhabditida: Heterorhabditidae, Steinernematidae) against larvae of *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Neotropical Entomology*, 39: 608–611.
- Rousse, P., Fournet, S., Porteneuve, C., Brunel, E. (2003).** Trap cropping to control *Delia radicum* populations in cruciferous crops: first results and future applications. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 109(2): 133–138.
- Royer, L., Belair, G., Boivin, G., Fournier, Y. (1996).** Attractiveness of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) to entomopathogenic steinernematid nematodes. *Journal of Economic Entomology*, 89(3): 614–620.

- Royer, L., Boivin, G. (1999).** Infochemicals mediating the foraging behaviour of *Aleochara bilineata* Gyllenhal adults: Sources of attractants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 90(2): 199–205.
- Salame, L., Glazer, I. (2015).** Stress avoidance: Vertical movement of entomopathogenic nematodes in response to soil moisture gradient. *Phytoparasitica*, 43(5): 647–655.
- Salgado, V.L. (1998).** Studies on the mode of action of spinosad: Insect symptoms and physiological correlates. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 60(2): 91–102.
- San-Blas, E. (2013).** Progress on entomopathogenic nematology research: A bibliometric study of the last three decades: 1980–2010. *Biological Control*, 66(2): 102–124.
- Schmon, R., Sauer, C., Vogler, U. (2012).** Die Kleine Kohlflye (*Delia radicum*): Bekämpfungsmöglichkeiten und ihre Umsetzbarkeit in die Praxis. *Gemüsebau Info*, 28: 6-9.
- Schoonhoven, L.M., van Loon, J.J.A., Dicke, M. (2005).** Insect-plant biology. Oxford University Press.
- Schroeder, P.C., Ferguson, C.S., Shelton, A.M., Wilsey, W.T., Hoffmann, M.P., Petzoldt, C. (1996).** Greenhouse and field evaluations of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Heterorhabditidae and Steinernematidae) for control of cabbage maggot (Diptera: Anthomyiidae) on cabbage. *Journal of Economic Entomology*, 89(5): 1109–1115.
- Schwarz, A., Etter, J., Künzler, R., Potter, C., Rauchenstein, H.R. (1990).** Pflanzenschutz im Integrierten Gemüsebau. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen.
- Shapiro-Ilan, D., McCoy, C.W., Fares, A., Obreza, T., Dou, H. (2000).** Effects of soil type on virulence and persistence of entomopathogenic nematodes in relation to control of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Entomology*, 29(5): 1083–1087.
- Shapiro-Ilan, D.I., Cottrell, T.E., Mizell, R.F., Horton, D.L., Davis, J. (2009).** A novel approach to biological control with entomopathogenic nematodes: Prophylactic control of the peachtree borer, *Synanthedon exitiosa*. *Biological Control*, 48(3): 259–263.
- Shapiro-Ilan, D.I., Gouge, D.H., Piggott, S.J., Fife, J.P. (2006).** Application technology and environmental considerations for use of entomopathogenic nematodes in biological control. *Biological Control*, 38(1): 124–133.
- Shapiro-Ilan, D.I., Han, R.C., Dolinski, C. (2012).** Entomopathogenic nematode production and application technology. *Journal of Nematology*, 44(2): 206–217.
- Shapiro-Ilan, D.I., Hazir, S., Lete, L. (2015).** Viability and virulence of entomopathogenic nematodes exposed to ultraviolet radiation. *Journal of Nematology*, 47(3): 184–189.
- Shelton, A.M., Nault, B.A. (2004).** Dead-end trap cropping: a technique to improve management of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Crop Protection*, 23(6): 497–503.
- Shi, K., Wang, L., Zhou, Y.-H., Yu, Y.-L., Yu, J.-Q. (2009).** Effects of calcium cyanamide on soil microbial communities and *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumbrinum*. *Chemosphere*, 75(7): 872–877.
- Shuhang, W., Voorrips, R.E., Steenhuis-Broers, G., Vosman, B., van Loon, J.J.A. (2016).** Antibiosis resistance against larval cabbage root fly, *Delia radicum*, in wild *Brassica*-species. *Euphytica*, 211(2): 139–155.
- Siekmann, G., Hommes, M. (2007a).** Exclusion fences against cabbage root fly and carrot fly. *IOBC/WPRS Bulletin*, 30(8): 107–112.
- Siekmann, G., Hommes, M. (2007b).** Yellow rocket (*Barbarea vulgaris*) as a trap crop in cole crops? *IOBC/WPRS Bulletin*, 30(8): 101–106.

- Simon-Delso, N., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L.P., Bonmatin, J.M., Chagnon, M., Downs, C., Furlan, L., Gibbons, D.W., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D.P., Krupke, C.H., Liess, M., Long, E., McField, M., Mineau, P., Mitchell, E.A.D., Morrissey, C.A., Noome, D.A., Pisa, L., Settele, J., Stark, J.D., Tapparo, A., Van Dyck, H., Van Praagh, J., Van der Sluijs, J.P., Whitehorn, P.R., Wiemers, M. (2015).** Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): Trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1): 5–34.
- Simser, D. (1992).** Field application of entomopathogenic nematodes for control of *Delia radicum* in collards. *Journal of Nematology*, 24(3): 374–378.
- Smits, P.H. (1996).** Post-application persistence of entomopathogenic nematodes. *Biocontrol Science and Technology*, 6(3): 379–388.
- Soler, R., Bezemer, T.M., Cortesero, A.M., Van der Putten, W.H., Vet, L.E., Harvey, J.A. (2007).** Impact of foliar herbivory on the development of a root-feeding insect and its parasitoid. *Oecologia*, 152(2): 257–264.
- Solomon, A., Paperna, I., Glazer, I. (1999).** Desiccation survival of the entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*: induction of anhydrobiosis. *Nematology*, 1: 61–68.
- Spiess-Urania Chemicals GmbH (o. J.).** Dantop® http://www.spiess-urania.com/GGTSPU-styx2.jki.bund.de-11635-740767-vUZl0hwRmCKJIXSo-DAT/download/produkte/risol_ex_d_pack/dantop_ga.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Spike, B.P., Tollefson, J.J. (1989).** Relationship of plant phenology to corn yield loss resulting from western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) larval injury, nitrogen deficiency, and high plant density. *Journal of Economic Entomology*, 82(1): 226–231.
- St. Leger, R.J. (2008).** Studies on adaptations of *Metarhizium anisopliae* to life in the soil. *Journal of Invertebrate Pathology*, 98(3): 271–276.
- Statistisches Bundesamt (2015).** Betriebe, Anbauflächen, Erträge und Erntemengen von Gemüse. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/ObstGemueseGartenbau/ObstGemueseGartenbau.html> (Letzter Zugriff 12.12.2016).
- Stern, V.M., Smith, R.F., van den Bosch, R., Hagen, K. (1959).** The integrated control concept. *Hilgardia*, 29: 81–101.
- Storey, G.K., Gardner, W.A. (1987).** Vertical movement of commercially formulated *Beauveria bassiana* conidia through four Georgia soil types. *Environmental Entomology*, 16(1): 178–181.
- Storey, G.K., Gardner, W.A. (1988).** Movement of an aqueous spray of *Beauveria bassiana* into the profile of four Georgia soils. *Environmental Entomology*, 17(1): 135–139.
- Studdert, J.P., Kaya, H.K. (1990).** Water potential, temperature, and clay-coating of *Beauveria bassiana* conidia: Effect on *Spodoptera exigua* pupal mortality in two soil types. *Journal of Invertebrate Pathology*, 56(3): 327–336.
- Sulistiyanto, D., Peters, A., Hokkanen, H., Ehlers, R.U. (1994).** Evaluation of entomopathogenic nematode strains for control of *Delia radicum*, *Tipula paludosa* and *T. oleraceae*. *IOBC/WPRS Bulletin*, 17: 140–143.
- Sun, J., Feng, N., Tang, C., Qin, D. (2012).** Determination of cyantraniliprole and its major metabolite residues in pakchoi and soil using Ultra-Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 89(4): 845–852.
- Swales, G.E. (1961).** Laboratory studies on mating and oviposition of *Hylemya brassicae* (Bouché) (Diptera: Anthomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 93(10): 940–943.

- Tantawi, A.M., Isa, A.L. (1984).** Effect of calcium cyanamide on the overwintering larvae of the rice stem borer *Chilo agamemnon* Bles., in rice stubbles. Bulletin of the Entomological Society of Egypt, 12: 83-86.
- Thomas, M.B., Read, A.F. (2007).** Opinion – Can fungal biopesticides control malaria? Nature Reviews Microbiology, 5(5): 377–383.
- Thompson, D.G., Harris, B.J., Buscarini, T.M., Chartrand, D.T. (2002a).** Fate of spinosad in litter and soils of a whit spruce plantation in central Ontario. Pest Management Science, 58: 397–404.
- Thompson, D.G., Harris, B.J., Lanteigne, L.J., Buscarini, T.M., Chartrand, D.T. (2002b).** Fate of spinosad in litter and soils of a mixed conifer stand in the Acadian forest region of New Brunswick. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(4): 790–795.
- Tofangrazi, N., Arthurs, S.P., Giblin-Davis, R. (2012).** Entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida: families Steinernematidae and Heterorhabditidae). University of Florida IFAS Extension Featured Creatures and EDIS articles, <http://edis.ifas.ufl.edu/in944> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Turnock, W.J., Boivin, G., Whistlecraft, J.W. (1995).** Parasitism of overwintering puparia of the cabbage maggot, *Delia radicum* (L.)(Diptera: Anthomyiidae), in relation to host density and weather factors. The Canadian Entomologist, 127(04): 535–542.
- Tuttle, A.F., Ferro, D.N., Idoine, K. (1988).** Role of visual and olfactory stimuli in host finding of adult cabbage root flies, *Delia radicum*. Entomologia Experimentalis et Applicata, 47(1): 37–44.
- Uneme, H. (2011).** Chemistry of Clothianidin and related compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59(7): 2932–2937.
- van Sloun, P. (1989).** Bekämpfung der kleinen Kohlflye *Delia radicum* L. und der Wintersaateule *Agrotis segetum* Schiff. mit entomophagen Nematoden der Gattungen Steinernematidae und Heterorhabditidae sowie Einfluss biotischer Faktoren auf das Verhalten der Nematoden. Doktorarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- van Witzke, H., Noleppa, S. (2011).** Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland. agripol - network for policy advice GbR, https://www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/departments/daoe/bk/ihe/Veroeff/psm_market_effekte_final.pdf (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- Vänninen, I. (1996).** Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: Effect of geographical location, habitat type and soil type. Mycological Research, 100(1): 93–101.
- Vänninen, I., Hokkanen, H., Tyni-Juslin, J. (1999a).** Attempts to control cabbage root flies *Delia radicum* L., and *Delia floralis* (Fall.) (Dipt., Anthomyiidae) with entomopathogenic fungi: Laboratory and greenhouse tests. Journal of Applied Entomology, 123(2): 107–113.
- Vänninen, I., Hokkanen, H., Tyni-Juslin, J. (1999b).** Screening of field performance of entomopathogenic fungi and nematodes against cabbage root flies (*Delia radicum* L. and *D. floralis* (Fall.), Diptera, Anthomyiidae). Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science, 49(3): 167–183.
- Verreet, J.-A., Dehne, H.-W. (2013).** Integrierter Pflanzenschutz (IPS). In: Poehling, H.-M., Verreet, J.-A. (Hrsg.). Lehrbuch der Phytomedizin. Ulmer Verlag, 494–518.
- Vilsmeier, K., Amberger, A. (1978).** Modellversuch zum Umsatz von gemahlenem Kalkstickstoff und Perlkalkstickstoff in Abhängigkeit von Bodenfeuchtigkeit und Applikationsform. Journal of Agronomy and Crop Science, 147: 68-77.

- VN (2010).** UNECE-NORM FFV-48 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle von Brokkoli Ausgabe 2010. Vereinte Nationen. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/fresh/FFV-Std/German/Brokkoli.pdf> (Letzter Zugriff 15.01.2017).
- von Wyl, T., Baur, R. (2002).** Mit dem Prognosemodell SWAT das Auftreten der Kohlflyge vorhersagen. *Der Gemüsebau/Le Maraîcher*, 11: 1–4.
- Wadsworth, J.T. (1915).** On the life-history of *Aleochara bilineata* Gyll., a staphylinid parasite of *Chortophila brassicae* Bouché. *Journal of Economic Biology*, 10: 1–27.
- Wallace, S.K., Eigenbrode, S.D. (2002).** Changes in the glucosinolate-myrosinase defense system in *Brassica juncea* cotyledons during seedling development. *Journal of Chemical Ecology*, 28(2): 243–256.
- Wang, L., Hu, T., Ji, L., Cao, K. (2007).** Inhibitory efficacy of calcium cyanamide on the pathogens of replant diseases in strawberry. *Frontiers of Agriculture in China*, 1(2): 183–187.
- Wheatley, G.A., Thompson, A.R. (1981).** Pest damage and insecticide performance in vegetable crops for processing. In: Goodenough, P.W., Atkin, R.K. (Eds.). *Quality in stored and processed vegetables and fruit*. Academic Press, 165–174.
- Wiles, J.A., Annan, I.B., Portillo, H.E., Rison, J.L., Dinter, A., Frost, N.M. (2011).** Cyantraniliprole (DuPont TM Cyazypyr TM) a novel, substituted anthranilic diamide insecticide for cross-spectrum control of sucking & chewing pests. Les Cochenilles: ravageur principal ou secondaire. Neuvième Conférence Internationale sur les Ravageurs en Agriculture, SupAgro, 25-27 octobre 2011, 698–705.
- William, D.J.K. (1992).** Insects on Cabbages and Oilseed Rape *Naturalists' Handbook* 18.
- Williams, T., Valle, J., Viñuela, E. (2003).** Is the naturally derived insecticide Spinosad® compatible with insect natural enemies? *Biocontrol Science and Technology*, 13(5): 459–475.
- Willmott, D.M., Hart, A.J., Long, S.J., Richardson, P.N., Chandler, D. (2002).** Susceptibility of cabbage root fly *Delia radicum*, in potted cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*) to isolates of entomopathogenic nematodes (*Steinernema* and *Heterorhabditis* spp.) indigenous to the UK. *Nematology*, 4(8): 965–970.
- Wilson, M., Gaugler, R. (2004).** Factors limiting short-term persistence of entomopathogenic nematodes. *Journal of Applied Entomology*, 128(4): 250–253.
- Wishart, G., Monteith, A.E. (1954).** *Trybliographa rapae* (Westw.) (Hymenoptera: Cynipidae), a parasite of *Hylemya* spp. (Diptera: Anthomyiidae). *The Canadian Entomologist*, 86: 145–154.
- Zohren, E. (1968).** Laboruntersuchungen zu Massenanzucht, Lebensweise, Eiablage und Eiablageverhalten der Kohlflyge, *Chortophila brassicae* Bouché (Diptera, Anthomyiidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 62(1-4): 139-188.

9 Anhang

Tabelle A 1: Übersicht über die Pflanz- und Erntetermine.

	Blumenkohl Satz 1		Blumenkohl Satz 2		Kohlrabi Satz 1		Kohlrabi Satz 2		Brokkoli	
	Pflanzung Datum/KW	Ernte Datum/KW	Pflanzung Datum/KW	Ernte Datum/KW	Pflanzung Datum/KW	Ernte Datum/KW	Pflanzung Datum/KW	Ernte Datum/KW	Pflanzung Datum/KW	Ernte Datum/KW
2012	4.5./18	13.6./24; 18.7./29	24.7./30	4.9./36; 16.10./42	10.5./19	26.6./26	19.7./29	28.8./35		
	8.5./19	11.7./28; 6.8./32	1.8./32	17.9./38; 8.10./41	7.5./19	1.7./27			DE 19.7./29	DE 8.10./41
2013	13.6./24 Extrabeet	2.8./32; 27.8./35 Extrabeet							SI 26.4./17	SI 03.07./27
2014	28.4./18	12.6./24; 22.7./30	29.7./30	11.9./37; 27.10./44						

KW: Kalenderwoche; DE: Deutschland; SI: Slowenien

Tabelle A 2: Bewässerungstabelle der Versuchspflanzen. Angegeben ist, welche Wassermenge (ml) zu jedem Topf dazugegeben werden muss, um die gemessene Substratfeuchtigkeitsdifferenz (%) auszugleichen.

Tonsubstrat:Sand		Toniger Lehm	
Feuchtigkeitsdifferenz (%)	Wassermenge (ml)	Feuchtigkeitsdifferenz (%)	Wassermenge (ml)
2-3	10	1	5
4-6	15	2-3	15
7-8	20	4-5	25
9	25	6-8	30
10	30	9-10	35
11	40	11-12	40
12	50	13	50
13	55	14	60
14	60	17-18	75
17	70	19-20	80
21	75	23	90
22	80		
23	90		
24	100		
25	105		
26	110		
28	120		
29	130		
31	140		
32	150		

Tabelle A 3: Durchschnittliche Substratfeuchtigkeitsverluste im Zeitraum von 24 Stunden bei den unterschiedlichen Substraten und Feuchtigkeitsvarianten.

	Bodenfeuchtigkeit	Durchschnittlicher Feuchtigkeitsverlust in 24 h in Vol.-% ± SE
Versuch I	Trocken	12,2 ± 0,1
	Feucht	18,5 ± 0,1
	Nass	21,4 ± 0,1
Versuch II A	Trocken	12,2 ± 0,1
	Feucht	17,2 ± 0,2
	Nass	21,0 ± 0,3
Versuch II B	Trocken	9,0 ± 0,1
	Feucht	12,5 ± 0,2
	Nass	16,1 ± 0,2

9.1 Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 4 beschriebenen Versuchen

Tabelle A 4: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlfliege.

Versuch 1			Versuch 2		
Behandlung	MW	SE	Behandlung	MW	SE
Kontrolle	5.1	0.40	Kontrolle	5.9	0.54
SpinTor™	1.3	0.42	SpinTor™	2.2	0.47
DPX-HGW86 10 OD	0.5	0.41	Coragen®	1.1	0.52
Dantop®	1.6	0.34	nemaplus®	2.5	0.41
MACRO-MITE	4.2	0.79	MACRO-MITE	3.7	0.69
Versuch 3			Versuch 4		
Behandlung	MW	SE	Behandlung	MW	SE
Kontrolle	5.6	0.58	Kontrolle	5.3	0.53
SpinTor™	0.1	0.07	SpinTor™	0.9	0.29
Naturalis®	5.9	0.29	DPX-HGW86 10 OD	0.4	0.16
nemaplus®	0.9	0.46	nemaplus® (2x)	2.5	0.38
PERLKA®	6.4	0.55	nemaplus® (3x)	0.9	0.30
MACRO-MITE	2.6	0.52	MACRO-MITE	3.7	0.57

Tabelle A 5: Vergleich des Wurzelanteils in den jeweiligen Schadklassen.

Versuch 1					Versuch 2				
Behandlung	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Behandlung	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)			
	0	1	2	3		0	1	2	3
Kontrolle	0.0	0.00	13.3	86.7	Kontrolle	0.0	0.0	66.7	33.3
SpinTor™	26.7	13.3	53.3	6.7	SpinTor™	13.3	6.7	60.0	20.0
DPX-HGW86 10 OD	73.3	13.3	6.7	6.7	Coragen®	46.7	33.3	20.0	0.0
Dantop®	6.7	26.7	66.7	0.0	nemaplus®	0.0	0.0	86.7	13.3
MACRO-MITE	6.7	0.0	26.7	66.7	MACRO-MITE	0.0	0.0	80.0	20.0
Versuch 3					Versuch 4				
Behandlung	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Behandlung	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)			
	0	1	2	3		0	1	2	3
Kontrolle	0.0	0.0	80.0	20.0	Kontrolle	0.0	0.0	86.7	13.3
SpinTor™	60.0	33.3	6.7	0.0	SpinTor™	26.7	26.7	46.7	0.0
Naturalis®	0.0	0.0	40.0	60.0	DPX-HGW86 10 OD	60.0	13.3	26.7	0.0
nemaplus®	0.0	0.0	80.0	20.0	nemaplus® (2x)	0.0	0.0	86.7	13.3
PERLKA®	0.0	0.0	20.0	80.0	nemaplus® (3x)	0.0	0.0	80.0	20.0
MACRO-MITE	0.0	13.3	86.7	0.0	MACRO-MITE	0.0	0.0	73.3	26.7

ANHANG

Tabelle A 6: Schlupfrate der Kleinen Kohlflye.

Versuch 1					Versuch 2				Versuch 3					Versuch 4					
Behandlung	n	Schlupfrate (%)	♂♂ (%)	♀♀ (%)	Behandlung	n	Schlupfrate (%)	♂♂ (%)	♀♀ (%)	Behandlung	n	Schlupfrate (%)	♂♂ (%)	♀♀ (%)	Behandlung	n	Schlupfrate (%)	♂♂ (%)	♀♀ (%)
Kontrolle	40	17.5	57.1	42.9	Kontrolle	71	15.5	45.5	54.5	Kontrolle	83	45.8	44.7	55.3	Kontrolle	38	26.3	50.0	50.0
SpinTor™	2	0	-	-	SpinTor™	22	68.2	20.0	80.0	SpinTor™	1	100.0	100.0	0.0	SpinTor™	9	55.6	20.0	80.0
DPX-HGW86 10 OD	4	25.0	100.0	0.0	Coragen®	9	77.8	42.9	57.1	Naturalis®	83	33.7	50.0	50.0	DPX-HGW86 10 OD	1	100.0	100.0	0.0
Dantop®	13	23.1	33.3	66.7	nemaplus®	23	8.7	0.0	100.0	nemaplus®	11	45.5	80.0	20.0	nemaplus® (2x)	27	25.9	42.9	57.1
MACRO-MITE	30	26.7	37.5	62.5	MACRO-MITE	41	24.4	40.0	60.0	MACRO-MITE	36	52.8	42.1	57.9	nemaplus® (3x)	7	42.9	0.0	100.0
										PERLKA®	93	60.2	44.6	55.4	MACRO-MITE	34	52.9	44.4	55.6

ANHANG

Tabelle A 7: Statistischer Vergleich der Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlfliege. Versuch 1: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW 86 10 OD, VG4= Dantop®, VG5= MACRO-MITE; Versuch 2: VG1= Kontrolle, VG3= SpinTor™, VG4= Coragen®, VG5= nemapulus® (2x), VG6= MACRO-MITE; Versuch 3: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= nemapulus® (3x), VG5= PERLKA®, VG6= MACRO-MITE; Versuch 4: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW 86 10 OD, VG4= nemapulus® (2x), VG5= nemapulus® (3x), VG6= MACRO-MITE.

Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3		Versuch 4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	<0.001	VG3 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	< 0.001	VG2 - VG1	< 0.01
VG3 - VG1	<0.001	VG4 - VG1	<0.001	VG3 - VG1	0.99955	VG3 - VG1	< 0.01
VG4 - VG1	<0.001	VG5 - VG1	<0.001	VG4 - VG1	< 0.001	VG4 - VG1	< 0.01
VG5 - VG1	0.7473	VG6 - VG1	0.0492	VG5 - VG1	0.93676	VG5 - VG1	< 0.01
VG3 - VG2	0.2251	VG4 - VG3	0.1651	VG6 - VG1	< 0.001	VG6 - VG1	0.2833
VG4 - VG2	0.9369	VG5 - VG3	0.9889	VG3 - VG2	< 0.001	VG3 - VG2	0.5947
VG5 - VG2	<0.001	VG6 - VG3	0.1077	VG4 - VG2	0.10806	VG4 - VG2	0.0129
VG4 - VG3	0.0502	VG5 - VG4	0.0582	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	1.0000
VG5 - VG3	<0.001	VG6 - VG4	<0.001	VG6 - VG2	0.00290	VG6 - VG2	< 0.01
VG5 - VG4	<0.001	VG6 - VG5	0.2788	VG4 - VG3	< 0.001	VG4 - VG3	< 0.01
				VG5 - VG3	0.98966	VG5 - VG3	0.4800
				VG6 - VG3	< 0.001	VG6 - VG3	< 0.01
				VG5 - VG4	< 0.001	VG5 - VG4	0.0209
				VG6 - VG4	0.00603	VG6 - VG4	0.3975
				VG6 - VG5	< 0.001	VG6 - VG5	< 0.01

Tabelle A 8: Statistischer Vergleich von Wirksamkeit und Schadreduktion in Abhängigkeit der Einsatzhäufigkeit und -stärke.

Kontrolle		SpinTor™		nemapulus®		MACRO-MITE	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Versuch 2- Versuch 1	0.788	Versuch 2- Versuch 1	0.19749	Versuch 3- Versuch 2 (3x-2x)	0.00610	Versuch 2- Versuch 1 (10 Stk-5 Stk)	0.918
Versuch 3- Versuch 1	0.946	Versuch 3- Versuch 1	0.01782	Versuch 4- Versuch 2 (2x-2x)	1.00000	Versuch 3- Versuch 1 (20 Stk-5 Stk)	0.086
Versuch 4- Versuch 1	0.999	Versuch 4- Versuch 1	0.69373	Versuch 4- Versuch 2 (3x-2x)	0.01000	Versuch 4- Versuch 1 (10+10 Stk- 5 Stk)	0.882
Versuch 3- Versuch 2	0.981	Versuch 3- Versuch 2	0.00271	Versuch 4- Versuch 3 (2x-3x)	0.00633	Versuch 3- Versuch 2 (20 Stk- 10 Stk)	0.305
Versuch 4- Versuch 2	0.868	Versuch 4- Versuch 2	0.01949	Versuch 4- Versuch 3 (3x-3x)	0.99740	Versuch 4- Versuch 2 (10+10 Stk- 10 Stk)	1.000
Versuch 4- Versuch 3	0.980	Versuch 4- Versuch 3	0.05514	Versuch 4- Versuch 4 (3x-2x)	0.01034	Versuch 4- Versuch 3 (10+10 Stk- 20 Stk)	0.354

Tabelle A 9: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen. Versuch 1: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW 86 10 OD, VG4= Dantop®, VG5= MACRO-MITE; Versuch 2: VG1= Kontrolle, VG3= SpinTor™, VG4= Coragen®, VG5= nemapulus® (2x), VG6= MACRO-MITE; Versuch 3: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= nemapulus® (3x), VG5= PERLKA®, VG6= MACRO-MITE; Versuch 4: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW 86 10 OD, VG4= nemapulus® (2x), VG5= nemapulus® (3x), VG6= MACRO-MITE.

Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3		Versuch 4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	<0.001	VG3 - VG1	0.316	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	0.00194
VG3 - VG1	<0.001	VG4 - VG1	<1e-04	VG3 - VG1	0.47513	VG3 - VG1	<0.001
VG4 - VG1	0.02174	VG5 - VG1	0.982	VG4 - VG1	1.00000	VG4 - VG1	1.00000
VG5 - VG1	0.87274	VG6 - VG1	0.996	VG5 - VG1	0.18512	VG5 - VG1	0.99997
VG3 - VG2	0.00391	VG4 - VG3	<1e-04	VG6 - VG1	0.70379	VG6 - VG1	0.99910
VG4 - VG2	0.81756	VG5 - VG3	0.645	VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	0.05149
VG5 - VG2	0.01556	VG6 - VG3	0.529	VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG2	0.00195
VG4 - VG3	<0.001	VG5 - VG4	<1e-04	VG5 - VG2	<0.001	VG5 - VG2	0.00104
VG5 - VG3	<0.001	VG6 - VG4	<1e-04	VG6 - VG2	<0.001	VG6 - VG2	<0.001
VG5 - VG4	0.20852	VG6 - VG5	1.000	VG4 - VG3	0.47521	VG4 - VG3	<0.001
				VG5 - VG3	0.99331	VG5 - VG3	<0.001
				VG6 - VG3	0.02112	VG6 - VG3	<0.001
				VG5 - VG4	0.18484	VG5 - VG4	0.99997
				VG6 - VG4	0.70378	VG6 - VG4	0.99910
				VG6 - VG5	0.00378	VG6 - VG5	0.99997

ANHANG

Tabelle A 10: Statistischer Vergleich des Frischgewichts. Versuch 3: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= nemaplus® (3x), VG5= PERLKA®, VG6= MACRO-MITE; Versuch 4: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW 86 10 OD, VG4= nemaplus® (2x), VG5= nemaplus® (3x), VG6= MACRO-MITE.

Versuch 3		Versuch 4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	0.0918
VG3 - VG1	0.99981	VG3 - VG1	0.1820
VG4 - VG1	0.18509	VG4 - VG1	0.9919
VG5 - VG1	0.07800	VG5 - VG1	0.0788
VG6 - VG1	0.98547	VG6 - VG1	0.4126
VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	0.9996
VG4 - VG2	0.00598	VG4 - VG2	0.3033
VG5 - VG2	<0.001	VG5 - VG2	1.0000
VG6 - VG2	<0.001	VG6 - VG2	0.9706
VG4 - VG3	0.30383	VG4 - VG3	0.4859
VG5 - VG3	0.03949	VG5 - VG3	0.9990
VG6 - VG3	0.99869	VG6 - VG3	0.9972
VG5 - VG4	<0.001	VG5 - VG4	0.2716
VG6 - VG4	0.54165	VG6 - VG4	0.7782
VG6 - VG5	0.01264	VG6 - VG5	0.9589

Tabelle A 11: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Anzahl Larven/Puppen - Wurzelschaden - Gewicht).

Versuch 1			Versuch 2		
Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und Schadklasse	0.8833188	< 2.2e-16	Larven/Puppen und Schadklasse	0.7080038	1.217e-12
Versuch 3			Versuch 4		
Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und Schadklasse	0.6242459	4.901e-11	Larven/Puppen und Schadklasse	0.6040655	2.914e-10
Schadklasse und Gewicht	-0.6451661	6.708e-12	Schadklasse und Gewicht	-0.2222207	0.03528

9.2 Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 5 beschriebenen Versuchen

Tabelle A 12: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye im Wurzelbereich von Blumenkohl.

Behandlung	Satz 1				Satz 2				
	Zwischenbonitur		Endbonitur		Zwischenbonitur		Endbonitur		
	MW	SE	MW	SE	MW	SE	MW	SE	
2012	Kontrolle	4.0	1.19	5.9	0.91	20.1	1.97	39.1	3.45
	SpinTor™	0.4	0.22	3.3	0.52	2.8	0.71	14.1	1.87
	nemaplus®	3.2	0.81	5.7	0.83	21.4	4.28	33.4	3.24
	PERLKA®	12.4	2.24	10.3	1.32	27.8	3.78	58.4	5.35
	Naturalis®	3.2	0.71	7.3	1.20	27.1	3.07	44.5	3.35
2013	Kontrolle	1.0	0.37	3.7	0.80	11.3	1.70	23.1	1.68
	SpinTor™	0.3	0.21	2.3	0.56	4.4	0.93	10.5	1.65
	DPX-HGW86 OD	0.5	0.22	2.5	0.50	4.8	1.46	15.3	2.12
	nemaplus®	0.5	0.22	3.9	0.70	9.8	2.09	17.7	1.65
	PERLKA®	1.0	0.30	6.5	0.91	15.7	1.85	26.9	2.79
2014	Kontrolle	2.3	0.65	4.4	0.69	12.9	2.41	36.6	5.42
	SpinTor™	0.3	0.21	1.6	0.38	1.3	0.42	9.1	1.63
	nemaplus®	2.5	0.76	3.2	0.70	7.3	1.02	25.8	3.44
	MACRO-MITE	3.1	0.74	3.1	0.52	8.1	3.05	33.8	4.23
	nemaplus® + MACRO-MITE	1.8	0.61	4.9	0.81	6.5	1.46	27.0	3.24

Tabelle A 13: Vergleich des Wurzelanteils von Blumenkohlpflanzen in den jeweiligen Schadklassen.

Behandlung	Satz 1								Satz 2								
	Zwischenbonitur				Endbonitur				Zwischenbonitur				Endbonitur				
	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
2012	Kontrolle	0.0	16.0	44.0	40.0	2.0	41.8	51.0	5.1	0.0	4.0	60.0	36.0	0.0	7.9	90.8	1.3
	SpinTor™	14.0	12.0	50.0	24.0	2.0	59.6	35.3	3.0	0.0	36.0	38.0	26.0	0.0	24.0	73.3	2.7
	nemaplus®			40.0						0.0	8.0	72.0	20.0				
	PERLKA®	12.0	24.0	.	24.0	0.0	30.3	62.6	7.1					0.0	9.3	88.0	2.7
	Naturalis®	2.0	8.0	26.0	64.0	0.0	27.0	61.0	11.0	0.0	2.0	46.0	52.0	0.0	1.3	93.3	5.3
2013	Kontrolle	8.0	24.0	46.0	22.0	0.0	41.8	53.1	5.1	0.0	6.0	68.0	26.0	0.0	4.0	92.0	4.0
	SpinTor™	58.0	26.0	18.0	0.0	10.7	18.7	41.3	29.3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	DPX-HGW86	62.0	32.0	6.0	0.0	21.6	13.5	47.3	17.6	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	nemaplus®	69.4	18.4	12.2	0.0	15.1	30.1	43.8	11.0	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	PERLKA®	64.0	24.0	12.0	0.0	13.7	21.9	41.1	23.3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2014	Kontrolle	77.5	10.2	12.2	0.0	6.8	17.6	60.8	14.9	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	SpinTor™	46.0	30.0	22.	2.0	36.0	61.3	2.7	0.0	4.0	2.0	12.0	82.0	2.0	8.0	90.0	0.0
	nemaplus®	86.0	12.0	2.0	0.0	64.0	36.0	0.0	0.0	8.0	24.0	32.0	36.0	4.0	30.0	68.0	0.0
	MACRO-MITE	42.0	36.0	22.0	0.0	26.7	72.0	0.0	0.0	6.0	10.0	24.0	60.0	0.0	14.0	88.0	0.0
	nemaplus® + MACRO-MITE	38.0	36.0	26.0	0.0	36.0	60.0	4.0	0.0	8.0	8.0	24.0	60.0	2.0	12.0	88.0	0.0

n.e.: nicht erhoben

ANHANG

Tabelle A 14: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye im Wurzelbereich von Kohlrabi.

Behandlung	Satz 1		Satz 2		
	MW	SE	MW	SE	
2012	Kontrolle	2.4	0.57	33.9	2.51
	SpinTor™	0.4	0.18	3.0	0.57
	ECOguard®/Prüfmittel	3.6	0.81	37.4	4.10
	nemaplus®	4.8	0.85	32.7	2.92
	Chinakohl-Fangstreifen	8.7	1.94	20.0	3.84
2013	Kontrolle	6.1	1.09	n.e.	n.e.
	SpinTor™	0.4	0.15	n.e.	n.e.
	MACRO-MITE	2.4	0.55	n.e.	n.e.
	nemaplus®	3.2	0.56	n.e.	n.e.
	Chinakohl-Fangstreifen	33.8	6.84	n.e.	n.e.

n.e.: nicht erhoben

Tabelle A 15: Vergleich des Wurzelanteils von Kohlrabiipflanzen in den jeweiligen Schadklassen.

Behandlung	Satz 1				Satz 2				
	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen(%)				
	0	1	2	3	0	1	2	3	
2012	Kontrolle	37.5	33.8	28.8	0.0	0.0	0.0	39.7	60.3
	SpinTor™	56.3	42.5	1.3	0.0	0.0	8.9	79.7	11.4
	ECOguard®/ Prüfmittel	32.5	32.5	35.0	0.0	0.0	0.0	44.9	55.1
	nemaplus®	26.3	32.5	41.3	0.0	0.0	0.0	46.8	53.2
	Chinakohl Fangstreifen	16.3	41.3	41.3	0.0	0.0	5.0	93.8	1.3
2013	Kontrolle	10.0	25.0	63.8	0.0	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	SpinTor™	38.8	31.3	28.8	1.3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	nemaplus®	15.0	25.0	60.0	0.0	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	MACRO-MITE	15.0	21.3	62.5	1.3	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Chinakohl Fangstreifen	0.0	5.0	95.0	0.0	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

n.e.: nicht erhoben

Tabelle A 16: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye im Wurzelbereich von Brokkoli.

Behandlung	MW	SE	
Deutschland	Kontrolle	66.3	6.40
	SpinTor™	24.6	3.11
	Naturalis®	60.5	7.18
	<i>M. brunneum</i> (Stamm HJS-1154)	60.3	5.35
Slowenien	Kontrolle	6.6	1.48
	SpinTor™	2.7	0.62
	Naturalis®	7.1	1.07
	<i>M. brunneum</i> (Stamm HJS-1154)	8.0	1.13
	PERLKA®	9.1	1.05
	Strohmulch	17.1	3.23

ANHANG

Tabelle A 17: Vergleich des Wurzelanteils von Brokkolipflanzen in den jeweiligen Schadklassen.

Behandlung	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				
	0	1	2	3	
Deutschland	Kontrolle	0.0	2.5	95.0	2.5
	SpinTor™	0.0	12.5	86.3	1.3
	Naturalis®	0.0	1.3	95.0	3.8
	<i>M. brunneum</i> (Stamm HJS-1154)	0.0	1.3	96.3	2.5
Slowenien	Kontrolle	0.0	65.0	35.0	0.0
	SpinTor™	50.0	50.0	0.0	0.0
	Naturalis®	10.0	50.0	35.0	5.0
	<i>M. brunneum</i> (Stamm HJS-1154)	10.0	70.0	20.0	0.0
	PERLKA®	5.0	50.0	45.0	0.0
	Strohmulch	0.0	15.0	50.0	40.0

Tabelle A 18: Vergleich des Gewichts der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des zweiten Satzes 2013 erfassten Kohlfliegenpuppen.

Behandlung	n*	Puppengewicht (mg)			
		Große Puppen MW	Kleine Puppen MW	MW Gesamt	
2013	Kontrolle	10/9/19	18.3	4.5	11.7
	SpinTor™	7/5/12	12.6	6.2	9.9
	DPX-HGW86	8/8/16	13.3	5.1	9.2
	10 OD				
	nemaplus®	7/5/12	9.6	5.1	7.7
	PERLKA®	10/9/19	12.3	5.5	9.1
	MW Gesamt	42/36	13.5	5.2	

n* Gewichte wurden beim Wiegen bereits gemittelt, n* entspricht damit nicht der absoluten Fallzahl.

Tabelle A 19: Vergleich des Gewichts der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des zweiten Satzes 2013 erfassten Kohlfliegenpuppen.

Behandlung	n*	Puppengewicht (mg)			
		Große Puppen	Kleine Puppen	MW Gesamt	
2013	Kontrolle	14/15/29	14.2	6.2	10.1
	SpinTor™	15/15/30	13.4	5.5	9.4
	DPX-HGW86	15/15/30	14.5	5.8	10.2
	10 OD				
	nemaplus®	15/14/29	12.6	5.8	9.3
	PERLKA®	14/16/30	13.6	6.0	9.6
	MW Gesamt	73/75	13.6	5.9	

n* Gewichte wurden beim Wiegen bereits gemittelt, n* entspricht damit nicht der absoluten Fallzahl.

Tabelle A 20: Vergleich des Gewichts der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des ersten Satzes 2014 erfassten Kohlfliegenpuppen.

Behandlung	n*	Puppengewicht ± SE (mg)			
		Große Puppen	Kleine Puppen	MW Gesamt	
2014	Kontrolle	5/3/8	7.6 ± 1.2	2.0 ± 0.6	5.5 ± 1.3
	SpinTor™	1/-/1	2.0 ± B.n.		2.0 ± #DIV/0!
	nemaplus®	2/3/5	9.0 ± 5.0	2.7 ± 0.9	5.2 ± 2.3
	MACRO-MITE	16/3/19	7.9 ± 1.0	5.0 ± 1.0	7.4 ± 0.8
	nemaplus® + MACRO-MITE	1/2/3	11.0 ± B.n.	4.0 ± 1.0	6.3 ± 2.4
	MW Gesamt	25/11	7.8 ± 0.8	3.4 ± 0.5	

n* Gewichte wurden beim Wiegen bereits gemittelt, n* entspricht damit nicht der absoluten Fallzahl.

Tabelle A 21: Vergleich von Gewicht und Größe der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des ersten Satzes 2014 erfassten Kohlfliegenpuppen.

Behandlung	n	Puppengewicht ± SE (mg)			Puppengröße ± SE (mm)			
		Große Puppen	Kleine Puppen	Gesamt	Große Puppen	Kleine Puppen	MW Gesamt	
2014	Kontrolle	12/9/21	8.7 ± 1.0	3.3 ± 0.5	6.4 ± 1.39	5.3 ± 0.2	3.9 ± 0.1	4.7 ± 1.02
	SpinTor™	4/14/18	11.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6	5.8 ± 1.37	5.3 ± 0.3	4.1 ± 0.1	4.4 ± 1.03
	nemaplus®	15/19/34	8.3 ± 0.8	3.5 ± 0.4	5.6 ± 0.96	5.0 ± 0.2	3.8 ± 0.1	4.4 ± 0.75
	MACRO-MITE	15/13/28	10.7 ± 0.9	5.1 ± 0.5	8.1 ± 1.53	5.3 ± 0.2	4.4 ± 0.2	4.9 ± 0.92
	nemaplus® + MACRO-MITE	20/21/41	9.7 ± 0.6	4.0 ± 0.5	6.8 ± 1.06	5.4 ± 0.1	3.9 ± 0.1	4.6 ± 0.72
	MW Gesamt	66/76	9.5 ± 0.39	4.0 ± 0.23		5.2 ± 0.07	4.0 ± 0.07	

ANHANG

Tabelle A 22: Vergleich von Gewicht und Größe der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des zweiten Satzes 2014 erfassten Kohlfiegenpuppen.

	Behandlung	n	Puppengewicht ± SE (mg)			Puppengröße ± SE (mm)			MW Gesamt
			Große Puppen	Kleine Puppen	Gesamt	Große Puppen	Kleine Puppen		
2014	Kontrolle	23/35/58	12.0 ± 0.69	6.1 ± 0.36	8.4 ± 0.51	4.9 ± 0.09	3.7 ± 0.10	4.2 ± 0.11	
	SpinTor™	2/0/2	15.0 ± 0.00		15.0 ± 0.00	6.0 ± 0.00		6.0 ± 0.00	
	nemaplus®	5/14/19	13.4 ± 0.90	9.1 ± 0.43	10.2 ± 0.69	5.0 ± 0.00	4.1 ± 0.06	4.3 ± 0.11	
	MACRO-MITE	20/6/26	13.6 ± 1.25	5.2 ± 1.22	11.6 ± 0.92	5.0 ± 0.32	3.8 ± 0.17	4.7 ± 1.17	
	nemaplus® + MACRO-MITE	7/9/16	13.1 ± 0.94	6.4 ± 0.69	9.4 ± 1.02	5.0 ± 0.00	3.2 ± 0.15	4.0 ± 0.24	
	MW Gesamt	57/64	12.9 ± 1.71	6.7 ± 0.84		5.0 ± 0.08	3.7 ± 0.07		

Tabelle A 23: Vergleich von Gewicht und Größe der an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des zweiten Satzes 2014 erfassten Kohlfiegenpuppen.

	Behandlung	n	Puppengewicht ± SE (mg)			Puppengröße ± SE (mm)			MW Gesamt
			Große Puppen	Kleine Puppen	Gesamt	Große Puppen	Kleine Puppen		
2014	Kontrolle	81/304/385	12.2 ± 0.4	5.9 ± 0.1	7.3 ± 0.17	5.4 ± 0.06	4.0 ± 0.03	4.3 ± 0.04	
	SpinTor™	17/75/92	12.5 ± 0.8	5.1 ± 0.2	6.5 ± 0.36	5.5 ± 0.12	4.0 ± 0.04	4.3 ± 0.07	
	nemaplus®	83/140/223	14.3 ± 0.5	5.7 ± 0.2	8.9 ± 0.34	5.4 ± 0.07	4.0 ± 0.04	4.5 ± 0.06	
	MACRO-MITE	99/246/345	13.7 ± 0.4	5.4 ± 0.1	7.8 ± 0.28	5.3 ± 0.06	3.9 ± 0.03	4.3 ± 0.05	
	nemaplus® + MACRO-MITE	76/149/225	14.3 ± 0.4	5.7 ± 0.1	8.6 ± 0.30	5.7 ± 0.06	3.9 ± 0.04	4.5 ± 0.05	
	MW Gesamt	356/914	13.6 ± 0.21	5.6 ± 0.05		5.4 ± 0.03	3.95 ± 0.02		

Tabelle A 24: Vergleich des Gewichts der an Brokkoli in Deutschland erfassten Kohlfiegenpuppen.

Behandlung	n*	Puppengewicht ± SE (mg)			MW Gesamt
		Große Puppen	Kleine Puppen		
Kontrolle	16/16/32	14.4	6.9	10.7	
SpinTor™	16/16/32	12.4	5.8	9.1	
Naturalis®	16/16/32	12.7	6.2	9.4	
<i>M. brunneum</i>	16/16/32	12.9	6.3	9.6	
MW Gesamt	64	13.1	6.3		

n* Gewichte wurden beim Wiegen bereits gemittelt, n* entspricht damit nicht der absoluten Fallzahl.

Tabelle A 25: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des ersten Satzes 2013 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)								
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt		
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	
2013	Kontrolle	B.n.	B.n.	0.0	100.0	100.0	0.0	33.3	66.7
	SpinTor™	0.0	100.0	B.n.	B.n.	100.0	0.0	50.0	50.0
	DPX-HGW86 10 OD	B.n.	B.n.	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
	nemaplus®	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	100.0	25.0	75.0
	PERLKA®	100.0	0.0	0.0	100.0	B.n.	B.n.	12.5	87.5

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

Tabelle A 26: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des zweiten Satzes 2013 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)								
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt		
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	
2013	Kontrolle	50.0	50.0	0.0	100.0	100.0	0.0	50.0	50.0
	SpinTor™	B.n.	B.n.	0.0	100.0	0.0	100.0	B.n.	B.n.
	DPX-HGW86 10 OD	B.n.	B.n.	100.0	0.0	100.0	0.0	B.n.	B.n.
	nemaplus®	60.0	40.0	0.0	100.0	100.0	0.0	60.0	40.0
	PERLKA®	77.8	33.3	0.0	100.0	100.0	0.0	77.8	33.3

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

ANHANG

Tabelle A 27: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des zweiten Satzes 2013 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
2013 Kontrolle	66.7	33.3	6.7	93.3	80.0	20.0	39.3	60.7
SpinTor™	B.n.	B.n.	0.0	100.0	80.0	20.0	23.5	76.5
DPX-HGW86 10 OD	50.0	50.0	16.7	88.9	78.9	21.1	48.7	53.8
nemaplus®	66.7	33.3	15.4	84.6	87.5	12.5	45.8	54.2
PERLKA®	85.7	14.3	8.7	91.3	88.9	11.1	41.0	59.0

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

Tabelle A 28: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des ersten Satzes 2014 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
2014 Kontrolle	50.0	50.0	16.7	83.3	75.0	25.0	42.9	57.1
SpinTor™	B.n.	B.n.	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0
nemaplus®	100.0	0.0	B.n.	B.n.	75.0	25.0	85.7	14.3
MACRO-MITE	100.0	0.0	75.0	25.0	100.0	0.0	91.7	8.3
nemaplus® + MACRO-MITE	100.0	0.0	0.0	100.0	B.n.	B.n.	66.7	33.3

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

Tabelle A 29: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des ersten Satzes 2014 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
2014 Kontrolle	100.0	0.0	100.0	0.0	50.0	50.0	83.3	16.7
SpinTor™	B.n.	B.n.	33.3	66.7	0.0	100.0	25.0	75.0
nemaplus®	B.n.	B.n.	20.0	80.0	66.7	33.3	37.5	62.5
MACRO-MITE	100.0	0.0	33.3	66.7	40.0	60.0	50.0	50.0
nemaplus® + MACRO-MITE	100.0	0.0	0.0	100.0	55.6	44.4	42.9	57.1

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

Tabelle A 30: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Zwischenbonitur des zweiten Satzes 2014 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
2014 Kontrolle	85.7	14.3	31.8	68.2	-	-	44.8	55.2
SpinTor™	-	-	-	-	-	-	-	-
nemaplus®	50.0	50.0	12.5	87.5	-	-	28.6	71.4
MACRO-MITE	83.3	16.7	50.0	50.0	-	-	66.7	33.3
nemaplus® + MACRO-MITE	80.0	20.0	0.0	100.0	-	-	66.7	33.3

Tabelle A 31: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Blumenkohl zum Zeitpunkt der Endbonitur des zweiten Satzes 2014 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflye (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
2014 Kontrolle	83.3	16.7	13.1	86.9	55.2	44.8	31.3	68.8
SpinTor™	85.7	14.3	2.8	97.2	50.0	50.0	17.8	82.2
nemaplus®	100.0	0.0	11.9	88.1	64.7	35.3	38.9	61.1
MACRO-MITE	100.0	0.0	10.9	89.1	56.3	43.8	32.3	67.7
nemaplus® + MACRO-MITE	100.0	0.0	9.6	90.4	66.7	33.3	32.6	67.4

ANHANG

Tabelle A 32: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Kohlrabi 2013 erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflyge (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
Kontrolle	62.5	37.5	0.0	100.0	0.0	0.0	54.1	45.9
SpinTor™	100.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	33.3	66.7
nemaplus®	73.3	26.7	16.7	83.3	0.0	0.0	57.1	42.9
MACRO-MITE	80.0	20.0	B.n.	B.n.	0.0	0.0	80.0	20.0

Tabelle A 33: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Chinakohl-Fangpflanzen (Hauptkultur Kohlrabi) erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflyge (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
Kontrolle	89.0	11.0	7.2	92.3	33.3	73.3	36.1	63.9

Tabelle A 34: Schlupfraten unterteilt in große und kleine Kohlfiegenpuppen. Diese wurden an Brokkoli in Deutschland erfasst.

Behandlung	Schlupfrate (%)							
	Kleine Kohlflyge (<i>D. radicum</i>)		Schlupfwespe (<i>T. rapae</i>)		Kurzflügelkäfer (<i>A. bilineata</i>)		Gesamt	
	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen	aus großen Puppen	aus kleinen Puppen
Kontrolle	65.3	34.7	17.6	82.4	80.6	19.4	43.0	57.0
SpinTor™	88.2	11.8	14.3	85.7	81.0	19.0	42.4	57.6
Naturalis®	82.2	17.8	12.7	87.3	59.3	40.7	38.0	62.0
<i>M. brunneum</i>	71.7	28.3	7.5	92.5	62.8	37.2	38.7	61.3

Tabelle A 35: Statistischer Vergleich der an Blumenkohl erfassten Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlflyge. Versuchssaison 2012: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4=PERLKA®, VG5= Naturalis®, Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW86 10 OD, VG4= nemaplus®, VG5= PERLKA®; Versuchssaison 2014: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur		Endbonitur		Zwischenbonitur		Endbonitur	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	0.00194	VG2 - VG1	< 0.001	VG2 - VG1	< 0.001
	VG3 - VG1	0.868	VG3 - VG1	0.99726	VG3 - VG1	0.9663	VG3 - VG1	0.0721
	VG4 - VG1	<0.001	VG4 - VG1	< 0.001	VG4 - VG1	0.0610	VG4 - VG1	< 0.001
	VG5 - VG1	0.868	VG5 - VG1	0.41531	VG5 - VG1	0.0103	VG5 - VG1	0.2114
	VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	0.00679	VG3 - VG2	< 0.001	VG3 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	< 0.001
	VG5 - VG2	<0.001	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG3	<0.001	VG4 - VG3	< 0.001	VG4 - VG3	0.2489	VG4 - VG3	< 0.001
	VG5 - VG3	1.000	VG5 - VG3	0.24779	VG5 - VG3	0.0667	VG5 - VG3	< 0.001
	VG5 - VG4	<0.001	VG5 - VG4	0.01218	VG5 - VG4	0.9855	VG5 - VG4	< 0.001
2013	VG2 - VG1	0.350	VG2 - VG1	0.14100	VG2 - VG1	< 0.001	VG2 - VG1	< 0.001
	VG3 - VG1	0.706	VG3 - VG1	0.33952	VG3 - VG1	< 0.001	VG3 - VG1	< 0.001
	VG4 - VG1	0.706	VG4 - VG1	0.99861	VG4 - VG1	0.83498	VG4 - VG1	0.00936
	VG5 - VG1	1.000	VG5 - VG1	0.00879	VG5 - VG1	0.05625	VG5 - VG1	0.22525
	VG3 - VG2	0.955	VG3 - VG2	0.98956	VG3 - VG2	0.99339	VG3 - VG2	0.00305
	VG4 - VG2	0.955	VG4 - VG2	0.07468	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	< 0.001
	VG5 - VG2	0.349	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG3	1.000	VG4 - VG3	0.20695	VG4 - VG3	< 0.001	VG4 - VG3	0.48151
	VG5 - VG3	0.706	VG5 - VG3	< 0.001	VG5 - VG3	< 0.001	VG5 - VG3	< 0.001
	VG5 - VG4	0.706	VG5 - VG4	0.02079	VG5 - VG4	0.00217	VG5 - VG4	< 0.001
2014	VG2 - VG1	0.00643	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	< 0.001
	VG3 - VG1	0.99830	VG3 - VG1	0.4393	VG3 - VG1	<0.001	VG3 - VG1	< 0.001
	VG4 - VG1	0.79854	VG4 - VG1	0.3783	VG4 - VG1	0.00812	VG4 - VG1	0.82427
	VG5 - VG1	0.93022	VG5 - VG1	0.9605	VG5 - VG1	<0.001	VG5 - VG1	0.00124
	VG3 - VG2	0.00379	VG3 - VG2	0.0421	VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	0.0547	VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG2	< 0.001
	VG5 - VG2	0.02788	VG5 - VG2	<0.001	VG5 - VG2	<0.001	VG5 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG3	0.92348	VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	0.96503	VG4 - VG3	0.00906
	VG5 - VG3	0.81034	VG5 - VG3	0.1289	VG5 - VG3	0.95744	VG5 - VG3	0.98456
	VG5 - VG4	0.32744	VG5 - VG4	0.1027	VG5 - VG4	0.66038	VG5 - VG4	0.04467

ANHANG

Tabelle A 36: Statistischer Vergleich der an Kohlrabi erfassten Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye. Versuchssaison 2012 Satz 1: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= ECOguard®, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2012 Satz 2: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Prüfmittel, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= MACRO-MITE, VG4= nemaplus®; C= Chinakohl.

	Satz 1		Satz 2	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	< 0.001	VG2 - VG1	<0.001
	VG3 - VG1	0.18134	VG3 - VG1	0.3250
	VG4 - VG1	0.00133	VG4 - VG1	0.9223
	VG3 - VG2	< 0.001	VG3 - VG2	<0.001
	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	<0.001
	VG4 - VG3	0.29228	VG4 - VG3	0.0948
	C - VG1	< 0.001	C - VG1	<0.001
	C - VG2	< 0.001	C - VG2	<0.001
	C - VG3	0.00571	C - VG3	<0.001
C - VG4	0.11962	C - VG4	<0.001	
2013	VG2 - VG1	<0.001		
	VG3 - VG1	<0.001		
	VG4 - VG1	<0.001		
	VG3 - VG2	<0.001		
	VG4 - VG2	<0.001		
	VG4 - VG3	0.491		
	C - VG1	<0.001		
	C - VG2	<0.001		
C - VG3	<0.001			
C - VG4	<0.001			

Tabelle A 37: Statistischer Vergleich der an Brokkoli erfassten Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye. Deutschland: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= *M. brunneum*; Slowenien: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Strohmulch, VG4= PERLKA®, *M. brunneum*.

	Vergleich	p-Wert
Deutschland	VG2 - VG1	<0.001
	VG3 - VG1	0.162
	VG4 - VG1	0.140
	VG3 - VG2	<0.001
	VG4 - VG2	<0.001
	VG4 - VG3	1.000
Slowenien	VG2 - VG1	<0.001
	VG3 - VG1	0.9939
	VG4 - VG1	0.5995
	VG5 - VG1	0.0607
	VG6 - VG1	<0.001
	VG3 - VG2	<0.001
	VG4 - VG2	<0.001
	VG5 - VG2	<0.001
	VG6 - VG2	<0.001
	VG4 - VG3	0.9003
	VG5 - VG3	0.2174
	VG6 - VG3	<0.001
VG5 - VG4	0.8337	
VG6 - VG4	<0.001	
VG6 - VG5	<0.001	

ANHANG

Tabelle A 38: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen an Blumenkohlwurzeln. Versuchssaison 2012: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4=PERLKA®, VG5= Naturalis®; Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW86 10 OD, VG4= nemaplus®, VG5= PERLKA®; Versuchssaison 2014: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur		Endbonitur		Zwischenbonitur		Endbonitur	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	0.05671	VG2 - VG1	0.1361	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	0.0272
	VG3 - VG1	0.02196	VG3 - VG1	0.1560	VG3 - VG1	0.4567	VG3 - VG1	1.0000
	VG4 - VG1	0.78098	VG4 - VG1	0.0202	VG4 - VG1	0.5850	VG4 - VG1	0.3267
	VG5 - VG1	0.09851	VG5 - VG1	0.9610	VG5 - VG1	0.8599	VG5 - VG1	0.7760
	VG3 - VG2	0.99745	VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	0.1458	VG3 - VG2	0.0361
	VG4 - VG2	0.00125	VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG2	<0.001
	VG5 - VG2	0.99953	VG5 - VG2	0.0222	VG5 - VG2	0.0248	VG5 - VG2	<0.001
	VG4 - VG3	< 0.001	VG4 - VG3	0.9381	VG4 - VG3	0.0150	VG4 - VG3	0.2839
	VG5 - VG3	0.98261	VG5 - VG3	0.5068	VG5 - VG3	0.9622	VG5 - VG3	0.7277
	VG5 - VG4	0.00280	VG5 - VG4	0.1272	VG5 - VG4	0.1010	VG5 - VG4	0.9512
2013	VG2 - VG1	0.904	VG2 - VG1	0.267				
	VG3 - VG1	0.733	VG3 - VG1	0.209				
	VG4 - VG1	0.935	VG4 - VG1	0.893				
	VG5 - VG1	0.301	VG5 - VG1	1.000				
	VG3 - VG2	0.997	VG3 - VG2	1.000				
	VG4 - VG2	1.000	VG4 - VG2	0.818				
	VG5 - VG2	0.829	VG5 - VG2	0.251				
	VG4 - VG3	0.991	VG4 - VG3	0.747				
VG5 - VG3	0.957	VG5 - VG3	0.195					
VG5 - VG4	0.779	VG5 - VG4	0.878					
2014	VG2 - VG1	< 1e-04	VG2 - VG1	0.00208	VG2 - VG1	0.00105	VG2 - VG1	0.0378
	VG3 - VG1	0.99974	VG3 - VG1	0.85526	VG3 - VG1	0.41578	VG3 - VG1	1.0000
	VG4 - VG1	0.95375	VG4 - VG1	0.99999	VG4 - VG1	0.29524	VG4 - VG1	0.9996
	VG5 - VG1	0.78965	VG5 - VG1	0.54845	VG5 - VG1	0.99271	VG5 - VG1	1.0000
	VG3 - VG2	< 1e-04	VG3 - VG2	< 0.001	VG3 - VG2	0.20019	VG3 - VG2	0.0394
	VG4 - VG2	< 1e-04	VG4 - VG2	0.00277	VG4 - VG2	0.29884	VG4 - VG2	0.0661
	VG5 - VG2	0.00596	VG5 - VG2	< 0.001	VG5 - VG2	0.00515	VG5 - VG2	0.0392
	VG4 - VG3	0.98464	VG4 - VG3	0.81624	VG4 - VG3	0.99955	VG4 - VG3	0.9997
	VG5 - VG3	0.68041	VG5 - VG3	0.98528	VG5 - VG3	0.69342	VG5 - VG3	1.0000
	VG5 - VG4	0.34800	VG5 - VG4	0.49587	VG5 - VG4	0.55669	VG5 - VG4	0.9997

Tabelle A 39: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen an Kohlrabiwurzeln. Versuchssaison 2012 Satz 1: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= ECOguard®, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2012 Satz 2: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Prüfmittel, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= MACRO-MITE, VG4= nemaplus®; C= Chinakohl.

	Satz 1		Satz 2	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	0.00201	VG2 - VG1	<1e-05
	VG3 - VG1	0.81105	VG3 - VG1	0.902
	VG4 - VG1	0.22318	VG4 - VG1	0.784
	VG3 - VG2	< 0.001	VG3 - VG2	<1e-05
	VG4 - VG2	< 0.001	VG4 - VG2	<1e-05
	VG4 - VG3	0.73598	VG4 - VG3	0.995
	C - VG1	0.57833	C - VG1	0.5783
	C - VG2	0.01180	C - VG2	0.0120
	C - VG3	0.83696	C - VG3	0.8370
	C - VG4	0.98366	C - VG4	0.9837
2013	VG2 - VG1	< 1e-05		
	VG3 - VG1	0.845		
	VG4 - VG1	0.949		
	VG3 - VG2	5.45e-05		
	VG4 - VG2	1.51e-05		
	VG4 - VG3	0.992		
	C - VG1	0.5784		
C - VG2	0.0118			
C - VG3	0.8369			
C - VG4	0.9837			

ANHANG

Tabelle A 40: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen an Brokkoliwurzeln. Deutschland: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= *M. brunneum*; Slowenien: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Strohmulch, VG4= PERLKA®, *M. brunneum*.

	Vergleich	p-Wert
Deutschland	VG2 - VG1	0.01859
	VG3 - VG1	0.93293
	VG4 - VG1	0.98741
	VG3 - VG2	0.00252
	VG4 - VG2	0.00650
	VG4 - VG3	0.99345
Slowenien	VG2 - VG1	< 0.001
	VG3 - VG1	0.99825
	VG4 - VG1	0.71914
	VG5 - VG1	1.00000
	VG6 - VG1	0.00453
	VG3 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG2	< 0.001
	VG5 - VG2	< 0.001
	VG6 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG3	0.92188
	VG5 - VG3	0.99795
	VG6 - VG3	< 0.001
	VG5 - VG4	0.71059
	VG6 - VG4	< 0.001
VG6 - VG5	0.00487	

Tabelle A 41: Statistischer Vergleich der Frischgewichte von Blumenkohlpflanzen. Versuchssaison 2012: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4=PERLKA®, VG5= Naturalis®, Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW86 10 OD, VG4= nemaplus®, VG5= PERLKA®; Versuchssaison 2014: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur		Endbonitur		Zwischenbonitur		Endbonitur	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	0.920	VG2 - VG1	0.890	VG2 - VG1	0.593	VG2 - VG1	1.0000
	VG3 - VG1	0.991	VG3 - VG1	0.972	VG3 - VG1	0.124	VG3 - VG1	0.9545
	VG4 - VG1	0.936	VG4 - VG1	0.910	VG4 - VG1	0.887	VG4 - VG1	0.5643
	VG5 - VG1	1.000	VG5 - VG1	1.000	VG5 - VG1	0.999	VG5 - VG1	0.5908
	VG3 - VG2	0.996	VG3 - VG2	0.533	VG3 - VG2	0.892	VG3 - VG2	0.9215
	VG4 - VG2	0.487	VG4 - VG2	1.000	VG4 - VG2	0.985	VG4 - VG2	0.4859
	VG5 - VG2	0.949	VG5 - VG2	0.904	VG5 - VG2	0.734	VG5 - VG2	0.6686
	VG4 - VG3	0.731	VG4 - VG3	0.567	VG4 - VG3	0.601	VG4 - VG3	0.9342
	VG5 - VG3	0.997	VG5 - VG3	0.963	VG5 - VG3	0.202	VG5 - VG3	0.1928
	VG5 - VG4	0.903	VG5 - VG4	0.922	VG5 - VG4	0.956	VG5 - VG4	0.0263
2013	VG2 - VG1	0.526	VG2 - VG1	0.352	VG2 - VG1	0.0740	VG2 - VG1	1.0000
	VG3 - VG1	0.498	VG3 - VG1	0.530	VG3 - VG1	0.0871	VG3 - VG1	0.7177
	VG4 - VG1	0.731	VG4 - VG1	0.682	VG4 - VG1	0.9221	VG4 - VG1	0.6948
	VG5 - VG1	0.988	VG5 - VG1	0.775	VG5 - VG1	0.9930	VG5 - VG1	0.4639
	VG3 - VG2	1.000	VG3 - VG2	0.999	VG3 - VG2	1.0000	VG3 - VG2	0.7636
	VG4 - VG2	0.998	VG4 - VG2	0.985	VG4 - VG2	0.4017	VG4 - VG2	0.7421
	VG5 - VG2	0.241	VG5 - VG2	0.961	VG5 - VG2	0.0222	VG5 - VG2	0.4151
	VG4 - VG3	0.996	VG4 - VG3	0.999	VG4 - VG3	0.4409	VG4 - VG3	1.0000
	VG5 - VG3	0.222	VG5 - VG3	0.995	VG5 - VG3	0.0269	VG5 - VG3	0.0298
	VG5 - VG4	0.414	VG5 - VG4	1.000	VG5 - VG4	0.7185	VG5 - VG4	0.0266
2014	VG2 - VG1	0.7505	VG2 - VG1	0.519	VG2 - VG1	0.96126	VG2 - VG1	0.270
	VG3 - VG1	0.8766	VG3 - VG1	0.977	VG3 - VG1	0.88389	VG3 - VG1	0.496
	VG4 - VG1	0.3735	VG4 - VG1	0.974	VG4 - VG1	0.82146	VG4 - VG1	0.640
	VG5 - VG1	0.9080	VG5 - VG1	0.989	VG5 - VG1	0.00614	VG5 - VG1	0.909
	VG3 - VG2	0.9991	VG3 - VG2	0.863	VG3 - VG2	0.99906	VG3 - VG2	0.995
	VG4 - VG2	0.0225	VG4 - VG2	0.190	VG4 - VG2	0.99496	VG4 - VG2	0.974
	VG5 - VG2	0.9974	VG5 - VG2	0.814	VG5 - VG2	0.05181	VG5 - VG2	0.793
	VG4 - VG3	0.0470	VG4 - VG3	0.758	VG4 - VG3	0.99992	VG4 - VG3	0.999
	VG5 - VG3	1.0000	VG5 - VG3	1.000	VG5 - VG3	0.10000	VG5 - VG3	0.948
	VG5 - VG4	0.0586	VG5 - VG4	0.814	VG5 - VG4	0.13809	VG5 - VG4	0.986

Tabelle A 42: Statistischer Vergleich der Frischgewichte von Kohlrabipflanzen. Versuchssaison 2012 Satz 1: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= ECOguard®, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2012 Satz 2: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Prüfmittel, VG4= nemaplus®; Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= MACRO-MITE, VG4= nemaplus®; C= Chinakohl.

	Satz 1		Satz 2	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2012	VG2 - VG1	0.470	VG2 - VG1	0.978
	VG3 - VG1	0.764	VG3 - VG1	0.477
	VG4 - VG1	0.918	VG4 - VG1	0.998
	VG3 - VG2	0.073	VG3 - VG2	0.254
	VG4 - VG2	0.852	VG4 - VG2	0.940
	VG4 - VG3	0.369	VG4 - VG3	0.584
2013	VG2 - VG1	0.87000		
	VG3 - VG1	0.04343		
	VG4 - VG1	0.99997		
	VG3 - VG2	0.00361		
	VG4 - VG2	0.85012		
	VG4 - VG3	0.04726		

Tabelle A 43: Statistischer Vergleich der Frischgewichte von Brokkolipflanzen. Deutschland: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= *M. brunneum*; Slowenien: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Strohmulch, VG4= PERLKA®, *M. brunneum*.

	Vergleich	p-Wert
Deutschland	VG2 - VG1	0.833
	VG3 - VG1	0.988
	VG4 - VG1	1.000
	VG3 - VG2	0.955
	VG4 - VG2	0.878
	VG4 - VG3	0.996
Slowenien	VG2 - VG1	< 0.001
	VG3 - VG1	0.57285
	VG4 - VG1	1.00000
	VG5 - VG1	0.00490
	VG6 - VG1	0.74790
	VG3 - VG2	0.06707
	VG4 - VG2	< 0.001
	VG5 - VG2	0.96551
	VG6 - VG2	0.03091
	VG4 - VG3	0.59582
	VG5 - VG3	0.37836
	VG6 - VG3	0.99979
	VG5 - VG4	0.00562
	VG6 - VG4	0.76789
	VG6 - VG5	0.23231

ANHANG

Tabelle A 44: Statistischer Vergleich der Marktfähigkeit von Blumenkohlköpfen. Versuchssaison 2013: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= DPX-HGW86 10 OD, VG4= nemaplus®, VG5= PERLKA®; Versuchssaison 2014: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1		Satz 2	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2013	VG2 - VG1	1.000	VG2 - VG1	0.985
	VG3 - VG1	0.828	VG3 - VG1	1.000
	VG4 - VG1	0.828	VG4 - VG1	1.000
	VG5 - VG1	1.000	VG5 - VG1	0.991
	VG3 - VG2	1.000	VG3 - VG2	1.000
	VG4 - VG2	1.000	VG4 - VG2	1.000
	VG5 - VG2	1.000	VG5 - VG2	0.878
	VG4 - VG3	1.000	VG4 - VG3	1.000
	VG5 - VG3	1.000	VG5 - VG3	1.000
	VG5 - VG4	1.000	VG5 - VG4	1.000
2014	VG2 - VG1	1.000	VG2 - VG1	1.000
	VG3 - VG1	1.000	VG3 - VG1	1.000
	VG4 - VG1	0.975	VG4 - VG1	1.000
	VG5 - VG1	1.000	VG5 - VG1	1.000
	VG3 - VG2	1.000	VG3 - VG2	1.000
	VG4 - VG2	1.000	VG4 - VG2	1.000
	VG5 - VG2	1.000	VG5 - VG2	1.000
	VG4 - VG3	1.000	VG4 - VG3	1.000
VG5 - VG3	1.000	VG5 - VG3	1.000	
VG5 - VG4	1.000	VG5 - VG4	1.000	

Tabelle A 45: Statistischer Vergleich der Marktfähigkeit von Brokkoliköpfen. Deutschland: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= Naturalis®, VG4= *M. brunneum*.

	Vergleich	p-Wert
Deutschland	VG2 - VG1	1.000
	VG3 - VG1	1.000
	VG4 - VG1	1.000
	VG3 - VG2	1.000
	VG4 - VG2	1.000
	VG4 - VG3	1.000

Tabelle A 46: Statistischer Vergleich der Puppengewichte von im Wurzelbereich von Blumenkohl erfassten Kohlfiegenpuppen unabhängig der Größe. VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur		Endbonitur		Zwischenbonitur		Endbonitur	
	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
2014	VG2 - VG1	0.906	VG2 - VG1	0.9909	VG2 - VG1	0.13849	VG2 - VG1	0.53496
	VG3 - VG1	1.000	VG3 - VG1	0.9474	VG3 - VG1	0.42362	VG3 - VG1	< 0.001
	VG4 - VG1	0.753	VG4 - VG1	0.5200	VG4 - VG1	0.00749	VG4 - VG1	0.49375
	VG5 - VG1	0.997	VG5 - VG1	0.9946	VG5 - VG1	0.91341	VG5 - VG1	0.00175
	VG3 - VG2	0.938	VG3 - VG2	0.9997	VG3 - VG2	0.45882	VG3 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG2	0.640	VG4 - VG2	0.2795	VG4 - VG2	0.75355	VG4 - VG2	0.08374
	VG5 - VG2	0.859	VG5 - VG2	0.8973	VG5 - VG2	0.30426	VG5 - VG2	< 0.001
	VG4 - VG3	0.773	VG4 - VG3	0.0812	VG4 - VG3	0.74728	VG4 - VG3	0.01325
	VG5 - VG3	0.994	VG5 - VG3	0.6648	VG5 - VG3	0.96816	VG5 - VG3	0.92577
	VG5 - VG4	0.990	VG5 - VG4	0.6219	VG5 - VG4	0.36616	VG5 - VG4	0.14618

ANHANG

Tabelle A 47: Statistischer Vergleich der Puppengewichte von im Wurzelbereich von Blumenkohl erfassten Kohlfliengruppen bei Berücksichtigung der Größe. VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur Vergleich	p-Wert	Endbonitur Vergleich	p-Wert	Zwischenbonitur Vergleich	p-Wert	Endbonitur Vergleich	p-Wert
2014	VG2gr - VG1gr	0.830	VG2gr - VG1gr	0.52295	VG2gr - VG1gr	0.81515	VG2gr - VG1gr	1.000
	VG3gr - VG1gr	1.000	VG3gr - VG1gr	0.99999	VG3gr - VG1gr	0.97296	VG3gr - VG1gr	<0.01
	VG4gr - VG1gr	1.000	VG4gr - VG1gr	2.096	VG4gr - VG1gr	0.57314	VG4gr - VG1gr	<0.01
	VG5gr - VG1gr	0.989	VG5gr - VG1gr	0.405	VG5gr - VG1gr	0.98238	VG5gr - VG1gr	<0.01
	VG3gr - VG2gr	0.734	VG3gr - VG2gr	0.57096	VG3gr - VG2gr	0.99802	VG3gr - VG2gr	0.133
	VG4gr - VG2gr	0.736	VG4gr - VG2gr	0.98178	VG4gr - VG2gr	0.99768	VG4gr - VG2gr	0.139
	VG5gr - VG2gr	0.616	VG5gr - VG2gr	0.30775	VG5gr - VG2gr	0.99262	VG5gr - VG2gr	0.681
	VG4gr - VG3gr	1.000	VG4gr - VG3gr	0.99896	VG4gr - VG3gr	1.00000	VG4gr - VG3gr	0.775
	VG5gr - VG3gr	1.000	VG5gr - VG3gr	0.89708	VG5gr - VG3gr	1.00000	VG5gr - VG3gr	1.000
	VG5gr - VG4gr	0.990	VG5gr - VG4gr	0.22929	VG5gr - VG4gr	0.99999	VG5gr - VG4gr	0.792
	VG3kl - VG1kl	1.000	VG2kl - VG1kl	0.99909	VG3kl - VG1kl	0.01409	VG2kl - VG1kl	0.200
	VG4kl - VG1kl	0.968	VG3kl - VG1kl	1.00000	VG4kl - VG1kl	0.99561	VG3kl - VG1kl	0.997
	VG5kl - VG1kl	0.999	VG4kl - VG1kl	0.85032	VG5kl - VG1kl	0.99999	VG3kl - VG2kl	0.766
	VG4kl - VG3kl	0.993	VG5kl - VG1kl	0.99966	VG4kl - VG3kl	0.06385	VG4kl - VG1kl	0.138
	VG5kl - VG3kl	1.000	VG3kl - VG2kl	0.99952	VG5kl - VG3kl	0.30878	VG4kl - VG2kl	0.999
	VG5kl - VG4kl	1.000	VG4kl - VG2kl	0.99391	VG5kl - VG4kl	0.99001	VG5kl - VG1kl	0.982
			VG5kl - VG2kl	1.00000			VG5kl - VG2kl	0.837
			VG4kl - VG3kl	0.79111			VG5kl - VG4kl	0.965
			VG5kl - VG3kl	0.99987			VG4kl - VG3kl	0.923
			VG5kl - VG4gr	< 0.001			VG5kl - VG3kl	1.000
		VG5kl - VG4kl	0.96992					

Tabelle A 48: Statistischer Vergleich der Puppengrößen von im Wurzelbereich von Blumenkohl erfassten Kohlfliengruppen. VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE.

	Satz 1				Satz 2			
	Zwischenbonitur Vergleich	p-Wert	Endbonitur Vergleich	p-Wert	Zwischenbonitur Vergleich	p-Wert	Endbonitur Vergleich	p-Wert
2014	VG2gr - VG1gr	n.e.	VG3gr - VG1gr	1.00000	VG2gr - VG1gr	0.1130	VG2gr - VG1gr	0.99468
	VG3gr - VG1gr	n.e.	VG4gr - VG1gr	0.98451	VG3gr - VG1gr	1.0000	VG3gr - VG1gr	1.00000
	VG4gr - VG1gr	n.e.	VG5gr - VG1gr	1.00000	VG4gr - VG1gr	0.9998	VG4gr - VG1gr	0.49771
	VG5gr - VG1gr	n.e.	VG3gr - VG2gr	0.99950	VG5gr - VG1gr	1.0000	VG5gr - VG1gr	0.00410
	VG3gr - VG2gr	n.e.	VG4gr - VG2gr	0.99906	VG3gr - VG2gr	0.3407	VG3gr - VG2gr	0.98234
	VG4gr - VG2gr	n.e.	VG5gr - VG2gr	1.00000	VG4gr - VG2gr	0.1938	VG4gr - VG2gr	0.46814
	VG5gr - VG2gr	n.e.	VG4gr - VG3gr	0.99998	VG5gr - VG2gr	0.2846	VG5gr - VG2gr	0.92653
	VG4gr - VG3gr	n.e.	VG5gr - VG3gr	0.96476	VG4gr - VG3gr	1.0000	VG4gr - VG3gr	0.69997
	VG5gr - VG3gr	n.e.	VG5gr - VG4gr	0.61209	VG5gr - VG3gr	1.0000	VG5gr - VG3gr	0.00124
	VG5gr - VG4gr	n.e.	VG2gr - VG1gr	0.99967	VG5gr - VG4gr	1.0000	VG5gr - VG4gr	< 0.001
	VG2kl - VG1kl	n.e.	VG2kl - VG1kl	0.99134	VG3kl - VG1kl	0.2249	VG2kl - VG1kl	1.00000
	VG3kl - VG1kl	n.e.	VG3kl - VG1kl	1.00000	VG4kl - VG1kl	0.9973	VG3kl - VG1kl	1.00000
	VG4kl - VG1kl	n.e.	VG4kl - VG1kl	0.64398	VG5kl - VG1kl	0.3766	VG4kl - VG1kl	0.70635
	VG5kl - VG1kl	n.e.	VG5kl - VG1kl	1.00000	VG4kl - VG3kl	0.9893	VG5kl - VG1kl	0.26749
	VG3kl - VG2kl	n.e.	VG3kl - VG2kl	0.90969	VG5kl - VG3kl	<0.01	VG3kl - VG2kl	1.00000
	VG4kl - VG2kl	n.e.	VG4kl - VG2kl	0.98727	VG5kl - VG4kl	0.3823	VG4kl - VG2kl	0.92487
	VG5kl - VG2kl	n.e.	VG5kl - VG2kl	0.97569			VG5kl - VG2kl	0.62338
	VG4kl - VG3kl	n.e.	VG4kl - VG3kl	0.25160			VG4kl - VG3kl	0.94555
	VG5kl - VG3kl	n.e.	VG5kl - VG3kl	1.00000			VG5kl - VG3kl	0.60853
	VG5kl - VG4kl	n.e.	VG5kl - VG4kl	0.39507			VG5kl - VG4kl	0.99657

ANHANG

Tabelle A 49: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Anzahl Larven/Puppen - Wurzelschaden - Gewicht) in der Kultur Blumenkohl.

		2012			
Satz 1	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 1	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,4351995	0,001586	0,09298503	0,36
	Schadklasse und Gewicht	0,04094762	0,5193	0,006030042	0,8939
Satz 2	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 2	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,4639557	0,000689	0,2237249	0,05367
	Schadklasse und Gewicht	-0,1030526	0,104	-0,0360827	0,486
		2013			
Satz 1	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 1	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,04779418	0,7417	-0,08275903	0,4803
	Schadklasse und Gewicht	-0,05835407	0,3601	-0,06066242	0,2451
Satz 2	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 2	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Schadklasse und Gewicht	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
		2014			
Satz 1	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 1	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,4518657	0,000987	0,342973	0,002593
	Schadklasse und Gewicht	0,1360699	0,0315	-0,07299461	0,1583
Satz 2	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Satz 2	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,2138624	0,1359	0,2138624	0,1359
	Schadklasse und Gewicht	-0,0004103837	0,9948	0,00985392	0,8768

n.e.: nicht erhoben

Tabelle A 50: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Anzahl Larven/Puppen - Wurzelschaden - Gewicht) in der Kultur Kohlrabi.

Vergleich	Satz 1		Satz 2	
	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,4013977	0,00101	0,3949056	0,00124
Schadklasse und Gewicht	0,01841993	0,7427	0,02040954	0,7187
Vergleich	Satz 1		Satz 2	
	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,4756697	<0,001		
Schadklasse und Gewicht	-0,03873079	0,4906		

Tabelle A 51: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Anzahl Larven/Puppen - Wurzelschaden - Gewicht) in der Kultur Brokkoli.

Deutschland	Vergleich	Satz 1	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Deutschland	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,2966109	0,01732
	Schadklasse und Gewicht	-0,1168146	0,03674
	Frischgewicht Kopf und Durchmesser Kopf	0,9162325	< 0,001
Slowenien	Vergleich	Satz 1	
		Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Slowenien	Larven/Puppen und MW_Schadklasse	0,7077509	< 0,001
	Schadklasse und Gewicht	-0,02531165	0,7838
	Frischgewicht Kopf und Durchmesser Kopf	0,7077509	< 0,001

ANHANG

Tabelle A 52: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Puppengröße - Puppengewicht) in der Kultur Blumenkohl.

Satz	Vergleich	Zwischenbonitur		Endbonitur	
		Korrelationskoeffizient ρ	p-Wert	Korrelationskoeffizient ρ	p-Wert
Satz 1	Puppengröße und Puppengewicht	n.e.	n.e.	0,6278725	< 0,001
Satz 2	Puppengröße und Puppengewicht	0,7842588	< 0,001	0,8258566	< 0,001

n.e.: nicht erhoben

9.3 Rohdaten und Signifikanzen zu den in Kapitel 6 beschriebenen Versuchen

Tabelle A 53: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlflyge ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten.

Behandlung	Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
	MW	SE	MW	SE	MW	SE
Kontrolle	5.5	0.35	5.4	0.56	4.5	0.41
SpinTor™	0.3	0.23	0.4	0.16	0.03	0.03
nemaplus®	1.7	0.51	1.6	0.26	1.03	0.27
MACRO-MITE	2.5	0.52	2.1	0.32	1.03	0.21
nemaplus® + MACRO-MITE	1.2	0.38	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.

n.e.: nicht erhoben

Tabelle A 54: Vergleich der Anzahl an Larven und Puppen der Kleinen Kohlflyge unter Berücksichtigung der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit.

Behandlung	Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
	MW	SE	MW	SE	MW	SE
Kontrolle trocken	4.6	0.60	4.7	1.17	4.4	0.67
Kontrolle feucht	6.2	0.66	7.3	0.80	4.5	0.83
Kontrolle nass	5.8	0.37	4.3	0.67	4.5	0.72
SpinTor™ trocken	0.4	0.40	0.3	0.21	0.1	0.10
SpinTor™ feucht	0.6	0.60	0.8	0.42	0.0	0.00
SpinTor™ nass	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
nemaplus® trocken	0.8	0.37	0.3	0.21	0.4	0.31
nemaplus® feucht	1.2	0.73	2.5	0.40	1.4	0.52
nemaplus® nass	3.0	1.18	2.1	0.35	1.3	0.52
MACRO-MITE trocken	3.6	0.93	2.9	0.57	1.7	0.42
MACRO-MITE feucht	2.6	1.03	2.1	0.48	0.7	0.26
MACRO-MITE nass	1.4	0.51	1.3	0.52	0.7	0.30
nemaplus® + MACRO-MITE trocken	0.4	0.24				
nemaplus® + MACRO-MITE feucht	1.6	0.98				
nemaplus® + MACRO-MITE nass	1.6	0.51				

Tabelle A 55: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten.

Behandlung	Versuch I				Versuch II A				Versuch II B			
	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Kontrolle	0.0	0.0	73.3	26.7	3.3	3.3	86.7	6.7	0.0	0.0	53.3	46.7
SpinTor™	86.7	13.3	0.0	0.0	73.3	13.3	13.3	0.0	73.3	23.3	3.3	0.0
nemaplus®	0.0	0.0	73.3	26.7	3.3	0.0	86.7	10.0	0.0	0.0	70.0	30.0
MACRO-MITE	0.0	0.0	86.7	13.3	6.7	16.7	76.7	0.0	6.7	16.7	73.3	3.3
nemaplus® + MACRO-MITE	0.0	20.0	80.0	0.0	3.3	3.3	86.7	6.7	0.0	0.0	53.3	46.7

ANHANG

Tabelle A 56: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen unter Berücksichtigung der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit.

Behandlung	Versuch I				Versuch II A				Versuch II B			
	Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)				Anteil Wurzeln in den Schadklassen (%)			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Kontrolle trocken	0.0	0.0	80.0	20.0	10.0	10.0	80.0	0.0	0.0	0.0	70.0	30.0
Kontrolle feucht	0.0	0.0	60.0	40.0	0.0	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0	60.0	40.0
Kontrolle nass	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0	30.0	70.0
SpinTorTM trocken	80.0	20.0	0.0	0.0	70.0	30.0	0.0	0.0	60.0	30.0	10.0	0.0
SpinTorTM feucht	80.0	20.0	0.0	0.0	60.0	10.0	30.0	0.0	90.0	10.0	0.0	0.0
SpinTorTM nass	100.0	0.0	0.0	0.0	90.0	0.0	10.0	0.0	70.0	30.0	0.0	0.0
nemaplus® trocken	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	90.0	10.0
nemaplus® feucht	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	70.0	30.0
nemaplus® nass	0.0	0.0	60.0	40.0	10.0	0.0	80.0	10.0	0.0	0.0	50.0	50.0
MACRO-MITE trocken	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	30.0	70.0	0.0	20.0	10.00	70.0	0.0
MACRO-MITE feucht	0.0	0.0	100.0	0.0	10.0	0.0	90.0	0.0	0.0	20.0	70.0	10.0
MACRO-MITE nass	0.0	0.0	80.0	20.0	10.0	20.0	70.0	0.0	0.0	20.0	80.0	0.0
nemaplus® + MACRO-MITE trocken	0.0	0.0	100.0	0.0								
nemaplus® + MACRO-MITE feucht	0.0	20.00	80.00	0.00								
nemaplus® + MACRO-MITE nass	0.0	40.00	60.00	0.00								

ANHANG

Tabelle A 57: Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten.

Versuch I					Versuch II A				Versuch II B					
Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)	Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)	Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)
Kontrolle	27	81.5	22.7	77.3	Kontrolle	78	71.8	37.5	62.5	Kontrolle	2	-	-	-
SpinTor™	3	100.0	0.0	100.0	SpinTor™	6	83.3	20.0	80.0	SpinTor™	0	-	-	-
nemaplus®	12	66.7	25.0	75.0	nemaplus®	14	42.9	33.3	66.7	nemaplus®	5	-	-	-
MACRO-MITE	16	56.3	33.3	66.7	MACRO-MITE	25	72.0	38.9	61.1	MACRO- MITE	4	25.0		100.0
nemaplus®+MACRO- MITE	6	66.7	0.0	100.0										

Tabelle A 58: Schlupfrate der Kleinen Kohlfliege unter Berücksichtigung der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten.

Versuch I					Versuch II A				Versuch II B					
Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)	Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)	Behandlung	n	Schlupf- rate (%)	♂♂(%)	♀♀(%)
Kontrolle 20 %	6	100.0	33.3	66.7	Kontrolle 20 %	21	76.2	25.0	75.0	Kontrolle 20 %	1	0		
Kontrolle 30 %	14	92.9	15.4	84.6	Kontrolle 35 %	42	69.0	37.9	62.1	Kontrolle 30 %	0	B.n.		
Kontrolle 40 %	7	42.9	33.3	66.7	Kontrolle 50 %	15	73.3	54.5	45.5	Kontrolle 40 %	1	0		
SpinTor™ 20 %	1	100.0	0.0	100.0	SpinTor™ 20 %	1	0.0	B.n.	B.n.	SpinTor™ 20 %	0	B.n.		
SpinTor™ 30 %	2	100.0	0.0	100.0	SpinTor™ 35 %	5	100.0	20.0	80.0	SpinTor™ 30 %	0	B.n.		
SpinTor™ 40 %	0	B.n.	B.n.	B.n.	SpinTor™ 50 %	0	B.n.	B.n.	B.n.	SpinTor™ 40 %	0	B.n.		
nemaplus® 20 %	0	B.n.	B.n.	B.n.	nemaplus® 20 %	0	B.n.	B.n.	B.n.	nemaplus® 20 %	3	0		
nemaplus® 30 %	3	33.3	0.0	100.0	nemaplus® 35 %	11	36.4	25.0	75.0	nemaplus® 30 %	0	0		
nemaplus® 40 %	8	87.5	28.6	71.4	nemaplus® 50 %	3	66.7	50.0	50.0	nemaplus® 40 %	2	0		
MACRO-MITE 20 %	11	63.6	42.9	57.1	MACRO-MITE 20 %	7	71.4	40.0	60.0	MACRO-MITE 20 %	2	50.0		100.0
MACRO-MITE 30 %	3	33.3	0.0	100.0	MACRO-MITE 35 %		72.7	12.5	87.5	MACRO-MITE 30 %	2	0		
MACRO-MITE 40 %	2	50.0	0.0	100.0	MACRO-MITE 50 %		71.4	80.0	20.0	MACRO-MITE 40 %	0	B.n.		
nemaplus® + MACRO-MITE 20 %	0	B.n.	B.n.	B.n.										
nemaplus® + MACRO-MITE 30 %	5	60.0	0.0	100.0										
nemaplus® + MACRO-MITE 40 %	1	100.0	0.0	100.0										

B.n.: Berechnung aufgrund zu geringer Puppenzahlen nicht möglich

ANHANG

Tabelle A 59: Statistischer Vergleich der Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE. Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit.

Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	<1e-04	VG2 - VG1	<0.001
VG3 - VG1	<0.001	VG3 - VG1	<1e-04	VG3 - VG1	<0.001
VG4 - VG1	<0.001	VG4 - VG1	<1e-04	VG4 - VG1	<0.001
VG5 - VG1	<0.001	VG3 - VG2	<1e-04	VG3 - VG2	0.00285
VG3 - VG2	0.0115	VG4 - VG2	<1e-04	VG4 - VG2	0.00320
VG4 - VG2	<0.001	VG4 - VG3	0.531	VG4 - VG3	1.00000
VG5 - VG2	0.1039				
VG4 - VG3	0.5584				
VG5 - VG3	0.8866				
VG5 - VG4	0.0854				
VG6 - VG4	0.5583				

Tabelle A 60: Statistischer Vergleich der Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlflye zwischen Versuchsgliedern zu einer Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0079	VG2 - VG1	0.0079	VG2 - VG1	0.0079
VG3 - VG1	0.0079	VG3 - VG1	0.0159	VG3 - VG1	0.1032
VG4 - VG1	0.6825	VG4 - VG1	0.0556	VG4 - VG1	0.0079
VG5 - VG1	0.0079	VG5 - VG1	0.0238	VG5 - VG1	0.0079
VG3 - VG2	0.5238	VG3 - VG2	0.4048	VG3 - VG2	0.0476
VG4 - VG2	0.0238	VG4 - VG2	0.0317	VG4 - VG2	0.0476
VG5 - VG2	1.0000	VG5 - VG2	0.4444	VG5 - VG2	0.0476
VG4 - VG3	0.0556	VG4 - VG3	0.3175	VG4 - VG3	0.3413
VG5 - VG3	0.6825	VG5 - VG3	1.0000	VG5 - VG3	0.4524
VG5 - VG4	0.0238	VG5 - VG4	0.3810	VG5 - VG4	0.9048

Versuch II A					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0192	VG2 - VG1	0.0002	VG2 - VG1	0.0002
VG3 - VG1	0.0192	VG3 - VG1	0.0009	VG3 - VG1	0.1094
VG4 - VG1	0.9636	VG4 - VG1	0.0009	VG4 - VG1	0.0021
VG3 - VG2	1.0000	VG3 - VG2	0.1094	VG3 - VG2	0.0017
VG4 - VG2	0.0101	VG4 - VG2	0.1947	VG4 - VG2	0.0867
VG4 - VG3	0.0101	VG4 - VG3	0.9636	VG4 - VG3	0.4271

Versuch II B					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0004	VG2 - VG1	0.0002	VG2 - VG1	0.0018
VG3 - VG1	0.0012	VG3 - VG1	0.0476	VG3 - VG1	0.0476
VG4 - VG1	0.0479	VG4 - VG1	0.0085	VG4 - VG1	0.0106
VG3 - VG2	1.0000	VG3 - VG2	0.0867	VG3 - VG2	0.0867
VG4 - VG2	0.0300	VG4 - VG2	0.1625	VG4 - VG2	0.1625
VG4 - VG3	0.0867	VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000

ANHANG

Tabelle A 61: Statistischer Vergleich der Anzahl Larven und Puppen der Kleinen Kohlfliege innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

VG1		VG2		Versuch I VG3		VG4		VG5	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	0.6667	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	0.2698	Nass-feucht	0.5238	Nass-feucht	0.9048
Trocken-feucht	0.1667	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	0.4762	Trocken-feucht	0.6825
Trocken-nass	0.0794	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	0.1667	Trocken-nass	0.1111	Trocken-nass	0.1349

VG1		VG2		Versuch II A VG3		VG4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	0.1101	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	0.0023	Trocken-feucht	1.0000
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	0.0152	Trocken-nass	0.4002

VG1		VG2		Versuch II B VG3		VG4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000

Tabelle A 62: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	<1e-04	VG2 - VG1	<0.001
VG3 - VG1	1.000	VG3 - VG1	0.992	VG3 - VG1	0.87337
VG4 - VG1	0.988	VG4 - VG1	0.527	VG4 - VG1	<0.001
VG5 - VG1	0.146	VG3 - VG2	<1e-04	VG3 - VG2	<0.001
VG6 - VG1	0.123	VG4 - VG2	<1e-04	VG4 - VG2	<0.001
VG3 - VG2	<0.001	VG4 - VG3	0.357	VG4 - VG3	0.00766
VG4 - VG2	<0.001				
VG5 - VG2	<0.001				
VG6 - VG2	<0.001				
VG4 - VG3	0.988				
VG5 - VG3	0.146				
VG6 - VG3	0.123				
VG5 - VG4	0.452				
VG6 - VG4	0.404				
VG6 - VG5	1.000				

ANHANG

Tabelle A 63: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen zwischen Versuchsgliedern zu einer Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0079	VG2 - VG1	0.0079	VG2 - VG1	0.0079
VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000
VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	0.4444	VG4 - VG1	1.0000
VG5 - VG1	1.0000	VG5 - VG1	0.2778	VG5 - VG1	0.2778
VG3 - VG2	0.0079	VG3 - VG2	0.0079	VG3 - VG2	0.0079
VG4 - VG2	0.0079	VG4 - VG2	0.0079	VG4 - VG2	0.0079
VG5 - VG2	0.0079	VG5 - VG2	0.0159	VG5 - VG2	0.0079
VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000
VG5 - VG3	1.0000	VG5 - VG3	0.5556	VG5 - VG3	0.1587

Versuch II A					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0114	VG2 - VG1	0.0262	VG2 - VG1	0.0018
VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000
VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	1.0000
VG3 - VG2	0.0002	VG3 - VG2	0.0214	VG3 - VG2	0.0138
VG4 - VG2	0.0035	VG4 - VG2	0.1977	VG4 - VG2	0.0142
VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000

Versuch II B					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0011	VG2 - VG1	0.0002	VG2 - VG1	0.0002
VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000
VG4 - VG1	0.2601	VG4 - VG1	0.7337	VG4 - VG1	0.0179
VG3 - VG2	0.0013	VG3 - VG2	0.0002	VG3 - VG2	0.0002
VG4 - VG2	0.1994	VG4 - VG2	0.0005	VG4 - VG2	0.0013
VG4 - VG3	0.7337	VG4 - VG3	0.8978	VG4 - VG3	0.1254

Tabelle A 64: Statistischer Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Schadklassen innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I									
VG1		VG2		VG3		VG4		VG5	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	0.4444

Versuch II A									
VG1		VG2		VG3		VG4			
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert		
Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000		
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000		
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000		

Versuch II B									
VG1		VG2		VG3		VG4			
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert		
Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	1.0000		
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000		
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	1.0000		

ANHANG

Tabelle A 65: Statistischer Vergleich des Frischgewichts ungeachtet der verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I		Versuch II A		Versuch II B	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.00168	VG2 - VG1	<0.001	VG2 - VG1	<0.001
VG3 - VG1	0.30010	VG3 - VG1	0.9934	VG3 - VG1	0.73527
VG4 - VG1	0.29478	VG4 - VG1	0.2300	VG4 - VG1	0.64759
VG5 - VG1	0.00665	VG3 - VG2	<0.001	VG3 - VG2	0.00134
VG6 - VG1	0.02063	VG4 - VG2	0.0395	VG4 - VG2	0.00240
VG3 - VG2	0.38968	VG4 - VG3	0.1367	VG4 - VG3	0.99893
VG4 - VG2	0.39581				
VG5 - VG2	0.99837				
VG6 - VG2	0.96861				
VG4 - VG3	1.00000				
VG5 - VG3	0.65382				
VG6 - VG3	0.86165				
VG5 - VG4	0.66014				
VG6 - VG4	0.86609				
VG6 - VG5	0.99901				

Tabelle A 66: Statistischer Vergleich des Frischgewichts zwischen Versuchsgliedern zu einer Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0198	VG2 - VG1	0.3454	VG2 - VG1	0.0001
VG3 - VG1	0.8298	VG3 - VG1	0.0312	VG3 - VG1	0.0088
VG4 - VG1	0.8369	VG4 - VG1	0.2784	VG4 - VG1	0.0148
VG5 - VG1	0.0115	VG5 - VG1	0.0358	VG5 - VG1	0.0040
VG3 - VG2	0.0026	VG3 - VG2	0.0828	VG3 - VG2	0.0009
VG4 - VG2	0.0010	VG4 - VG2	0.8775	VG4 - VG2	0.1014
VG5 - VG2	0.5748	VG5 - VG2	0.0878	VG5 - VG2	0.0148
VG4 - VG3	0.9610	VG4 - VG3	0.0905	VG4 - VG3	0.1607
VG5 - VG3	0.0015	VG5 - VG3	0.6875	VG5 - VG3	0.1638
VG5 - VG4	0.0008	VG5 - VG4	0.0910	VG5 - VG4	0.6707

Versuch II A					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.3365	VG2 - VG1	0.1941	VG2 - VG1	0.0076
VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000
VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	0.1943	VG4 - VG1	1.0000
VG3 - VG2	0.0890	VG3 - VG2	0.0890	VG3 - VG2	0.0259
VG4 - VG2	0.7972	VG4 - VG2	1.0000	VG4 - VG2	0.4215
VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	0.0667	VG4 - VG3	1.0000

Versuch II B					
trocken		feucht		nass	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
VG2 - VG1	0.0168	VG2 - VG1	1.0000	VG2 - VG1	0.0157
VG3 - VG1	0.9162	VG3 - VG1	1.0000	VG3 - VG1	1.0000
VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	1.0000	VG4 - VG1	0.4673
VG3 - VG2	0.9162	VG3 - VG2	0.5518	VG3 - VG2	0.0377
VG4 - VG2	0.1591	VG4 - VG2	0.4673	VG4 - VG2	0.3244
VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	1.0000	VG4 - VG3	0.9162

ANHANG

Tabelle A 67: Statistischer Vergleich des Frischgewichts innerhalb eines Versuchsglieds zwischen den verschiedenen Substratfeuchtigkeiten. Versuch I und II B: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 30 % Substratfeuchtigkeit, nass= 40 % Substratfeuchtigkeit; Versuch II A: trocken= 20 % Substratfeuchtigkeit, feucht= 35 % Substratfeuchtigkeit, nass= 50 % Substratfeuchtigkeit. Versuch I: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE, VG5= nemaplus® + MACRO-MITE; Versuch II A und B: VG1= Kontrolle, VG2= SpinTor™, VG3= nemaplus®, VG4= MACRO-MITE.

Versuch I									
VG1		VG2		VG3		VG4		VG5	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	0.0069	Nass-feucht	1.0000	Nass-feucht	0.6414	Nass-feucht	1.0000
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	0.0272	Trocken-feucht	0.0356	Trocken-feucht	0,6161
Trocken-nass	1.0000	Trocken-nass	0.0051	Trocken-nass	0.0150	Trocken-nass	0.0454	Trocken-nass	0.5861

Versuch II A							
VG1		VG2		VG3		VG4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	0.0835	Nass-feucht	0.2715	Nass-feucht	0.0187	Nass-feucht	1.0000
Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	1.0000	Trocken-feucht	0.8067	Trocken-feucht	0.6594
Trocken-nass	0.2802	Trocken-nass	0.0063	Trocken-nass	0.0796	Trocken-nass	0.3740

Versuch II B							
VG1		VG2		VG3		VG4	
Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert	Vergleich	p-Wert
Nass-feucht	0.9606	Nass-feucht	0.0740	Nass-feucht	0.5487	Nass-feucht	0.0399
Trocken-feucht	0.3272	Trocken-feucht	0.7676	Trocken-feucht	0.9606	Trocken-feucht	0.7676
Trocken-nass	0.0740	Trocken-nass	0.0096	Trocken-nass	0.1750	Trocken-nass	0.0008

Tabelle A 68: Statistische Untersuchung der Korrelationen (Anzahl Larven/Puppen - Wurzelschaden - Gewicht) in Abhängigkeit der Substratfeuchtigkeit.

Versuch I		
Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und Schadklasse	0,6331341	2,144e-11
Schadklasse und Gewicht	-0,3808255	0,0002132
Larven/Puppen und Gewicht	-0,4239734	3,125e-05

Versuch II A		
Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und Schadklasse	0,6389347	4,085e-15
Schadklasse und Gewicht	-0,5256755	7,048e-10
Larven/Puppen und Gewicht	-0,4052992	4,39e-06

Versuch II B		
Vergleich	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Larven/Puppen und Schadklasse	0,7057048	< 2,2e-16
Schadklasse und Gewicht	-0,3529434	7,69e-05
Larven/Puppen und Gewicht	-0,3625543	4,5714e-05

Versuch I		
	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Anzahl Larven und Puppen und Substratfeuchtigkeit	0,06915601	0,5555
Schadklasse und Substratfeuchtigkeit	-0,03617873	0,758
Frischgewicht und Substratfeuchtigkeit	0,5470616	3,807e-07

Versuch II A		
	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Anzahl Larven und Puppen und Substratfeuchtigkeit	-0,01903615	0,8365
Schadklasse und Substratfeuchtigkeit	0,01166106	0,8994
Frischgewicht und Substratfeuchtigkeit	0,3828688	1,59e-05

Versuch II B		
	Korrelationskoeffizient rho	p-Wert
Anzahl Larven und Puppen und Substratfeuchtigkeit	-0,004604467	0,9602
Schadklasse und Substratfeuchtigkeit	0,0914	0,3208
Frischgewicht und Substratfeuchtigkeit	0,489061	1,447e-08

10 Danksagung

Mein herzlicher Dank geht an Dir. und Prof. Dr. Martin Hommes für die Überlassung des Themas sowie die Betreuung meiner Promotion.

Prof. Dr. Hans-Michael Poehling danke ich für die Möglichkeit der Promotion in der Abteilung Phytomedizin und die Übernahme des Referats.

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr. Hartmut Stützel für die kurzfristige Übernahme des Korreferats.

Bei Herrn Prof. Dr. Edgar Maiss möchte ich mich dafür bedanken den Prüfungsvorsitz übernommen zu haben.

Ein ganz besonderes Dankeschön geht an die Mitarbeiter/innen des Instituts für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst und insbesondere an die Teilnehmer der Kantinen-/Kaffeerunde für ihre tatkräftige Unterstützung sowie die netten Gespräche und hilfreichen Tipps (sowie den vielen Kuchen).

Weiterhin danke ich Dr. Jaka Razinger vom Agricultural Institute of Slovenia für die Bereitstellung des *Metarhizium brunneum* Stammes sowie die gute Zusammenarbeit.

Schlussendlich möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre andauernde und uneingeschränkte Unterstützung bedanken, die somit wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

11 Lebenslauf

Persönliche Daten

Geburtsdatum 26.12.1985
 Geburtsort Goslar
 Staatsangehörigkeit Deutsch

Promotionsvorhaben

Seit April 2012 Promotionsstudium an der Leibniz Universität Hannover
 Thema der Doktorarbeit: „Evaluierung nachhaltiger Komponenten für den Integrierten Pflanzenschutz zur Bekämpfung der Kleinen Kohlflyge (*Delia radicum* (L.)) im Kohlanbau“
 Durchführung am Julius Kühn-Institut in Braunschweig, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst

Beruflicher Werdegang

Ab April 2015– voraussichtl. Juli 2017 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Julius Kühn-Institut in Braunschweig, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst im Verbundvorhaben Lückenindikationen, Teilprojekt Forschung
 April 2012–Februar 2015 Wissenschaftliche Mitarbeiterin/Doktorandin am Julius Kühn-Institut in Braunschweig, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst
 Februar–April 2012 Obi GmbH & Co., Mitarbeiterin der Gartenabteilung

Studium

2005–2011 Studium der Gartenbauwissenschaften, Leibniz Universität Hannover
 2011 Master of Science in Horticulture (Thema der Masterarbeit: „Untersuchungen zum Einfluss von *Brassica*-Arten auf Schädlings-Nützlings-Interaktionen“)
 2008 Bachelor of Science in Horticulture (Thema der Bachelorarbeit: „Resistenzinduktion an Bohnen- und Tomatenpflanzen gegenüber Schwarzer Bohnenblattlaus (*Aphis fabae*) und Grüner Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*)“)

Schulbildung

1998–2005 Werner-von-Siemens Gymnasium, Bad Harzburg, Abschluss: Abitur

12 Veröffentlichungen

Im Rahmen dieser Doktorarbeit entstandene Publikationen

Herbst, M., Razinger, J., Ugrinović, K., Škof, M., Schroers, H.-J., Hommes, M., Poehling, H.-M. (2017). Evaluation of low risk methods for managing *Delia radicum*, cabbage root fly, in broccoli production. *Crop Protection*, (96): 273–280.

Herbst, M., Hommes, M. (2016). Influence of soil moisture and type on entomopathogenic nematode and predatory mite performance in cabbage root fly control. *IOBC-WPRS Bulletin*, (118): 2.

Herbst, M., Hommes, M. (2014). IPM in cabbage crops – first results of cabbage root fly control in the EU-project “PURE” in Germany. *IOBC-WPRS Bulletin*, (107): 119–124.