

## Neue Ansätze zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*), einem Problemschädling im Kohlanbau

**New approaches to control the cabbage whitefly (*Aleyrodes proletella*) a problematic pest in cabbage cultivation**

**FKZ: 12NA022**

**Projektnehmer:**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme  
Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover  
Tel.: +49 511 7623096  
Fax: +49 511 7623015  
E-Mail: [meyhoefer@ipp.uni-hannover.de](mailto:meyhoefer@ipp.uni-hannover.de)  
Internet: [www.igps.uni-hannover.de/ipp.html](http://www.igps.uni-hannover.de/ipp.html)

**Autoren:**

Hondelmann, Peter; Meyhöfer, Rainer

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

## **Schlussbericht**

### **Neue Ansätze zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*), einem Problemschädling im Kohlanbau**

**Förderkennzeichen:** 2812NA022

#### **Projektnehmer:**

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Abt. Phytomedizin, Angewandte  
Entomologie  
Herrenhäuser Straße 2  
30419 Hannover  
Tel: 0049 (0)511 762 2641/5343  
Fax: 0049 (0)511 762 3015  
Email: meyhoefer@ipp.uni-hannover.de  
Internet: [www.igps.uni-hannover.de/ipp.html](http://www.igps.uni-hannover.de/ipp.html)

**Autoren:** Peter Hondelmann, Rainer Meyhöfer

**Laufzeit:** 01.06.2013 bis 31.12.2016

#### **Kooperationspartner:**

Julius Kühn-Institut (JKI)  
Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst  
Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern  
Norddeutsches Kompetenzzentrum für Freilandgemüsebau  
Dorfplatz 1, 18276 Gülzow

**Kurzfassung: Titel: Neue Ansätze zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*), einem Problemschädling im Kohlanbau**

Peter Hondelmann, Rainer Meyhöfer

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Abt. Phytomedizin, Angewandte Entomologie, Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover, Email: meyhoefer@ipp.uni-hannover.de

Die Kohlmottenschildlaus hat sich zum einem wichtigen Schädling im Kohlanbau entwickelt und der Befall kann insbesondere durch Verschmutzung des Ernteguts zu hohen ökonomischen Verlusten führen. In diesem Projekt wurde eine alternative Bekämpfungsstrategie an der Modellpflanze Rosenkohl entwickelt.

Als Alternative zu bestehenden Methoden wurde ein präventiver und modularer Ansatz genutzt, der aus den Modulen nicht anfällige Sorten, Fangpflanzen und Blühstreifen bestand. Diese Bekämpfungsmodule wurden separat in Vorversuchen erprobt (Wahl- und no-choice-Versuche im Gewächshaus, Klimakammer und Freiland, um nicht-anfällige Rosenkohlsorten und attraktive Fangpflanzen zu selektieren) und dann in zwei Jahren in Freiland-Parzellenversuchen als kombinierte Bekämpfungsstrategie getestet. Als ausreichend geeignete Fangpflanze hat sich nur Markstammkohl (*B. oleracea* var. *medullosa*), als nicht anfällige Rosenkohlsorten können mit Einschränkungen 'Octia', 'Genius' und 'Esperal' empfohlen werden, wobei diese Resistenz allein nicht ausreicht, um einen Befall zu begrenzen. Diese Sorten wurden am wenigsten präferiert und hatten die geringsten Verschmutzungen, konnten aber bei der Antibiosis (Wirtseignung) nur teilweise überzeugen. Bei den Parzellenversuchen konnte im ersten Jahr keinerlei Wirkung erzielt werden (gleicher Befall in allen Varianten), während im zweiten Jahr eine (teilweise signifikante) Befallsreduktion von im Durchschnitt 30 bis 60 % erreicht werden konnte. Auch hatte diese Befallsreduktion eine signifikante Auswirkung auf die Verschmutzung, nicht aber auf den Ertrag.

Außerdem wurden grundlegende Arbeiten zur Biologie der Kohlmottenschildlaus in Bezug auf Wirtspflanzenfindung (Orientierung nach optischen und olfaktorischen Signalen) und bakterielle Endosymbionten durchgeführt. Es konnten neben dem weiße Fliegen spezifischen primären Endosymbionten *Portiera aleyrodidarum* nur zwei sekundäre Endosymbionten nachgewiesen werden, die häufig in Kombination auftraten: *Wolbachia* und *Arsenophonus*. Über die Funktion bzw. den Nutzen dieser Endosymbionten ist noch nichts bekannt.

**Abstract: New approaches to control the cabbage whitefly (*Aleyrodes proletella*) a problematic pest in cabbage cultivation**

Peter Hondelmann, Rainer Meyhöfer

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme, Abt. Phytomedizin, Angewandte Entomologie, Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover, Email: meyhoefer@ipp.uni-hannover.de

The cabbage whitefly developed to an important pest in cabbage production and infestation causes high economic losses due to soiling of the harvest. In this project an alternative strategy to control this pest species was developed using the model crop Brussels sprouts.

As an alternative to established methods a preventive and modular control approach was used, consisting of the modules insusceptible (resistant) cultivars, trap crops and flowering strips. The modules were tested separately in preliminary experiments (choice- and non-choice experiments in greenhouses, climate cabinets and in the field) to select insusceptible Brussels sprouts cultivars and attractive trap crops) and then in two years field trials using suitable plant types in a combined control strategy were performed. As trap plant only marrow stem kale (*B. oleracea* var. *medullosa*) was suitable with limitations, and as insusceptible Brussels sprouts cultivars 'Octia', 'Genius' und 'Esperal' can be recommend, but also with limitations. The found resistance is alone not sufficient to limit an infestation, because compared with other cultivars they were preferred least and had the least soiling, but could not or only partly convince in terms of antibiosis (host suitability).

In the first year in the field trial, the combined strategy was without any effect on infestation, but in the second year a (partly significant) reduction in infestation in average 30 - 60 % could be achieved. Also the soiling was reduced significantly, but there was no effect on yield.

Finally also basic work was done on the biology of the cabbage whitefly regarding host plant finding (orientation using optical and olfactory signals) and bacterial endosymbionts. Except the primary endosymbiont *Portiera aleyrodidarum* only two secondary endosymbionts could be found, and this usually as a double infection: *Wolbachia* und *Arsenophonus*. Only few individuals had no or single infestations. The function and benefits of these endosymbionts are still unknown.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	14
1.1	Gegenstand des Vorhabens.....	14
1.2	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen.....	15
1.3	Planung und Ablauf des Projekts.....	16
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	17
3	Material und Methoden.....	20
3.1	Fangpflanzen-Screening.....	20
3.2	Fangpflanzen-Feldversuche.....	21
3.2.1	Feldversuche 2014.....	21
3.2.2	Feldversuche 2015.....	25
3.3	Sortenscreening Anfälligkeit.....	29
3.3.1	Antixenosis-Versuche (Gewächshaus).....	31
3.3.2	Antibiosis-Versuche (Klimakammer).....	33
3.3.3	Antibiosis-Versuche (Freiland).....	35
3.3.4	Antixenosis-Versuche (Freiland).....	35
3.4	Glucosinolat-Analysen.....	36
3.5	Wachsgehalt von Rosenkohlblättern und Wirkung auf die Nützlingseffizienz.....	37
3.5.1	Wachsgehalt.....	37
3.5.2	Nützlingseffekte.....	38
3.6	Endosymbionten-Screening.....	39
3.7	Orientierung der Kohlmottenschildlaus.....	43
3.8	Düngungsversuche.....	46
4	Ergebnisse.....	47
4.1	Fangpflanzenscreening.....	47
4.2	Fangpflanzen-Feldversuche.....	49
4.2.1	Versuche 2014.....	49
4.2.2	Versuche 2015.....	51
4.3	Sortenscreening Anfälligkeit.....	58
4.3.1	Antibiosis-Versuche (Klimakammer).....	58
4.3.2	Antibiosis-Versuche (Freiland).....	62
4.3.3	Antixenosis-Versuche (Gewächshaus).....	64
4.3.4	Antixenosis-Versuche (Freiland).....	68

4.4	Glucosinolate .....	80
4.5	Wachsgehalt von Rosenkohlblättern und Wirkung auf die Nützingseffizienz .....	84
4.6	Endosymbionten .....	86
4.6.1	NGS-1 .....	86
4.6.2	NGS-2 .....	87
4.6.3	Diagnostische PCRs .....	89
4.7	Orientierung der Kohlmottenschildlaus .....	93
4.8	Düngungsversuche .....	95
5	Diskussion.....	98
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	106
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweise auf weiterführende Fragestellungen .....	107
8	Zusammenfassung.....	109
9	Literaturverzeichnis .....	111
10	Veröffentlichungen.....	116
10.1	Artikel.....	116
10.2	Vorträge .....	116
10.3	Poster.....	117
10.4	Andere Präsentationen.....	117
10.5	Geplante Aktivitäten .....	117

## Abkürzungsverzeichnis

bidest.	doppelt destilliert
bp	Basenpaare
c	Zenti (Einheitenpräfix für $10^{-2}$ )
ddH <sub>2</sub> O	doppelt destilliertes Wasser
ddf	Nennerfreiheitsgrade („denominator degrees of freedom“)
demin.	demineralisiert
dest.	destilliert
DNA	Desoxyribonukleinsäure (“deoxyribonucleic acid“)
dNTPs	Desoxynukleotid-Triphosphate
g	Gramm
GLM	generalisiertes lineares Modell
GLS	Glucosinolat(e)
h	Stunde
ha	Hektar
KAS	Kalkstickstoff
klx	Kilolux
KMSL	Kohlmottenschildlaus
L	Liter
L.	Linnæus
L:D	Licht:Dunkelheit
L1, L2, usw.	Larvenstadien (erstes, zweites, usw.)
m	Meter(Einheit)
m	Milli (Einheitenpräfix für $10^{-3}$ )
M	molar (mol/Liter)
MgCl <sub>2</sub>	Magnesiumchlorid
MO	Mikroorganismus
N	Anzahl
n	Nano (Einheitenpräfix für $10^{-9}$ )
n.a.	nicht anwendbar (“not applicable“)
NaCl	Natriumchlorid
NGS	Next-Generation-Sequencing
OTU	Operational Taxonomic Unit
PCR	Polymerase-Kettenreaktion (“polymerase chain reaction“)
RH	relative Luftfeuchtigkeit (“relative humidity“)
rDNA	ribosomale Desoxyribonukleinsäure
rRNA	ribosomale Ribonukleinsäure

s	Sekunde
SD	Standardabweichung ("standard deviation")
SE	Standardfehler ("standard error")
spp.	mehrere Arten ("species pluralis")
Tm	Trockenmasse
TSA	Tryptic Soy Agar
U	Enzymeinheit („enzyme unit“)
V	Volt
UV	ultraviolett
VOC	Flüchtige organische Verbindung ("volatile organic compound")
Wdh.	Wiederholung
μ	Micro (Einheitenpräfix für 10 <sup>-6</sup> )



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchte Pflanzenarten bzw. Sorten für das Fangpflanzen-Screening. ....	20
Tabelle 2: Überblick über die Versuchsvarianten für den Freilandversuch 2014 in Ruthe. In Hötzum wurde nur die Sorte 'Octia' mit allen Varianten verwendet. ....	22
Tabelle 3: Für die verschiedenen Versuche zum Resistenz-Screening verwendete Rosenkohlsorten und Züchter. ....	31
Tabelle 4: Sammlungsorte und Zeitpunkte der <i>A. proletella</i> Populationen auf Rosenkohl (Ausnahme Bückeberg II 08.2013: Kohlrabi/ Grünkohl, Hille I 08.2013: Grünkohl, Dramfeld 08.2013: Grünkohl, Nürtingen 08.2015: Grünkohl) die für das Endosymbionten-Screening mit diagnostische PCRs und NGS-Analysen (gekennzeichnet mit \$) verwendet wurden. ....	41
Tabelle 5: Primer-Sequenzen (oben sense-, unten antisense-Primer), erwarteter Produktgröße, annealing-Temperatur (Ta) und Referenz (Veröffentlichung) der möglichen Endosymbionten der Kohlmottenschildlaus ( <i>A. proletella</i> ). ....	43
Tabelle 6: Durchschnittliche Entwicklungszeit in Tagen ( $\pm$ Standardabweichung) der einzelnen Stadien von <i>A. proletella</i> bei $21 \pm 2$ °C auf verschiedenen Rosenkohlsorten ( <i>B. oleracea</i> L. var. <i>gemmifera</i> DC.) Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	59
Tabelle 7: Versuchsstatistik für die Verteilung von adulten <i>A. proletella</i> auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen. GLM mit Quasi-Poisson-Verteilung. ....	66
Tabelle 8: Versuchsstatistik für die Eiablage von <i>A. proletella</i> auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen. GLM mit Quasi-Poisson-Verteilung. ....	68
Tabelle 9: Signifikanzen (dargestellt durch Buchstaben) der statistischen Analyse des KMSL-Larvenbefalls an verschiedenen Rosenkohlsorten zu acht verschiedenen Boniturterminen. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	70
Tabelle 10: Signifikanzen (dargestellt durch Buchstaben) der statistischen Analyse des KMSL-Befalls (Adulte) an verschiedenen Rosenkohlsorten an zehn verschiedenen Boniturterminen. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	71
Tabelle 11: Ergebnisse der statistischen Analyse von den Röschenerträgen der verschiedenen Sorten. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben weisen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Röschenerträgen (kg/ha) der jeweiligen Sortierung (< 15 mm bis 40-45 mm) auf ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	79
Tabelle 12: Überblick über die in Blättern von verschiedenen unbefallenen Rosenkohlsorten nachgewiesenen Glucosinolate. ....	80
Tabelle 13: Vergleich der prozentualen Häufigkeit von Endosymbionten-Kombinationen in den Jahren 2013 bis 2015 über alle Sammlungen von Kohlmottenschildläusen (diagn. PCR, spezifische Primer) (n= 10-40/Population). ....	91
Tabelle 14: Veränderungen der Infektionsraten für <i>Wolbachia</i> und <i>Arsenophonus</i> in Kohlmottenschildläusen von August 2014 zu November 2014 für die jeweiligen Orte der Sammlungen (diagn. PCR, spezifische Primer). ....	92

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielbild für Wahlversuch für das Kohlmottenschildlaus-Fangpflanzencreening wobei hier Rosenkohl gegen Grünkohl getestet wurde. Das Schnappdeckelglas in der Mitte war der Freilassungspunkt für 50 KMSL. ....	21
Abbildung 2: Überblick über einen Teil der Versuchsanlage in Ruthe 2014, Mitte August. ....	22
Abbildung 3: Wetterdaten des Standortes Ruthe 2014: Oben sind dargestellt: Tagesmaximum (rote Linie), Tagesmittelwert (schwarze Linie) und Tagesminimum (blaue Linie), sowie die relative Luftfeuchtigkeit (%) in 2 m Höhe. Unten sind tägliche Niederschlagssummen (mm) und die kumulierte Jahressumme (mm) dargestellt. ....	25
Abbildung 4: Beispielbild einer Parzelle mit Rosenkohl die von einem Fangpflanzenperimeter aus Markstammkohlpflanzen umgeben ist. Im Hintergrund eine Parzelle mit Wirsing als Fangpflanze. ....	27
Abbildung 5: Wetterdaten des Standortes Ruthe 2015: Oben sind dargestellt: Tagesmaximum (rote Linie), Tagesmittelwert (schwarze Linie) und Tagesminimum (blaue Linie), sowie die relative Luftfeuchtigkeit (%) in 2 m Höhe. Unten sind tägliche Niederschlagssummen (mm) und die kumulierte Jahressumme (mm) dargestellt. ....	28
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Versuchsanlage zur Untersuchung der Antixenosis- und Antibiosiseigenschaften von Rosenkohlsorten gegenüber der Kohlmottenschildlaus im Freiland (links) und Einzelparzelle (rechts). Randomisiertes Blockdesign mit 6 Sorten (gleiche Zahl steht für dieselbe Sorte) und vier Wiederholungen; Feldgröße ca. 9 m x 50 m; rote Punkte = Freilassungsort für KMSL. Einzelparzelle: Die Bonituren (Lila = Entwicklungsversuche; Gelb = Präferenzversuche) erfolgten in jeder Parzelle an den gleichen Pflanzen, außer den Randpflanzen (grün markiert). ....	30
Abbildung 7: Kreisförmiger Versuchsaufbau (Ø 6,4 m) der Wahlversuche zur Untersuchung der Antixenosis von Rosenkohlsorten gegenüber Kohlmottenschildläusen. Der mittige rote Kreis markiert den Freilassungspunkt. ....	33
Abbildung 8: Verschiedene Rosenkohlsorten in der Klimakammer mit Gazebeuteln (links) und Clip-Käfigen (rechts) zur Untersuchung der Entwicklung und Reproduktion von <i>A. proletella</i> in der Klimakammer. ...	34
Abbildung 9: Versuchsüberblick vom Freilandversuch 2016 zur Untersuchung der Glucosinolatgehalte von zwei Rosenkohlsorten und Markstammkohl, einmal in einer unbefallenen und in einer KMSL-befallenen Variante. Alle Pflanzen wurden komplett mit einem FilBio-Kulturschutznetz abgedeckt, um weiteren Insektenbefall zu vermeiden. ....	37
Abbildung 10: Versuchsaufbau mit Mikrokosmen zur Erfassung der Prädatoreffizienz gegenüber Larven der Kohlmottenschildlaus auf drei Rosenkohlsorten in der Klimakammer. ....	39
Abbildung 11: Attraktivität verschiedener Grünkohlarten gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100% festgelegt wurden (Fehlerbalken: ± 1 SE). N= 1-3 (je 6 Käfige/Wiederholung). ....	47
Abbildung 12: Attraktivität verschiedener Kohlsorten (Chinakohl; Markstammkohl mit den Sorten 'Grüner Ring' = G. R. und 'Proteor' = P.; Wirsing, mit drei Sorten) gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100 % festgelegt wurden (Fehlerbalken: ± 1 SE). N= 1-3 (je 6 Käfige/Wiederholung). ....	48
Abbildung 13: Attraktivität verschiedener Wildkräuter, die als Wirtspflanzen bekannt sind, sowie der Frisée-Endivie, gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100 % festgelegt wurden (Fehlerbalken: ± 1 SE). N= 1-3 (je 6 Käfige/Wiederholung). ....	49

Abbildung 14: Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit der Kohlmottenschildlaus bei vier verschiedenen Varianten (Fangpflanzen, deren Kombination, Kontrolle ohne Fangpflanzen) $\pm$ Standardabweichung im Jahr 2014 in Hötzum. Es gab zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede. ....	50
Abbildung 15: Befall zweier Rosenkohlsorten ('Octia' und 'Bright') mit adulten und larvalen Kohlmottenschildläusen in Ruthe 2014 $\pm$ Standardabweichung. ....	51
Abbildung 16: Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit Kohlmottenschildlauslarven 2015 in Ruthe bei zwei Fangpflanzenvarianten (Markstammkohl, Wirsing) und der Kontrolle ( $\pm$ Standardabweichung), $P < 0,05$ ; LMM). ....	53
Abbildung 17: Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit adulten Kohlmottenschildläusen 2015 in Ruthe bei zwei Fangpflanzenvarianten (Markstammkohl, Wirsing) und der Kontrolle ( $\pm$ Standardabweichung), $P < 0,05$ ; LMM). ....	54
Abbildung 18: Beispiel für abgestorbene und verfaulte Fangpflanze Markstammkohl (September 2015, Ruthe). 55	
Abbildung 19: Befall von Fangpflanzen (Wirsing und Markstammkohl) mit adulten Kohlmottenschildläusen 2015 in Ruthe ( $\pm$ Standardabweichung). ....	55
Abbildung 20: Befall von Fangpflanzen (Wirsing und Markstammkohl) mit Kohlmottenschildlauslarven 2015 in Ruthe ( $\pm$ Standardabweichung). ....	56
Abbildung 21: Durchschnittliche Boniturnote der Verschmutzung von Rosenkohl (Röschen und Strunk; Sorte 'Octia') nach Wuchs in Parzellen mit verschiedenen Fangpflanzen ( $\pm$ Standardabweichung). ....	57
Abbildung 22: Mittlerer Ertrag von Rosenkohl (Sorte 'Octia'), der mit zwei verschiedenen Fangpflanzen angebaut wurde, sortiert nach Vermarktbarkeit. Die Vermarktbarkeitskriterien umfassen neben Verschmutzung auch Schäden durch Fraß, Schimmel, Flügelbildung u.a. ....	58
Abbildung 23: Gewicht von weiblichen (W) und männlichen (M) Kohlmottenschildläusen nach Entwicklung auf verschiedenen Rosenkohlsorten. Die rote Linie zeigt den Mittelwert, die schwarze Linie den Median. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (LM, ANOVA, Tukey Test, $P > 0,05$ ). ....	60
Abbildung 24: Durchschnittliche Anzahl täglich gelegter Eier $\pm$ SD von einzelnen <i>A. proletella</i> -Weibchen auf verschiedenen Rosenkohlsorten über deren gesamte Lebensspanne in einer Klimakammer. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	61
Abbildung 25: Mortalität (%) von <i>A. proletella</i> Nachkommen, die sich auf verschiedenen Rosenkohlsorten in der Klimakammer entwickelten. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied hin ( $P > 0,05$ , GLMM, Tukey-Test). ....	62
Abbildung 26: Durchschnittliche Anzahl täglich gelegter Eier ( $\pm$ SD) von einzelnen <i>A. proletella</i> Weibchen (im Clip-Käfig) im Feldversuch mit verschiedenen Rosenkohlsorten über die gesamte Lebensspanne der Weibchen. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger). ....	63
Abbildung 27: Mortalitätsrate (%) von <i>A. proletella</i> Nachkommen, die sich im Feldversuch auf verschiedenen Rosenkohlsorten entwickelten. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied hin ( $P > 0,05$ , GLMM, Tukey-Test). ....	64
Abbildung 28: Verteilung von adulten <i>A. proletella</i> auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen dargestellt als prozentuale Abweichungen des Befalls vom arithmetischen Gesamtmittel der jeweiligen Versuchswiederholung. ....	65
Abbildung 29: Verteilung Eiern von <i>A. proletella</i> auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen dargestellt als prozentuale Abweichungen der Eiablage vom arithmetischen Gesamtmittel der jeweiligen Versuchswiederholung. ....	67

Abbildung 30:Mittlere Anzahl ( $\pm$ SD) <i>A. proletella</i> Larven auf verschiedenen Rosenkohlsorten im Freilandversuch. Zu jedem Boniturtermin wurden jeweils 40 Pflanzen pro Sorte komplett bonitiert, signifikante Unterschiede sind in Tabelle 9 dargestellt.....	69
Abbildung 31:Mittlere Anzahl ( $\pm$ SD) adulter <i>A. proletella</i> an den einzelnen Boniturterminen pro kompletter Pflanze auf verschiedenen Rosenkohlsorten im Freiland. Zu jedem Boniturtermin wurden jeweils insgesamt 40 Pflanzen pro Sorte bonitiert. Der rote Pfeil markiert das Datum (10.07.15) an dem insgesamt 1100 adulte <i>A. proletella</i> freigelassen wurden. Der blaue Pfeil markiert den Zeitraum (16. – 18.08.15) mit höheren Niederschlägen(insg. 38,9 mm).....	71
Abbildung 32:Pflanzenhöhe von insgesamt 40 Pflanzen der verschiedenen Rosenkohlsorten im Freiland zum Erntezeitpunkt ('Content', 'Doric' und 'Octia': 29.10.2015; 'Genius' und 'Hilds Ideal': 25.11.2015; 'Esperal': 26.11.2015). Die rote Linie zeigt den Mittelwert und die schwarze Linie den Median. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).....	73
Abbildung 33:Durchschnittliche Röschen-Verschmutzung verschiedener Rosenkohlsorten aus dem Feldversuch von sauber (1) bis vollständig verschmutzt (5). Die rote Linie zeigt den Mittelwert. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Sorten hin; ( $P > 0,05$ ), CLMM, ANOVA, Tukey-Test.....	74
Abbildung 34:Beispielbilder von Rosenkohlstrünken mit Röschen direkt nach der Ernte, an denen die subjektive Verschmutzungsbonitur (Verschmutzungsgrade von sauber (1) bis vollständig verschmutzt (5)) durchgeführt wurde. Pro Sorte wurden 40 Strünke geerntet. Die Fotos zeigen jeweils einen Strunk pro Sorte, der der durchschnittlichen Verschmutzung der Sorte entspricht: a) 'Content' (Verschmutzung = 3,43), b) 'Doric' (4,28), c) 'Esperal' (1,35), d) 'Genius' (2,13), e) 'Hilds Ideal' (3,28), f) 'Octia' (3,28). .....	74
Abbildung 35:Gesamtertrag (kg/ha) der Röschen von sechs verschiedenen Rosenkohlsorten (von 40 Pflanzen pro Sorte) in Abhängigkeit der durchschnittlichen Anzahl <i>A. proletella</i> Larven (von 40 Pflanzen pro Sorte) des letzten Boniturtermins (12. + 13.10.2015), lineare Regression $f(x) = 15999,1626 + 1,7619x$ , $R^2 = 0,0374$ , adjustierte $R^2 = 0,00$ , $P = 0,7136$ .....	75
Abbildung 36:Röschen der Sorte 'Genius' nach der Einteilung in drei Qualitätsklassen. a) Klasse 1 (vermarktungsfähig), b) Klasse 2 (geputzt vermarktungsfähig), c) Klasse 3 (nicht vermarktungsfähig). .	76
Abbildung 37:Durchschnittlicher Ertrag an vermarktungsfähigen Röschen (kg/ha) $\pm$ SD der Klassen 1 (vermarktungsfähig) und 2 (geputzt vermarktungsfähig) der einzelnen Rosenkohlsorten. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).....	77
Abbildung 38:Erträge (kg/ha) der einzelnen Sortierungen (< 15 mm bis > 45 mm) der verschiedenen Rosenkohlsorten, ausgehend vom Gesamtgewicht der Röschen die vorher in die Qualitätsklassen 1 und 2 eingeteilt wurden. Für statistische Unterschiede siehe Tabelle 11. ....	78
Abbildung 39:Progoitrin-Gehalt von Rosenkohlblättern verschiedener Sorten zweier Blattetagen (obere und mittlere Blätter). Der GLS-Gehalt der oberen Blätter unterschied sich nicht signifikant, bei den mittleren Blättern unterscheiden sich Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben nicht signifikant (GLM, Tukey-Test $P > 0,05$ ).....	81
Abbildung 40:Sinigrin-Gehalt von Rosenkohlblättern verschiedener Sorten zweier Blattetagen (obere und mittlere Blätter). Signifikanzen wurden nach Blattetage (Großbuchstaben: obere Blattetage, kleine Buchstaben: mittlere Blattetage) getrennt untersucht. Teilsäulen von Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben unterscheiden nicht signifikant (GLM, Tukey Test $P > 0,05$ ).....	82
Abbildung 41:Radarplot der Gehalte der häufigsten Glucosinolate in Blättern (obere Blattebene) verschiedener Rosenkohlsorten (Angaben in $\mu\text{mol/g Tm}$ ). ....	83

Abbildung 42:Radarplot der Gehalte der häufigsten Glucosinolate in Blättern (mittlere Blattebene) verschiedener Rosenkohlsorten (Angaben in $\mu\text{mol/g Tm}$ ) . . . . .	84
Abbildung 43:Wachsgehalt von Blattoberflächen (pro $\text{cm}^2$ ) von zwei Monate alten Rosenkohlpflanzen verschiedener Sorten. Sorten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (GLM, Anova, Tukey-Test, $P > 0,05$ ). . . . .	85
Abbildung 44:Tägliche Fraßleistung im Mikrokosmosversuch von vier verschiedenen Prädatoren auf unterschiedlichen Rosenkohlsorten die mit gleichen Anzahlen von larvalen Kohlmottenschildläusen befallen waren. Verschiedene Buchstaben deuten auf signifikante Unterschiede hin (Vergleich nur innerhalb einer Art; GLM, Anova, Tukey-Test, $P < 0,05$ ). . . . .	86
Abbildung 45:Prozentualer Anteil von Endosymbionten ( <i>Wolbachia</i> , <i>Portiera</i> , <i>Arsenophonus</i> ) und anderer Bakterien (other) in einer gepoolten <i>A. proletella</i> -Probe (adulte Weibchen) aus deutschlandweiten Sammlungen, 2014. Die Anteile stellen durch NGS (PacBio RS II) erzeugte counts dar. . . . .	87
Abbildung 46:Prozentualer Anteil von Endosymbionten-counts (korrigiert in Bezug auf Kopienzahl) in verschiedenen Populationen der Kohlmottenschildlaus in Deutschland 2014, die in gepoolten Proben (50 Weibchen/Probe) mit NGS (Mlseq mit $2 \times 300$ bp paired-end reads) nachgewiesen wurden. 1: Gülzow-Prüzen, Mecklenburg-Vorpommern; 2: Hannover, Niedersachsen; 3: Bornheim, Nordrhein-Westfalen; 4: Preith, Bayern; 5: Filderstadt, Baden-Württemberg. . . . .	89
Abbildung 47:Prozentuale Häufigkeit von Nachweisen (diagn. PCRs) von sekundären Endosymbionten in Kohlmottenschildlaus-Individuen verschiedener Standorte in Deutschland an Rosenkohl (2014). 1: Gülzow-Prüzen, Mecklenburg-Vorpommern; 2: Hannover, Niedersachsen; 3: Bornheim, Nordrhein-Westfalen; 4: Preith, Bayern; 5: Filderstadt, Baden-Württemberg. . . . .	92
Abbildung 48: Mittlerer prozentualer Anteil von adulten Kohlmottenschildläusen im Olfaktometer nach Butler (1938) (oberster Balken) und nach Fatouros et al. (2005) (untere Balken), die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) entschieden hatten. . . . .	93
Abbildung 49:Mittlerer prozentualer Anteil der Kohlmottenschildläuse ( $\pm$ Standardabweichung) die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) in der Glasarena entschieden haben. Getestet hier wurden KMSL mit verschiedenen physiologischen Stadien sowie eine Änderung im Versuchsdesign: 1: für 24 h hungernde Tiere; 2: synchronisierte, junge Tiere; 3: ausschließlich Weibchen; 4: schwarze Pappe in den leeren Petrischalen (Kontrasterhöhung) ( $N = \text{je } 6, * = \text{GLM, } P < 0,05$ ). . . . .	94
Abbildung 50:Mittlerer prozentualer Anteil der Tiere ( $\pm$ Standardabweichung), die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) in der Glasarena entschieden haben. Dabei wurden nur olfaktorische (oben) bzw. nur optisch Stimuli getestet. Versuchsaufbau war die Glasarena mit 1: Blatt in Petrischale; 2: mit eingeschweißtem Blatt; 3: mit Sichtschutz; 4: mit Blatt in schwarz gefärbter Petrischale ( $N = \text{je } 6, * = \text{GLM, } P < 0,05$ ). . . . .	94
Abbildung 51:Sortenpräferenzen der Kohlmottenschildlaus in der Glasarena aufgrund rein olfaktorischer (oben) und optischer (unten) Signale. Gezeigt ist der mittlere prozentuale Anteil der Tiere ( $\pm$ Standardabweichung), die sich im veränderten Versuchsaufbau (synchronisierte Weibchen, Sichtschutzwand bzw. eingeschweißte Blattausschnitte) für eine der beiden Rosenkohlsorten entschieden haben ( $N = 6, \text{n.s.} = \text{GLM, } P > 0,05$ ). . . . .	95
Abbildung 52:Sortenpräferenz der Kohlmottenschildlaus aufgrund der Blattfarbe als mittlerer prozentualer Anteil der Tiere ( $\pm$ Standardabweichung), die sich in Glasarenen mit Blattstücken in Petrischalen für eine der beiden Sorten entschieden haben ( $N = 6, * = \text{GLM, } P < 0,05$ ). . . . .	95
Abbildung 53:Prozentuale Verteilung der wiedergefangenen adulten KMSL auf die Versuchspflanzen der Stickstoffdüngungsversuche (Wiederfangrate=85%) ('Octia' $P = 0,0004189$ ; 'Content' $P = 0,00000118$ ;	

Markstammkohl  $P = 0,0071$ ). Es wurde jeweils nur der Effekt der Düngung innerhalb einer Sorte bzw. Art getestet, nicht die Sorten gegeneinander. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar. .... 96

Abbildung 54:Prozentuale Verteilung der wiedergefangenen adulten KMSL auf die Versuchspflanzen der Schwefeldüngungsversuche (Wiederfangrate=75%) (Markstammkohl  $P = 0,029$ ). Es wurde jeweils nur der Effekt der Düngung innerhalb einer Sorte bzw. Art getestet, nicht die Sorten gegeneinander. Die Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar..... 97

# 1 Einführung

## 1.1 Gegenstand des Vorhabens

Die Kohlmottenschildlaus ("Weiße Fliege an Kohl", *Aleyrodes proletella* L.; Hemiptera: Aleyrodidae) hat sich in den letzten Jahren zu einem bedeutenden Schädling an verschiedenen Kohlformen (u. a. Rosenkohl, Wirsing, Grünkohl, Kohlrabi) entwickelt (Broekgaarden et al., 2012). Für die Ausbreitung und wachsende Bedeutung dieses Schädlings, die sich in Massenvermehrungen an Kohl im Spätsommer-Herbst ausdrückt, werden zahlreiche Ursachen diskutiert, bislang sind aber die Gründe noch nicht komplett verstanden worden. Als die beiden wichtigsten Ursachen werden klimatische Veränderungen der letzten Jahre (insb. milde Winter), sowie der in demselben Zeitraum stark angestiegene Anbau von Winterraps als „bequemes“ Überwinterungshabitat diskutiert, die das Überleben der KMSL während der Überwinterung begünstigen (Richter et al., 2011). Hauptschaden dieses Phloemsaugers sind Verschmutzungen des Erntegutes, also je nach Kohlform Blätter, Röschen oder auch Sprossachse, durch Honigtau. Der Honigtau wird durch Ansiedelung von Rußtaupilzen zu einem sichtbaren dunklen Belag und durch Larvenreste und Wachsausscheidungen treten weitere Verunreinigungen auf. Stärker verschmutztes Erntegut ist nicht mehr zu vermarkten bzw. das Putzen lohnt ab einer gewissen Verschmutzung nicht mehr, um die Vermarktungsfähigkeit herzustellen. Außerdem kommt es bei sehr starkem Befall auch zu Ertragsverlusten (Böckmann & Richter, 2016). Weil für die Kohlmottenschildlaus bislang noch keine Virusübertragung nachgewiesen wurde (Iheagwam, 1978; Springate & Colvin, 2012), erweitert dies das Spektrum möglicher Bekämpfungsstrategien, denn es ist kein sofortiger Effekt (z. B. „knock down effect“) notwendig, um das Übertragungsrisiko zu minimieren.

Obwohl es wirksame Pflanzenschutzmittel gibt, ist der Applikation problematisch und die Wirksamkeit oft eingeschränkt (siehe Kapitel „Wissenschaftlicher und technischer Stand“). Gründe hierfür sind, dass die Tiere an der Unterseite der Blätter sitzen, dass die Wachsschicht der Tiere die Benetzbarkeit reduziert, dass der Kohl große Blätter mit vielen Blattetagen entwickelt, die die Verteilung des Sprühnebels hemmt, und dass eine Massenvermehrung und starke Besiedelung der Pflanzen in relativ kurzer Zeit stattfindet, so dass Applikationen nicht rechtzeitig stattfinden. Zudem ist die Zulassungssituation von wirksamen Pflanzenschutzmitteln fraglich und es treten Resistenzen auf (Springate & Colvin, 2012). Alle diese Punkte lassen es erforderlich erscheinen, Alternativen zur der Kontrolle der Kohlmottenschildlaus zu entwickeln, die auch praxistauglich sind.

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

Das Projekt ist Teil eines Verbundvorhabens zur Entwicklung von Kontrollstrategien gegen den Problemschädling Kohlmottenschildlaus (Teilprojekte: „Strategien zur Regulierung der Kohlmottenschildlaus und Integration in gemüsebaulichen Anbauverfahren“ (2812NA046); „Manipulation der funktionellen Biodiversität im Gemüsebau zur Förderung von natürlichen Regulationsprozessen“ (12NA016) und „Integrierte Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus an Gemüsekohlarten“ (28012NA020). Gesamtziel des Verbundvorhabens war die Erarbeitung eines Konzepts zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus für den ökologischen und integrierten Anbau von Kohl an der Modellpflanze Rosenkohl (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera* DC.), das im Anschluss auch in der Praxis erprobt werden sollte. Ziel des vorliegenden Teilprojektes war es, eine modulare und präventive Pflanzenschutzstrategie zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella* (Hemiptera: Aleyrodidae) an Rosenkohl zu untersuchen und umzusetzen. Die Zielsetzung war es dabei gängige Bekämpfungsansätze, die insbesondere auf Pflanzenschutzmitteln basieren, zu ersetzen. Dieses Ziel steht damit direkt in Bezug zu den BÖLN-Zielen, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf das notwendige Maß zu beschränken und Risiken, die für Mensch, Tier und Naturhaushalt entstehen können, weiter zu reduzieren, da bei der neuen Strategie Applikationen von Pflanzenschutzmitteln ganz vermieden und alternative Verfahren (pflanzliche Resistenz, Fangpflanzen, Förderung von Gegenspielern) zum Einsatz kommen sollten. Die hier bearbeitete Strategie besteht aus mehreren Aspekten, die erst einzeln in ihrer Wirksamkeit geprüft und optimiert und dann in Feldversuchen gemeinsam getestet wurden.

Im Einzelnen sollten folgende Fragen bearbeitet werden:

- Gibt es Rosenkohlsorten, die gegenüber der Kohlmottenschildlaus weniger anfällig und als Wirtspflanze weniger geeignet sind, also Resistenzen aufweisen?
- Gibt es Pflanzenarten oder Sorten, die attraktiver als Rosenkohl sind und als Fangpflanzen genutzt werden können?
- Ist eine präventive Bekämpfungsstrategie aus Fangpflanzen, resistenteren Sorten und Blühstreifen, geeignet, um den Kohlmottenschildlausbefall ausreichend zu reduzieren, so dass Verschmutzungen und Ertragsverluste signifikant reduziert werden können?
- Ist diese Bekämpfungsstrategie in Praxisbetrieben übertragbar und umsetzbar?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Befall mit *A. proletella* und Verschmutzungen von verschiedenen Rosenkohlsorten und verringert der Befall den Ertrag?



- Welche Rolle spielen olfaktorische und optische Signale bei der Wirtswahl bzw. Orientierung der Kohlmottenschildlaus?
- Welche bakteriellen Endosymbionten kommen in der Kohlmottenschildlaus vor und welchen Einfluss haben sie auf Fitness und Verhalten der Kohlmottenschildlaus?
- Gibt es Unterschiede im Wachsgehalt verschiedener Rosenkohlsorten und inwieweit gibt es hier Interaktionen mit ausgewählten KMSL-Gegenspielern?
- Lässt sich die Attraktivität von Rosenkohl und Fangpflanzen durch veränderte S- bzw. N-Düngung beeinflussen?

### **1.3 Planung und Ablauf des Projekts**

Das Projekt wurde im Juni 2013 gestartet und damit zu spät für eine erste Freilandsaison (Vorversuche Fangpflanzen). Im ersten Abschnitt bis April 2014 wurden in Gewächshaus und Klimakammer verschiedene Gebiete parallel bearbeitet: Es wurden Fangpflanzen und resistente Rosenkohlsorten evaluiert, um für die nächste Freilandsaison geeignete Fangpflanzen und Rosenkohlsorten zu haben. Hierbei lag der Fokus zuerst auf der Attraktivität von Rosenkohlsorten, um ausreichend schnell Informationen für wenig attraktive Sorten für Parzellenversuche im nächsten Jahr zu haben. Die Evaluierung resistenter Rosenkohlsorten wurde dabei im Rahmen einer Bachelor-Arbeit erarbeitet. Diese Arbeit wurde als Masterarbeit bis Ende 2015 weitergeführt, um auch Freilanddaten (Saison 2015) und umfangreichere Antibiosis-Daten (Klimakammerversuche) gewinnen zu können.

Freilandversuche, um die kombinierte Strategie aus Fangpflanzen und resistenten Sorten zu evaluieren wurden im Jahr 2014 und 2015 durchgeführt, wobei diese Versuche von Pflanzenanzucht bis Ernte von April bis August (ohne Ernte) bzw. Oktober dauerten. Ab Herbst 2014 wurde zudem ein weiteres, ursprünglich nicht geplantes, Fangpflanzenscreening im Gewächshaus durchgeführt, um neue Arten bzw. Sorten zu finden, die getesteten Arten des Vorjahres ersetzen oder ergänzen sollten. 2016 konnte kein dritter Freilandversuch zu Fangpflanzen mehr gestartet werden, da das Projekt Ende Juni auslief. Stattdessen wurde 2016, wie schon 2014 (April-September) ein weiterer Semifreiland-Versuch mit verschiedenen Kohlarten durchgeführt, um Pflanzenmaterial für Glucosinolanalysen zu erzeugen. Hierzu wurde auch eine kostenneutrale Projektverlängerung genutzt.

Die Versuche zu dem Wachsgehalt von Rosenkohl wurden im Rahmen einer Masterarbeit von Anfang 2014 bis September 2015 parallel zu den genannten Versuchen umgesetzt. Die Endosymbionten-Analysen, die Versuche zur Orientierung und Wirtsfindung und Düngungsversuche wurden ebenfalls im Rahmen von Bachelor- oder Masterarbeiten von Anfang 2015 bis Ende 2016 bearbeitet.

## 2 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Für die Ausbreitung und wachsende Bedeutung der Kohlmottenschildlaus, die sich in Massenvermehrungen an Kulturkohl im Spätsommer-Herbst ausdrückt, werden zahlreiche Ursachen diskutiert, bislang sind aber die Gründe noch nicht sicher verstanden worden. Als die beiden wichtigsten Ursachen werden klimatische Veränderungen der letzten Jahre (z. B. milde Winter), sowie der in demselben Zeitraum stark angestiegene Anbau von Winterraps als „bequemes“ Überwinterungshabitat diskutiert, die das Überleben der KMSL während der Überwinterung begünstigen. Die Bewertung der Ursachen wird aber dadurch erschwert, dass die Biologie des Schädling noch unzureichend erforscht ist. Hierzu gehören insbesondere das Vermehrungspotential, die Ausbreitungsmöglichkeiten (z. B. Flugverhalten), das Wirtswahlverhalten, die Bedeutung von Alternativhabitaten in der Agrarlandschaft und die Bedeutung von Endosymbionten im System Wirtspflanze-Schädling-Nützling. Jedoch auch die Attraktivität und Resistenz von verschiedenen Wirtspflanzenarten und -sorten, und die Bedeutung von natürlichen Gegenspielern (z. B. Schwebfliegenlarven, Marienkäfer, Parasitoide), die z. B. im Rahmen von „conservation biological control“ eine Bedeutung haben und wiedererlangen sollten, sind bislang nur wenig oder gar nicht untersucht worden (bspw. Saucke et al., 2011). Demgemäß stehen abgesehen vom Pflanzenschutzmitteleinsatz nach wie vor nur vergleichsweise wenige wirksame Verfahren zur Kontrolle der Kohlmottenschildlaus zu Verfügung.

Alternativ bzw. ergänzend zum PSM-Einsatz beschränken sich die bisher angewandten Kontrollstrategien gegen die Kohlmottenschildlaus auf die Verwendung von feinmaschigen Kulturschutznetzen und den Einsatz von auf Weiße Fliege spezialisierten Nützlingen wie die Schlupfwespe *Encarsia tricolor* (Hymenoptera: Aphelinidae) oder der Bogenmarienkäfer *Clitostethus arcuatus* (Coleoptera: Coccinellidae). Obwohl diese Verfahren auch in Kombination zum Teil eine gute Wirkung zeigten (z. B. Schmalstieg & Katz 2009; Liebig 2010; Schultz et al. 2010; Saucke et al., 2011) weisen sie doch viele Nachteile auf: Sie sind relativ kostenintensiv und Kulturschutznetze sind zudem nur für kleine Feldgrößen geeignet und müssen für Bodenbearbeitung und Unkrautbekämpfung regelmäßig aufgedeckt werden. Außerdem ist die Verlässlichkeit begrenzt (Liebig 2010; Schultz et al. 2010). Die Aufdeckung der Netze ist sehr arbeitsaufwändig und führt stets zu einem Befall mit Kohlmottenschildläusen, der dann unbedingt reguliert werden muss wie zum Beispiel mit der zusätzlichen Anwendung von Nützlingen oder Insektiziden. Beide oben erwähnte Nützlingsarten sind allerdings zurzeit nicht im Handel erhältlich. Das natürliche Auftreten dieser Gegenspieler scheint nicht ausreichend zu sein, da die Schlupfwespe erst dann im Jahr in ausreichender Anzahl erscheint, wenn die Populationsdichten der KMSL zu hoch sind, wobei dies auch von der Struktur der Agrarlandschaft abzuhängen scheint (in ausreichend divers strukturierten Gebieten kann die Kontrolle aber ausreichend sein (pers.

Komm. Richter; Richter et al, 2010). Der Bogenmarienkäfer scheint in Deutschland als wärmeliebende Art nur sporadisch und in kleiner Zahl aufzutreten (Pütz et al., 1990), und spielt daher bei der Kontrolle der KMSL momentan keine Rolle.

Der Einsatz von Insektiziden bei ökologisch produziertem Kohl ist auf die zugelassenen Mittel Pyrethrine + Rapsöl, Kaliseife und Rapsöl beschränkt (BVL 2016b). Pyrethrine zeigen ebenso wie Azadirachtin gegen die Kohlmottenschildlaus eine gute bis sehr gute Wirkung, sind aber auch kostenintensiv und wirken nur bei schwachem Erstbefall und noch jungen (kleinen) Pflanzen gut (z. B. Wyss & Daniel, 2002; Wyss et al., 2003; LWG, 2009, Richter & Hirthe, 2014). Solche Pflanzenschutzmittelapplikationen sind schwierig, da die KMSL bevorzugt Blattunterseiten besiedelt und die Wachsschicht der Kohlblätter und die Wachsbestäubung der Insekten eine Benetzung der Oberflächen mit Pflanzenschutzmitteln beeinträchtigt. Auch müssen die z. Zt. zugelassenen Mittel relativ häufig angewendet werden und im Wechsel, da die Persistenz der Wirkstoffe gering ist und es Auflagen in Bezug auf die Anwendungshäufigkeit gibt (BVL 2016a,b). Im konventionellen Anbau sind auch synthetische Pflanzenschutzmittel zugelassen, deren Wirkung zum Teil sehr gut ist, wenn sie rechtzeitig appliziert werden (Richter). Allerdings nimmt die Anzahl der zugelassenen Wirkstoffe ab (zurzeit sechs Wirkstoffe, BVL 2016a) und auch hier gibt es Auflagen in Bezug auf die Anwendungshäufigkeit, so dass sehr wirksame Mittel nur begrenzt eingesetzt werden können. Bei dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln besteht hier die Problematik der Resistenzentwicklung der KMSL gegen Pflanzenschutzmittel, die in Großbritannien gegen Pyrethroide schon nachgewiesen ist (Springate & Colvin 2011). Von Verbraucherseite besteht darüber hinaus eine zunehmende Nachfrage nach möglichst unbehandelten und rückstandsfreien Produkten und nach nachhaltigen und umweltfreundlicheren Produktionsweisen. Dies wird auch von politischer Seite gefordert und in Rahmen von Direktiven (z. B. Direktiven 2009/128/EC des Europäischen Parlaments und der Kommission vom 21 Oktober 2009) und „National Action Plans“ umgesetzt. Insofern besteht auch bei dem konventionellen Anbau ein Bedarf an alternativen Strategien, die sich aber möglichst problemlos in die Produktion integrieren lassen müssen und möglichst wenig Aufwand erfordern sollten.

Alternativen zu den bislang verwendeten Verfahren können der Einsatz von Fangpflanzen sein, die in verschiedenen Kulturen und auch mit weißen Fliegen (*Bemisia tabaci*) in Kulturen wie Tomate (*Solanum lycopersicum*) oder Bohnen (*Phaseolus vulgaris*) erfolgreich umgesetzt wurden (Smith & McSorley, 2000; Schuster, 2004; Shelton & Badenes-Perez, 2006). Das Prinzip von Fangpflanzen besteht darin, um die Kulturen in einem gewissen Abstand („Perimeterdesign“) oder auch im Bestand zwischen den Kulturpflanzen („Strip trap cropping“) Pflanzen anzubauen, die deutlich attraktiver als die Kulturpflanzenart oder Sorte sind. Von außen kommende, fliegende Schadinsekten werden also vor der Besiedelung

abgefangen und der Befall auf der Kultur mehr oder weniger stark reduziert oder ganz vermieden. Dies kann dann besonders erfolgreich sein, wenn Fangpflanzen da sind, bevor die Hauptzuflugszeit des Schädling anfähngt und es keinen kontinuierlichen Zuflug von Schadinsekten gibt sondern nur eine kurze Periode. Außerdem ist es von Vorteil, wenn die Kulturpflanze nicht nur weniger attraktiv ist sondern auch über eine ausreichende Resistenz verfügt, da auch auf den Kulturpflanzen bis zu einem gewissen Grad ein Befall zu erwarten ist. Durch Auswahl von beispielsweise Sorten die antixenotische Eigenschaften aufweisen, kann dann die Attraktivität weiter reduziert werden, während antibiotische Eigenschaften den auf den Kulturpflanzen lebenden Tieren eine schlechte Nahrungsgrundlage liefern und so Fitness und Entwicklungspotenzial reduzieren (Smith, 2005). Dies kann sich dann unter anderem in erhöhter Mortalität, reduzierter Eiablage, längerer Entwicklungszeit oder geringerem Gewicht äußern (Smith, 2005). Dies trägt im Idealfall dazu bei, dass sich die Population auf der Kultur langsamer entwickelt und keine hohen Dichten erreicht die schädigend wirken. Daneben haben auch Gegenspieler mehr Zeit, regulierend einzugreifen und die Populationsdichten des Schädling zu reduzieren. Zusätzlich gefördert werden können natürlich vorkommende Gegenspieler durch Blühstreifen (Haaland et al., 2011), die Nahrungsgrundlagen liefern (z. B. Pollen und Nektar für adulte Tiere, die nicht räuberisch leben), und als Überwinterungsquartiere oder Rückzugshabitate dienen können. Diese Streifen werden inzwischen auch für Gemüsekulturen wie Kohl optimiert (z. B. Sartisohn et al., 2016). Ein weiteren Schritt machen Ansätze mit offenen Zuchten, wo den Gegenspielern Alternativnahrung angeboten wird, so dass sich frühzeitig eine ausreichend große Gegenspielerpopulation aufbauen kann, die dann auch auf den Kulturpflanzen wirken kann. Die Förderung der funktionellen Biodiversität und die Nutzung der positiven Effekte für den Pflanzenschutz war daher ein dritter Ansatzpunkt in diesem Projekt.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Fangpflanzen-Screening

Um geeignete also für die KMSL attraktivere Fangpflanzen zu finden, wurden eine Anzahl Pflanzenarten und Sorten in Wahlversuchen im Gewächshaus untersucht (siehe Tabelle 1). Die Pflanzenauswahl basiert auf NPAG (2001), Martin et al. (2007), van Rijn et al. (2008) und Björkman et al. (2014).

**Tabelle 1: Untersuchte Pflanzenarten bzw. Sorten für das Fangpflanzen-Screening.**

Name	Wissenschaftl. Name	Familie	Sorten*
Grünkohl	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Brassicaceae	Ripbor, Ostfriesische Palme, Winterbor, Holter Palme, Halbhoher Grüner Krauser, Lerchenzungen
Markstammkohl (Futterkohl)	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>medullosa</i>	Brassicaceae	Proteor, Grüner Ring
Wirsing	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabauda</i>	Brassicaceae	Wirosa, Barosa, Marnier Grüfewi
Schöllkraut	<i>Chelidonium majus</i>	Papaveraceae	n.a.
Wegwarte	<i>Cichorium intybus</i>	Asteraceae	n.a.
Friseé-Endivie	<i>Cichorium endivia</i> var. <i>crispum</i>	Asteraceae	Lindo
Gänsedistel	<i>Sonchus oleraceus</i>	Asteraceae	n.a.
Chinakohl	<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>pekinensis</i>	Brassicaceae	Yuki

\*: Wildpflanzenarten ohne Sorten

Aufgrund von Ergebnissen eigener Vorversuche (Pflanzen wurden für 24 h in einen KMSL-Zuchtkäfig gestellt und danach auf Adulte und Eiablage kontrolliert) wurde auf weitergehende Experimente mit Saubohne (*Vicia faba*), Petersilie (*Petroselinum crispum*), Ringelblume (*Calendula officinalis*), Ölrettich (*Raphanus sativus* subsp. *oleiformes*), Blumenkohl (*B. oleracea* var. *botrytis*) und Brokkoli (*B. oleracea* var. *italica*) verzichtet und ein Schwerpunkt auf Brassicaceae gelegt und hier insb. Grünkohl (van Rijn et al. 2008). Die oben genannten Pflanzenarten wiesen in den Vorversuchen keinen (Nicht-Brassicaceae) oder nur sehr geringen Befall (Brassicaceae) auf. Eiablagen fanden nicht statt. Auf weitere Wildpflanzen wurde aus weiteren Gründen (u.a. schlechtes Auflaufen, mögliche Akzeptanzprobleme bei Anbauern, hohe Saatgutpreise, im Vergleich zu Rosenkohl zu kurze Lebensdauer) verzichtet.

Bei den eigentlichen Versuchen wurden immer gegen Rosenkohl als Alternative getestet, und zwar auf der Sorte von der die Zuchttiere stammten, nämlich die Sorte Hilds Ideal. Die

Versuche fanden in Gazekäfigen (104 x 66 x 65 cm) mit Glasdeckeln und 1,5 oder 2 Monate alten Pflanzen im Gewächshaus bei künstlicher Beleuchtung statt (Abbildung 1). Die Beleuchtung war dabei direkt über jedem Käfig angeordnet. Die Pflanzen wurden ein Tag vor Versuchsbeginn an gegenüberliegenden Ecken des Käfigs gestellt, dann pro Käfig 50 KMSL direkt aus der Stammzucht aus einem Schnappdeckelglas in der Mitte des Käfigs freigelassen. Nach 24 Stunden wurde der Befall (adulte Tiere) erfasst. Pro Durchgang wurden 5 (später 6) Käfige verwendet die in einer randomisierten Blockanlage aufgestellt waren. Pro Pflanzenart wurden eine bis drei Wiederholungen durchgeführt.



**Abbildung 1:** Beispielbild für Wahlversuch für das KMSL-Fangpflanzenscreening (hier Rosenkohl gegen Grünkohl). Das Schnappdeckelglas in der Mitte war der Freilassungspunkt für 50 KMSL.

## 3.2 Fangpflanzen-Feldversuche

### 3.2.1 Feldversuche 2014

Im ersten Versuchsjahr wurden die Fangpflanzen anhand der Ergebnisse des Fangpflanzen-Screenings im Winter/Frühjahr 2013/14 selektiert. Als am attraktivsten hatten sich Markstammkohl (Sorte 'Proteor') und Frisée-Endivie (Sorte 'Lindo') herausgestellt. Außerdem wurde eine Kombination beider Fangpflanzen verwendet.

Die Versuche wurden an zwei Standorten (Sarstedt-Ruthe 52°14'46.9"N 9°48'48.2"E, und Sickinge-Hötzum 52°12'18.6"N 10°36'17.4"E) durchgeführt und Parzellenversuche in randomisierter Blockanlage mit je 3 Wiederholungen durchgeführt (Abbildung 2). Zwei nicht

anfällige Rosenkohlsorten wurden anhand der Ergebnisse des Resistenz-Screenings (Kapitel Sortenscreening) ausgewählt. Dies waren die Sorten 'Octia' und 'Bright'. In Hötzum wurde wegen Kapazitätsmangels nur mit der Sorte 'Octia' gearbeitet. Ein Überblick der Versuchsvarianten ist in Tabelle 2 zusammengefasst.



**Abbildung 2:** Überblick über einen Teil der Versuchsanlage in Ruthe 2014, Mitte August.

**Tabelle 2:** Überblick über die Versuchsvarianten für den Freilandversuch 2014 in Ruthe. In Hötzum wurde nur die Sorte 'Octia' mit allen Varianten verwendet.

Lft. Nummer	Rosenkohlsorte	Fangpflanze(n)
1	'Octia'	Markstammkohl
2	'Octia'	Frisée-Endivie
3	'Octia'	Markstammkohl & Frisée-Endivie
4	'Octia'	ohne Fangpflanzen (Kontrolle)
5	'Bright'	Markstammkohl
6	'Bright'	Frisée-Endivie
7	'Bright'	Markstammkohl & Frisée-Endivie
8	'Bright'	ohne Fangpflanzen (Kontrolle)

Ruthe: Die Parzellen waren in zwei Reihen (Abstand ca. 50 m) in einem randomisierten Blockdesign angeordnet; als Vorfrucht wurde Mais angebaut. Die Parzellengröße betrug 6 m x 8 m, der einen 1 m Fangpflanzenperimeter einschloss. Rosenkohl wurde mittig in der Parzelle mit einem Abstand von 0,5 m x 0,6 m gepflanzt (56 Pflanzen/Parzelle). Der Abstand zu den Fangpflanzen betrug 0,5 m bzw. 0,25 m. Markstammkohl wurde in zwei Reihen versetzt (18/20 Pfl./Seite) gepflanzt, Frisée-Endivie wurde in Doppelreihen mit 36/40 Pfl./Seite gepflanzt (0,3 m Abstand). Bei der Kombination wurde je eine Reihe Markstammkohl und Frisée-Endivie gepflanzt, wobei letztere innen waren.

Gepflanzt wurde Ende April, Fangpflanzen knapp eine Woche früher (bei gleichem Aussaattermin). Pflanzen wurden dann mit einem Taubenschutznetz (HADI GmbH, Marschacht) abgedeckt (Abnahme 19.06.). Die Pflanzen wurden in den darauf folgenden Wochen ergänzt, um hohe Pflanzenverluste (pro Parzelle 10-80 %) durch Hasen auszugleichen (bis Ende Mai). Schäden traten in erster Linie durch das Laufen der Tiere über die Netze auf, so dass die Blätter und Sprossspitzen durch die harten Netzmaschen abtrennt wurden bzw. durch das Netz ragende Pflanzenteile gefressen wurden. Dies konnte erst ab Juni mit dem Ausbringen von Haarmehl-Pellets verhindert werden. Gedüngt wurde 50 kg N/ha (Kalkstickstoff) drei Wochen nach Pflanzung, sowie ab Juni einmal pro Monat Haarmehl-Pellets (N: 14 %, P: 1 %, S: 1,7 %; Beckmann & Brehm GmbH, Beckeln) je ca. 1 kg/Parzelle (Mitte Juni, Juli). Gewässert wurde nach Bedarf mit Handgießgeräten. Als einzige Pflanzenschutzmaßnahme wurde im Juni einmalig Xentari gegen Schadschmetterlinge (insb. *Pieris brassicae*, *Plutella xylostella*) nach Vorgaben des Herstellers appliziert (Feldspritze). Unkraut wurde per Hand gejätet. Gewässert wurde nach Bedarf mit Handgießgeräten. Als Blühstreifen wurde ein in unmittelbarer Nähe angelegter Blühstreifen des Teilprojekts 12NA016 verwendet.

Hötzum: Vorfrucht waren Sonnenblumen. Nach Saatbeetvorbereitung wurde Ende April Stomp (Pendimethalin; BASF SE) mit einer Handspritze nach Angaben des Herstellers ausgebracht. Später wurden die Flächen per Hand unkrautfrei gehalten.

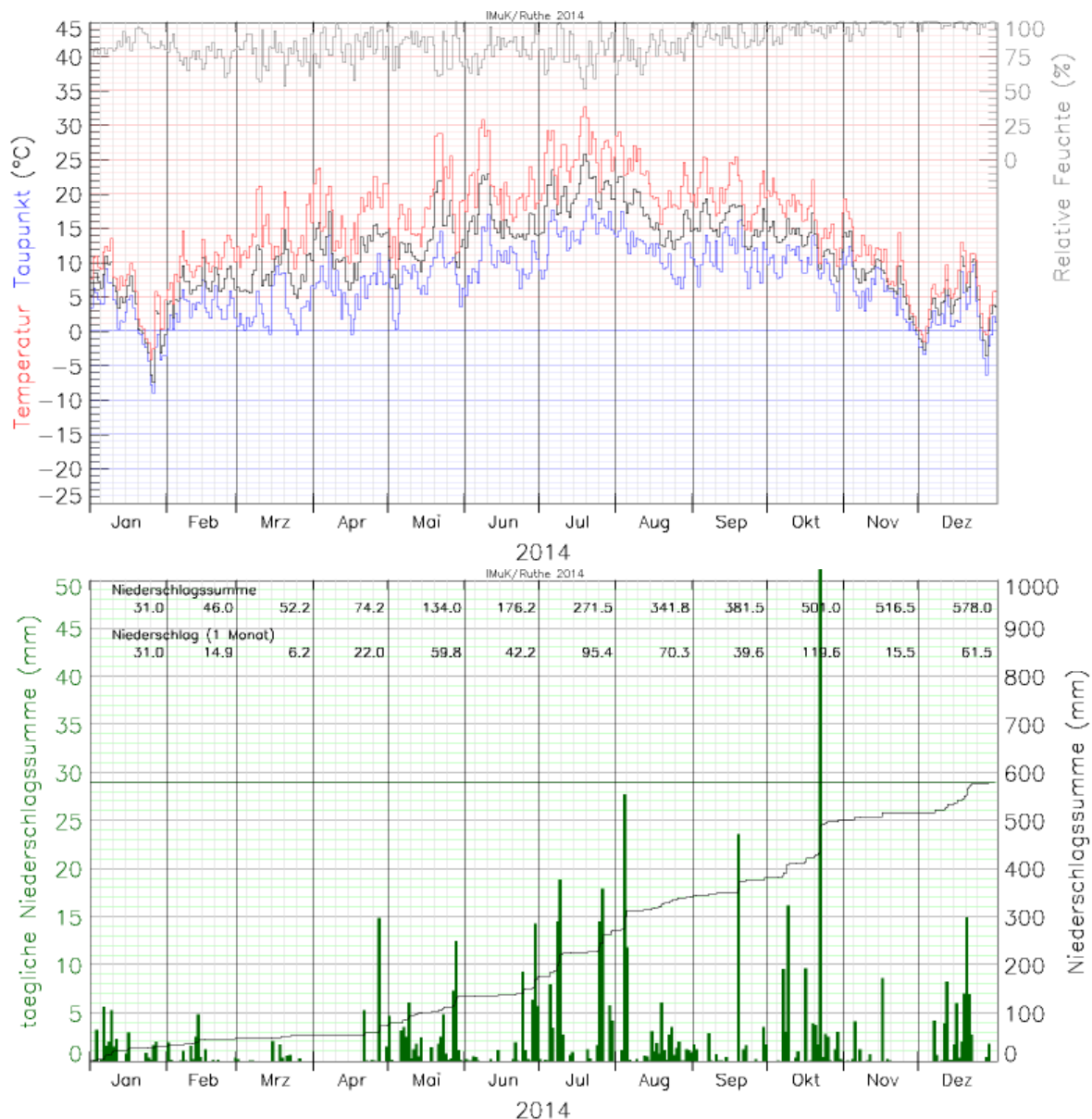
Die Parzellen waren 10 x 6 m groß, der Fangpflanzenperimeter wieder 1 m. Rosenkohl wurde mittig in der Parzelle mit einem Abstand von 0,5 m x 0,6 m gepflanzt (8 Reihen mit je 13 Pflanzen, 104 Pflanzen). Der Abstand zu den Fangpflanzen betrug 0,5 m bzw. 0,25 m. Markstammkohl wurde auf in zwei Reihen versetzt (20/24 Pfl./Seite, 0,6 m Abstand) gepflanzt, Frisée-Endivie wurde in Doppelreihen mit 40/48 Pfl./Seite gepflanzt (0,3 m Abstand). Bei der Kombination wurde je eine Reihe Markstammkohl und Frisée-Endivie gepflanzt, wobei letztere innen waren. Die Pflanzung erfolgte Ende April (Fangpflanzen vier Tage früher). Auf Netze konnte verzichtet werden, da die Anlage durch einen Zaun und eine Knallschreckanlage abgesichert war. Gewässert wurde nach Bedarf mit Handgießgeräten.

Bodenproben zur Bestimmung von N<sub>min</sub> wurden in KW 24 erhoben, 2 Wochen nach Pflanzung wurden 150 kg N/ha (Kalkstickstoff) und bei Bestandsschluss 150 kg N/ha abzüglich N<sub>min</sub> (KAS) gedüngt, um den N-Sollwert (300 kg/ha) zu erreichen. Als einzige Pflanzenschutzmaßnahme wurde im Juni Calypso (Thiaclopid, Bayer AG) gegen Kohlerdföhe (*Phyllotreta* spp.) (0,2 L/ha) mit der Feldspritze appliziert.

Anfang August (KW 32) kam es zu einer Überschwemmung in Hötzum, die drei Parzellen (1x Kombination, 2 x Markstammkohl) betraf. Betroffene Pflanzen bzw. Parzellenbereiche wurden nicht mehr mitbonitiert, da diese Pflanzen stark in Mitleidenschaft gezogen wurden bzw. abstarben.



Bonituren erfolgten an beiden Standorten ab Juni zweiwöchentlich an der ganzen Pflanze auf Larven und adulte KMSL. Friseé wies keinerlei Befall an KMSL auf, daher wurde diese Variante sowie die Kombinationsvariante nur bis Mitte Juli bonitiert. Pro Parzelle wurden 10 Rosenkohlpflanzen und 8 Fangpflanzen (je Seite eine Innen- und eine Außenpflanze) bonitiert. Da es keine signifikanten Unterschiede gab und in allen Varianten einen hohen bis sehr hohen Befall gefunden wurde, wurde der Versuch in Ruthe bis zum 24. Juli bonitiert, in Hötzum die vielversprechendste Variante Markstammkohl bis zum Ende August. Dann wurden diese Versuche abgebrochen und Ertrag und Verschmutzung wegen des gleichmäßig hohen Befalls und Verschmutzung nicht mehr erfasst. Für die Temperaturerfassung im Bestand wurden Funkfühler (Testo Saveris T1; Messgenauigkeit  $\pm 0,4$  °C (Testo AG, Lenzkirch) verwendet. Zusätzliche Wetterdaten (Abbildung 3) wurden vom Institut für Meteorologie und Klimatologie (LUH) zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 3:** Wetterdaten des Standortes Ruthe 2014: Oben sind dargestellt: Tagesmaximum (rote Linie), Tagesmittelwert (schwarze Linie) und Tagesminimum (blaue Linie), sowie die relative Luftfeuchtigkeit (%) in 2 m Höhe. Unten sind tägliche Niederschlagssummen (mm) und die kumulierte Jahressumme (mm) dargestellt.

### 3.2.2 Feldversuche 2015

Im zweiten Versuchsjahr wurde nur ein Feldversuch in Ruthe durchgeführt. Das Versuchsdesign wurde angepasst, indem der Abstand Fangpflanzen zu Rosenkohl vergrößert wurde und Fangpflanzen etwa zwei Wochen vor dem Rosenkohl ausgesät und ausgepflanzt wurden, damit diese einen Wachstums- und damit Größenvorsprung hatten. Friseé und die Kombination der Fangpflanzen wurden verworfen und stattdessen wieder

Markstammkohl (Sorte 'Proteor') und als neue Fangpflanze Wirsing (Sorte 'Barbosa', die als industriell einsetzbare Sorte eine hohe Verbreitung hat) verwendet. Bei Rosenkohl wurde nur die Sorte 'Octia' verwendet.

Die Fläche war vorher eine Grasfläche, diese wurde im April zweimal gegrubbert und am 24. April die Parzellen einmalig mit Glyphosat (0,5 mL/m<sup>2</sup>, Handspritze) freigespritzt. Später wurden die Flächen per Hand unkrautfrei gehalten. Das Versuchsdesign war wieder eine randomisierte Versuchsanlage mit Kleinparzellen (6 m x 6 m) mit einem 1 m Fangpflanzenperimeter; zwischen Rosenkohl und Fangpflanzen gab es einen Abstand von 0,75 m. Rosenkohl wurde mit einem Abstand von 0,5 x 0,6 m gepflanzt (30 Pflanzen/Parzelle), Fangpflanzen auf 1 m x 0,5 m (zwei Reihen versetzt, 40 Pfl./Parzelle) (Abbildung 4). Für die Temperaturerfassung im Bestand wurden Funkfühler (Testo Saveris T1; Messgenauigkeit ± 0,4 °C (Testo AG, Lenzkirch) verwendet. Zusätzliche Wetterdaten (Abbildung 5) wurden vom Institut für Meteorologie und Klimatologie (LUH) zur Verfügung gestellt. Als Blühstreifen wurde ein in unmittelbar in der Nähe angelegter Blühstreifen eines anderen Projektes (DBU-Projekt zur Förderung der funktionellen Biodiversität in Kohl) verwendet.

Fangpflanzen (ca. 1 Monat alt) wurden am 28. April ausgepflanzt, Rosenkohl (ca. 1 Monat alt) am 12. Mai. Die Pflanzen wurden sofort mit Haarmehl-Pellets gedüngt (zusätzlicher Schutz gegen Wild) und mit Taubenschutznetzen (HADI GmbH, Marschacht) abgedeckt (Abnahme 17.06.). Weitere Düngungen mit Haarmehl-Pellets erfolgten am 03.06., 17.06., 24.06 und 29.07. mit je ca. 1 kg/Parzelle (am 17.06, 0,5 kg). Gewässert wurde nach Bedarf mit Handgießgeräten.

Bonituren erfolgten von Anfang Juni bis Ende September, erst wöchentlich und später zweiwöchentlich auf Eigelege (bis 24.06.), Larven und Adulte der KMSL an der ganzen Pflanze. Pro Parzelle wurden 10 Rosenkohlpflanzen und 8 Fangpflanzen (je Seite eine Innen- und eine Außenpflanze) bonitiert.

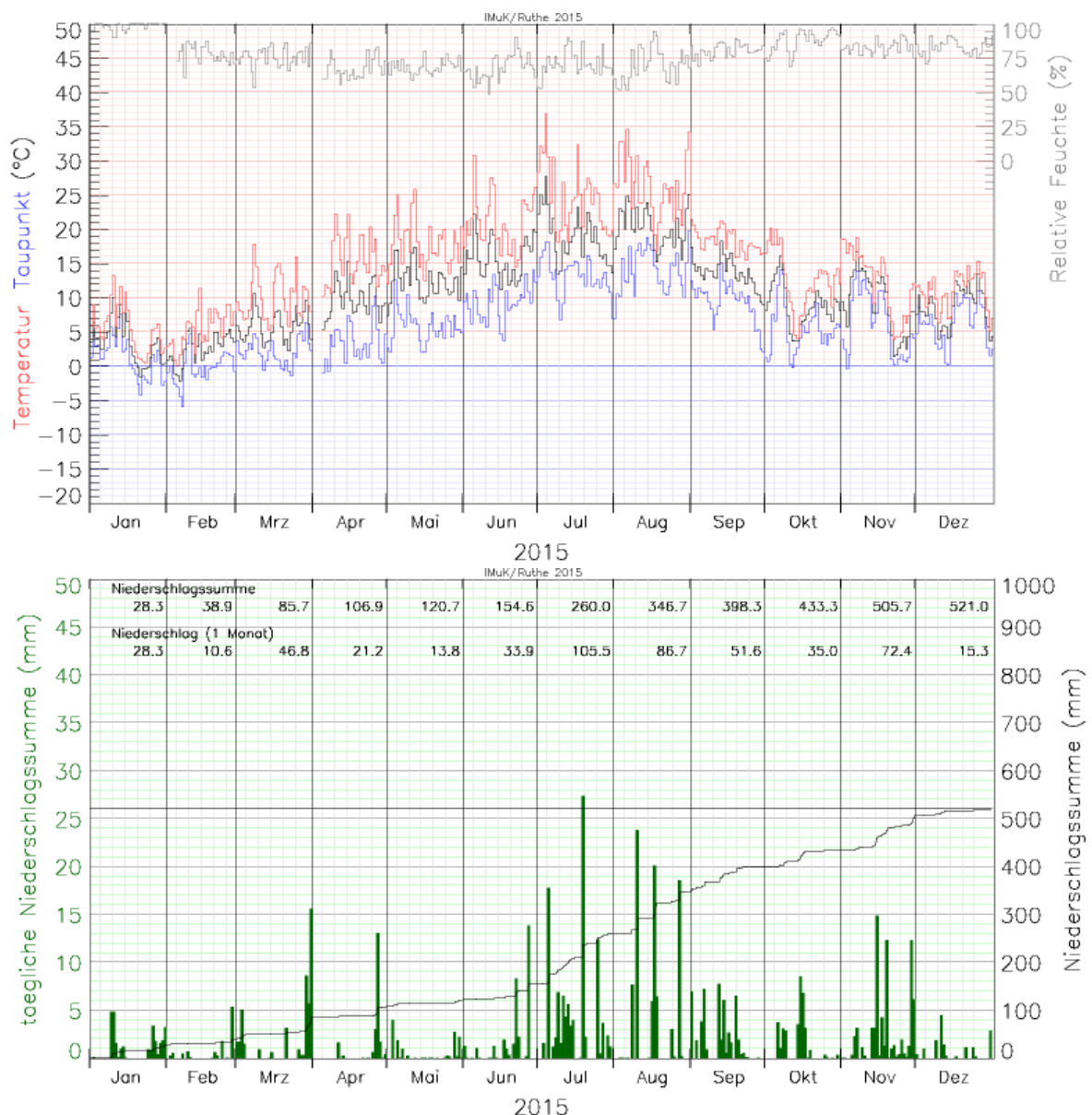


**Abbildung 4:** Beispielbild einer Parzelle mit Rosenkohl die von einem Fangpflanzenperimeter aus Markstammkohlpflanzen umgeben ist. Im Hintergrund eine Parzelle mit Wirsing als Fangpflanze.

Die Bonitur auf Ertrag und Verschmutzung erfolgte am 28. Oktober. Die Pflanzen wurden vorher nicht entspitzt. Die Rosenkohlernte, die Bonitur der Verschmutzungen an den Röschen und die Vermarktungsfähigkeit der Röschen wurden mit den Kooperationspartnern abgestimmt, um die Ergebnisse untereinander vergleichen zu können. Zudem wurde die Norm FFV-08 für die Vermarktung und die Qualitätskontrolle von Rosenkohl (UNECE, 2010) mit einbezogen.

Für die Bonitur wurden pro Parzelle an 8 Pflanzen zuerst die Pflanzhöhe mit Hilfe eines Zollstockes gemessen, dann der obere Pflanzenteil und die Blätter, ohne die Röschen zu verletzen, mit einem Erntemesser abgeschlagen und der Strunk mit einer Astschere über dem Boden abgeschnitten. Dann wurde die Stärke der Röschen-Verschmutzungen durch die Einteilung in Verschmutzungsgrade 1 (sauber) bis 5 (vollständig verschmutzt) visuell und subjektiv bestimmt. Nachdem dies abgeschlossen war, wurden die Röschen von den Strünken entfernt und mit einer Laborwaage (Kern PFB 6000-1, Kern & Sohn GmbH, Balingen) gewogen. Die Röschen wurden daraufhin nach ihrer Vermarktungsfähigkeit in 3 Klassen (Klasse 1: vermarktungsfähig, Klasse 2: geputzt vermarktungsfähig und Klasse 3: nicht vermarktungsfähig) sortiert und die verschiedenen Sortierungen ebenfalls gewogen. Laut der Norm der UNECE Vereinte Nationen (2010) müssen die Röschen der Qualitätsklassen 1 und 2 ganz, gesund (ausgeschlossen sind Erzeugnisse mit Fäulnisbefall oder anderen Mängeln, die sie zum Verzehr ungeeignet machen), sauber (praktisch frei von

sichtbaren Fremdstoffen), von frischem Aussehen, praktisch frei von Schädlingen und Schäden durch Schädlinge, frei von anomaler äußerer Feuchtigkeit und frei von fremdem Geruch und/oder Geschmack sein. Als Letztes wurden die Röschen der Größe nach sortiert und diese verschiedenen Größensortierungen einzeln gewogen. Zum Sortieren wurde ein Lochmaß verwendet, das sechs Bohrungen mit Durchmessern von 15 - 45 mm hatte. Auch bei der Größensortierung wird durch die UNECE-Norm vorgegeben, dass Röschen einen Mindestdurchmesser von 10 mm (geputzt) oder 15 mm (ungeputzt) aufweisen müssen. Kleinere Röschen sind nicht vermarktbar.



**Abbildung 5:** Wetterdaten des Standortes Ruthe 2015: Oben sind dargestellt: Tagesmaximum (rote Linie), Tagesmittelwert (schwarze Linie) und Tagesminimum (blaue Linie), sowie die relative Luftfeuchtigkeit (%) in 2 m Höhe. Unten sind tägliche Niederschlagssummen (mm) und die kumulierte Jahressumme (mm) dargestellt.

### 3.3 Sortenscreening Anfälligkeit

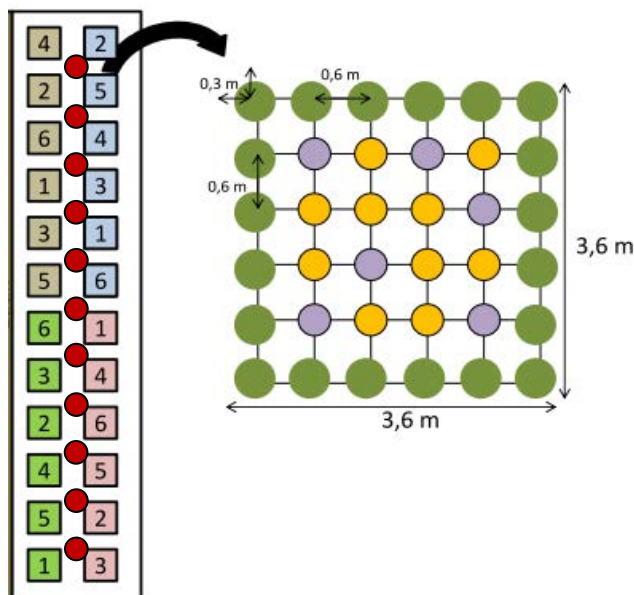
Für das Sortenscreening wurden anfangs 16 Rosenkohlsorten von fünf Züchtern verwendet (Tabelle 3). Diese wurden aus Kapazitätsgründen bzw. fehlender Eignung bei späteren Versuchen (Antibiosis, Freiland) reduziert. 'AS 336' und 'AS 337' waren noch nicht zugelassene Sorten der Agri Saaten GmbH, diese wurden später nicht mehr berücksichtigt. Die Sorte 'Hilds Ideal' wurde als Kontrolle verwendet, da diese Sorte für die KMSL-Stammzucht verwendet wurde.

Für die Temperaturkontrolle in Gewächshaus und Klimakammer wurden Funkfühler (Testo Saveris T1; Messgenauigkeit  $\pm 0,4$  °C (Testo AG, Lenzkirch)) oder Tinytag Plus 2 TGP-4500; Messgenauigkeit  $\pm 0,6$  °C,  $\pm 3$  % RH (Gemini Data Loggers Ltd, Chichester, UK) eingesetzt. Für die Geschlechtsbestimmungen und die Auswertungen wurde ein Stereolupe (Leica M76) genutzt. CO<sub>2</sub> wurde zum Betäuben der Insekten verwendet, um das Geschlecht zu bestimmen oder sie bei Versuchsstart zu immobilisieren.

Der Rosenkohl wurde in Multitopfplatten mit Fruhstorfer Erde Typ P (Industrie-Erdenwerk Archut GmbH & Co. KG, Lauterbach) ausgesät und bei  $21 \pm 1$  °C zum Keimen in die Anzucht gestellt. Nach vier Wochen wurden die Jungpflanzen in 12er Töpfe mit gleicher Erde getopft und für 2 weitere Wochen in der Anzucht kultiviert. Die sechs Wochen alten Pflanzen wurden anschließend für Versuche verwendet. Um einen Befall mit echtem Mehltau (*Erysiphe cruciferarum* Opiz ex L. Junell) zu vermeiden, wurden die Pflanzen, die für die Klimakammer vorgesehen waren, prophylaktisch mit Bayfidan 0,05 % (Cheminova Deutschland GmbH & Co. KG; Stade) behandelt. Für alle Resistenzversuche wurde Rosenkohl nach einer Akklimatisationszeit von drei Tagen in der jeweiligen Räumlichkeit verwendet.

Der Freilandversuch wurde auf dem Gelände der Leibniz Universität in Hannover-Herrenhausen durchgeführt. Die Bodenart ist eine Braunerde aus anlehmigem Sand. Die Vorfrucht im Jahr 2014 war eine Gründüngungsmischung und vor dem Auspflanzen wurden 200 kg/ha K<sub>2</sub>O (Kalimagnesia) und 100 kg/ha MgO (Kieserit) als Grunddüngung ausgebracht. Die Versuche wurden mit sechs verschiedenen Rosenkohlsorten und vier Wiederholungen in einem randomisierten Blockdesign angelegt (Abbildung 6). Der Versuch enthielt 4 Blöcke (6 Parzellen pro Block) mit insgesamt 24 Parzellen, wobei jede Parzelle eine Größe von 3,6 x 3,6 m (ca. 13 m<sup>2</sup>) hatte und aus 36 Pflanzen bestand (Gesamtzahl 144 Pflanzen pro Sorte). Die Pflanzen wurden im Abstand von 0,6 x 0,6 m gepflanzt und die Wege zwischen den einzelnen Parzellen waren 0,5 m breit. Am 05.05.2015 wurden aus den einzelnen Parzellen Bodenproben entnommen, um die Stickstoffgehalte (N<sub>min</sub>) ermitteln zu lassen (extern durch LUFA Nord-West, Oldenburg). Im Mittel befanden sich in den oberen 30 cm Boden 17,7 kg/ha Gesamt-Stickstoff. Im Bereich von 30-60 cm befanden sich 14,1 kg/ha Gesamt-Stickstoff.

Der Rosenkohl wurde Anfang Mai 2015 gepflanzt und anschließend mit Taubenschutznetzen (Maschenweite: 7 x 7 mm) (HADI GmbH, Marschacht) und einem Elektrozaun abgesichert. Gegossen wurde nach Bedarf per Hand oder mit Hilfe eines Gießwagens. Während des Versuches wurde viermal (7.5., 29.5., 13.7. und 24.9. insg. 2,25 kg/Parzelle) mit einem organischen Stickstoffdünger (Haarmehl-Pellets, N: 14 %, P: 1 %, S: 1,7 %), der Firma Beckmann & Brehm GmbH (Beckeln) gedüngt.



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der Versuchsanlage zur Untersuchung der Antixenosis- und Antibiosiseigenschaften von Rosenkohlsorten gegenüber der Kohlmottenschildlaus im Freiland (links) und Einzelparzelle (rechts). Randomisiertes Blockdesign mit 6 Sorten (gleiche Zahl steht für dieselbe Sorte) und vier Wiederholungen; Feldgröße ca. 9 m x 50 m; rote Punkte = Freilassungsort für KMSL. Einzelparzelle: Die Bonituren (Lila = Entwicklungsversuche; Gelb = Präferenzversuche) erfolgten in jeder Parzelle an den gleichen Pflanzen, außer den Randpflanzen (grün markiert).

**Tabelle 3:** Für die verschiedenen Versuche zum Resistenz-Screening verwendete Rosenkohlsorten und Züchter.

Antixenosis (Gewächshaus)	Antibiosis II (Klimakammer)	Antibiosis/ Antixenosis (Freiland)	Züchter
'Esperal'	'Esperal'	'Esperal'	Agri-Saaten GmbH
'Octia'	'Octia'	'Octia'	Agri-Saaten GmbH
'Speedia'	'Speedia'		Agri-Saaten GmbH
'Steadia'			Agri-Saaten GmbH
'Doric'	'Doric'	'Doric'	Bejo Samen GmbH
'Nautic'			Bejo Samen GmbH
'Hilds Ideal'	'Hilds Ideal'	'Hilds Ideal'	Hild Samen GmbH
'Brest'			Nickerson-Zwaan*
'Breton'			Nickerson-Zwaan*
'Bright'	'Bright'		Nickerson-Zwaan*
'Brilliant'	'Brilliant'		Nickerson-Zwaan*
'Content'	'Content'	'Content'	Nickerson-Zwaan*
'Cyrus'			Syngenta Agro GmbH
'Genius'	'Genius'	'Genius'	Syngenta Agro GmbH
'AS 336'			Agri-Saaten GmbH
'AS 337'			Agri-Saaten GmbH

\*: Seit 2014 Hazera Seeds GmbH

Alle Sorten bis auf 'Hilds Ideal' sind F1-Hybriden.

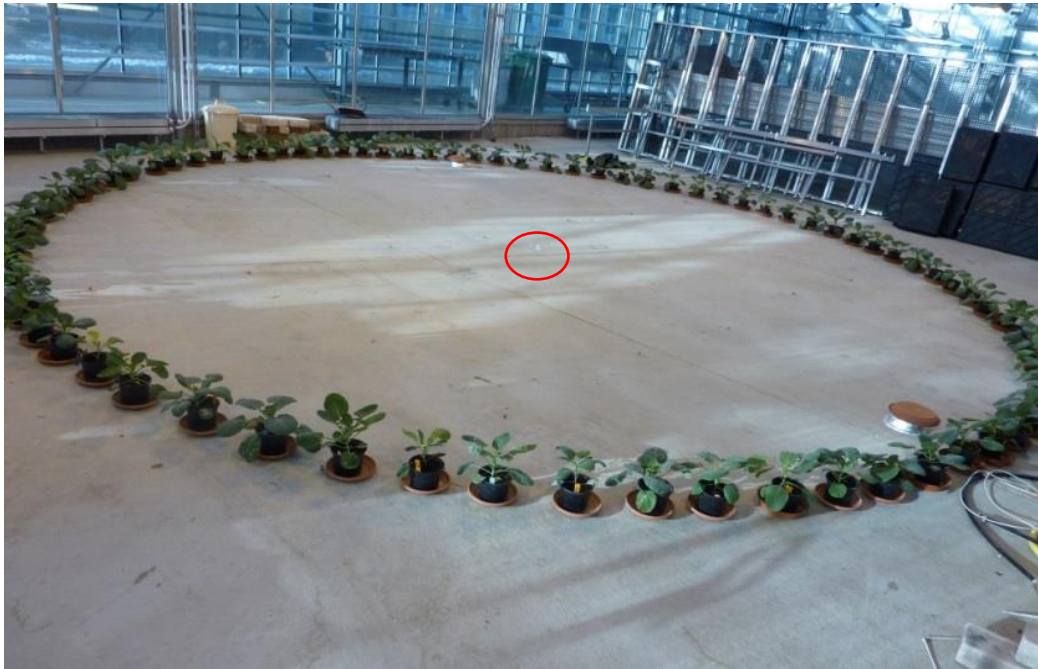
### 3.3.1 Antixenosis-Versuche (Gewächshaus)

Antixenosis-Versuche wurden als Wahlversuche, bei denen die Rosenkohlsorten kreisförmig angeordnet wurden, durchgeführt. Der erste Versuch im Oktober 2013 war ein Vorversuch im kleineren Maßstab, um die Methodik zu erproben und da einige Sorten noch nicht vorlagen. Es wurden daher nur je 5 Versuchspflanzen von 12 Sorten verwendet. Im Gewächshaus herrschten während des Versuches Langtagbedingungen (16L/8D) mit einer Temperatur von durchschnittlich  $22 \pm 4$  °C. Für die Beleuchtung wurden Natriumdampflampen (Philips SON T Agro 400; Philips; Hamburg) verwendet, die bei einer Unterschreitung von 20 klx eingeschaltet wurden. Die Schattierung wurde bei einer Überschreitung von 25 klx ausgefahren. Die insgesamt 60 Versuchspflanzen wurden im Gewächshaus drei Tage vor Versuchsbeginn auf zwei Rolltischen vollständig randomisiert im Kreis ( $\varnothing$  5 m) aufgestellt. Für den Versuch wurden 1000 Kohlmottenschildläuse mit Hilfe eines Exhaustors aus der Stammzucht gesammelt (Männchen und Weibchen,



unsynchronisiert), anschließend mit CO<sub>2</sub> betäubt und in einen Plastikzylinder (Ø 11 cm, Höhe: 16 cm) gegeben. Dieser Behälter wurde zum Versuchsstart in der Mitte des Kreises aufgestellt. Die Tiere hatten dann 7 Tage Zeit sich zu verteilen und geeignete bzw. für sie attraktive Wirtspflanzen zu finden. Nach Abschluss des Versuches wurden die Pflanzen in Plastiktüten eingepackt, mit Kabelbindern verschlossen und bei -20 °C eingefroren, um eine Weiterentwicklung der Eier zu verhindern und die adulten Tiere zählen zu können. Aus diesem Grund wurden schwarze 60 L Kunststoffbeutel bereits beim Versuchsaufbau auf den Tischen ausgebreitet und die Versuchspflanzen mitsamt dem Untersetzer in die Tüte gestellt. Bei der darauf folgenden Auswertung wurden die Anzahl der adulten Kohlmottenschildläuse und die Eier pro Pflanze im Labor mit Hilfe eines Stereolichtmikroskops erfasst.

Für die anschließenden drei Versuchswiederholungen (Dezember 2013, Januar und März 2014) wurden 80 Versuchspflanzen (16 Sorten á 5 Pflanzen) vollständig randomisiert im Kreis (Abbildung 7) mit ein Abstand von etwa 25 cm auf dem Gewächshausboden platziert, damit sich die Pflanzen während des Versuches nicht berührten. Der Kreis hatte somit einen Durchmesser von 6,40 m. Nach dem Ablauf des Versuchszeitraumes wurden bei allen Wiederholungen die Pflanzen vorsichtig in schwarze Kunststoffbeutel überführt und per Wurzelhalsschnitt von Topf und Ballen getrennt. Der Topf wurde aus der Tüte entfernt und die Tüte mit einem Kabelbinder verschlossen und mit einem Etikett für die Pflanzencode versehen. Alles andere verlief wie im Vorversuch. Alle diese Versuche wurden verblindet durchgeführt, die Pflanzen waren also nur mit einem Code zur späteren Identifizierung versehen.



**Abbildung 7:** Kreisförmiger Versuchsaufbau ( $\varnothing$  6,4 m) der Wahlversuche zur Untersuchung der Antixenosis von Rosenkohlsorten gegenüber Kohlmottenschildläusen. Der mittige rote Kreis markiert den Freilassungspunkt.

### 3.3.2 Antibiosis-Versuche (Klimakammer)

Es wurden 5 Pflanzen pro Sorte, insgesamt 45 Pflanzen durchnummeriert (verblindet) und vollständig randomisiert auf den Tischen aufgestellt. Die genutzte Klimakammer (2,8 m x 4,8 m) war Teil einer Großraumanlage für Temperatur- und Klimaprüfungen (Vötsch Industrietechnik GmbH; Balingen), die mit dem Lampentyp Osram Lumilux 58 W, 400 K L 58\_840 (Osram; München) ausgestattet sind. Für den Versuch wurde eine max. Bestrahlungsintensität von  $350 \mu\text{mol}/\text{qmS}$  in 500 mm Abstand verwendet; die Bestrahlungsintensität betrug ca. 6000 Lux. Die Photoperiode betrug 16L/8D, die Temperatur  $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , bei einer relativen Luftfeuchte von 55 %.

Für die Synchronisation der KMSL wurden 2 Pflanzen der jeweiligen Sorte in die Stammzucht gestellt. In dieser Zeit wurden die Pflanzen von *A. proletella* besiedelt und Eier auf ihnen abgelegt. Nach 48 Stunden wurden die Pflanzen aus der Stammzucht entnommen, von den adulten Tieren befreit und überprüft, ob genügend Eier gelegt wurden. Anschließend wurden die Pflanzen einzeln in Gazekäfige (H x B x T: 50 x 20 x 20 cm), bei  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  und 16L/8D, gestellt. Nach ungefähr 3-4 Wochen schlüpfen die synchronisierten Tiere und konnten für die Versuche verwendet werden.

Als Erstes wurde die Entwicklung von einzelnen Individuen der ersten Generation vom Ei bis zum adulten Tier untersucht. Danach wurde die Reproduktion von einzelnen weiblichen KMSL der ersten Generation erfasst und zudem erfasst, wie viele Tiere der zweiten Generation daraus hervorgehen.

Im ersten Versuchsteil wurden synchronisierte weibliche und männliche *A. proletella* im Verhältnis 9 ♀ : 1 ♂ im Gazebeutel (Maße: ca. 20 cm x 30 cm) an dem jüngsten ausgewachsenen Blatt der Pflanze angebracht (Abbildung 8). Für 48 Stunden verblieb der Beutel zwecks Eiablage an der Pflanze. Nach Ablauf dieser Zeit wurden alle adulten Tiere entnommen, die abgelegten Eier auf max. 20 Stück pro Blatt reduziert und einzeln mit einem feinen wasserunlöslichen Stift markiert. Es folgte die tägliche Kontrolle, wobei notiert wurde, wann die Individuen das nächste Larvenstadium erreichten bzw. wann die adulten Tiere dieser ersten Generation schlüpften.

Nach dem Schlupf wurden das Geschlecht (20 x Lupe) und das Gewicht mit einer Waage (Sartorius MC 5; Ablesbarkeit von 1 µg; Sartorius AG, Göttingen) bestimmt.

Von den gewogenen Tieren wurden Weibchen in Clip-Käfige (1 Weibchen pro Käfig und Blatt, max. 3 Käfige pro Pflanze, insg. 15 Käfige pro Sorte) überführt und diese an Pflanzen der gleichen Sorte angebracht. Bei diesen Weibchen wurde die Eiablage über deren gesamte Lebenszeit erfasst (Reproduktion der ersten KMSL Generation). Dazu wurden einmal pro Woche die abgelegten Eier bzw. Eier + Larven gezählt und beobachtet, aus wie vielen Eiern tatsächlich adulte Nachkommen schlüpften bzw. wie viele tot waren (Mortalität der zweiten *A. proletella* Generation). Die Weibchen wurden alle 14 Tage auf ein neues Blatt gesetzt (max. 3 Blätter der gleichen Pflanze, danach auf eine neue Pflanze), um zu verhindern, dass die Anzahl der gelegten Eier zu hoch wurde (Vermeidung von Zählfehlern). Abgesehen davon sollte dem Befall durch Mehltau und der Entstehung von Blattnekrosen durch die Clip-Käfige vorgebeugt werden. Während des Versuches wurden die Pflanzen einmal wöchentlich mit Wuxal Top N (12-4-6) 0,1 % (AGLUKON Spezialdünger GmbH & Co. KG; Düsseldorf) gedüngt.



**Abbildung 8:** Verschiedene Rosenkohlsorten in der Klimakammer mit Gazebeuteln (links) und Clip-Käfigen (rechts) zur Untersuchung der Entwicklung und Reproduktion von *A. proletella* in der Klimakammer.

### 3.3.3 Antibiosis-Versuche (Freiland)

Die Versuche, die bereits in der Klimakammer durchgeführt wurden (vgl. Kapitel Antibiosis Klimakammer), wurden in leicht abgewandelter Form auch im Freiland mit 6 Sorten (siehe Tabelle 3) durchgeführt. Zusätzlich zum natürlichen Befall durch *A. proletella* auf den einzelnen Sorten (Antixenosis) sollte auch die Reproduktion der Weibchen und die Überlebensrate der zweiten Generation erfasst werden.

Im Freiland wurden für den ersten Versuchsteil synchronisierte weibliche und männliche *A. proletella* im Verhältnis 1 ♀ : 1 ♂ verwendet. Die Tiere wurden in einen Clip-Käfig (Ø 3,5 cm, Höhe: 1 cm) an den jüngsten ausgewachsenen Blättern der Pflanze angebracht. In jeder Parzelle wurden an zwei Pflanzen jeweils 5 Käfige befestigt (insg. 40 Käfige pro Sorte). Für 48 Stunden verblieben die Käfige an der Pflanze. Dann wurden alle adulten Tiere entnommen und die abgelegten Eier gezählt. Die Eier wurden nicht einzeln markiert sondern es wurde lediglich erfasst, wie viele Eier auf dem jeweiligen Blatt abgelegt wurden und wöchentlich die Anzahl der Eier, Larven, Puparien, Adulten und Hüllen gezählt. Wenn sich ein adultes Tier im Käfig befand, wurde das Geschlecht mit Hilfe einer Lupe (20 x) bestimmt. Für den zweiten Versuchsteil wurden die weiblichen Tiere (Schlupf aus dem ersten Versuchsteil) jeweils einzeln in einen neuen Clip-Käfig gesetzt und an dem jüngsten voll entwickelten Blatt der Pflanze befestigt. Bei diesen Weibchen wurde, wie auch bereits bei den Versuchen in der Klimakammer die Reproduktion (Reproduktion der ersten KMSL Generation) und die Mortalität (Mortalität der zweiten KMSL Generation) erfasst. Auch hier wurden die Weibchen alle zwei Wochen auf ein neues Blatt gesetzt und die alten Gelege mit Clip-Käfigen abgedeckt. Letztere wurden wöchentlich kontrolliert und dabei die Anzahl der Eier, Larven, Puparien, Adulten und Hüllen notiert. Nachdem aus alle vitalen Puparien Adulte geschlüpft waren, wurden die Käfige vom Blatt entfernt. Einige der der älteren Blätter waren bereits abgefallen und die Nachkommen tot, wodurch die Beobachtung vorzeitig beendet wurde.

### 3.3.4 Antixenosis-Versuche (Freiland)

Um die natürliche Besiedelung und die Populationsentwicklung von *A. proletella* zu erfassen, wurden im Abstand von zwei Wochen vom 18.6. bis zum 13.10.2015 Bonituren durchgeführt. Dabei wurden pro Parzelle an immer den gleichen 10 Innenpflanzen (Abbildung 6, gelbe Punkte) die Anzahl der adulten Tiere, sowie der Larven an der gesamten Pflanze erfasst. Nach den ersten beiden Bonituren zeigte sich ein sehr ungleichmäßiger Befall und es wurde beschlossen am 10.7.2015 insgesamt 11 x 100 Tiere aus der Stammzucht an Brokkoli in den Parzellenzwischenräumen freigelassen (Abbildung 6, rote Punkte), um einen gleichmäßigeren Ausgangsbefall zu gewährleisten.

Am Ende des Feldversuches sollte geprüft werden, ob der Befall mit *A. proletella* einen Effekt auf den Ertrag und die Röschen-Verschmutzung hatte. Dazu wurde der Rosenkohl

sortenabhängig am 29.10.2015 ('Content', 'Doric' und 'Octia'), 25.11.2015 ('Genius' und 'Hilds Ideal') und 26.11.2015 ('Esperal') geerntet.

Die Rosenkohlernte, die Bonitur der Verschmutzungen an den Röschen und die Vermarktungsfähigkeit der Röschen wurden mit der gleichen Methodik (siehe Kapitel Material und Methoden: Fangpflanzen-Feldversuche: 2015) an 10 Pflanzen pro Parzelle durchgeführt und ausgewertet.

### **3.4 Glucosinolat-Analysen**

Zur Analyse von Glucosinolaten von unbefallenen Rosenkohlpflanzen verschiedener Sorten wurden 2014 und 2016 je ein Feldversuch auf dem Gelände der Leibniz Universität in Hannover-Herrenhausen durchgeführt.

Die Pflanzen wurden in 5 L Töpfen in Kultursubstrat (Fruhstorfer Erde Typ P; Industrie-Erdenwerk Archut GmbH & Co. KG; Lauterbach) ab Mitte April gezogen und nach Abhärtung im Juli im Topf komplett ins Freiland überführt. Während der Abhärtung und im Freiland wurden die Pflanzen mit Filbio PA bzw. PP Kulturschutznetzen (Maschenweite ca. 0,5 x 0,5 mm) (Hartmann-Brockhaus, Pfaffenhofen-Wagenhofen) vor Insektenbefall geschützt. Die Pflanzen wurden per Hand gewässert und wöchentlich gedüngt (Wuxal Top N (12-4-6) 0,1 % (AGLUKON Spezialdünger GmbH & Co. KG; Düsseldorf). 2016 wurden die Pflanzen Mitte März getopft, und nach Abhärtung am 25. Mai ins Freiland überführt. Außerdem wurden 10 L Töpfe verwendet und die Pflanzen per Tröpfchenbewässerung nach Bedarf bewässert.

In allen Varianten traten in geringer Zahl Schädlinge auf, die nur teilweise erfolgreich bekämpft werden konnten. Blattläuse (*Myzus persicae*) wurden mit zugekauften *Aphidius*-Mix (Katz Biotech AG, Baruth), Schmetterlinge mit XenTari (Biofa AG, Münsingen) (eine Behandlung im Juli) und KMSL mit Bogenmarienkäfer und Movento OD 150 (Bayer AG, Leverkusen) (eine Behandlung im August) bekämpft. Zudem wurden die Pflanzen regelmäßig kontrolliert und Schädlinge ggf. auch manuell entfernt.

2014 wurden 9 Rosenkohlsorten ('Content', 'Hilds Ideal', 'Bright', 'Cyrus', 'Doric', 'Brest', 'Genius', 'Octia', 'Steadia') verwendet in 4facher Wiederholung. Die Ernte erfolgte am 15. September.

2016 wurden die Rosenkohlsorten 'Content' und 'Esperal' verwendet, sowie die Fangpflanze Markstammkohl (Sorte 'Proteor'), jeweils in zehnfacher Wiederholung. Hierbei wurden einmal unbefallene und einmal mit KMSL künstlich infestierete Pflanzen verwendet, die beide unter Netzen waren (Abbildung 9). Die erste Ernte erfolgte am 12.07.16, die zweite Ernte schon am 09.08., weil wegen zunehmendem Befall mit Kohlschabe (adulte Tiere können Eier durch das Netz legen) und KMSL, sowie wegen Bewässerungsproblemen und Pflanzengröße der Versuch vorzeitig beendet werden musste.

Für die Ernte wurden jeweils drei Blätter der oberen (erstes voll entfaltetes Blatt) und der mittleren Blattebene (nicht seneszent) abgeschnitten, Mittelrippe und Stängel entfernt und



dann vorsichtig in Schnappdeckelgläser bzw. Falcon-Tubes überführt und sofort in flüssigem Stickstoff eingefroren. Es wurde darauf geachtet, dass die Blätter unbefallen und unbeschädigt waren. In der befallenen Variante 2016 wurden KMSL-Larven von den Blättern abgepinselt. Bis zur weiteren Bearbeitung wurden die Blätter bei -20°C aufbewahrt. In der darauf folgenden Zeit wurden die Blätter gefriergetrocknet (Christ Alpha 1-4 LSC; Christ Gefrier Trocknungsanlagen GmbH, Osterode) und dann zu Pulver gemahlen. Dieses wurde in Eppendorf-Cups überführt und für die Glucosinolat-Analyse verwendet. wurde im Labor von Prof. Schreiner, Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ), Großbeeren durchgeführt.



**Abbildung 9:** Versuchsüberblick vom Freilandversuch 2016 zur Untersuchung der Glucosinolatgehalte von zwei Rosenkohlsorten und Markstammkohl, einmal in einer unbefallenen und in einer KMSL-befallenen Variante. Alle Pflanzen wurden komplett mit einem FilBio-Kulturschutznetz abgedeckt, um weiteren Insektenbefall zu vermeiden.

### **3.5 Wachsgehalt von Rosenkohlblättern und Wirkung auf die Nützingseffizienz**

#### **3.5.1 Wachsgehalt**

Um den Wachsgehalt von 15 Rosenkohlsorten ('Steadia', 'Octia', 'Speedia', 'Brillant', 'Bright', 'Breton', 'Brest', 'Nautic', 'Doric', 'Genius', 'Cyrus', 'Hilds Ideal', 'Content', 'AS336', 'AS337') zu bestimmen, wurden 2 und 3,5 Monate alte Pflanzen verwendet, die wie die übrigen Versuchspflanzen angezogen wurden (siehe Kapitel Sortenscreening). Für die Wachsgehaltsbestimmung wurde eine gravimetrische Methode benutzt. Pro Pflanze (3 Pflanzen pro Sorte) wurden 2 Blätter von zwei Etagen (jüngeres und älteres Blatt) verwendet. Von diesen wurden je vier Blattscheiben (Durchmesser 3,47 cm) ausgestanzt,

vorsichtig trocken getupft und in gewogene Aluminium-Wägeschälchen (VWR International GmbH, Darmstadt) überführt. Dann wurden 30 mL n-Hexan hinzugegeben für 30 s die Schälchen vorsichtig bewegt. Dann wurde die Blattscheibe entfernt und das Lösungsmittel bei 30 °C verdampft. Die trockenen Schälchen wurden nach Abkühlen in Exsikkatoren überführt und dann auf einer Analysenwaage (Sartorius MC 5, Sartorius AG, Göttingen) gegengewogen. Alle Arbeiten wurden mit einer sauberen, entfetteten Pinzette durchgeführt. Als Verlustkontrolle wurde vorher abgewogenes Paraffin verwendet, das der gleichen Prozedur unterworfen wurde.

### 3.5.2 Nützlingleffekte

Effekte von Rosenkohlsorten mit unterschiedlichen Wachsgehalten auf Nützlinge wurden in Mikrokosmen-Versuchen evaluiert. Es wurden drei Sorten ('Doric', 'Cyrus' und 'Genius') mit signifikant unterschiedlichen Wachsgehalten verwendet und vier Gegenspieler:

- *Clitostethus arcuatus* (adulte Weibchen) (Coleoptera: Coccinellidae)
- *Chrysoperla carnea* (Larven, L2) (Neuroptera: Chrysopidae)
- *Coccinella septempunctata* (Larven, L2) (Coleoptera: Coccinellidae)
- *Orius laevigatus* (adult) (Hemiptera: Anthocoridae)

Die Tiere wurden von Katz Biotech AG (Baruth) bezogen oder stammten (*C. arcuatus*) aus einer eigenen Zucht.

Die Mikrokosmen waren 39,5 cm hohe Plexiglasröhren (Durchmesser 15 cm), die oben und an drei kleinen Öffnungen unten mit Gaze verschlossen waren (Abbildung 10). Diese Röhren wurden über den Topf mit der Pflanze gestülpt und der Rand mit Knetmasse abgedichtet. Dann wurden die Mikrokosmen in fünffacher Wiederholung komplett randomisiert in einer Klimakammer bei 25 °C, 16:8 L:D und 60 % RH aufgestellt. Die Rosenkohlpflanzen waren zwei Monate alt und waren ausschließlich auf vier voll entwickelten Blättern mit synchronisierten KMSL-Larven (L2-L4) besetzt. Eine ausreichende Larven-Dichte wurde in einem Vorversuch ermittelt, bei dem die ungefähre tägliche Fraßrate der Prädatoren und die Eignung einer ausschließlichen KMSL-Diät für die Prädatoren bestimmt wurden. Die Dichte wurde in jedem Mikrokosmos auf ca. 1000 Larven eingestellt. Das Experiment wurde mit dem Einsetzen der Prädatoren (Pinsel), die einen Tag gehungert hatten, auf ein Blatt begonnen und nach 12 Tagen beendet. Die Anzahl verbleibender KMSL-Larven wurde jeden dritten Tag erfasst, ebenso wie der Verbleib der Prädatoren. Als Kontrolle wurde eine Variante ohne Prädatoren verwendet.



**Abbildung 10:** Versuchsaufbau mit Mikrokosmen zur Erfassung der Prädatoreffizienz gegenüber Larven der Kohlmottenschildlaus auf drei Rosenkohlsorten in der Klimakammer.

### 3.6 Endosymbionten-Screening

Bakterielle Endosymbionten der Kohlmottenschildlaus wurden mit zwei Herangehensweisen untersucht. Zum einen wurden mit spezifischen Primern diagnostische Endpoint-PCR-Protokolle etabliert, um genauere Aussagen zur Häufigkeit und möglichen Wirkung der Endosymbionten machen zu können. Außerdem wurden „Next-Generation-Sequencing“-Verfahren verwendet, um mit universellen Mikroorganismen-Primern das gesamte Mikrobiom erfassen zu können, um weitere unbekannte oder bekannte Endosymbionten mit veränderten DNA-Sequenzen erfassen zu können.

Für NGS-Analysen wurden nur adulte Tiere (Weibchen) verwendet, die u.a. bei den bundesweiten Nützlingscreening (S. Laurenz, Projekt 2812NA016) mit gesammelt wurden. Um anhaftende Mikroorganismen und Verschmutzungen zu entfernen, wurden die in 96 % Ethanol gelagerten Tiere 6 h getrocknet nochmal mit 70 % Ethanol gespült, dann 20 min in 1 % Tween-Lösung geschüttelt und dann dreimal mit sterilem demin. Wasser gespült. Dann wurden sie über Nacht getrocknet. Eine Kontrolle der Wirksamkeit erfolgte durch Ausrollen der Tiere auf TSA-Platten (pH 7,3, 40 g/L TSA), die nach fünf Tagen Inkubationszeit (30 °C) ausgewertet wurden. Hierbei zeigte sich in seltenen Fällen vereinzelte Pilzkolonien, aber kein bakterieller Wuchs.

Die DNA-Extraktion für alle Analysen erfolgte entweder mit dem Qiagen DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen AG, Hilden), das nach vorgegebenem Protokoll verwendet wurde, oder nach einem leicht modifizierten Protokoll von Sunnucks & Hales (1996). Die



Nukleinsäurekonzentration und die Qualität wurden mit Hilfe des Spektrometers NanoDrop 2000c (Thermoscientific, Waltham, USA) bei einer Wellenlänge von 220 nm bis 350 nm ermittelt. Dazu wurden jeweils 1 µL der Probe nach der Kalibrierung mit zweifach destilliertem Wasser (bidest.) aufgetragen und die Nukleinsäurekonzentration bestimmt und die Reinheit über das Verhältnis der Wellenlängen bei 260 nm und 280 nm. Als Reinheit wurde für das Verhältnis 260/280 ein Wert von  $\geq 1,8$  angestrebt. Für einen Vergleich der Sammlungen wurden die Mittelwerte der DNA-Konzentrationen je Sammlung errechnet.

Eine erste NGS-Lauf wurde 2015 mit einer gepoolten Probe von 6 Standorten (Aufsammlungen von S. Laurenz (Projekt 12NA016), von 2015 aus Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, 2x Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern) mit je 2 Tieren pro Standort durchgeführt. Die Analyse erfolgte durch die Firma GATC Biotech AG (Konstanz) mit einem PacBio RS II (Pacific Biosciences, Menlo Park, CA). Sequenziert wurde das 16S rRNA Gen mit dem universellen Primerpaar 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG) und BS-R1407 (5'-GACGGGCGGTGWGTRC), das die hypervariablen Regionen V1-V8 abdeckt, wobei ca. 1381 bp große Fragmente amplifiziert wurden („INVIEW™ Microbiome High Specificity“). Die weitere Datenaufbereitung und erste grundlegende Analyse (Konsolidierung, Filterung, OTU-Assignment, Datenbankabgleich (NCBI BLAST) u.a.), erfolgte durch die Firma GATC.

Der zweite NGS-Lauf wurde 2015/16 mit 6 Proben der gleichen Standorte (Tabelle 4; \$-Symbol) durchgeführt, wobei diese nicht gepoolt wurden. Pro Standort wurden von 50 weiblichen KMSL die DNA extrahiert. Die NGS-Analyse wurde von der Firma Eurofins (Hamburg) mit einem MiSeq (Illumina, San Diego, CA) mit 2x300 bp paired-end read module durchgeführt („NGS Favourites, 16S microbiome community testing“). Hierbei wurde das 16S rRNA Gen mit einem universellen Primerpaar (341F\_ill, 5'-CCTACGGGNGGCWGCAG und 802R\_ill, 5'-GACTACHVGGGTATCTAATCC) amplifiziert, das die hypervariablen Regionen V3-V4 abdeckt. Die weitere Datenaufbereitung und erste grundlegende Analyse (Konsolidierung, Filterung, OTU-Assignment, Datenbankabgleich (NCBI BLAST), etc.), erfolgte durch die Firma Eurofins.

**Tabelle 4:** Sammlungsorte und Zeitpunkte der *A. proletella* Populationen auf Rosenkohl (Ausnahme Bückeberg II 08.2013: Kohlrabi/ Grünkohl, Hille I 08.2013: Grünkohl, Dramfeld 08.2013: Grünkohl, Nürtingen 08.2015: Grünkohl) die für das Endosymbionten-Screening mit diagnostische PCRs und NGS-Analysen (gekennzeichnet mit \$) verwendet wurden.

Probenname	Ort	Bundesland	Zeitpunkt
Bückeberg I 08.2013	Hof Hornung, Bückeberg	NI	14.08.2013
Bückeberg II 08.2013	Hof Hornung, Bückeberg	NI	14.08.2013
Hille I 08.2013	Hof Becker, Hille (OWL)	NRW	14.08.2013
Hille II 08.2013	Hof Becker, Hille (OWL)	NRW	14.08.2013
Dramfeld 08.2013	Dramfeld	NI	20.08.2013
Preith 08.2014	Biohof Daum, Preith <sup>\$</sup>	BY	19.08.2014
Preith 11.2014	Biohof Daum, Preith	BY	04.11.2014
Filderstadt 08.2014	Gemüsehof Hörz, Filderstadt-Bonlanden <sup>\$</sup>	BW	20.08.2014
Filderstadt 11.2014	Gemüsehof Hörz, Filderstadt-Bonlanden	BW	05.11.2014
Bornheim 08.2014	BioBauer Palm, Bornheim <sup>\$</sup>	NRW	21.08.2014
Bornheim 11.2014	BioBauer Palm, Bornheim	NRW	08.11.2014
Herrenhausen 11.2014	IPP, Campus Herrenhausen, Hannover <sup>\$</sup>	NI	20.11.2014
IPP-Zucht 2014	IPP-Zucht <sup>\$</sup>	NI	2014
Gülzow 08.2014	LFA-Versuchsfeld, Gülzow-Prüzen <sup>\$</sup>	MV	04.09.2014
Gülzow 11.2014	LFA-Versuchsfeld, Gülzow-Prüzen	MV	28.10.2014
Schwerin 08.2015	Schwerin	MV	08.2015
Preith 08.2015	Biohof Daum, Preith	BY	08.2015
Nürtingen 08.2015	Nürtingen	BW	08.2015
Oedheim 08.2015	Oedheim	BW	08.2015
Bornheim 08.2015	BioBauer Palm, Bornheim	NRW	08.2015

Diagnostische PCRs wurden mit anhand von Endosymbionten von *B. tabaci* entwickelten spezifischen Primern etabliert (Tabelle 5). Die PCR-Bedingungen wurden dabei modifiziert (s.u.). Alle Primer wurden extern von der biomers.net GmbH (Ulm) synthetisiert. PCRs wurden in Einzeltubes pipettiert und mit Thermocyclern (Bioer Life ECO TC96/G/C/G(b)C, Hangzhou Technology Co., China; Biometra T Gradient 96, Analytik Jena AG, Göttingen) amplifiziert. PCR-Produkte wurden auf 1,2 % Agarose Gelen (Seakem LE, Lonza AG, Basel) mit Horizontal-Gelelektrophoresekammern (Harnischmacher-Labortechnik, Fröndenberg; Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe) in Lithiumborat-Puffer mit 30V/cm aufgetrennt und mit Ethidiumbromid auf dem UV-Transilluminator sichtbar gemacht und fotografiert. Als

Größenmarker wurden eine oder zwei Spuren mit einem 100 bp Marker (O'GeneRuler 100 bp Plus DNA Ladder, Thermo Fisher) beladen. Als Negativkontrollen wurden Wasserproben (ddH<sub>2</sub>O statt DNA, als Positivkontrollen DNA von *B. tabaci* oder *A. proleptella* mit jeweiligem Primer) verwendet. Bei der Etablierung wurden die PCR-Produkte nach Aufreinigung (MinElute PCR Purification Kit, Qiagen) direkt sequenziert (Auftragssequenzierung durch GATC Biotech AG, Konstanz), um falsch positive Nachweise auszuschließen.

PCRs wurden (bis auf *Portiera* und *Hemipteriphilus*) mit einem Multiplex PCR Kit (2 x Puffer mit 25 mM dNTPs, 6 mM MgCl<sub>2</sub>, 5 U/μL HotStarTaq DNA Polymerase) von Qiagen (Qiagen AG, Hilden) wie folgt pipetiert: je 0,4 μM Primer, 1x Puffer (3 mM MgCl<sub>2</sub>, 5 U/μL HotStarTaq DNA Polymerase, dNTPs), durchschn. 10 ng/μL DNA auf 20 μl Gesamtvolumen. Für PCRs von *Hemipteriphilus* und *Portiera* wurden 0,1 μM Primer verwendet. Das Gesamtvolumen wurde später auf 10 μL reduziert.

Pro Standort (Tabelle 4) wurde von 10-40 KMSL DNA extrahiert und PCRs durchgeführt.

Das PCR-Programm für Endosymbionten (außer *Hemipteriphilus*) war:

- 1: 95 °C 15 min
- 2: 94 °C 30 s
- 3: x °C 30 s (siehe Tabelle 5)
- 4: 72 °C 30 s
- 5: Goto 2 35x
- 6: 72 °C 5 min
- 7: 10 °C ∞

PCR-Programm für *Hemipteriphilus*:

- 1: 95 °C 15 min
- 2: 94 °C 30 s
- 3: 60 °C 60 s
- 4: 72 °C 120 s
- 5: Goto 2 35x
- 6: 10 °C ∞

**Tabelle: 5:** Primer-Sequenzen (oben sense-, unten antisense-Primer), erwartete Produktgröße, annealing-Temperatur (Ta) und Referenz (Veröffentlichung) der möglichen Endosymbionten der Kohlmottenschildlaus (*A. proletella*).

Zielorganismus und Gen	Primer-Sequenz (5'-3')	Produktgröße (bp)	Ta (°C)	Referenz
<i>Rickettsia</i> 16S rDNA	GAAGGAAAGCATCTCTGC GCTCAGAACGAACGCTATC	900	58	Gottlieb et al. 2006
<i>Hamiltonella</i> 16S rDNA	TGAGTAAAGTCTGGAATCTGG AGTTCAAGACCGCAACCTC	750	57	Zchori-Fein & Brown 2002
<i>Wolbachia</i> 16S rDNA	TGGTCCAATAAGTGATGAAGAAAC AAAAATTAACGCTACTCCA	615	58	Zhou et al. 1998
<i>Arsenophonus</i> 23S rDNA	CGTTTGATGAATTCATAGTCAAA GGTCCTCCAGTTAGTGTTACCCAAC	600	58	Thao & Baumann 2004
<i>Cardinium</i> 16S rDNA	GCGGTGTAATAAGGAGCGTG ACCTMTTCTTAACTCAAGCCT	400	57	Weeks et al. 2003
<i>Fritschea</i> 23S rDNA	GATGCCTTGGCATTGATAGGCGAT GAAGGA TGGCTCATCATGCAAAAGGCA	800	52	Everett et al. 2005
<i>Rickettsia</i> 16S rDNA	GCTCAGAACGAACGCTATC GAAGGAAAGCATCTCTGC	900	58	Gottlieb et al. 2006
<i>Portiera</i> <i>aleyrodidarum</i> 16S rDNA	GTGGGGAATAACGTACGG CTCAGTCCCAGTGTGGCTG	195	60	Zchori-Fein et al. 2011
<i>Hemipteriphilus</i> 16S rDNA	GCTCAGAACGAACGCTRK TTCGCCACTGGTGTTCCTC	670	60	Bing et al. 2013a

### 3.7 Orientierung der Kohlmottenschildlaus

Zur Ergänzung von Untersuchungen zur Wirtsfindung der Kohlmottenschildläuse und als möglicher weiter Resistenzfaktor waren insbesondere Olfaktometerversuche geplant, um getrennt von anderen Faktoren (insb. optische) den Effekt olfaktorische Reize, hier als Vergleich verschiedener Rosenkohlsorten, untersuchen zu können. Dabei wurden anfangs ein 4-Arm-Olfaktometer mit standardisiertem Versuchsaufbau (nach Vet et al, 1983; Giles et al. 1996) und außerdem statische Olfaktometer verändert nach Butler (1938) und Fatouros et al. (2005) verwendet. Insbesondere die Versuche mit dem 4-Arm-Olfaktometer haben zu

keinem Ergebnis geführt, da KMSL in erster Linie die Lichtquelle anfliegen (starke Phototaxis) und in der Arena keine klaren, reproduzierbaren Entscheidungen treffen. Daher wird darauf hier nicht weiter eingegangen.

Für alle Versuche wurden Imagines von *A. proletella* aus der Stammzucht des Instituts entnommen, die auf Rosenkohl der Sorte 'Hilds Ideal' (Hild Samenzucht GmbH) angezogen wurden. Zum Teil wurden die Tiere auf Rosenkohl (Sorte 'Octia') synchronisiert oder Weibchen selektiert.

Das Olfaktometer nach Butler (1938) bestand aus einer 22 x 18 x 13 cm großen geschlossenen, undurchsichtigen, schwarzen Kunststoffbehälter (Polypropylen; Bauhaus Regalux XS). An den schmalen Seiten war je eine 5 cm breite Öffnung, in das ein Glasgefäß hineingeschraubt wurde, das die Proben enthielt. Die Öffnung wurde zusätzlich mit Schaumstoff abgedichtet. Auf Höhe der Gläser wurden zwei Glühlampen (Sylvania Reflektor Spot R50, 40 Watt E14 matt, Lichtstärke = 325 cd) aufgestellt, um die Aktivität der Tiere durch ausreichende Helligkeit sicherzustellen.

Bei der Durchführung wurde ein Blatt (mittlere Blattebene) einer sechs Wochen alten Pflanze der Rosenkohlsorte 'Content' in eines der beiden Gläser gelegt und ein Stück Gaze als Sichtschutz davor platziert. Das andere Glas wurde zum Feuchtigkeitsausgleich mit einem feuchten Stück Papiertuch gefüllt und auch hier ein Stück Gaze davor platziert. Anschließend wurden die beiden Gläser in das Olfaktometer eingeschraubt. Nach ein paar Minuten wurde ein kleines Schnappdeckelglas mit 25 adulten Tieren, die zwei Stunden zuvor aus der Zucht entnommen wurden, in die Mitte des Olfaktometers gestellt. Dieses wurde geöffnet und der Deckel des Olfaktometers sofort geschlossen und das Licht eingeschaltet. Nach einer Stunde wurde der Deckel vorsichtig geöffnet und verbleibende Tiere mit einem Exhaustor herausgesaugt. Die sich in dem Behälter befindlichen Tiere wurden in die Kategorie „keine Entscheidung“ eingeordnet. Anschließend wurden die Tiere in den Gläsern gezählt und in die Kategorien „Entscheidung für die Kohlpflanze“ und „Entscheidung gegen die Kohlpflanze“ eingeordnet. Die Positionen wurden in 6 Wiederholungen regelmäßig vertauscht. Das Olfaktometer wurde in regelmäßigen Abständen mit 70 % Ethanol gereinigt. Die Versuche wurden im Labor bei Raumtemperatur (20 – 22 °C) durchgeführt.

Das Olfaktometer nach Fatouros et al. (2005) wurde aus einer 50 x 35 x 43 cm großen Aufbewahrungsbox (Bauhaus Regalux Clearbox XL, 70 L) aus klarem lebensmittelechtem Kunststoff (Polypropylen) gefertigt. In der Mitte wurde eine Plexiglaswand eingeklebt, um zwei separate Kammern zu schaffen. Im Deckel befand sich über der Trennwand zwei Öffnungen in Form von Kreissegmenten, auf denen eine kreisförmige Arena (11 cm hoch, Durchmesser 15 cm) platziert war, so dass beide Olfaktometerhälften mit dieser Arena verbunden waren. Die Arena war nach unten mit Gaze abgeschlossen. Auf der Arena lag ein Deckel, welcher ebenfalls mit Gaze abgespannt war. In der Arena selbst war zusätzlich eine

kleine Öffnung, durch den die Tiere mit einem Schnappdeckelglas in die Arena eingebracht werden konnten. Alle Verbindungsstellen waren mit Schaumstoff abgedichtet. Weiterhin waren jeweils drei 2,5 cm große Löcher in den unteren Teil der schmalen Seitenwände des Olfaktometers vorhanden, um den Luftdurchfluss im Olfaktometer zu verbessern. Zusätzlich wurde pro Seite eine durchsichtige Klebetafel in die Arena gestellt, um die erste Entscheidung der Tiere festzuhalten. Die Versuche wurden in einer Klimakammer bei 20 - 22 °C und ca. 4450 lux durchgeführt. Das Olfaktometer wurde in regelmäßigen Abständen mit 70 % Ethanol gereinigt.

Für die Versuche wurden sechs bis acht Wochen alte Rosenkohlpflanzen der Sorte 'Content' in eine der beiden Kammern gestellt. Nachdem der Deckel aufgesetzt worden war, wurde die Arena aufgesetzt und nach einigen Minuten 20 adulte KMSL, welche eineinhalb Stunden zuvor aus der Zucht entnommen worden waren, durch die seitliche Öffnung in die Arena freigelassen. Nach zwanzig Minuten wurde die Verteilung der Tiere in der Arena ausgewertet. Dazu wurden drei Zonen in der Arena definiert, welche von dem Boden bis zur Decke der Arena reichten: „Entscheidung für die Kohlpflanze“, „Entscheidung gegen die Kohlpflanze“ und „keine Entscheidung“. Die Zone „keine Entscheidung“ entsprach dem Bereich, welcher etwa ein bis zwei Zentimeter von der Trennwand entfernt war.

Für den Sortenvergleich wurde ein stark veränderter Versuchsansatz verwendet, um die Nachteile der verschiedenen getesteten Olfaktometer (insb. sehr niedrige Wiederfangraten) zu reduzieren. Hierfür wurden in Glasarenen (25 x 18 x 13 cm) nur kreisförmige Blattausschnitte (5,5 cm Durchmesser) verwendet, sowie pro Durchgang 25 synchronisierte, weibliche KMSL, die drei Stunden gehungert hatten und die in der Mitte der Arena aus einem Schnappdeckelglas entlassen wurden. Für olfaktorische Experimente wurden die Blattstücke hinter an der Decke der Arena angehängte Trennwände (Material: schwarze Pappe) befestigt. Die Trennwände reichten nicht ganz zum Boden, sodass Tiere von unten und von der Seite hinter die Abdeckung gelangen konnten. Alternativ wurden die Blattstücke in schwarz gefärbte Petrischalen gelegt und versiegelt. Diese wurden wie für optische Experimente in Arenen an den Seitenwänden gegenüberliegend direkt unterhalb der Decke mit Klebeband befestigt. In jede Petrischale (Durchmesser 5,5 cm) wurde ein Blattausschnitt gelegt und dann mit Parafilm versiegelt. Für optische Experimente wurden diese Petrischalen zuerst mit eingeschweißten Blättern verglichen. Abschließend wurden jeweils zwei der vier Rosenkohlsorten gegeneinander getestet, sodass sich folgende Kombinationen ergaben: 'Content' - 'Genius', 'Octia' - 'Esperal', 'Content' - 'Esperal', 'Content' - 'Octia', 'Genius' – 'Esperal' und 'Genius' - 'Octia'. Nach einer Stunde wurde die Verteilung der Tiere notiert. Tiere, die sich hinter der Trennwand befanden, wurden den Kategorien „Entscheidung für die Kohlpflanze“ bzw. „Entscheidung gegen die Kohlpflanze“ zugeordnet. Die in der Mitte verbliebenen Tiere zählten zu der Kategorie „keine Entscheidung“. Pro

Sortenkombination wurden sechs Wiederholungen durchgeführt, bei denen die Position der zwei Rosenkohlsorten regelmäßig vertauscht wurde. Beim Versuch zur Optik wurden die an den Petrischalen befindlichen Tiere den Kategorien „Entscheidung für die Kohlpflanze“ bzw. „Entscheidung gegen die Kohlpflanze“ zugeordnet. Die restlichen Tiere wurden der Kategorie „keine Entscheidung“ zugeordnet.

### **3.8 Düngungsversuche**

Tier- und Pflanzenmaterial wurden wie in den vorigen Kapiteln beschrieben angezogen und Kohlmottenschildläuse ebenfalls entsprechend synchronisiert. Als Pflanzen wurden Rosenkohl der Sorte 'Content' und 'Octia' sowie Markstammkohl 'Proteor' verwendet. Zu Versuchsbeginn waren die Markstammkohl- und Rosenkohlpflanzen 3 Monate alt. Als Töpfe wurden 3 L Töpfe verwendet und als Substrat Fruhstorfer Erde Typ P (Industrie-Erdenwerk Archut GmbH & Co. KG, Lauterbach) mit Nährstoffgehalt von 120 mg N / L, 120 mg P / L, 170 mg K / L, 120 mg Mg / L, 100 mg S / L).

In den Versuchen wurden zwei Dünge­stufen jeweils gegen die Kontrolle (Düngebedarfsermittlung nach dem Nmin- und Smin-Verfahren) getestet. In den Versuchsvarianten wurde jeweils die Konzentration eines Nährsalzes (Stickstoff als Ammoniumnitrat bzw. Schwefel als Natriumsulfat) im Substrat verdoppelt. Das bedeutet, dass in der Kontrolle nach dem Nmin- bzw. nach dem Smin-Verfahren auf insgesamt 100 kg N ha<sup>-1</sup> Stickstoff und 60 kg S ha<sup>-1</sup> Schwefel gedüngt wurde (Scharpf, 1991; Fritsch, 1991; Koch, 2000; Schneider-Götz et al., 2011). In den Behandlungsvarianten wurde der Gesamtstickstoff in der auf 200 kg ha<sup>-1</sup> („Doppel N“ Variante) bzw. der Gesamtschwefel auf 120 kg ha<sup>-1</sup> („Doppel S“ Variante) gedüngt, wobei im Boden vorhandene Nährstoffe (s.o.) berücksichtigt wurden. Die Düngung erfolgte jeweils in der 3. und 4. Woche vor Versuchsbeginn, also in zwei Gaben.

Wahlversuche erfolgten im Gewächshaus und in Käfigen unter den gleichen Bedingungen und mit gleichem Design (vollständig randomisierte Blockanlage) wie im Kapitel Fangpflanzenscreening beschrieben, außer das zwei Schnappdeckelgläser mit je 25 weiblichen, synchronisierten KMSL verwendet wurden. Es wurde jeweils die gleiche Pflanzenart oder –sorte verwendet, wobei immer doppelt gegen normal gedüngt getestet wurden. Jeder Versuch dauerte 48 h, dann wurden adulte und Eier ausgezählt.

No-Choice-Versuche wurden wie in der in dem Kapitel Sortenscreening-Anfälligkeit (Antibiosis-Versuche, Klimakammer) mit Clip-Käfigen durchgeführt. Es wurden Eizahl, Mortalität und Gewicht erfasst.

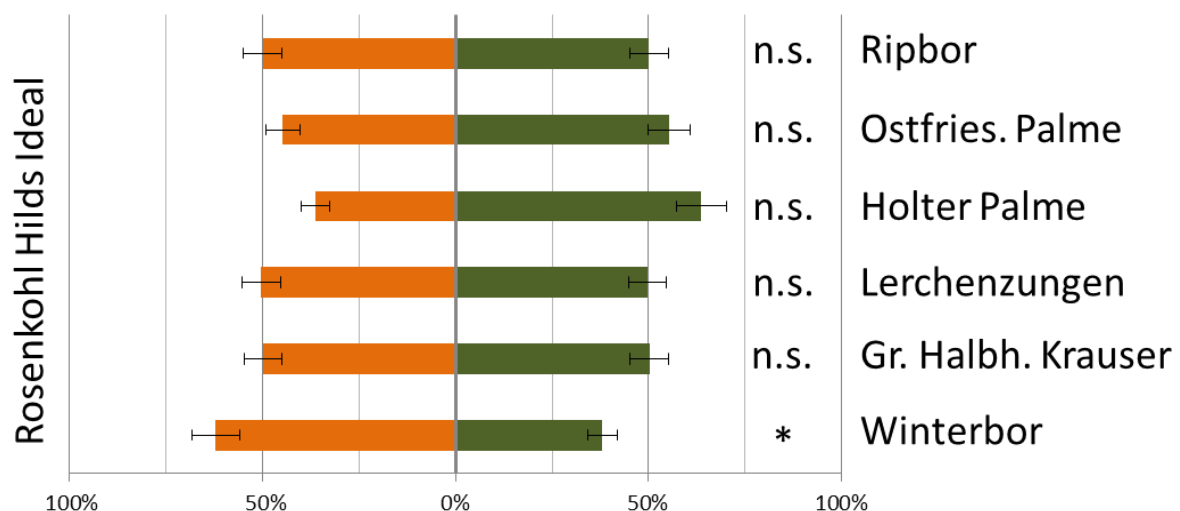
Nach Ende der jeweiligen Versuche wurden Stichproben von Substrat und Blatttrockenmasse extern durch die LUFA Nord-West (Oldenburg) auf Stickstoff- und Schwefelgehalt analysiert.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Fangpflanzencreening

Um für die Feldversuche im anschließenden Jahr Fangpflanzen selektieren zu können, wurden in Käfigversuchen im Winter mit Wahlversuchen mögliche Fangpflanzen auf ihre Attraktivität für die KMSL getestet. Als Alternative wurde immer Rosenkohl der Sorte 'Hilds Ideal' verwendet.

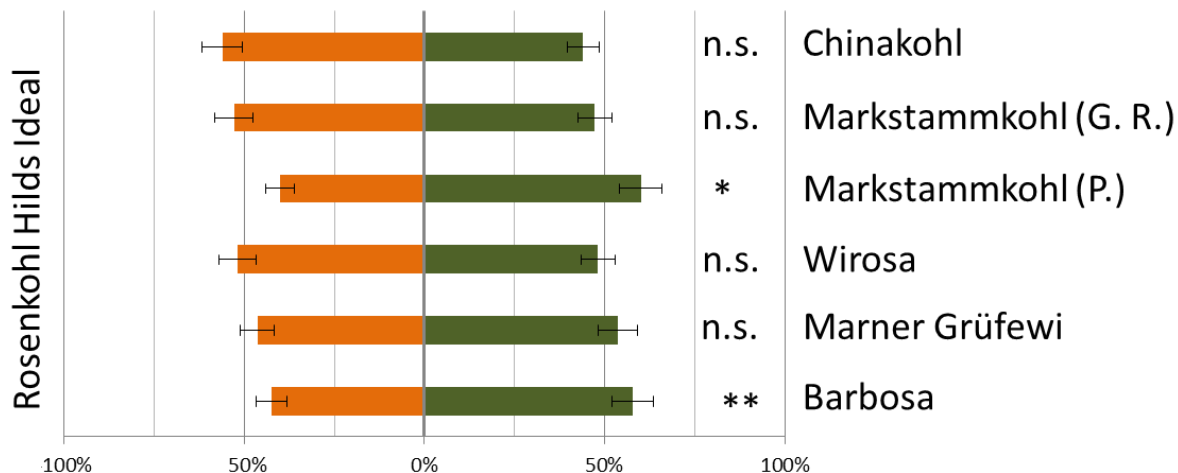
Es zeigte sich das viele Grünkohlsorten nur gleich oder weniger attraktiv waren Grünkohl (die Sorte 'Winterbor' war sogar signifikant weniger attraktiv (GLM,  $P = 0,0134$ )); nur alte Sorten wie 'Holter Palme' (GLM,  $P = 0,102$ ) oder 'Ostfriesische Palme' (GLM,  $P = 0,153$ ) schienen tendenziell attraktiver (Abbildung 11), obwohl dies statistisch nicht belegt werden konnte (GLM,  $P > 0,05$ ). Leider konnten diese Sorten wegen zu diesem Zeitpunkt fehlenden Saatguts weder in Wahlversuchen im Käfig noch im Freiland weiter getestet werden.



**Abbildung 11:** Attraktivität verschiedener Grünkohlsorten gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100% festgelegt wurden (Fehlerbalken:  $\pm 1$  SE).  $N = 1-3$  (je 6 Käfige/Wiederholung).

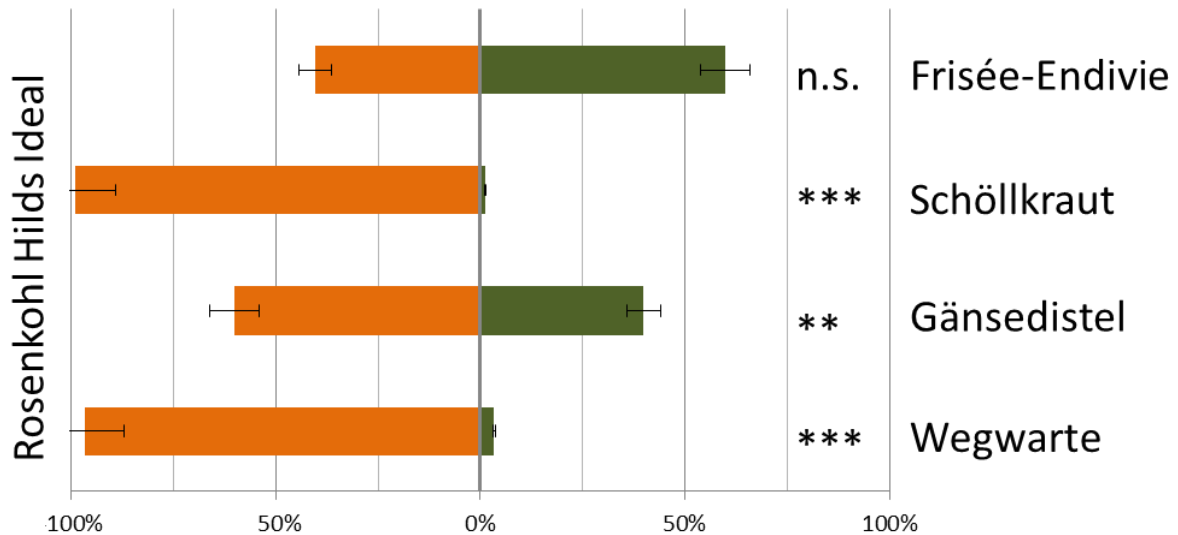
Bei Wirsing war nur die Sorte 'Barbosa' signifikant attraktiver als Rosenkohl (GLM,  $P < 0,05$ ), bei Markstammkohl war ebenfalls nur eine Sorte ('Proteor') attraktiver (GLM,  $P < 0,05$ ). Chinakohl wurde mit einer Sorte getestet, hier war diese Sorte in der Tendenz attraktiver als Rosenkohl (GLM,  $P = 0,0781$ ) (Abbildung 12).





**Abbildung 12:** Attraktivität verschiedener Kohlsorten (Chinakohl; Markstammkohl mit den Sorten 'Grüner Ring' = G. R. und 'Proteor' = P.; Wirsing, mit drei Sorten) gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100 % festgelegt wurden (Fehlerbalken:  $\pm 1$  SE). N= 1-3 (je 6 Käfige/Wiederholung).

Wildkräuter wie Schöllkraut (GLM,  $P < 0,001$ ), Wegwarte (GLM,  $P < 0,001$ ) oder Gänsedistel (GLM,  $P < 0,01$ ) waren immer weniger attraktiv als Rosenkohl (Abbildung 13). Frisée-Endivie war im ersten Wahlversuchen signifikant attraktiver (GLM,  $P < 0,05$ ), nach einem weiteren Durchlauf mit Wahlversuchen (Winter 2015) konnte aber das negative Ergebnis aus Freilandversuchen (siehe Kapitel Fangpflanzen-Feldversuche 2014) bestätigt werden, dass diese Art wenig bis keine Attraktivität gegenüber der KMSL aufweist (GLM,  $P > 0,05$ ).

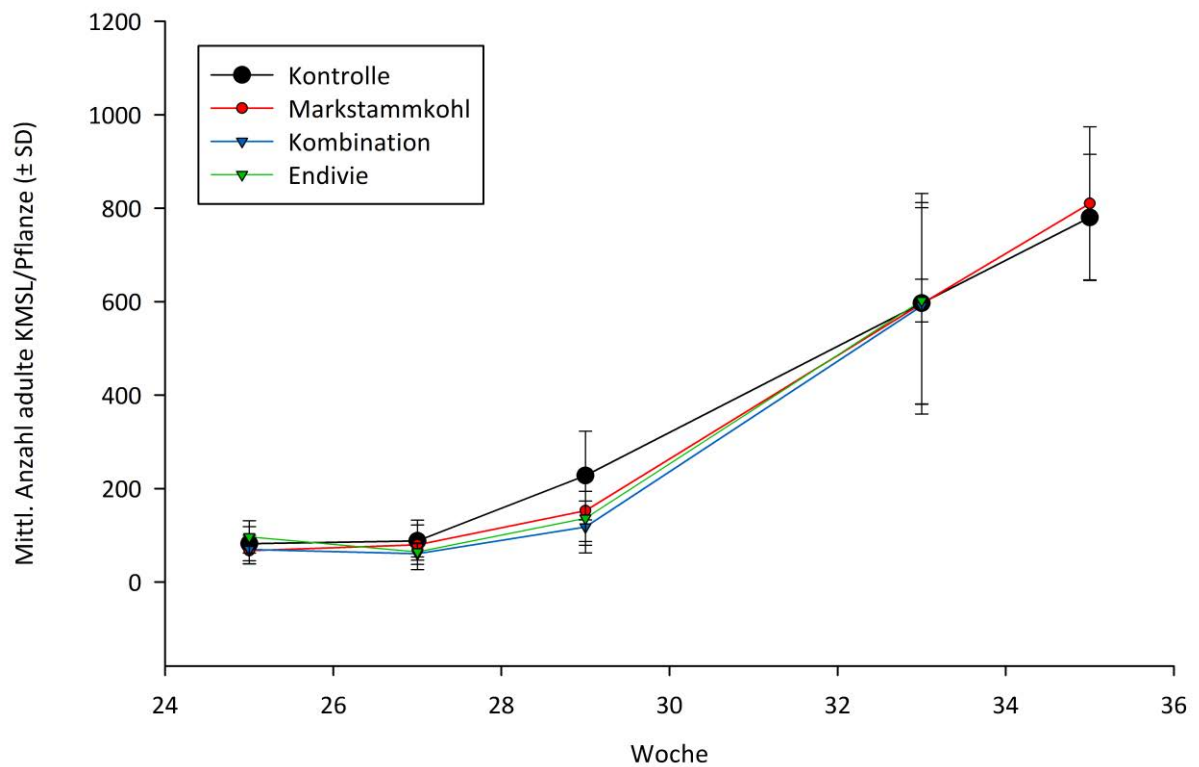


**Abbildung 13:** Attraktivität verschiedener Wildkräuter, die als Wirtspflanzen bekannt sind, sowie der Frisée-Endivie, gegenüber adulten KMSL in Käfig-Wahlversuchen mit Rosenkohl (Sorte 'Hilds Ideal') als Alternative. Dargestellt ist die Verteilung der wiedergefangenen Tiere, die als 100 % festgelegt wurden (Fehlerbalken:  $\pm 1$  SE). N= 1-3 (je 6 Käfige/Wiederholung).

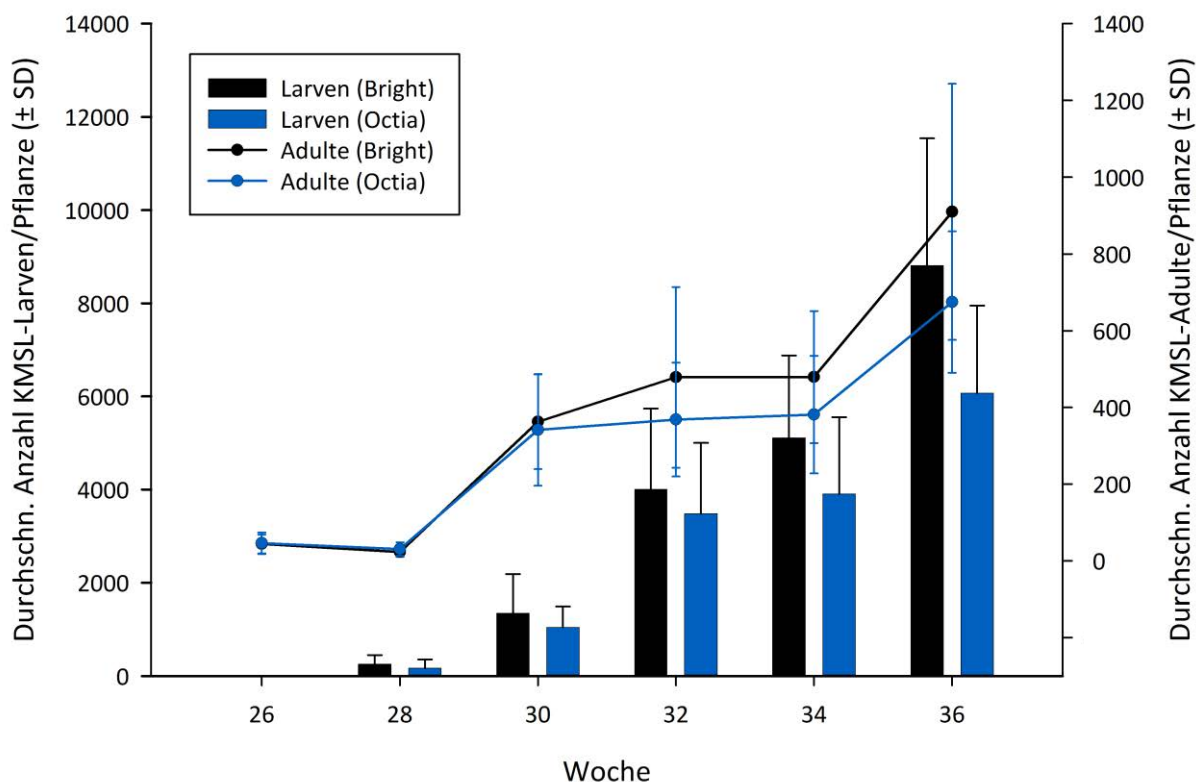
## 4.2 Fangpflanzen-Feldversuche

### 4.2.1 Versuche 2014

Im ersten Freilandversuchsjahr wurden zwei Fangpflanzen und deren Kombination an zwei Standorten und mit zwei als wenig anfällig charakterisierten Rosenkohlsorten durchgeführt. Die Versuche waren an beiden Standorten wenig erfolgreich und es konnten keine signifikanten Unterschiede im KMSL-Befall zwischen den Fangpflanzenvarianten und zwischen Fangpflanzenvarianten und den Kontrollen nachgewiesen werden (GLM,  $P > 0,05$ ). Überall war (erster Befall ab Ende Mai) am Ende der Bonituren ein sehr hoher Befall vorhanden (beispielhaft für den Standort Hötzum gezeigt, Abbildung 14). Es fiel dabei auf, das - anders als in den Vorversuchen (Wahlversuche im Käfig) – die Frisée-Endivie als Fangpflanze nicht funktionierte und zu keinem Zeitpunkt überhaupt Befall mit KMSL nachweisbar war, während Markstammkohl vergleichbar mit Rosenkohl sehr stark befallen war (Daten nicht gezeigt).



**Abbildung 14:** Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit der Kohlmottenschildlaus bei vier verschiedenen Varianten (Fangpflanzen, deren Kombination, Kontrolle ohne Fangpflanzen)  $\pm$  Standardabweichung im Jahr 2014 in Hötzum. Es gab zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede.



**Abbildung 15:** Befall zweier Rosenkohlsorten ('Octia' und 'Bright') mit adulten und larvalen Kohlmottenschildläusen in Ruthe 2014 ± Standardabweichung.

Beim Befall des Rosenkohls konnte ein Sortenunterschied nachgewiesen werden. Die Sorte Bright war ab Kalenderwoche 32 stärker befallen als die Sorte 'Octia' (Abbildung 15).

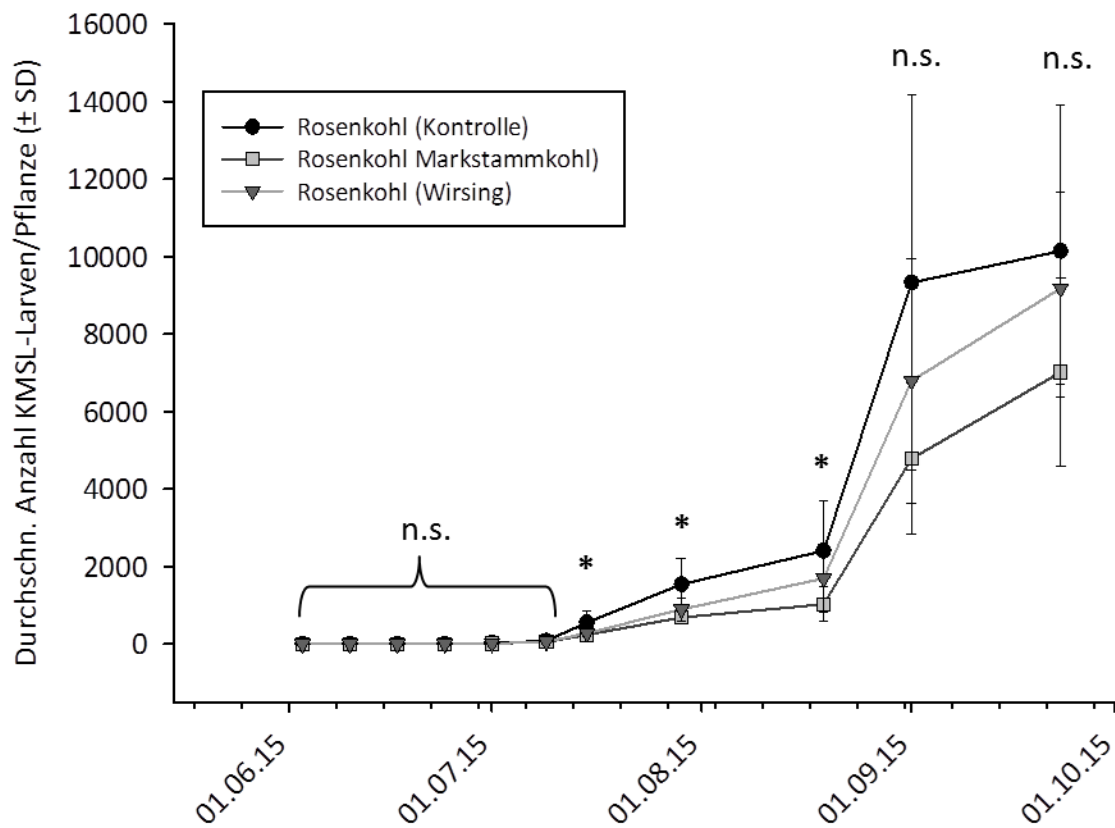
#### 4.2.2 Versuche 2015

Im zweiten Versuchsjahr wurde nur noch die Rosenkohlsorte 'Octia' verwendet und Versuche in Ruthe mit einer neuen Fangpflanzenart (Wirsing) und abgeändertem Versuchsdesign durchgeführt.

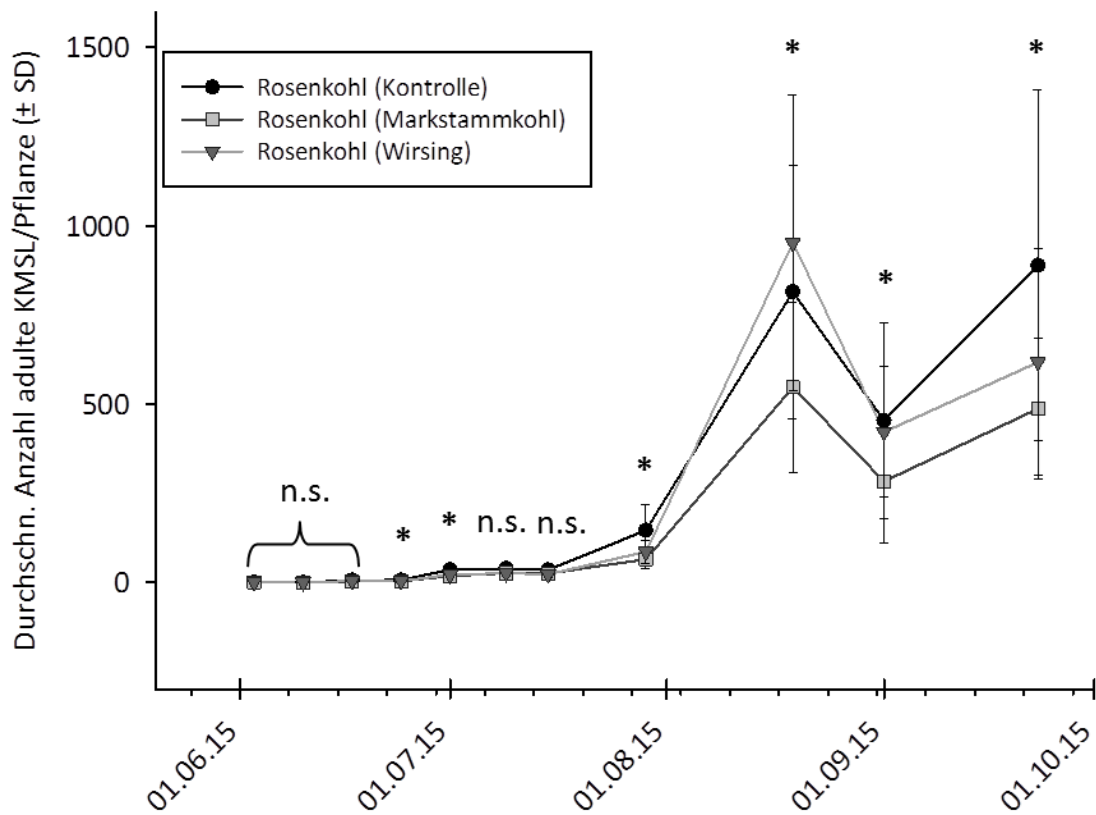
Der erste Befall war am 10.06.15 (vereinzelte adulte Tiere und Eier) in allen Varianten nachweisbar, der bis zum 01.07.15. sehr gering blieb und dann leicht anstieg. Erste Larven waren ab dem 24.06. nachweisbar (Markstammkohlvariante). Der Befall mit Larven war bis Mitte August langsam ansteigend und es ließen sich in diesem Zeitraum signifikante Unterschiede zwischen Kontrolle und Markstammkohl nachweisen (LMM,  $P < 0,05$ ) (Abbildung 16), nicht aber zwischen Kontrolle und Wirsing. Ab Mitte August gab es einen steilen Anstieg des Larvenbefalls mit bis zu 10000 Larven/Pflanze. Bei den Adulten stieg der Befall im Monat Juli schwach und schon ab Anfang August stark an (Abbildung 17). Trotzdem gab es in den Zeiträumen mit starken Befalls signifikante Unterschiede zwischen Markstammkohl und Kontrolle (Wirsing vs. Kontrolle nur an einem Termin) (LMM,  $P < 0,05$ ).

Wegen einzelner starker Regenfälle von Mitte Juli bis Mitte August (vergl. Abbildung 5) nahm der Befall mit adulten Tieren im September einmalig ab (Abbildung 17). Die Fangpflanzen zeigten unterschiedliche Befallsverläufe: Bei Markstammkohl war der Verlauf ähnlich wie Rosenkohl, zeigte aber im September wesentlich höhere Anzahlen an Larven und adulten KMSL, bedingt durch die Pflanzengröße (Abbildung 19, 20). Wirsing war nur bis Anfang August ähnlich stark befallen wie Markstammkohl, dann nahm der Befall nur noch schwach zu und blieb bis zum Ende unter 10000 Tieren/Pflanze (Abbildung 19, 20).

Der Blattlaus- und Raupenbefall (vereinzelt kleine Kolonien *B. brassicae* und *Plutella xylostella*) war 2015 schwach, so dass auch nicht behandelt werden musste. Rosenkohl war mit ca. 2 Pflanzen/Parzelle mit Kohldrehherzmücken (*Contarinia nasturtii*; Diptera: Cecidomyiidae) befallen, was zu starken Wuchsdeformationen führte. Diese Pflanzen wurden von den Bonituren ausgeschlossen bzw. ausgewechselt. Markstammkohl hatte ab September Probleme mit der Standfestigkeit und pro Parzelle waren ca. 20 % der Pflanzen umgeknickt oder war am verfaulen und hatte alle Blätter verloren (Abbildung 18). Außerdem fiel ein unregelmäßiger Wuchs auf. Während die meisten Pflanzen etwa 0,8 - 1,5 m groß wurden, gab es pro Parzelle eine bis zwei Pflanzen die größer als 2 m wurden. Wirsing wurde ab August in einigen Parzellen an den Außenblättern von Mäusen (*Microtus spec.*) befressen.



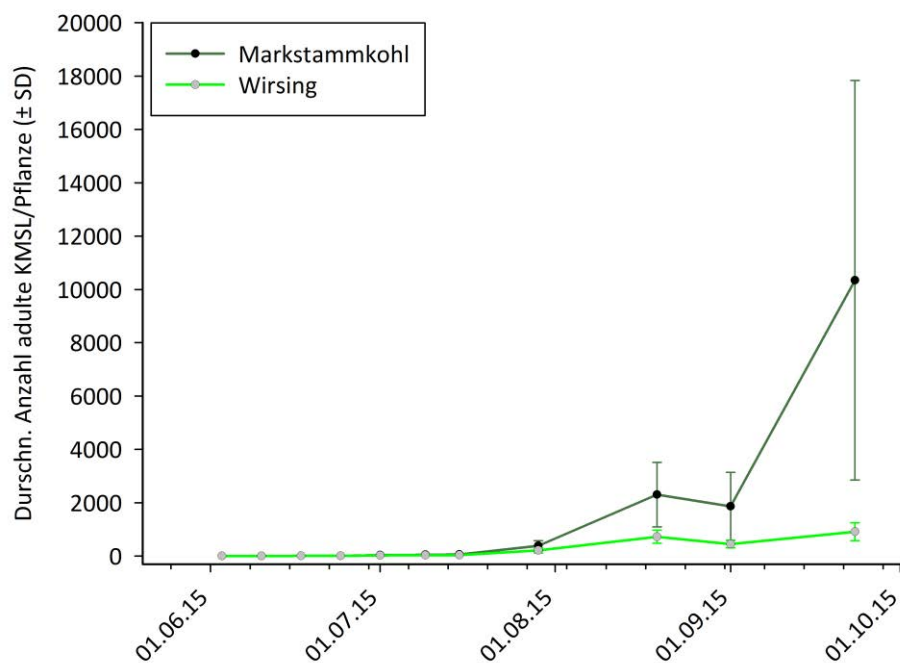
**Abbildung 16:** Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit Kohlmottenschildlauslarven 2015 in Ruthe bei zwei Fangpflanzenvarianten (Markstammkohl, Wirsing) und der Kontrolle ( $\pm$  Standardabweichung),  $P < 0,05$ ; LMM).



**Abbildung 17:** Befall von Rosenkohl (Sorte 'Octia') mit adulten Kohlmottenschildläusen 2015 in Ruthe bei zwei Fangpflanzenvarianten (Markstammkohl, Wirsing) und der Kontrolle ( $\pm$  Standardabweichung),  $P < 0,05$ ; LMM).

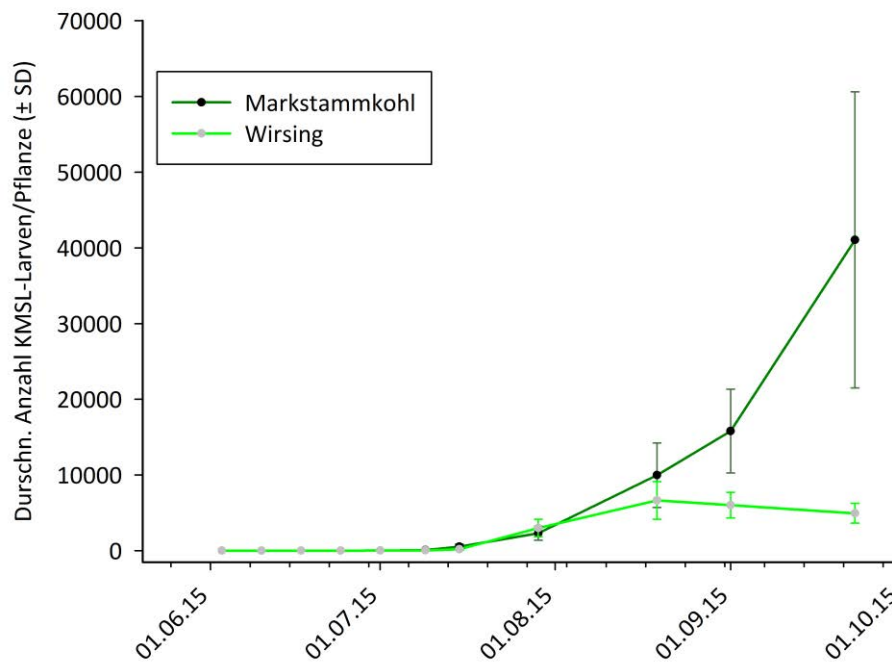


**Abbildung 18:** Beispiel für abgestorbene und verfaulte Fangpflanze Markstammkohl (September 2015, Ruthe).



**Abbildung 19:** Befall von Fangpflanzen (Wirsing und Markstammkohl) mit adulten Kohlmottenschildläusen 2015 in Ruthe (± Standardabweichung).

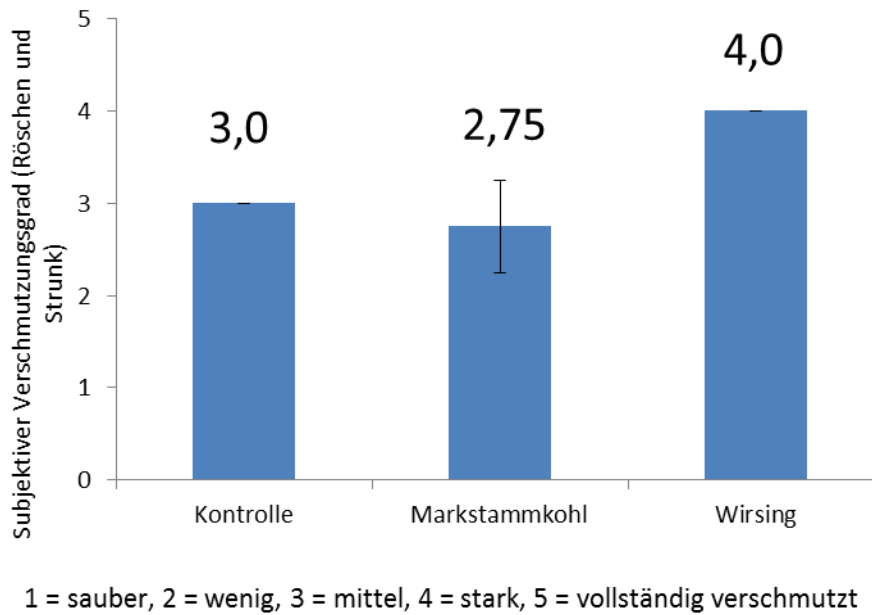




**Abbildung 20:** Befall von Fangpflanzen (Wirsing und Markstammkohl) mit Kohlmottenschildlaus-Larven 2015 in Ruthe ( $\pm$  Standardabweichung).

#### 4.2.2.1 Verschmutzung

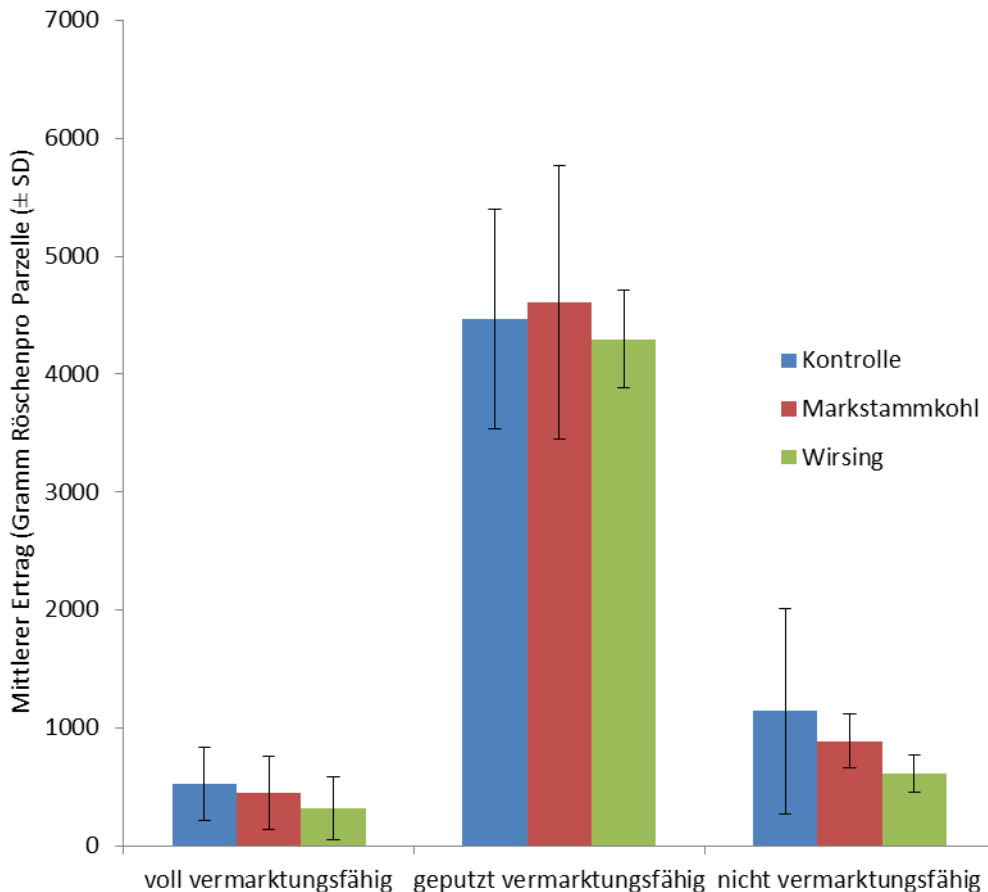
Die Verschmutzung des Rosenkohls wurde subjektiv mit einer Skala von 1 bis 5 (sauber bis vollständig verschmutzt) erfasst. Rosenkohl von Wirsingparzellen war signifikant verschmutzter als Rosenkohl von Markstammkohlpzellen und Kontrollparzellen (GLM, Tukey-Test,  $P < 0,05$ ). Rosenkohl von Kontroll- und Markstammkohlpzellen waren ebenfalls signifikant unterschiedlich (GLM, Tukey-Test,  $P < 0,05$ ) (Abbildung 21).



**Abbildung 21:** Durchschnittliche Boniturnote der Verschmutzung von Rosenkohl (Röschen und Strunk; Sorte 'Octia') nach Wuchs in Parzellen mit verschiedenen Fangpflanzen ( $\pm$  Standardabweichung).

#### 4.2.2.2 Ertrag

In allen Varianten war der Gewichtsanteil an geputzt vermarktungsfähigen Röschen am höchsten, während saubere und nicht vermarktungsfähige Röschen geringe Anteile ausmachten (Abbildung 22). Es gab keinen signifikanten Ertragsunterschied zwischen den Varianten (ANOVA, Tukey-Test,  $P > 0,05$ ).



**Abbildung 22:** Mittlerer Ertrag von Rosenkohl (Sorte 'Octia'), der mit zwei verschiedenen Fangpflanzen angebaut wurde, sortiert nach Vermarktbarkeit. Die Vermarktbarkeitskriterien umfassen neben Verschmutzung auch Schäden durch Fraß, Schimmel, Flügelbildung, etc..

### 4.3 Sortenscreening Anfälligkeit

#### 4.3.1 Antibiosis-Versuche (Klimakammer)

##### 4.3.1.1 Entwicklungszeit

In einer Klimakammer wurde die Entwicklung von *Aleyrodes proletella* vom Ei bis zum adulten Tier bei konstanter Temperatur ( $21 \pm 2$  °C) auf verschiedenen Rosenkohlsorten untersucht. Hierbei war die Gesamtentwicklungszeit auf der Sorte 'Brilliant' am längsten, auf der Sorte 'Esperal' am kürzesten (Tabelle 6). Interessanterweise ließen sich schon im Eistadium signifikante Unterschiede finden, während es im L1 und L2-Stadium keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten gab. Für weitere signifikante Unterschiede und Dauern der einzelnen Entwicklungsstadien siehe Tabelle 6.

**Tabelle 6:** Durchschnittliche Entwicklungszeit in Tagen ( $\pm$  SD) der einzelnen Stadien von *A. proletella* bei  $21 \pm 2$  °C auf verschiedenen Rosenkohlsorten (*B. oleracea* L. var. *gemmifera* DC.) Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

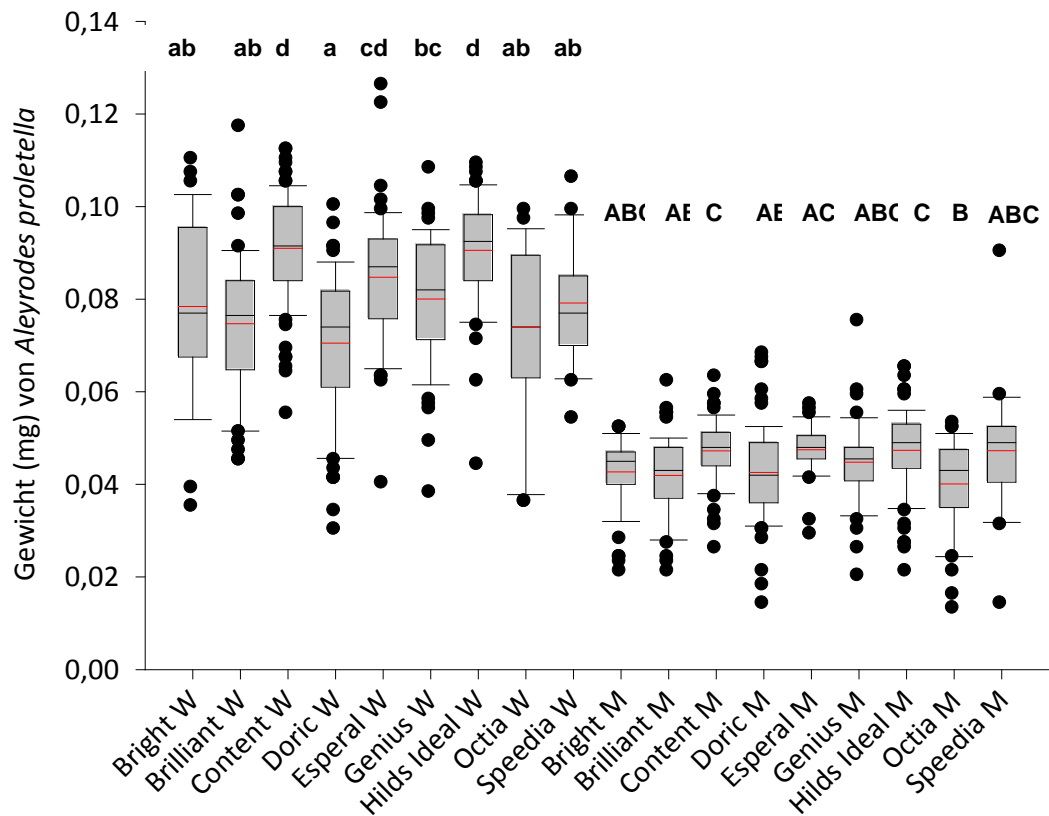
Sorte	Ei	L1	L2	L3	L4	Entwicklungszeit
'Bright'	9,24 $\pm$ 0,72 ab	3,95 $\pm$ 1,17 a	2,74 $\pm$ 0,91 a	2,97 $\pm$ 1,08 ab	7,73 $\pm$ 1,50 ab	26,58 $\pm$ 2,49 ab
'Brilliant'	9,46 $\pm$ 0,99 a	4,63 $\pm$ 1,00 a	2,48 $\pm$ 0,94 a	3,43 $\pm$ 1,65 a	8,57 $\pm$ 2,28 ac	28,53 $\pm$ 4,08 c
'Content'	9,25 $\pm$ 0,93 ab	4,10 $\pm$ 1,02 a	2,49 $\pm$ 1,03 a	2,92 $\pm$ 0,75 ab	7,91 $\pm$ 1,04 abc	26,67 $\pm$ 1,95 a
'Doric'	9,01 $\pm$ 0,97 ab	4,37 $\pm$ 1,14 a	2,66 $\pm$ 0,92 a	3,27 $\pm$ 0,92 a	8,30 $\pm$ 1,21 ac	27,60 $\pm$ 2,69 ac
'Esperal'	8,69 $\pm$ 1,08 b	3,94 $\pm$ 1,17 a	2,48 $\pm$ 1,20 a	2,52 $\pm$ 1,06 b	7,42 $\pm$ 1,50 b	25,02 $\pm$ 2,98 b
'Genius'	9,25 $\pm$ 1,37 ab	4,08 $\pm$ 0,98 a	2,45 $\pm$ 0,75 a	2,89 $\pm$ 0,80 ab	8,11 $\pm$ 0,97 abc	26,65 $\pm$ 2,06 a
'Hilds Ideal'	9,69 $\pm$ 1,13 a	4,35 $\pm$ 1,03 a	2,54 $\pm$ 0,98 a	2,97 $\pm$ 0,89 ab	8,38 $\pm$ 1,43 ac	27,73 $\pm$ 2,70 ac
'Octia'	9,51 $\pm$ 1,20 ab	4,26 $\pm$ 0,97 a	2,34 $\pm$ 1,00 a	3,17 $\pm$ 0,90 ab	8,91 $\pm$ 1,95 c	28,04 $\pm$ 3,35 ac
'Speedia'	9,29 $\pm$ 0,74 ab	4,40 $\pm$ 1,12 a	2,93 $\pm$ 1,08 a	2,91 $\pm$ 1,40 ab	8,52 $\pm$ 1,36 abc	27,95 $\pm$ 2,95 ac
Gesamt $\bar{\emptyset}$	9,27 $\pm$ 1,07	4,24 $\pm$ 1,08	2,55 $\pm$ 0,98	3,03 $\pm$ 1,07	8,18 $\pm$ 1,53	27,19 $\pm$ 2,95

#### 4.3.1.2 Adultgewicht

Die Gewichte der Weibchen waren nach Entwicklung auf den verschiedenen Sorten signifikant unterschiedlich ( $P = 2,2 \cdot 10^{-16}$ ). Auf den Sorten 'Content' und 'Hilds Ideal' waren sie im Durchschnitt am schwersten. Die Weibchen, die auf diesen Sorten heranwuchsen, waren, ausgenommen 'Esperal', signifikant schwerer als die Weibchen auf den übrigen Sorten (Abbildung 23).

Weibchen die auf 'Genius' heranwuchsen, wiesen ein signifikant geringeres Gewicht als die Weibchen von 'Content' und 'Hilds Ideal' auf. Im Gegensatz dazu waren sie signifikant schwerer als Weibchen von der Sorte 'Doric'. Wobei die Weibchen auf 'Doric' signifikant am leichtesten waren.

Bei den Tieren die auf den Sorten 'Bright', 'Brilliant', 'Octia' und 'Speedia' aufwuchsen, gab es keine signifikanten Unterschiede.

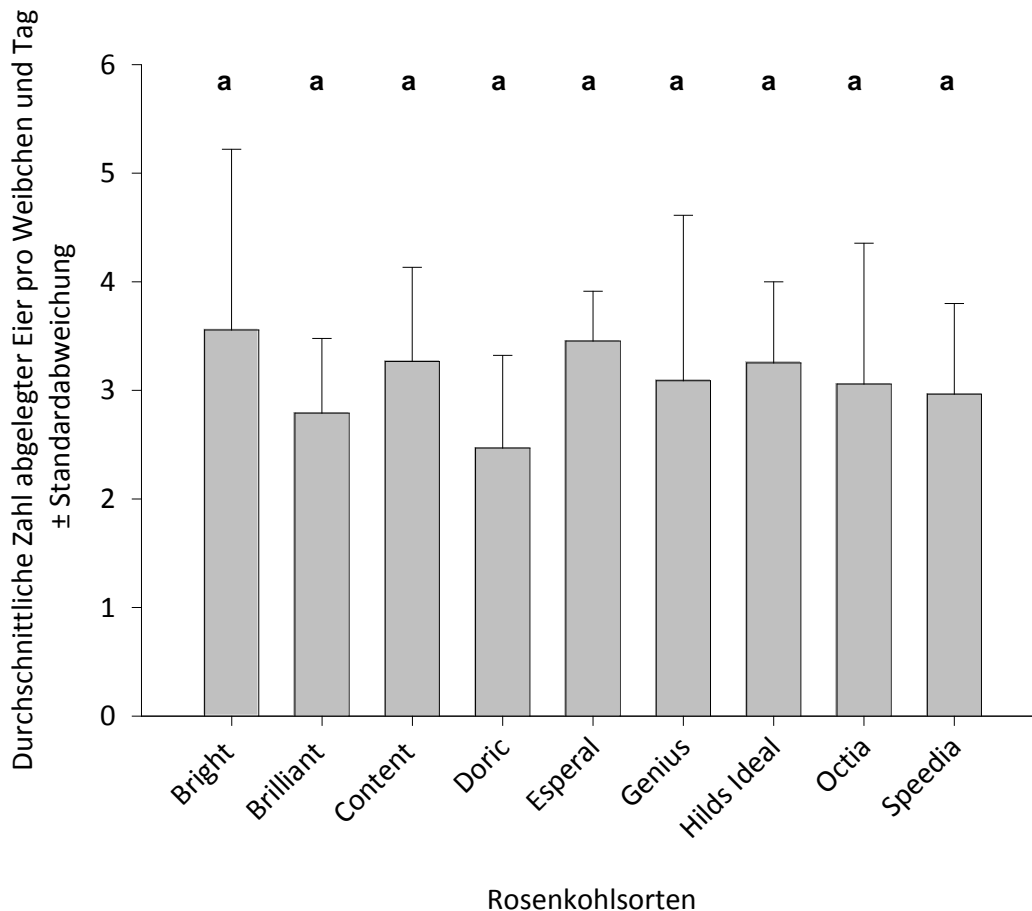


Rosenkohlsorten mit weiblichen (W) und männlichen (M) *Aleyrodes proletella*

**Abbildung 23:** Gewicht von weiblichen (W) und männlichen (M) Kohlmottenschildläusen nach Entwicklung auf verschiedenen Rosenkohlsorten. Die rote Linie zeigt den Mittelwert, die schwarze Linie den Median. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden (LM, ANOVA, Tukey-Test,  $P > 0,05$ ).

#### 4.3.1.3 Reproduktion

Im Anschluss an die Gewichtsbestimmung wurde die Reproduktion einzelner Weibchen in der Klimakammer (Abbildung 24) erfasst. Dazu wurden Weibchen (die am Ende aus den synchronisierten Eiern geschlüpft waren) gewogen und anschließend einzeln in einem Clip-Käfig auf ein Blatt aufgekäfigt, um über deren komplette Lebensspanne die Eiablage zu erfassen.



**Abbildung 24:** Durchschnittliche Anzahl täglich gelegter Eier  $\pm$  SD von einzelnen *A. proletella*-Weibchen auf verschiedenen Rosenkohlsorten über deren gesamte Lebensspanne in einer Klimakammer. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

Auf der Sorte 'Bright' wurden pro Tag mit durchschnittlich  $3,6 \pm 1,7$  Eiern die meisten Eier pro Weibchen abgelegt, auf 'Doric' die wenigsten Eier ( $2,5 \pm 0,9$ ).

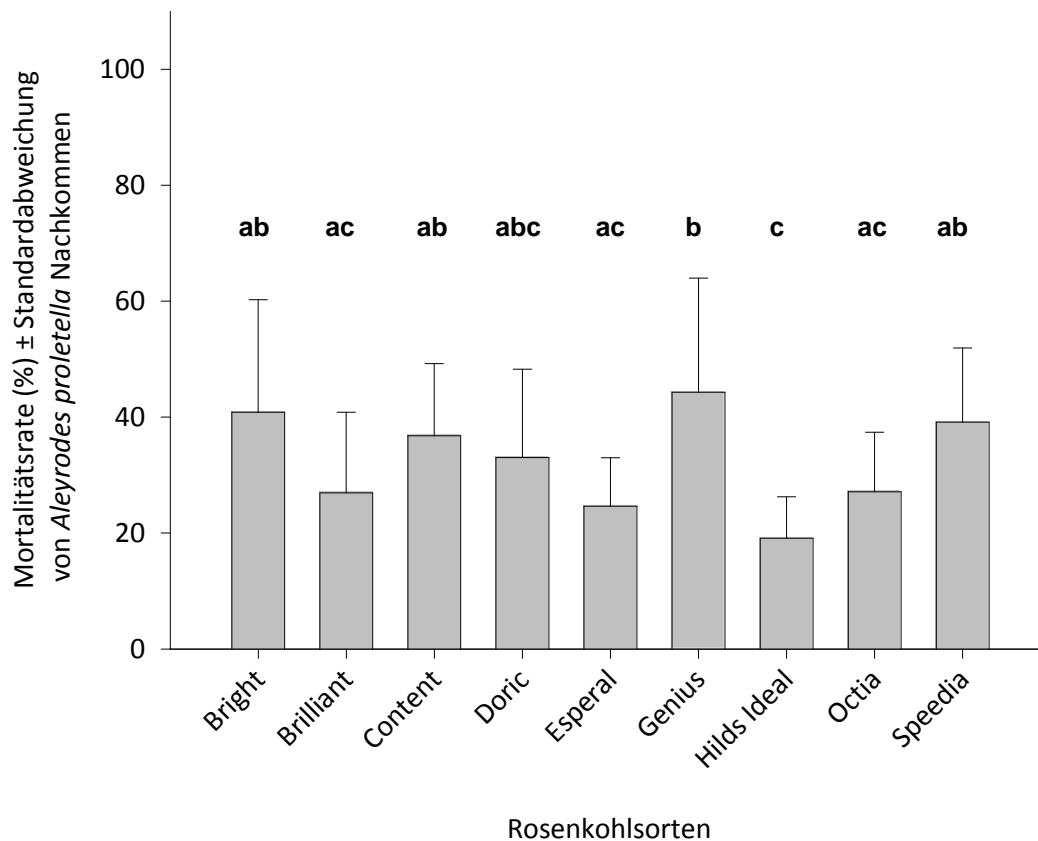
Die Weibchen legten auf den Sorten 'Content', 'Esperal', 'Genius', 'Hilds Ideal' und 'Octia' mehr als 3 Eier pro Tag ab. Auf den Sorten 'Brilliant' und 'Speedia' weniger als 3 Eier pro Tag. Zwischen den Sorten gab jedoch keine signifikanten Unterschiede (Abbildung 24).

#### 4.3.1.4 Mortalität

Um die Mortalitätsrate zu ermitteln, wurden die Eier die im Versuchsteil Reproduktion von den Weibchen abgelegt wurden, über die gesamte Entwicklungsdauer bis zum Schlupf der adulten Tiere beobachtet. Von der Gesamteizahl pro Sorte wurden die toten Nachkommen abgezogen und die prozentuale Mortalität pro Sorte ermittelt. Dieser Versuchsteil wurde in der Klimakammer durchgeführt.

Bei den Individuen die sich auf 'Hilds Ideal' ( $19 \pm 7\%$ ) entwickelten, wurde im Vergleich zu 'Bright' ( $41 \pm 20\%$ ), 'Content' ( $37 \pm 12\%$ ), 'Genius' ( $44 \pm 20\%$ ) und 'Speedia' ( $39 \pm 13\%$ ) eine signifikant geringere Mortalitätsrate beobachtet.

Bei den Individuen die sich auf 'Genius' ( $44 \pm 20\%$ ) entwickelten wurde im Vergleich zu 'Brilliant' ( $27 \pm 14\%$ ), 'Esperal' ( $25 \pm 8\%$ ), 'Hilds Ideal' ( $19 \pm 7\%$ ) und 'Octia' ( $27 \pm 10\%$ ) eine signifikant höhere Mortalitätsrate ermittelt (Abbildung 25).

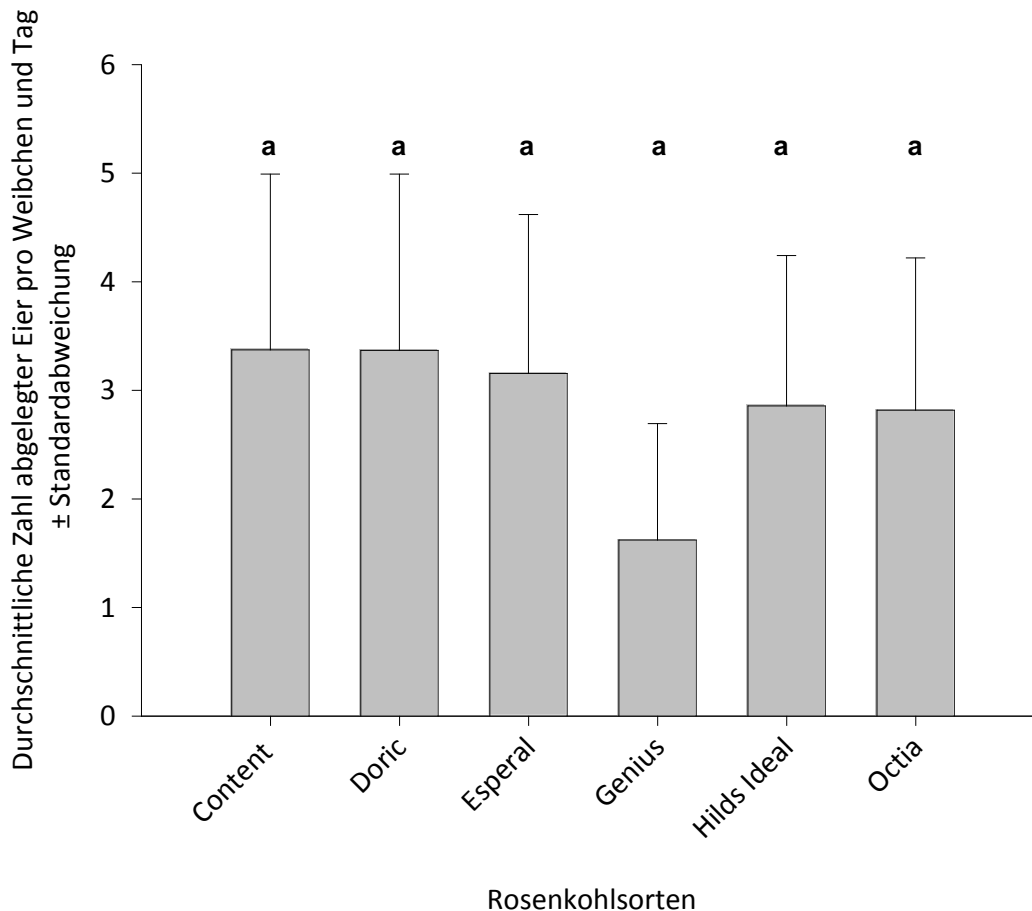


**Abbildung 25:** Mortalität (%) von *A. proletella* Nachkommen, die sich auf verschiedenen Rosenkohlsorten in der Klimakammer entwickelten. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied hin ( $P > 0,05$ , GLMM, Tukey-Test).

### 4.3.2 Antibiosis-Versuche (Freiland)

#### 4.3.2.1 Reproduktion

Im Feldversuch wurde die Reproduktion einzelner Weibchen über deren gesamte Lebenszeit untersucht. Auf den Sorten 'Content' ( $3,4 \pm 1,6$ ) und 'Doric' ( $3,4 \pm 1,6$ ) wurden die meisten, auf 'Genius' die wenigsten Eier pro Tag ( $1,6 \pm 1,1$ ) abgelegt (Abbildung 26). Wie bereits in der Klimakammer, gab es auch im Freilandversuch zwischen den verschiedenen Sorten keine signifikanten Unterschiede bei der Reproduktion von *A. proletella*.



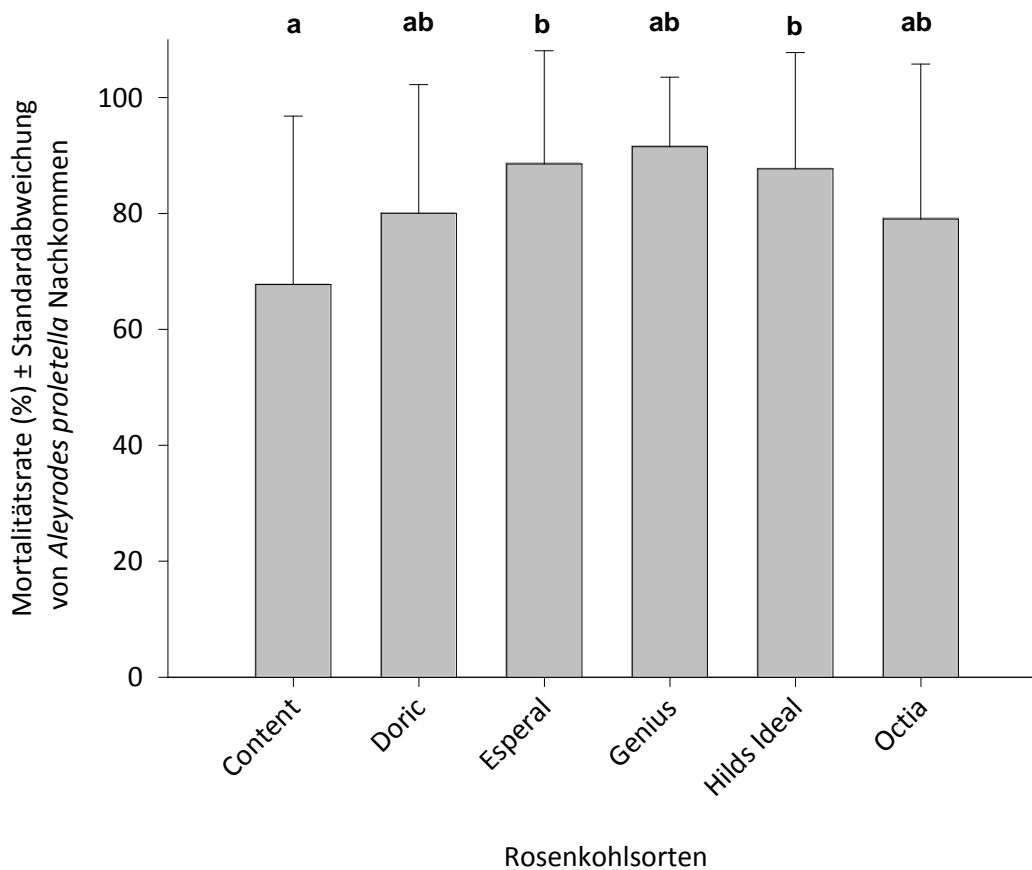
**Abbildung 26:** Durchschnittliche Anzahl täglich gelegter Eier ( $\pm$  SD) von einzelnen KMSL Weibchen (im Clip-Käfig) im Feldversuch mit verschiedenen Rosenkohlsorten über die gesamte Lebensspanne der Weibchen. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

#### 4.3.2.2 Mortalität

Im Freilandversuch zeigten die Individuen die sich auf der Sorte 'Content' ( $68 \pm 29\%$ ) entwickelten eine signifikant geringere Mortalität als auf 'Esperal' ( $89 \pm 20\%$ ) und 'Hilds Ideal' ( $88 \pm 20\%$ ). Zwischen den Sorten 'Doric' ( $80 \pm 22\%$ ), 'Genius' ( $92 \pm 12\%$ ) und 'Octia' ( $79 \pm 27\%$ ) wurde keine signif. Unterschiede bei der Mortalität ermittelt (Abbildung 27).

Beim Vergleich beider Versuchsorte (Klimakammer vs. Freiland) zeigte sich, dass die Mortalität in der Klimakammer ( $19 - 44\%$ ) bei allen Sorten niedriger war, als im Freiland ( $68 - 92\%$ ). Auf der Sorte 'Genius' wurde die höchste Mortalität ( $44\%$  Klimakammer bzw.  $92\%$  Freiland) von allen Sorten festgestellt. Bei 'Content' und 'Doric' war die Mortalität im Freiland niedriger als bei 'Esperal' und 'Hilds Ideal', während in der Klimakammer die Mortalität der ersten beiden Sorten höher war.





**Abbildung 27:** Mortalitätsrate (%) von *A. proletella* Nachkommen, die sich im Feldversuch auf verschiedenen Rosenkohlsorten entwickelten. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied hin ( $P > 0,05$ , GLMM, Tukey-Test).

### 4.3.3 Antixenosis-Versuche (Gewächshaus)

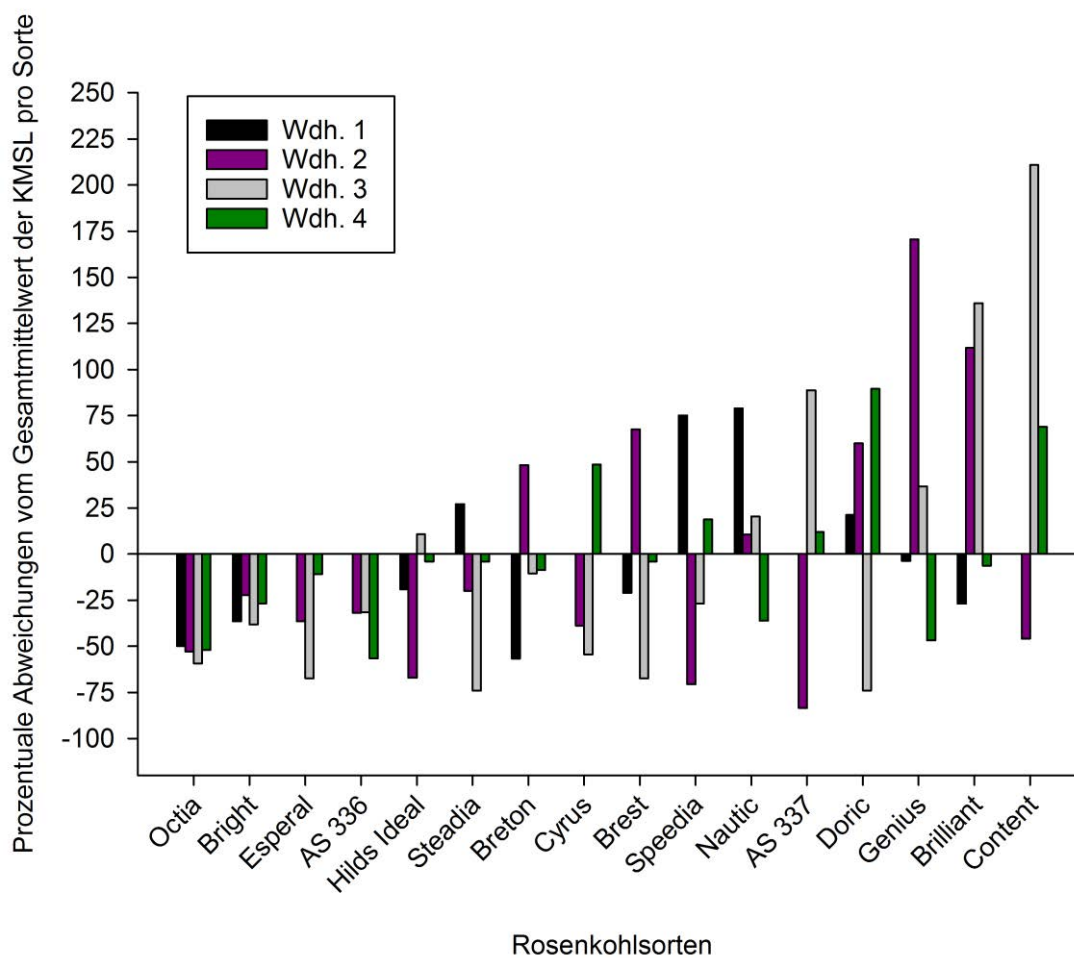
#### 4.3.3.1 Verteilung der adulten KMSL

Im Gewächshaus wurde in vier kreisförmig angeordneten Versuchen die Attraktivität von maximal 16 Rosenkohlsorten gegenüber adulten KMSL verglichen (Wahlversuche).

Die Wiederfindungsrate der freigelassenen Tiere betrug in Wiederholung 1: 61,3 %; Wdh. 2: 66,3 %; Wdh. 3: 98,3 % und bei Wdh. 4: 68,3 %.

Abbildung 28 zeigt die prozentualen Abweichungen des Befalls vom arithmetischen Gesamtmittel aller Sorten der jeweiligen Versuchswiederholung. Deutlich zu sehen ist, dass die Sorten 'Octia', 'Bright', 'Esperal' und 'AS 336' in jeder Versuchswiederholung kontinuierlich den geringsten Befall mit *A. proletella* aufwiesen, da hier nur negative Abweichungen vom Mittelwert vorlagen. Einen überwiegend unterdurchschnittlichen Befall zeigten auch 'Hilds Ideal' und 'Steadia', denn lediglich bei jeweils einer Versuchswiederholung lag der Befall leicht über dem Durchschnitt. Bei den Sorten 'Breton', 'Cyrus', 'Brest', 'Speedia', 'Nautic' und 'AS 337' ist keine eindeutige Tendenz feststellbar, da

die Pflanzen der einzelnen Wiederholungen und Sorten mal über- und mal unterdurchschnittlich stark befallen waren. Bei den Sorten 'Doric', 'Genius', 'Brilliant' und 'Content' waren die prozentualen Abweichungen nach oben am größten. Diese vier Sorten wurden von *A. proletella* deutlich stärker bevorzugt, als die restlichen Sorten. Die Versuchsstatistik wurde mittels einer Devianzanalyse (GLM mit Quasi-Poisson-Verteilung) und einem anschließendem Tukey-Test durchgeführt. Beim ersten Wahlversuch wurden Signifikanzen ( $P < 0,05$ ) gefunden, der anschließende Tukey-Test blieb ohne Signifikanzen ( $P > 0,05$ ). Bei den weiteren Wahlversuchen wurde kein weiterer Posthoc-Test durchgeführt, da bei der Devianzanalyse keine Signifikanzen ( $P > 0,05$ ) gefunden wurden (Tabelle 7).



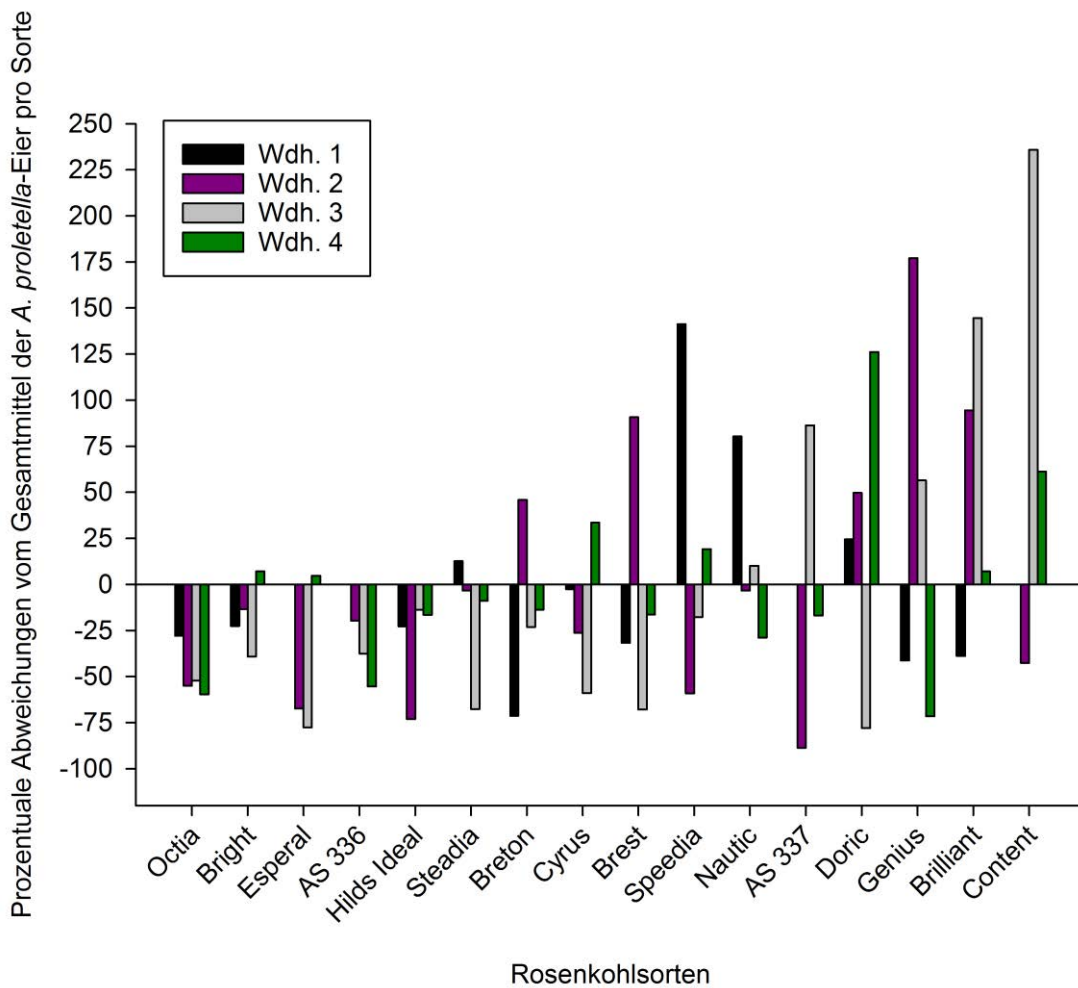
**Abbildung 28:** Verteilung von adulten *A. proletella* auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen dargestellt als prozentuale Abweichungen des Befalls vom arithmetischen Gesamtmittel der jeweiligen Versuchswiederholung.

**Tabelle 7:** Versuchsstatistik für die Verteilung von adulten *A. proletella* auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen. GLM mit Quasi-Poisson-Verteilung.

	D.f.	Deviance	Residual D.f.	Residual Deviance	F	P
Wahl 1						
NULL			59	330,58		
Sorte	11	118	48	212,58	2,2203	0,02861 *
Wahl 2						
NULL			77	1788,4		
Sorte	15	302,58	62	1485,8	0,6984	0,7763
Wahl 3						
NULL			79	1915		
Sorte	15	550,14	64	1364,9	1,6266	0,09138
Wahl 4						
NULL			77	444,63		
Sorte	15	106,75	62	337,88	1,3679	0,192

#### 4.3.3.2 Eiablage

Die Verteilung der Eier zeigt ähnliche Tendenzen und ist in Abbildung 29 zu sehen. Auch hier gab es nur beim ersten Wahlversuch signifikante Unterschiede (Tabelle 8).



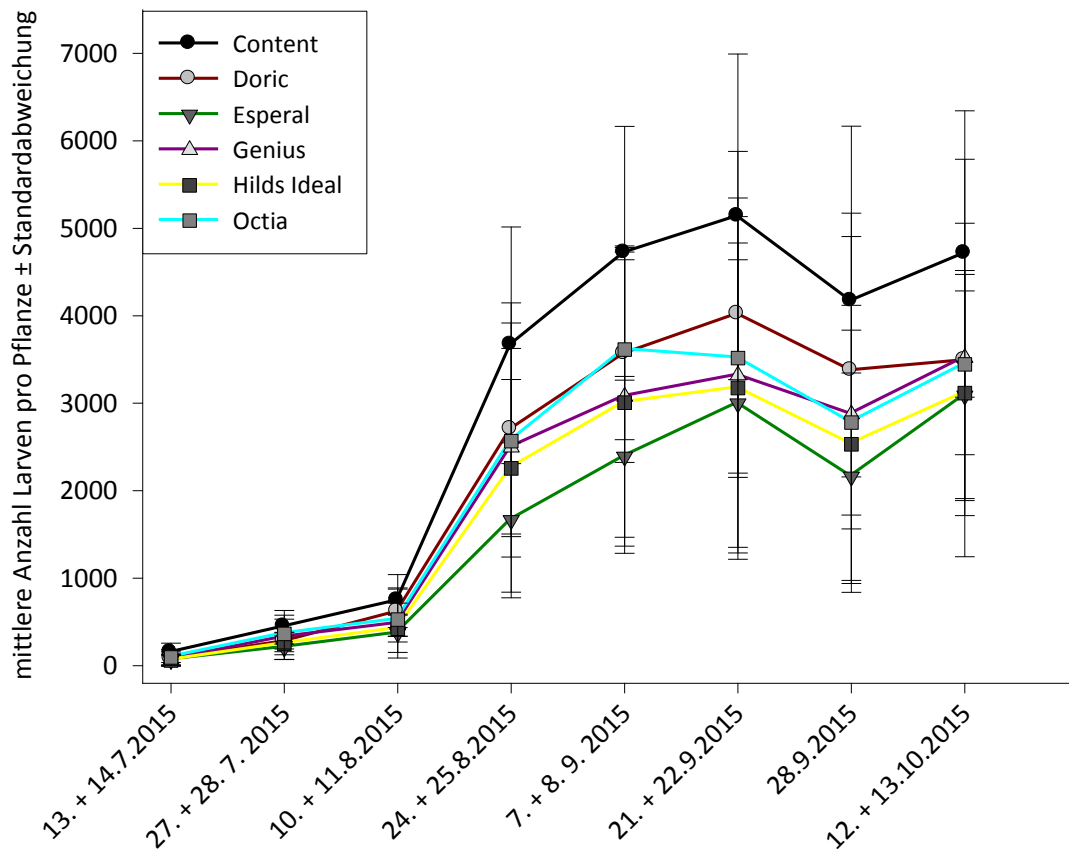
**Abbildung 29:** Verteilung Eiern von *A. proletella* auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen dargestellt als prozentuale Abweichungen der Eiablage vom arithmetischen Gesamtmittel der jeweiligen Versuchswiederholung.

**Tabelle 8:** Versuchsstatistik für die Eiablage von *A. proletella* auf verschiedenen Rosenkohlsorten bei vier kreisförmig angeordneten Wahlversuchen. GLM mit Quasi-Poisson-Verteilung.

	D.f.	Deviance	Residuals D.f.	Residual-Deviance	F	P
<b>Wahl 1</b>						
NULL			59	5951,7		
Sorte	11	2138,3	48	3813,4	2,4139	0,01766 *
<b>Wahl 2</b>						
NULL			77	70216		
Sorte	15	12667	62	57548	0,7523	0,7226
<b>Wahl 3</b>						
NULL			79	80909		
Sorte	15	24478	64	56431	1,7359	0,06581
<b>Wahl 4</b>						
NULL			77	22849		
Sorte	15	6617,9	62	16231	1,8043	0,05423

#### 4.3.4 Antixenosis-Versuche (Freiland)

Im Freiland sollte zudem die Attraktivität verschiedener Rosenkohlsorten auf *A. proletella* untersucht werden. Dazu wurde alle zwei Wochen an je 10 Pflanzen pro Parzelle (Abbildung 6) und insgesamt 40 Pflanzen pro Sorte, die Befallsstärke anhand der Anzahl von vorhandenen Larven (Abbildung 30) und Adulten (Abbildung 31) der gesamten Pflanze bonitiert. Der Übersicht halber sind die Signifikanzen in den Tabellen 9 und 10 gesondert dargestellt.



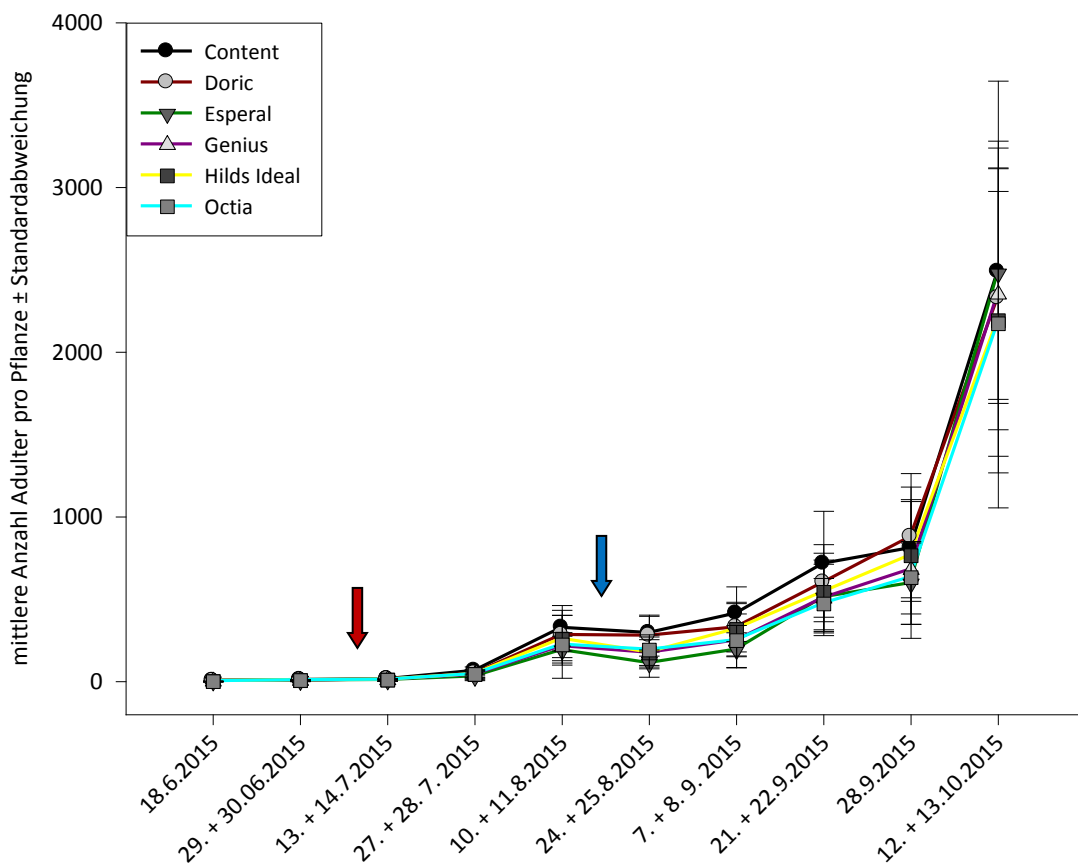
**Abbildung 30:** Mittlere Anzahl ( $\pm$  SD) *A. proletella* Larven auf verschiedenen Rosenkohlsorten im Freilandversuch. Zu jedem Boniturtermin wurden jeweils 40 Pflanzen pro Sorte komplett bonitiert, signifikante Unterschiede sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9:** Signifikanzen (dargestellt durch Buchstaben) der statistischen Analyse des KMSL-Larvenbefalls an verschiedenen Rosenkohlsorten zu acht verschiedenen Boniturterminen. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

Sorte	13. + 14. 7.2015	27. + 28. 7. 2015	10. + 11. 8.2015	24. + 25. 8.2015	7. + 8. 9.2015	21. + 22. 9.2015	28. 9.2015	12. + 13. 10.2015
'Content'	a	a	a	a	a	a	a	a
'Doric'	ab	ab	ab	ab	a	a	a	a
'Esperal'	ab	b	b	b	a	a	a	a
'Genius'	ab	ab	b	b	a	a	a	a
'Hilds Ideal'	b	b	ab	ab	a	a	a	a
'Octia'	ab	ab	ab	ab	a	a	a	a

Man kann deutlich sehen, dass die Anzahl der Larven kontinuierlich bei allen Sorten zunahm. Am 28.9.2015 wurde durchgängig bei allen Sorten ein geringerer Larvenbefall bonitiert. Der Larvenbefall stieg anschließend wieder an (Abbildung 29). Nur an den ersten vier von insgesamt acht Boniturterminen wurden signifikante Unterschiede des Larvenbefalls an den verschiedenen Rosenkohlsorten nachgewiesen (Tabelle 9).

Auf der Sorte 'Content' wurde an allen Terminen im Durchschnitt der höchste Befall bonitiert. Wobei nur bei den ersten vier Terminen ein signifikanter Unterschied zu den anderen Sorten nachzuweisen war (Tabelle 9). Der Befall an den Sorten 'Doric' und 'Octia' unterschied sich bei allen Terminen nicht signifikant voneinander. Bei 'Esperal' war der Befall (bis auf den ersten Termin) im Durchschnitt am geringsten. Der Befall war aber nur bei dem zweiten bis vierten Termin signifikant geringer als bei 'Content'. Der Befall auf 'Genius' war am dritten und vierten Termin signifikant geringer als bei 'Content'. Auf 'Hilds Ideal' wurden an den ersten beiden Terminen im Durchschnitt signifikant weniger Larven gefunden als bei 'Content'. Auch der Befall mit adulten *A. proletella* nahm mit der Zeit zu (Abbildung 31). Ein kurzfristiger Rückgang ist Ende August (24. + 25.8.2015) zu sehen. Die statistische Auswertung ist in Tabelle 10 dargestellt.



**Abbildung 31:** Mittlere Anzahl ( $\pm$  SD) adulter *A. proletella* an den einzelnen Boniturterminen pro kompletter Pflanze auf verschiedenen Rosenkohlsorten im Freiland. Zu jedem Boniturtermin wurden jeweils insgesamt 40 Pflanzen pro Sorte bonitiert. Der rote Pfeil markiert das Datum (10.07.15) an dem insgesamt 1100 adulte *A. proletella* freigelassen wurden. Der blaue Pfeil markiert den Zeitraum (16. – 18.08.15) mit höheren Niederschlägen (insg. 38,9 mm).

**Tabelle 10:** Signifikanzen (dargestellt durch Buchstaben) der statistischen Analyse des KMSL-Befalls (Adulte) an verschiedenen Rosenkohlsorten an zehn verschiedenen Boniturterminen. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

Sorte	18. 6.2015	29. + 30. 6.2015	13. + 14. 7.2015	27. + 28. 7. 2015	10. + 11. 8.2015	24. + 25. 8.2015	7. + 8. 9.2015	21. + 22. 9.2015	28. 9.2015	12. + 13. 10.2015
'Content'	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
'Doric'	a	a	a	ab	a	ab	ab	a	a	a
'Esperal'	a	a	a	b	a	c	c	a	a	a
'Genius'	a	a	a	b	a	bcd	bc	a	a	a
'Hilds Ideal'	a	a	a	ab	a	cd	abc	a	a	a
'Octia'	a	a	a	ab	a	ab d	abc	a	a	a

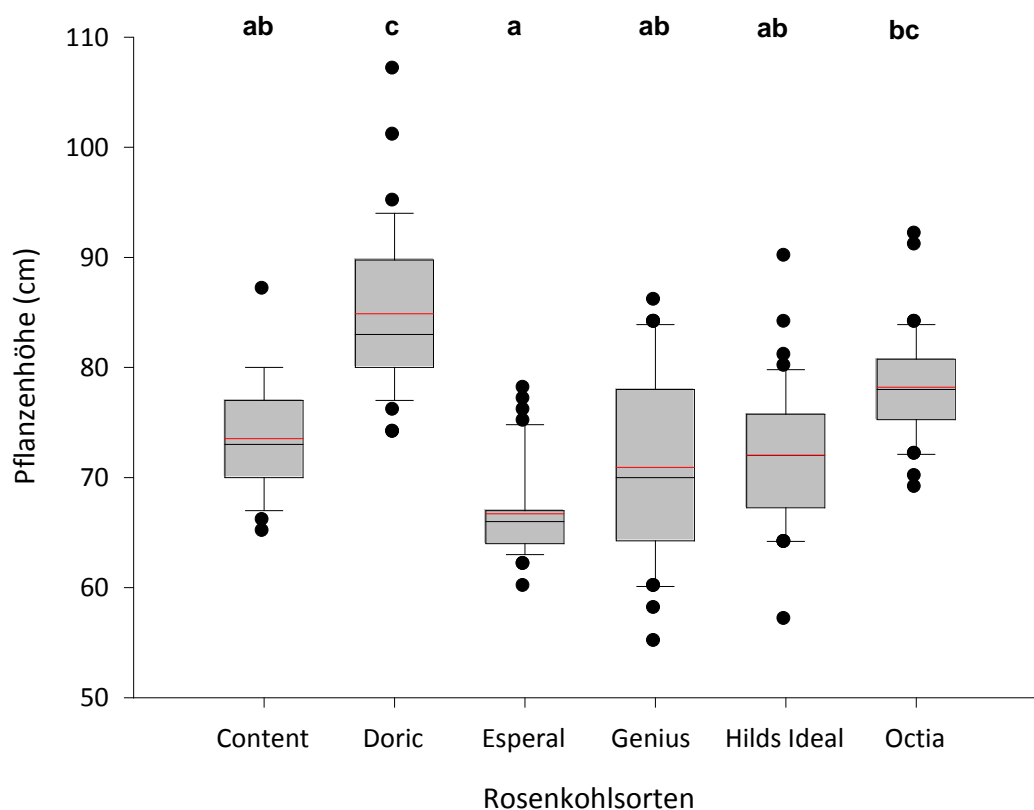


Wie bereits bei dem Larvenbefall wurden auf 'Content' im Durchschnitt die meisten adulten Tiere (bei acht von zehn Terminen) und auf 'Esperal' im Durchschnitt die wenigsten adulten Tiere (sechs von zehn Terminen) bonitiert. Die Unterschiede zwischen diesen beiden Sorten waren an drei Terminen (27. + 28.7.; 24. + 25.8.; 7. + 8.9.2015) signifikant und sind in Tabelle 10 dargestellt. Im Vergleich dieser beiden Sorten kann man annehmen, dass 'Content' für die Kohlmottenschildlaus tendenziell attraktiver war als 'Esperal'.

Bei den anderen Sorten kann man Unterschiede in der Attraktivität durch die statistische Analyse nicht belegen, da es nur an drei Terminen signifikante Unterschiede gab und der Befall an diesen drei Terminen bei den jeweiligen Sorten unterschiedlich war (Tabelle 10, Abbildung 31).

#### **4.3.4.1 Pflanzenhöhe**

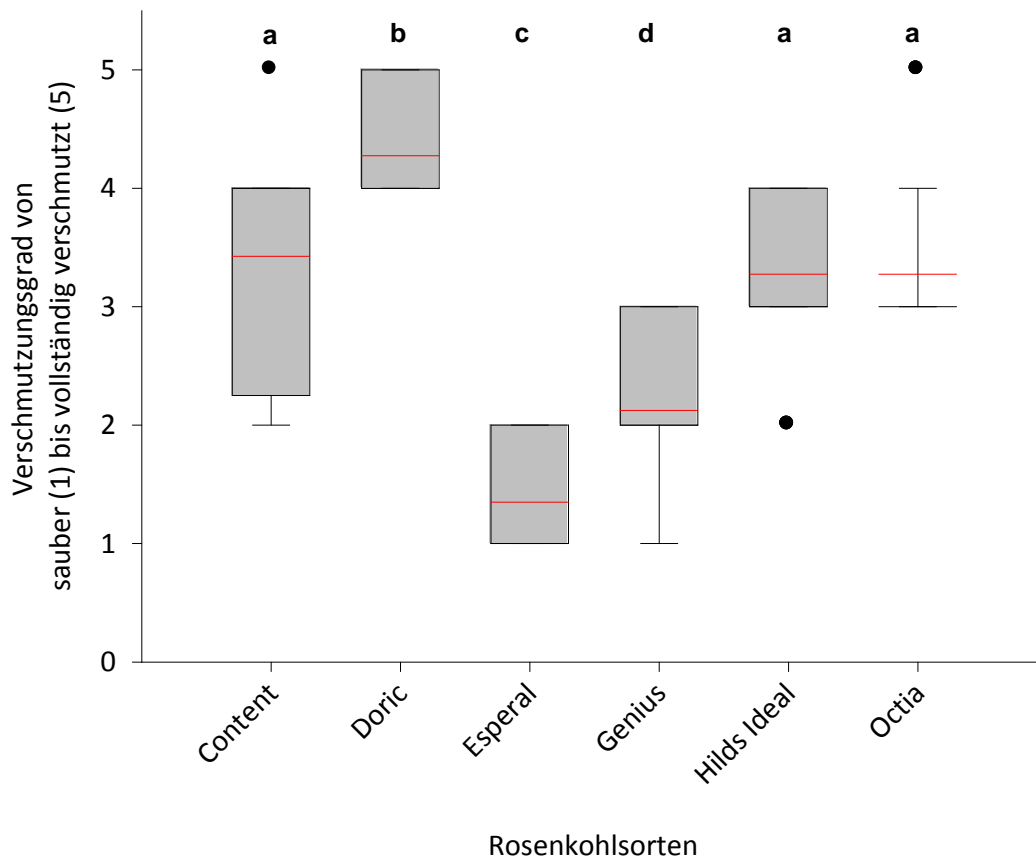
In Abbildung 32 ist die Pflanzenhöhe der Versuchssorten zum jeweiligen Erntezeitpunkt ('Content', 'Doric' und 'Octia': 29.10.2015; 'Genius' und 'Hilds Ideal': 25.11.2015; 'Esperal': 26.11.2015) dargestellt. Die Sorte 'Doric' waren im Mittel signifikant höher ( $85 \pm 7$  cm), als die anderen Sorten, außer 'Octia' ( $78 \pm 5$  cm). Die Pflanzen der Sorte 'Esperal' ( $67 \pm 4$  cm) waren signifikant kleiner als die Pflanzen der Sorten 'Doric' ( $85 \pm 7$  cm) und 'Octia' ( $78 \pm 5$  cm). 'Content' ( $74 \pm 5$  cm), 'Genius' ( $71 \pm 8$  cm) und 'Hilds Ideal' ( $72 \pm 6$  cm) unterschieden sich nicht signifikant in der Pflanzenhöhe.



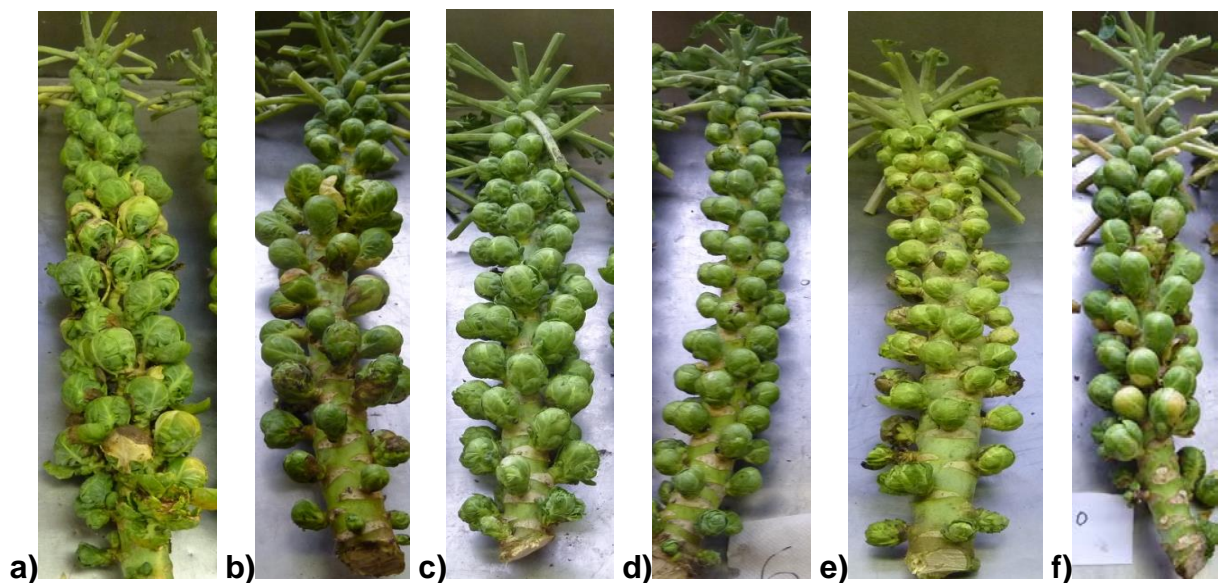
**Abbildung 32:** Pflanzenhöhe von insgesamt 40 Pflanzen der verschiedenen Rosenkohlsorten im Freiland zum Erntezeitpunkt ('Content', 'Doric' und 'Octia': 29.10.2015; 'Genius' und 'Hilds Ideal': 25.11.2015; 'Esperal': 26.11.2015). Die rote Linie zeigt den Mittelwert und die schwarze Linie den Median. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

#### 4.3.4.2 Verschmutzung

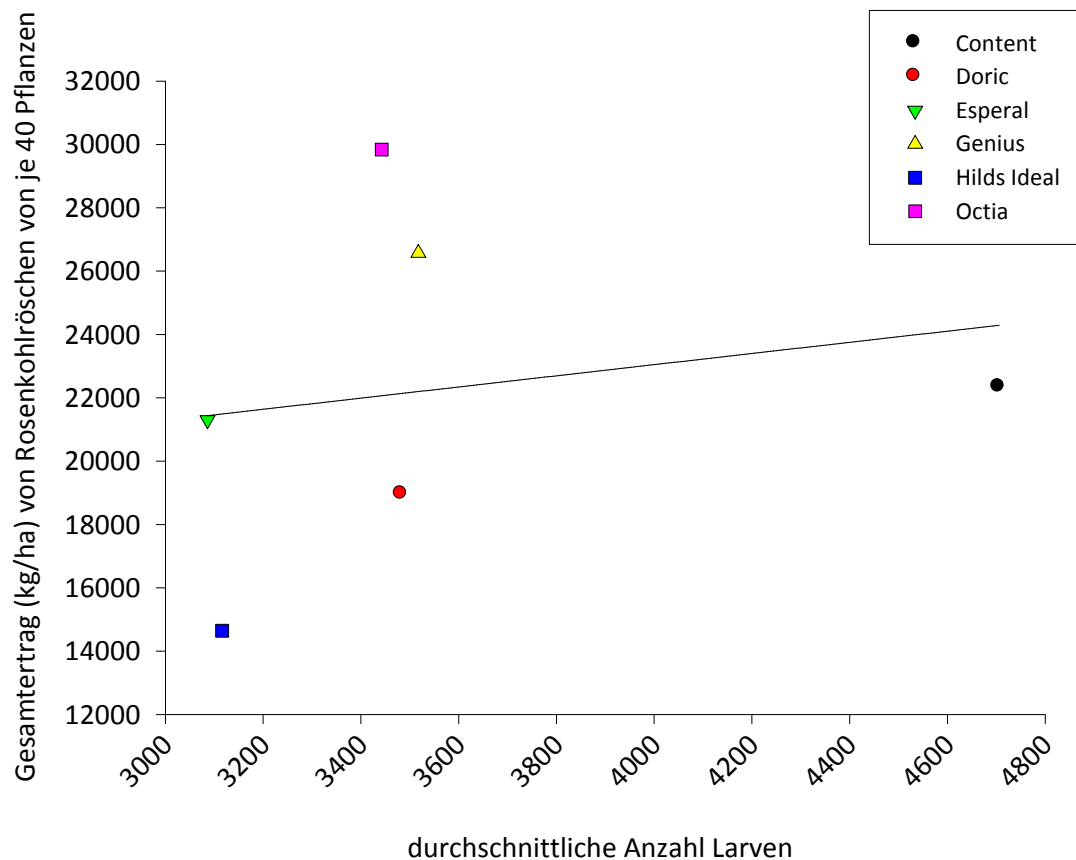
Die Abbildungen 33 und 34 zeigen die Röschen-Verschmutzungen der verschiedenen Sorten. Im Durchschnitt wurden die Röschen der Sorten 'Esperal' (1,35) und 'Genius' (2,13) als sauberer bonitiert und unterschieden sich signifikant von den Sorten 'Content' (3,43), 'Doric' (4,28), 'Hilds Ideal' (3,28) und 'Octia' (3,28).



**Abbildung 33:** Durchschnittliche Röschen-Verschmutzung verschiedener Rosenkohlsorten aus dem Feldversuch von sauber (1) bis vollständig verschmutzt (5). Die rote Linie zeigt den Mittelwert. Gleiche Buchstaben weisen auf keinen signifikanten Unterschied zwischen den einzelnen Sorten hin ( $P > 0,05$ ), CLMM, ANOVA, Tukey-Test.



**Abbildung 34:** Beispielbilder von Rosenkohlstrünken direkt nach der Ernte, an denen die subjektive Verschmutzungsbonitur durchgeführt wurde. Die Fotos zeigen jeweils einen Strunk pro Sorte, der der durchschnittlichen Verschmutzung der Sorte entspricht: a) 'Content' (Verschmutzung = 3,43), b) 'Doric' (4,28), c) 'Esperal' (1,35), d) 'Genius' (2,13), e) 'Hilds Ideal' (3,28), f) 'Octia' (3,28).



**Abbildung 35:** Gesamtertrag der Röschen von sechs verschiedenen Rosenkohlsorten (40 Pflanzen pro Sorte) in Abhängigkeit der durchschnittlichen Anzahl *A. proletella* Larven (40 Pflanzen pro Sorte) des letzten Boniturtermins (12. + 13.10.2015), lineare Regression  $f(x) = 15999,1626 + 1,7619x$ ,  $R^2 = 0,0374$ ,  $P = 0,7136$ .

Ein Zusammenhang zwischen dem Gesamtertrag und dem Befall durch KMSL-Larven ist unwahrscheinlich ( $R^2 = 0,0374$ ;  $P = 0,7136$ ) (Abbildung 35). Diese Beziehung wurde auch mit der durchschnittlichen Anzahl adulter *A. proletella* ( $R^2 = 0,0019$ ,  $P = 0,9339$ ) untersucht und kann auch ausgeschlossen werden.

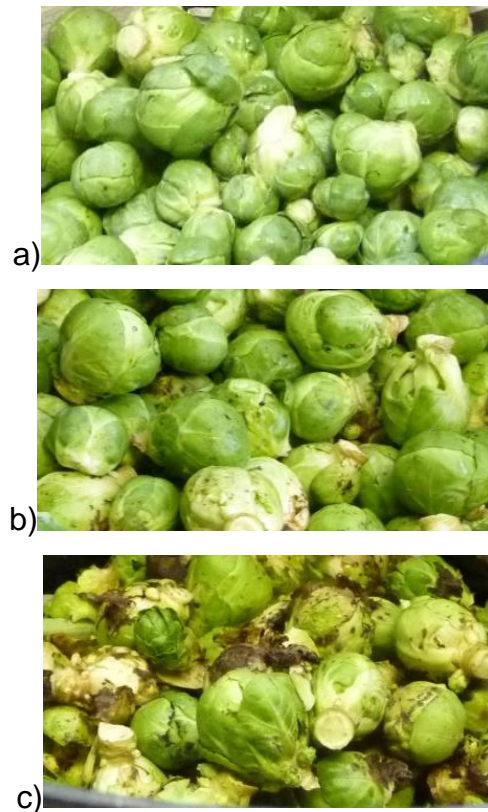
#### 4.3.4.3 Ertrag und Röschen-Qualitätsklassen

Der Gesamtertrag bei 'Octia' (29836 kg/ha) war signifikant höher als bei 'Doric' (18946 kg/ha), 'Esperal' (21298 kg/ha) und 'Hilds Ideal' (14643 kg/ha) ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

'Hilds Ideal' hatte einen signifikant niedrigeren Ertrag als 'Content' (22329 kg/ha), 'Esperal' (21298 kg/ha), 'Genius' (26565 kg/ha) und 'Octia' (29836 kg/ha). Der durchschnittliche Anteil an vermarktungsfähigen Röschen war mit  $1474 \pm 97$  kg/ha (Klasse 1) und  $5208 \pm 714$  kg/ha (Klasse 2) relativ hoch. 'Octia' hatte bei den geputzt vermarktungsfähigen (Klasse 2) Röschen einen signifikant höheren Ertrag als 'Hilds Ideal' (Abbildung 37).

'Hilds Ideal' ( $1600 \pm 440$  kg/ha) wies den signifikant geringsten Ertrag bei den Klasse 2 Röschen gegenüber 'Octia' ( $5208 \pm 714$  kg/ha) und 'Genius' ( $4385 \pm 1230$  kg/ha) auf. Zwischen den anderen Sorten waren keine signifikanten Ertragsunterschiede vorhanden.

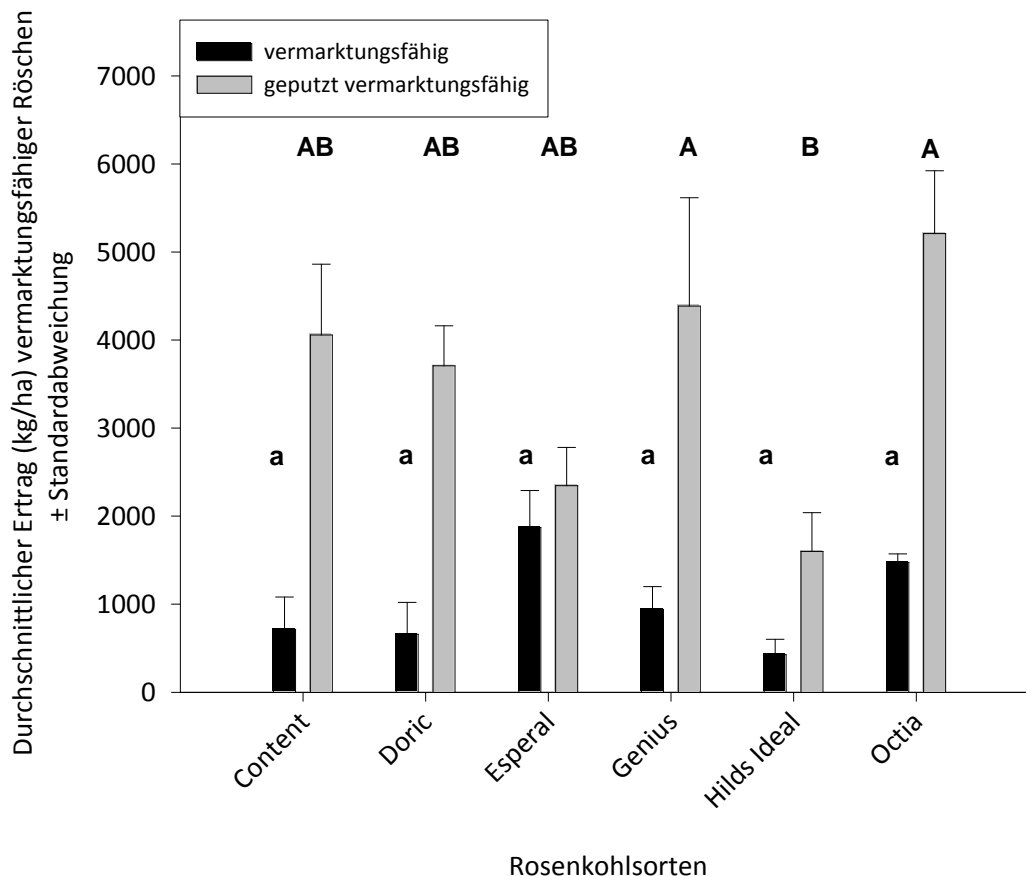
Nachdem der Ertrag der Röschen ermittelt wurde, wurden die Röschen pro Sorte (von insgesamt 40 Strünken) in drei verschiedene Qualitätsklassen (1: vermarktungsfähig, 2: geputzt vermarktungsfähig, 3: nicht vermarktungsfähig) eingeteilt. In Abbildung 36 ist diese Sortierung beispielhaft für die Sorte 'Genius' dargestellt.



**Abbildung 36:** Röschen der Sorte 'Genius' nach der Einteilung in drei Qualitätsklassen. a) Klasse 1 (vermarktungsfähig), b) Klasse 2 (geputzt vermarktungsfähig), c) Klasse 3 (nicht vermarktungsfähig).

Die Röschen der Klasse 3 sind aufgrund von Beschädigungen (Fraßspuren, Schimmel usw.) nicht vermarktungsfähig und wurden daher nicht weiter bearbeitet. Bei 'Doric' gehörten zur Klasse 3 im Durchschnitt ( $\pm$  SD)  $287 \pm 93$  kg/ha, 'Octia'  $778 (\pm 297)$  kg/ha, 'Content'  $817 (\pm 285)$  kg/ha, 'Esperal'  $1100 (\pm 562)$  kg/ha, 'Genius'  $1387 (\pm 1242)$  kg/ha und bei 'Hilds Ideal'  $1654 (\pm 176)$  kg/ha. Aufgrund der hohen Standardabweichung sind bei dieser Sortierung keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Die Anteile der Klassen 1 und 2 sind in Abbildung 37 dargestellt.

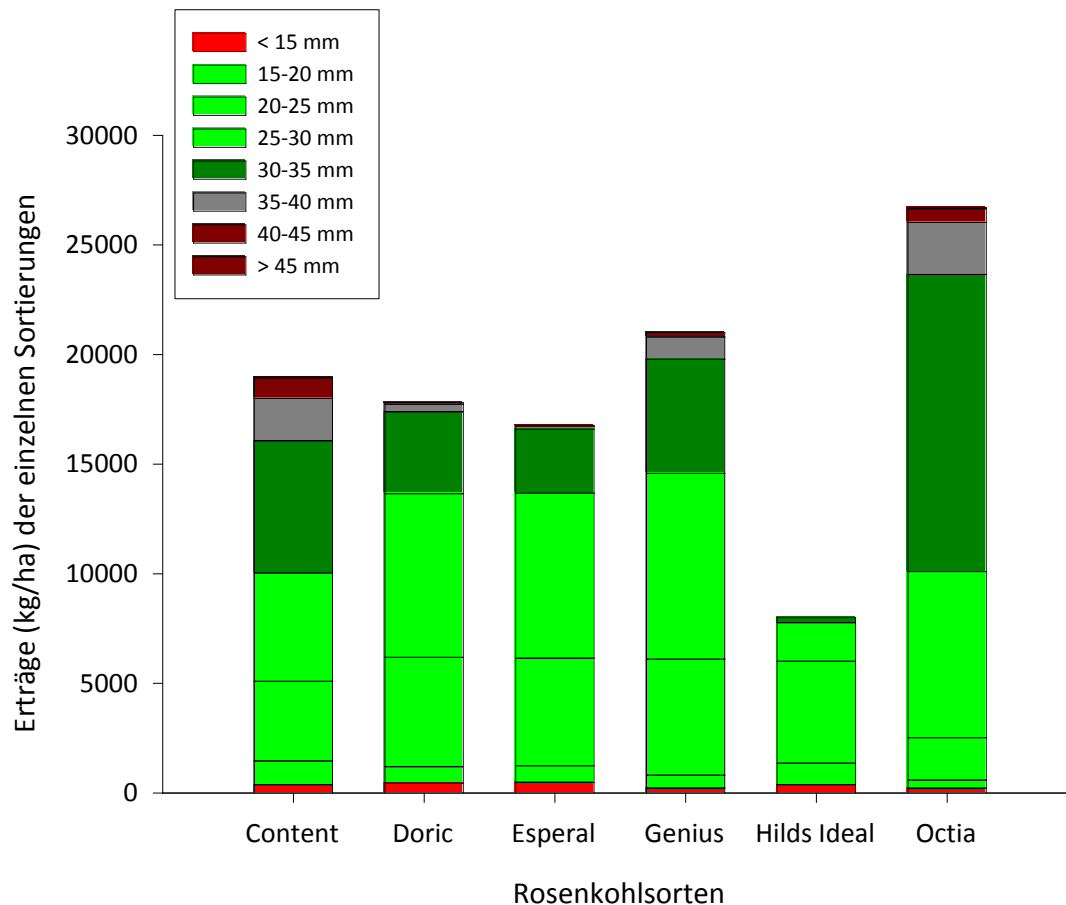
Bei der statistischen Analyse der beiden anderen Qualitätsklassen in Abhängigkeit der verschiedenen Rosenkohlsorten konnten nur bei den geputzt vermarktungsfähigen Röschen (Klasse 2) signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.



**Abbildung 37:** Durchschnittlicher Ertrag an vermarktungsfähigen Röschen (kg/ha) ± SD der Klassen 1 (vermarktungsfähig) und 2 (geputzt vermarktungsfähig) der einzelnen Rosenkohlsorten. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben sind nicht signifikant verschieden ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

#### 4.3.4.4 Größensortierung der Röschen

Im Anschluss an die Qualitätssortierung wurden die Röschen der Klassen 1 und 2 der Größe nach sortiert (Abbildung 38). Alle Röschen waren ungeputzt, wobei der Mindestdurchmesser für ungeputzten Rosenkohl bei 15 mm (für geputzten Rosenkohl 10 mm) liegt (UNECE, 2010). Somit sind alle Röschen < 15 mm nicht verkaufsfähig. Darüber hinaus werden in Leitsätzen der Deutschen Lebensmittelbuchkommission folgende Verkehrsbezeichnungen für tiefgefrorenen Rosenkohl angegeben. Rosenkohl mit einem Durchmesser bis 22 mm wird als „sehr klein“ eingestuft. Bei einem Durchmesser von 22 - 26 mm ist der Rosenkohl als „klein“ zu bezeichnen, von 26 - 32 mm als „mittel“ und von 32 - 36 mm als „groß“. Ohne Angabe einer Größensortierung sind Röschen mit einem Durchmesser bis 32 mm üblich (Rehlender, 2016).



**Abbildung 38:** Erträge der einzelnen Röschen-Sortierungen (< 15 mm bis > 45 mm) der verschiedenen Rosenkohlsorten, ausgehend vom Gesamtgewicht der Röschen die vorher den Qualitätsklassen 1 und 2 zugeteilt wurden. Für statistische Unterschiede siehe Tab. 11.

Bei 'Content' waren die Röschen überwiegend 25-30 mm und 30-35 mm groß. Von dem Gesamtgewicht aller Größen (18981 kg/ha) haben diese Sortierungen zusammen 10973 kg/ha gewogen. 'Content' wies zudem bei der Sortierung 15-20 mm (1080 kg/ha) einen signifikant höheren Ertrag, als 'Octia' (377 kg/ha) auf (Tabelle 11).

Bei 'Doric' und 'Esperal' waren die Röschen überwiegend 20-30 mm und 25-30 mm groß. Diese beiden Sortierungen haben bei der Sorte 'Doric' insgesamt 12453 kg/ha (von insgesamt 17805 kg/ha) und bei 'Esperal' 12444 kg/ha (von insgesamt 16768 kg/ha) gewogen.

'Genius' Röschen waren überwiegend 20-25 mm, 25-30 mm und 30-35 mm groß. Diese drei Sortierungen machten zusammen einen Ertrag von 18975 kg/ha von insgesamt 21014 kg/ha aus.

Die Röschen von 'Hilds Ideal' waren überwiegend zwischen 20-25 mm groß und wogen 4652 kg/ha (von insgesamt 7998 kg/ha). Einen signifikant höheren Ertrag wurde im Vergleich zu 'Octia' (377 kg/ha) bei der Größe 15-20 mm ('Hilds Ideal': 761 kg/ha) ermittelt (Tabelle 11). Im Vergleich zu den anderen Sorten wurde bei 'Hilds Ideal' ein signifikant geringerer Ertrag

(232 kg/ha) bei der 30-35 mm Sortierung festgestellt. Sonst gab es bei der Sortierung 30-35 mm keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten (Tabelle 11).

Der Gesamtertrag der acht Sortierungen war bei der Sorte 'Octia' am höchsten (26702 kg/ha). Die meisten Röschen waren zwischen 25-30 mm und 30-35 mm groß und haben insgesamt 21126 kg/ha gewogen (Abbildung 38).

**Tabelle 11:** Ergebnisse der statistischen Analyse von den Röschenerträgen der verschiedenen Sorten. Buchstaben sind nur innerhalb einer Spalte vergleichbar. Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben weisen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Röschenerträgen der jeweiligen Sortierung (< 15 mm bis 40-45 mm) auf ( $P > 0,05$ , Allpaarvergleich im gemischten Modell, Nennerfreiheitsgrade (ddf) nach Kenward-Roger).

Sorte	Signifikanzen der Erträge pro einzelner Größensortierung						
	< 15 mm	15-20 mm	20-25 mm	25-30 mm	30-35 mm	35-40 mm	40-45 mm
Content	a	a	a	a	a	a	a
Doric	a	ab	a	a	a	a	a
Esperal	a	ab	a	a	a	a	a
Genius	a	ab	a	a	a	a	a
Hilds Ideal	a	a	a	a	b	a	a
Octia	a	b	a	a	a	a	a



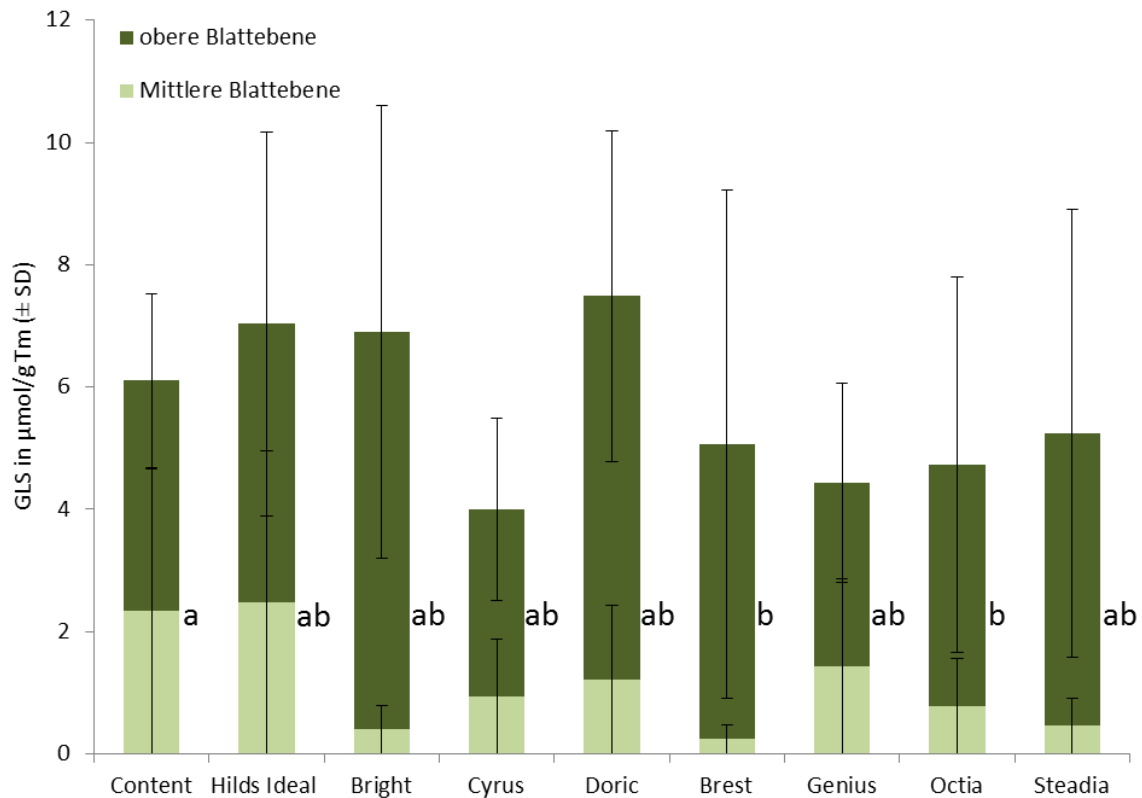
#### 4.4 Glucosinolate

Beim ersten Versuch wurden insgesamt neun verschiedene Glucosinolate nachgewiesen und quantifiziert (Tabelle 12).

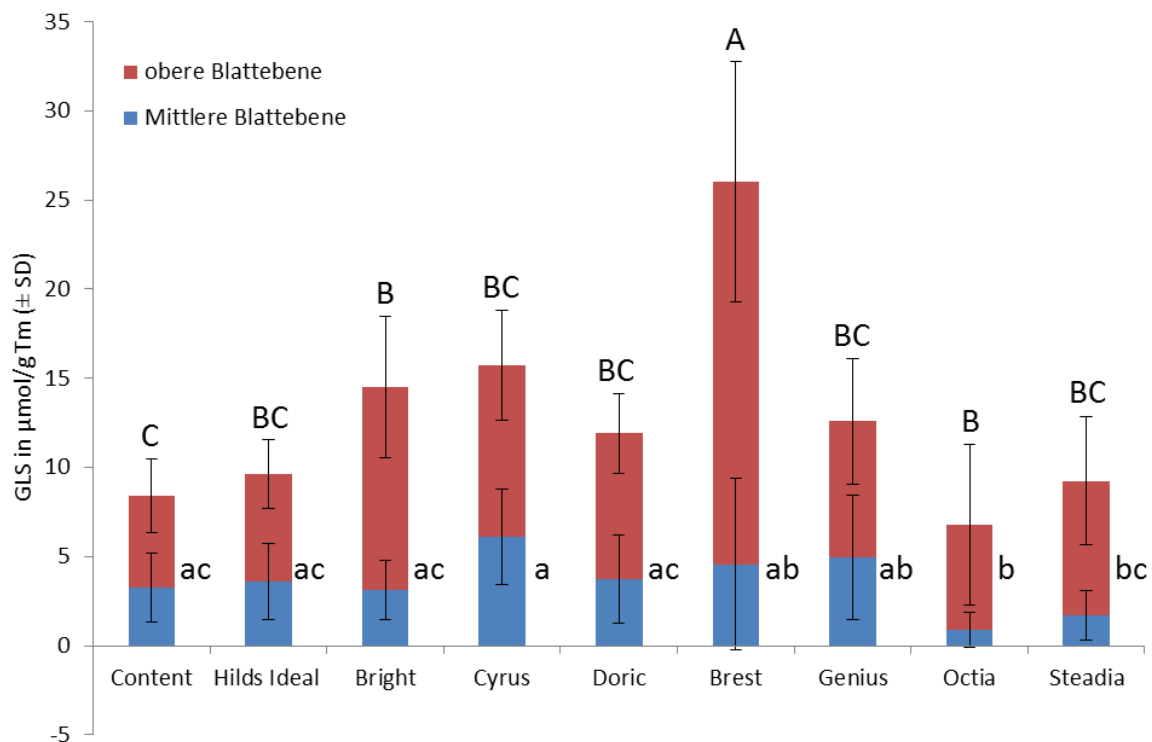
**Tabelle 12:** Überblick über die in Blättern von verschiedenen unbefallenen Rosenkohlsorten nachgewiesenen Glucosinolate.

Name	Klasse	Trivialname
3-methylsulfinylpropyl GLS	aliphatisch	Glucoiberin
(R)-2-hydroxy-3-butenyl GLS	aliphatisch	Progoitrin
2-propenyl GLS	aliphatisch	Sinigrin
4-methylsulfinylbutyl GLS	aliphatisch	Glucoraphanin
3-butenyl GLS	aliphatisch	Gluconapin
4-hydroxy-3-indolylmethyl GLS	indolisch	4-Hydroxy-Glucobrassicin
Indolyl-3-methyl GLS	indolisch	Glucobrassicin
4-methoxy-3-indolylmethyl GLS	indolisch	4-Methoxy-Glucobrassicin
1-methoxy-3-indolylmethyl GLS	indolisch	Neoglucobrassicin

Die Quantifizierung und signifikante Unterschiede (GLM,  $P < 0,05$ ) zwischen Sorten soll hier nur für die beiden wichtigsten Substanzen Progoitrin und Sinigrin dargestellt werden (Abbildung 39 und 40). Bei Progoitrin gab es nur in der mittleren Blattetage signifikante Unterschiede (Abbildung 38). Die Sorten 'Brest' und 'Octia' hatten hier signifikant weniger Progoitrin als die Sorte 'Content'. Alle anderen Sorten unterschieden sich nicht. Bei Sinigrin (Abbildung 39) hatten die oberen Blätter bei der Sorte 'Brest' den sig. höchsten Gehalt. Ansonsten unterschieden sich 'Octia' und 'Bright' signifikant von 'Content' mit dem niedrigsten Sinigringehalt. Bei den mittleren Blättern unterschieden sich nur 'Cyrus' und 'Octia' signifikant voneinander.



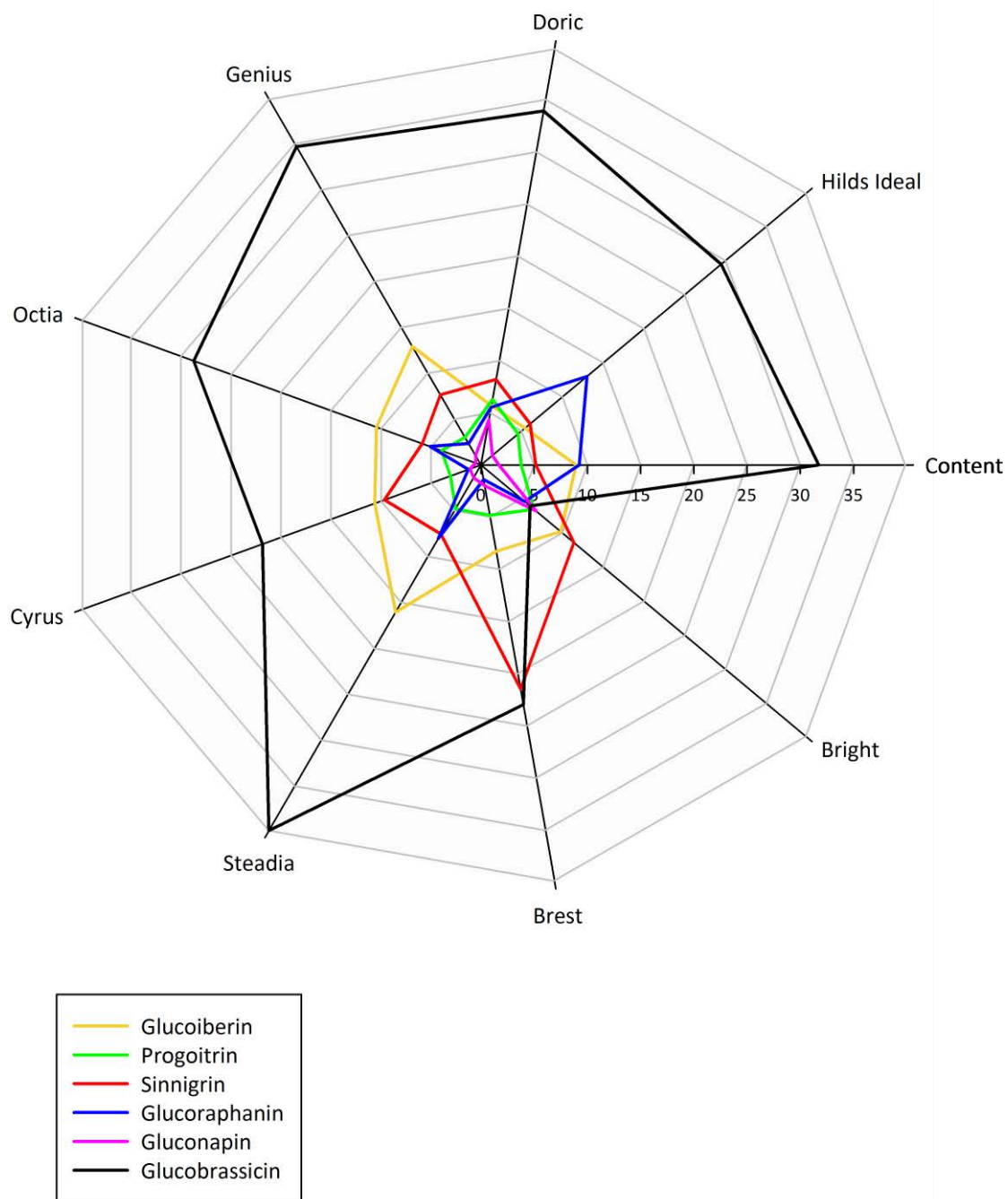
**Abbildung 39:** Progoitrin-Gehalt von Rosenkohlblättern verschiedener Sorten zweier Blattetagen (obere und mittlere Blätter). Der GLS-Gehalt der oberen Blätter unterschied sich nicht signifikant, bei den mittleren Blättern unterscheiden sich Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben nicht signifikant (GLM, Tukey-Test  $P > 0,05$ ).



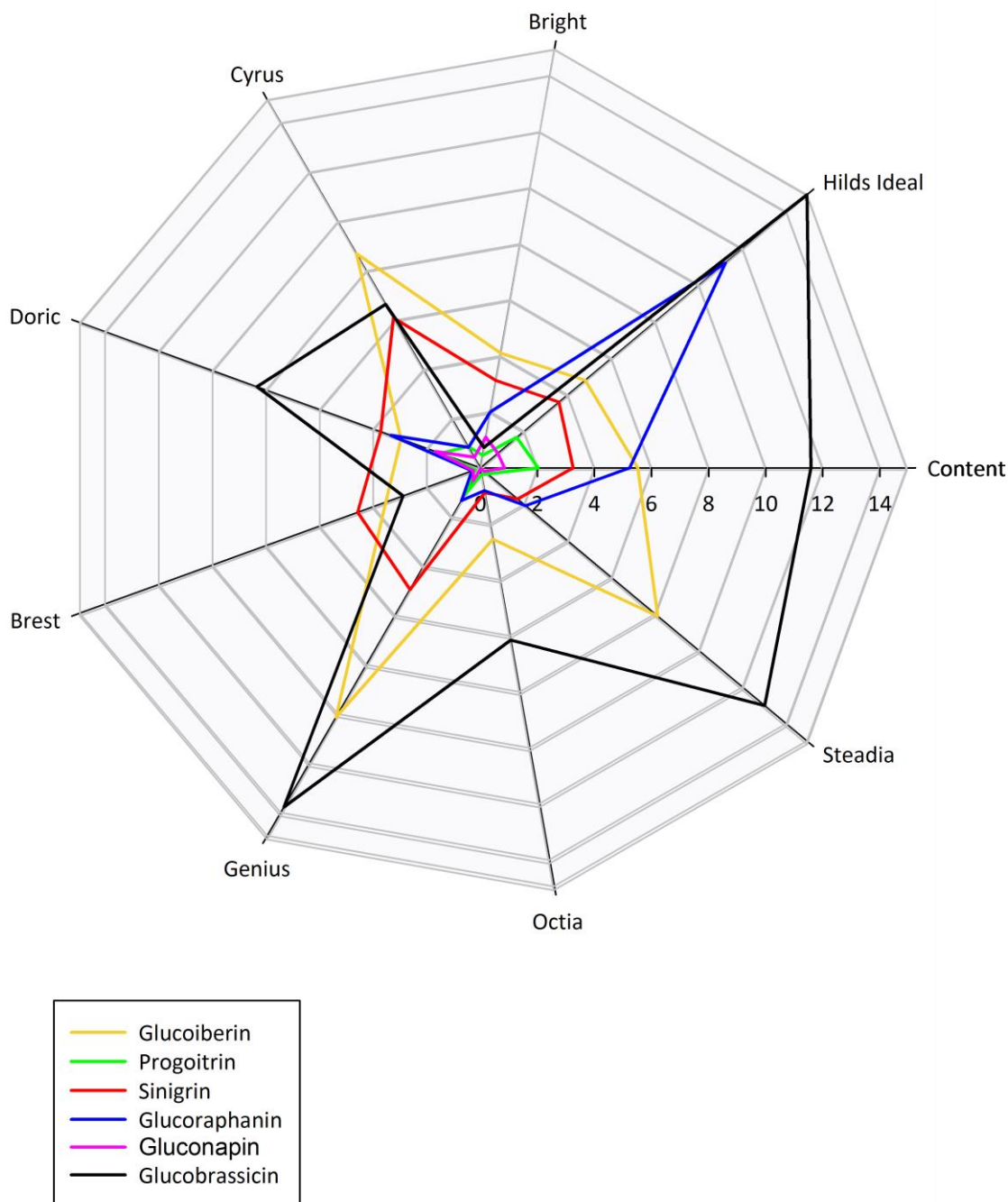
**Abbildung 40:** Sinigrin-Gehalt von Rosenkohlblättern verschiedener Sorten zweier Blattetagen (obere und mittlere Blätter). Signifikanzen wurden nach Blattetage (Großbuchstaben: obere Blattetage, kleine Buchstaben: mittlere Blattetage) getrennt untersucht. Teilsäulen von Sorten mit mindestens einem gleichen Buchstaben unterscheiden nicht signifikant (GLM, Tukey-Test  $P > 0,05$ ).

Bei einem vergleichenden Überblick der Gehalte der wichtigsten Glucosinolate je Sorte lassen sich keine auffälligen Muster erkennen, also Sorten, die erhöhte Gehalte an GLS aufweisen und auch bei Anfälligkeit gegenüber der KMSL Auffälligkeiten zeigten (Abbildung 41, 42). Auch konnten keine bzw. nur schwache Korrelationen zwischen Befall und GLS-Gehalten gefunden werden (Daten nicht gezeigt).

Die Ergebnisse für 2016 liegen derzeit noch nicht vor.



**Abbildung 41:** Radarplot der Gehalte der häufigsten Glucosinolate in Blättern (obere Blattebene) verschiedener Rosenkohlsorten (Angaben in  $\mu\text{mol/g Tm}$ ).



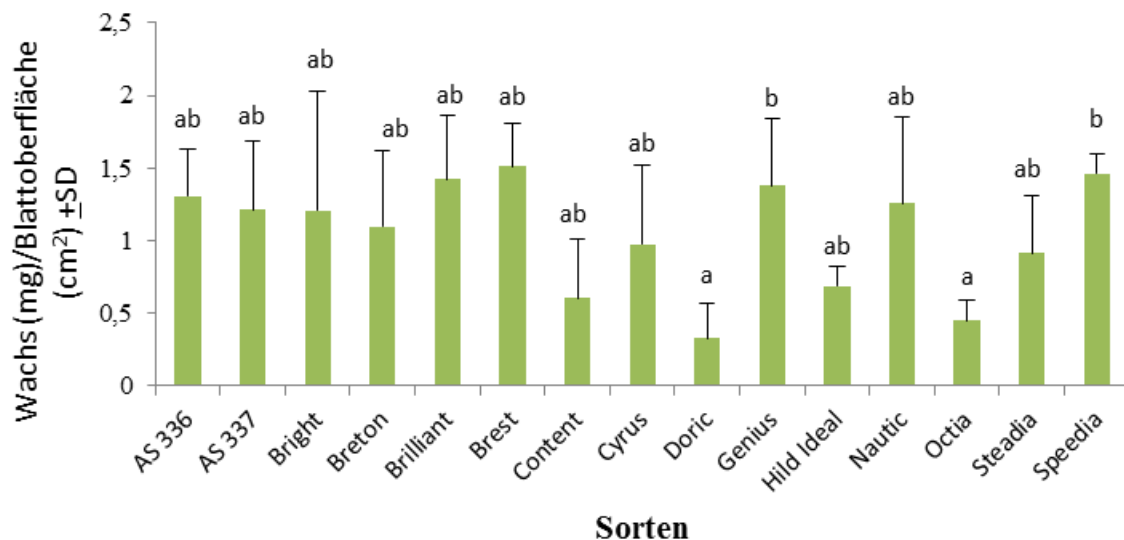
**Abbildung 42:** Radarplot der Gehalte der häufigsten Glucosinolate in Blättern (mittlere Blattebene) verschiedener Rosenkohlsorten (Angaben in  $\mu\text{mol/g Tm}$ ).

#### 4.5 Wachsgehalt von Rosenkohlblättern und Wirkung auf die Nützlichkeffizienz

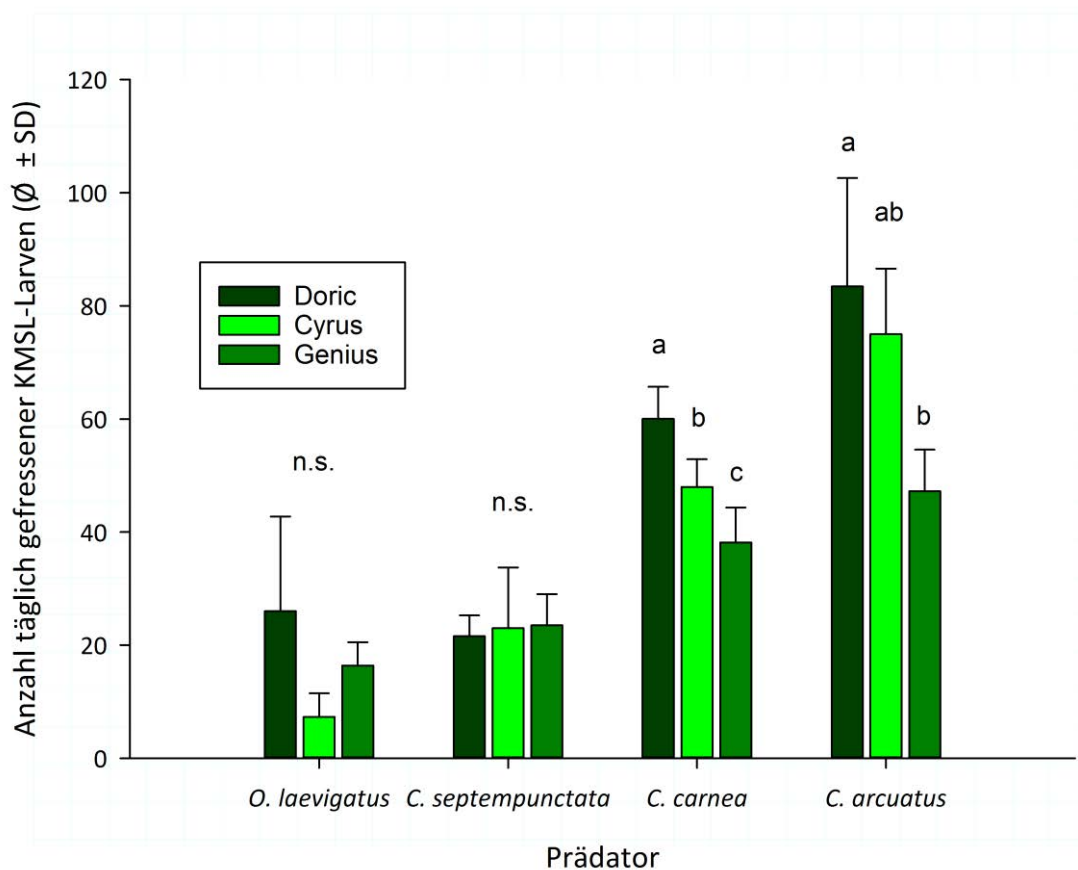
Der Wachsgehalt von Rosenkohlblättern wurde von 15 Sorten gravimetrisch untersucht. Dabei zeigten sich bei zwei Monate alten Pflanzen signifikante Sortenunterschiede (Abbildung 43). Die Sorten 'Octia' und 'Doric' wiesen signifikant weniger Wachs auf als 'Speedia' und 'Genius'. Die anderen Sorten hatten keinen signifikant unterschiedlichen Wachsgehalt der Blätter, obwohl auch hier Unterschiede gefunden wurden. Bei 3,5 Monate

alten Pflanzen hatte die Sorte 'Genius' einen sig. höheren Wachsgehalt der Blätter, abgesehen von den Sorten 'Brilliant', 'Cyrus', 'Nautic' und 'Speedia' (Ergebnisse nicht gezeigt). Für Mikrokosmosversuche mit Nützlingen wurden drei Sorten ausgewählt, die bei beiden Altersstufen signifikante Unterschiede zeigten: 'Genius' mit signifikant mehr Wachs, 'Doric' mit sig. weniger Wachs und 'Cyrus' als intermediäre Sorte.

Alle Prädatoren (siehe Material und Methoden) konnten sich auf einer ausschließlichen Diät mit KMSI-Larven zum Adultstadium entwickeln. Bei den Mikrokosmosversuchen zeigte der Spezialist Bogenmarienkäfer (*Clitostethus arcuatus*) die höchsten Fraßleistungen auf allen Sorten, die aber zwischen den Sorten signifikant unterschiedlich waren (Abbildung 44). Auf der Sorte mit weniger Wachs ('Doric') waren die Fraßleistungen signifikant höher als auf einer Sorte mit mehr Wachs ('Genius'). Bei Florfliegenlarven (*Chrysoperla carnea*) zeigte sich das gleiche Bild, aber auf niedrigerem Niveau. Keine signifikanten Unterschiede gab es bei der Wanze *Orius laevigatus* und bei Larven des Siebenpunkt-Marienkäfers (*Coccinella septempunctata*) (Abbildung 44). Die bei den Mikrokosmosversuchen verwendeten Sorten zeigen die gleichen signifikanten Unterschiede im Wachsgehalt wie im Sorten-Screening ('Doric':  $2,12 \pm 0,18$  mg/cm<sup>2</sup>; 'Cyrus':  $4,66 \pm 0,65$  mg/cm<sup>2</sup>; 'Genius':  $6,29 \pm 2,11$  mg/cm<sup>2</sup>; P = 0,0006676 ('Doric' vs. 'Genius'), P = 0,152662 ('Cyrus' vs. 'Genius') P = 0,0520631 ('Cyrus' vs. 'Doric').



**Abbildung 43:** Wachsgehalt von Blattoberflächen (pro cm<sup>2</sup>) von zwei Monate alten Rosenkohlpflanzen verschiedener Sorten. Sorten mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (GLM, Anova, Tukey-Test, P > 0,05).



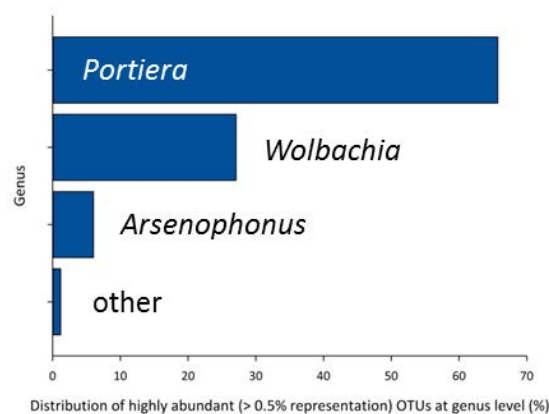
**Abbildung 44:** Tägliche Fraßleistung im Mikrokosmosversuch von vier verschiedenen Prädatoren auf unterschiedlichen Rosenkohlsorten die mit gleichen Anzahlen von larvalen Kohlmottenschildläusen befallen waren. Verschiedene Buchstaben deuten auf signifikante Unterschiede hin (Vergleich nur innerhalb einer Art; GLM, ANOVA, Tukey-Test,  $P < 0,05$ ).

## 4.6 Endosymbionten

### 4.6.1 NGS-1

Bei der ersten NGS-Untersuchung wurden jeweils zwei weibliche *A. proletella* aus sechs Sammlungen des Jahres 2014 (siehe Tabelle 4) gepoolt und mit einem universellen Primerpaar ein hypervariabler Abschnitt des bakteriellen 16S rRNA-Gens amplifiziert. Dabei wurden Total 45248 reads produziert, die nach Filterung auf 41300 reduziert waren. Die durchschnittliche Länge der reads war 1429 bp. Die gefilterten, eindeutigen Sequenzen wurden dann einer BLASTn-Analyse (Altschul et al., 1990) unterzogen. Dabei wurden neben dem primären Endosymbionten *Portiera aleyrodidarum* nur die beiden sekundären Endosymbionten *Wolbachia* spp. und *Arsenophonus* spp. nachgewiesen. Es wurden sowohl für *Wolbachia* als auch für *Arsenophonus* jeweils mehrere unterschiedliche „operational taxonomic units“ (OTUs) zugeordnet, die bislang nicht weiter untersucht worden sind. Zusätzlich wurden noch weitere bakterielle Gattungen wie *Propionibacterium*, *Pseudomonas* oder *Bacillus* in geringen Anteilen ( $\leq 0,1$  %) nachgewiesen. *Portiera* hatte bei dieser

Untersuchung den höchsten Anteil an counts für die OTUs (66 %), gefolgt von *Wolbachia* (28 %) und *Arsenophonus* (6 %) (Abbildung 45).



**Abbildung 45:** Prozentualer Anteil von Endosymbionten (*Wolbachia*, *Portiera*, *Arsenophonus*) und anderer Bakterien (other) in einer gepoolten *A. proletella*-Probe (adulte Weibchen) aus deutschlandweiten Sammlungen, 2014. Die Anteile stellen durch NGS (PacBio RS II) erzeugte counts dar.

#### 4.6.2 NGS-2

Bei der zweiten NGS-Untersuchung wurden Tiere der gleichen Standorte (siehe Tabelle 4) wie bei der ersten Untersuchung verwendet, wobei die Standorte jeweils einzeln untersucht wurden. Dazu wurden jeweils 50 weibliche *A. proletella* gepoolt und mit einem universellen Primerpaar eine hypervariable Region der bakteriellen 16S rDNA amplifiziert.

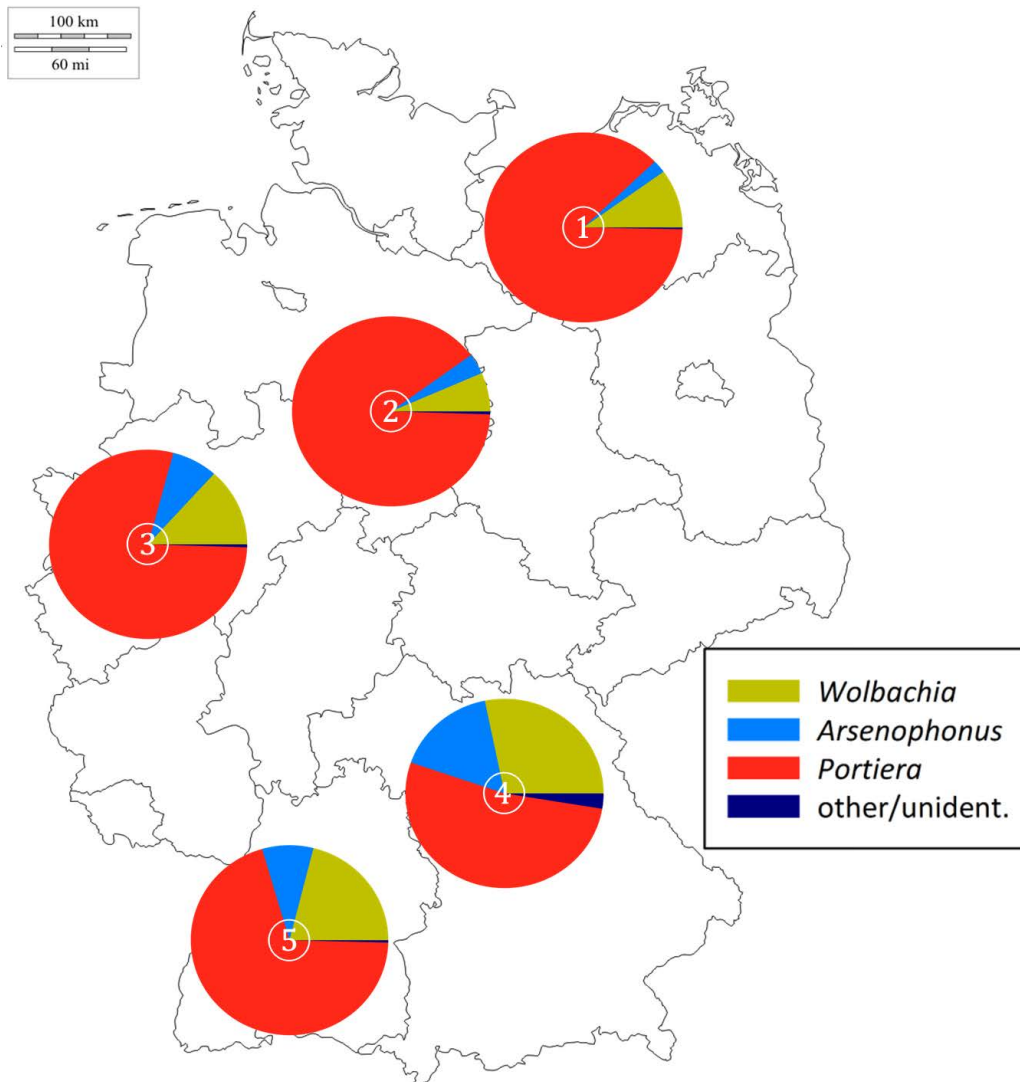
Dadurch wurden insgesamt 750 OTUs ermittelt und die Proben enthielten im Mittel 209000 counts. Die Gesamtanzahl der pro Probe mit dem Primerpaar für die bakterielle 16S rDNA erzeugten Sequenzen, beziehungsweise der nach der Auswertung zugeordneten counts (normalisierte reads, d. h. kurze DNA-Sequenzen die bioinformatisch aufbereitet wurden) variierten stark zwischen den einzelnen Proben. "Filderstadt 08.2014" hatte mit 78000 counts die wenigsten und "Gülzow 08.2014" mit 275000 counts die meisten. Im Mittel enthielten die Proben 175000 counts. Dabei wurden neben dem primären Endosymbionten *Portiera* wieder nur zwei sekundäre Endosymbionten, nämlich *Wolbachia* und *Arsenophonus*, nachgewiesen und sowohl für *Wolbachia* als auch für *Arsenophonus* wurden jeweils mehrere unterschiedliche OTUs identifiziert, die bislang noch nicht weiter untersucht worden sind. *Portiera* hatte den jeweils höchsten Anteil an counts mit 53 % bis 96 %. *Wolbachia* war in allen sechs Sammlungen vorhanden und hatte den jeweils zweitgrößten Anteil an den counts je Sammlung mit 3,6 % bis 28,2 %. Mit jeweils geringeren Anteilen wurde *Arsenophonus* (0,0 % bis 16,5 %) amplifiziert (Abbildung 46). In den Zuchttieren des IPP war keine 16S rDNA dieses Endosymbionten nachweisbar.

Die Anteile an den counts für *Arsenophonus* in den Proben nehmen mit einem Nord-Süd-Gefälle zu. Die geringsten Anteile mit 2,2 % für "Gülzow 08.2014" und 3,5 % für



"Herrenhausen 11.2014" wurden im Norden ermittelt und die höchsten mit 16,5 % für "Preith 08.2014" im Süden (Bayern). Dieselbe Tendenz ist bei *Wolbachia* zu beobachten, wobei aber die Probe "Herrenhausen 11.2014" mit 6,6 % weniger Anteile aufweist als "Gülzow 08.2014" mit 10,0 %. Die Anteile der Zucht des IPP waren im Vergleich mit den Sammlungen im Freiland für beide sekundären Endosymbionten immer am niedrigsten. Die Anteile an den counts pro Sammlungsort sind in Abbildung 46 dargestellt und betragen im Gesamtmittel für Portiera 83,4 %, für Wolbachia 11,2 %, für Arsenophonus 4,8 % und für die sonstigen Bakterien zusammen 0,6 %.

In allen Proben waren noch weitere nicht klassifizierte bakterielle Sequenzen und Sequenzen der Enterobacteriaceae mit einem Gesamtanteil von jeweils unter 0,5 % an den counts vorhanden. In "Preith 08.2014" wurden zudem noch unspezifische (bzw. nicht zuordenbare) Genregionen der Proteobacteria mit einem Anteil von 0,3 % und von *Pseudomonas* mit einem Anteil von 2,2 % amplifiziert. In "Gülzow 08.2014" wurde zudem mit einem Anteil von 0,1 % *Buchnera aphidicola*, einem Aphiden-spezifischen Endosymbionten, gefunden.



**Abbildung 46:** Prozentualer Anteil von Endosymbionten-counts (korrigiert in Bezug auf Kopienzahl) in verschiedenen Populationen der Kohlmottenschildlaus in Deutschland 2014, die in gepoolten Proben (50 Weibchen/Probe) mit NGS (Miseq mit 2 x 300 bp paired-end reads) nachgewiesen wurden. 1: Gültow-Prüzen, Mecklenburg-Vorpommern; 2: Hannover, Niedersachsen; 3: Bornheim, Nordrhein-Westfalen; 4: Preith, Bayern; 5: Filderstadt, Baden-Württemberg.

#### 4.6.3 Diagnostische PCRs

Die Zusammensetzung der sekundären Endosymbionten von *A. proletella* wurde mit spezifischen Primern durch diagnostische „Endpoint-PCRs“ von Einzeltieren ermittelt. In den Vorversuchen konnten *Cardinium*, *Fritschea*, *Hemipteriphilus* und *Rickettsia* in KMSL mit den spezifischen Primern nicht nachgewiesen werden (bzw. nur falsch positive Nachweise, was durch direkte Sanger-Sequenzierung der PCR-Amplicons festgestellt wurde) und es waren für diese Endosymbionten, bis auf *Cardinium*, auch keine Positiv-Kontrollen vorhanden. Für *Cardinium*, *Hamiltonella* und *Wolbachia* wurden aus den vorhandenen Positiv-Kontrollen (von *B. tabaci* Individuen) und für *Arsenophonus* aus *A. proletella* Individuen die durch die

Gattungsspezifischen Primer erzeugten PCR-Amplicons ebenfalls durch direkte Sanger-Sequenzierung überprüft und damit in ihrer Korrektheit bestätigt. Mit den verwendeten *Cardinium*-spezifischen Primern gab bei allen KMSL-Proben keine positiven Bakteriennachweise. Da auch mit NGS-Analysen keine Nachweise der mit diagn. PCRs nicht nachgewiesenen Endosymbionten erfolgte, wurden bei weiteren Analysen alle Individuen der durchgeführten Sammlungen mit Endpoint-PCRs nur auf die fakultativen Endosymbionten *Arsenophonus*, *Wolbachia* und *Hamiltonella* überprüft.

Bei der Entnahme der adulten Tiere aus den Sammelgefäßen fiel auf, dass die Proben einen höheren Anteil an Weibchen enthielten. Dieser wurde nicht näher charakterisiert. Um die Qualität und den Erfolg der DNA-Aufarbeitung zu überprüfen und so PCR-Probleme zu vermeiden, wurden nach der Extraktion die DNA-Konzentrationen und die Reinheit der Proben über das Wellenlängenverhältnis 260nm/280nm bestimmt. Die spektrometrisch ermittelten DNA-Konzentrationen der Proben variierten dabei zwischen den untersuchten Populationen zwischen den Extremen  $161 \pm 57$  ng/ $\mu$ L für "Hille I 08.2013" und  $23 \pm 18$  ng/ $\mu$ L für "Preith 11.2014". Tendenziell waren die mittleren DNA-Konzentrationen nach der Extraktion bei den im November 2014 im Vergleich zu den im August 2014 gesammelten Tieren geringer. Besonders bei der Sammlung aus Preith vom November 2014 war dies zu beobachten.

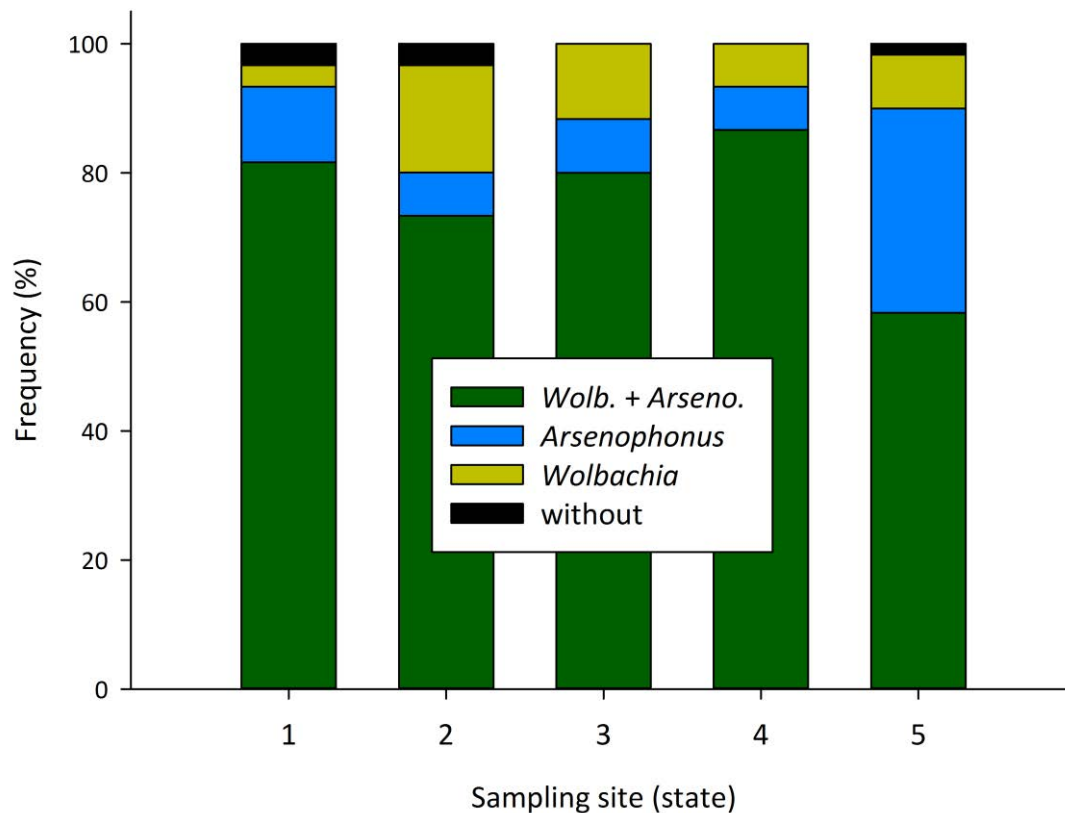
Die untersuchten *A. prolella*, die in den Jahren 2013 bis 2015 an mehreren Orten in Deutschland gesammelt worden waren, zeigten eine einheitliche Zusammensetzung an sekundären Endosymbionten (Abbildung 47). Dabei wurden 2013 drei Populationen zu 1-2 Terminen (n= je 10 Tiere, 50 Tiere insgesamt), 2014 fünf Populationen (1-2 Termine, n= je 34-40 Tiere/Population, 354 Tiere gesamt) und 2015 fünf Populationen mit je 25-30 Tieren (140 Tiere gesamt) untersucht. Der Endosymbiont *Hamiltonella* konnte in den untersuchten Individuen nicht nachgewiesen werden.

In den untersuchten Populationen an Rosenkohl waren jeweils immer *Arsenophonus* und *Wolbachia* mit unterschiedlichen Infektionsraten nachweisbar (Tabelle 13). In den Proben von 2013 waren an Rosenkohl und auch an Kohlrabi und Grünkohl jeweils 100 % der untersuchten KMSL mit beiden sekundären Endosymbionten infiziert, während in 2014 (nur Rosenkohl) eine größere Variation festgestellt wurde (Abbildung 46). Die geringste Infektionsrate für *Wolbachia* wurde für "Filderstadt 08.2014" mit 60 % gefunden. Bei den übrigen Sammlungen lag sie zwischen 74 % und 98 % mit *Wolbachia* infizierten Tieren in der Population. Auch *Arsenophonus* liegt bei den untersuchten Populationen aus 2014 mit Infektionsraten von 80 % bis 95 % in einer ähnlichen Größenordnung. In der Mehrzahl der Populationen nahm 2014 die Infektionsrate von August zu November hin ab (Tabelle 14). Die häufigste Zusammensetzung an sekundären Endosymbionten in den untersuchten Populationen war die Doppelinfektion mit *Wolbachia* und *Arsenophonus* (Tabelle 13). Diese

hatte außer für "Filderstadt 08.2014" mit 55 % und "Preith 11.2014" mit 65 % einen Anteil von 73 % bis 93 % und ist damit häufiger als die Infektion mit nur einem Endosymbionten. In 2015 (nur Rosenkohl) war ebenfalls die Doppelinfektion mit *Wolbachia* und *Arsenophonus* mit 97 % bis 100 % am häufigsten. Die untersuchten Individuen von "Preith 08.2015" und "Schwerin 08.2015" wiesen jeweils bei nur einem Tier eine Einfachinfektion mit *Wolbachia* auf.

**Tabelle 13:** Vergleich der prozentualen Häufigkeit von Endosymbionten-Kombinationen in den Jahren 2013 bis 2015 über alle Sammlungen von Kohlmottenschildläusen (diagn. PCR, spezifische Primer) (n= 10-40/Population).

Kombination	2013	2014	2015
Nur <i>Wolbachia</i>	0,0	7,9	1,4
Nur <i>Arsenophonus</i>	0,0	11,9	0,0
<i>Wolbachia</i> + <i>Arsenophonus</i>	100	77,4	98,6
ohne Endosymbiont	0,0	2,8	0,0



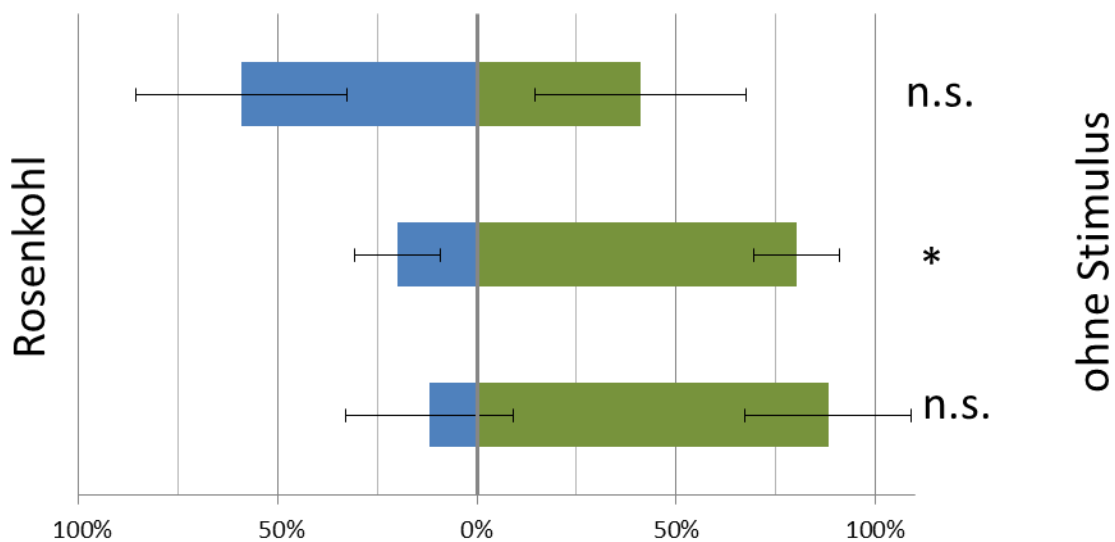
**Abbildung 47:** Prozentuale Häufigkeit von Nachweisen (diagn. PCR) von sekundären Endosymbionten in Kohlmottenschildlaus-Individuen verschiedener Standorte in Deutschland an Rosenkohl (2014). 1: Gülzow-Prüzen, Mecklenburg-Vorpommern; 2: Hannover, Niedersachsen; 3: Bornheim, Nordrhein-Westfalen; 4: Preith, Bayern; 5: Filderstadt, Baden-Württemberg.

**Tabelle 14:** Veränderungen der Infektionsraten für *Wolbachia* und *Arsenophonus* in Kohlmottenschildläusen von August 2014 zu November 2014 für die jeweiligen Orte der Sammlungen (diagn. PCR, spezifische Primer).

Symbiont	Preith	Filderstadt	Bornheim	Gülzow
<i>Wolbachia</i>	-21 %	25 %	-3 %	18 %
<i>Arsenophonus</i>	-10 %	-9 %	-3 %	8 %

#### 4.7 Orientierung der Kohlmottenschildlaus

Erste Versuche mit 4-Arm-Olfaktometern (siehe Material und Methoden) und auch die Experimente mit statischen Olfaktometern nach Butler (1938) und Fatouros et al. (2005) (Abbildung 48) zeigten nur sehr geringe Wiederfangraten bzw. auch keine Wirkung von olfaktorischen Reizen von Rosenkohlblättern und anderem Kohlpflanzenmaterial (Daten nicht gezeigt). Problem war bei dem Olfaktometer nach Butler (1938) offensichtlich eine zu geringe Lichtstärke innerhalb des Olfaktometers. Das größere Olfaktometer Fatouros et al. (2005) führte zu ausreichender Aktivität, aber durch die starke Phototaxis der Tiere konnten keine Effekte nachgewiesen werden sondern sogar eine negative Wirkung von Kohl (Abbildung 48).

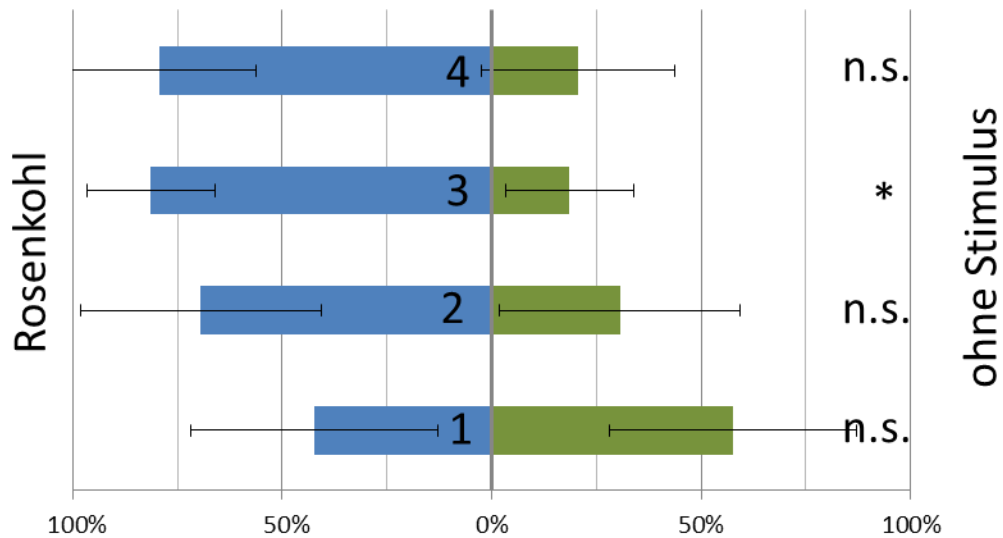


**Abbildung 48:** Mittlerer prozentualer Anteil von adulten Kohlmottenschildläusen im Olfaktometer nach Butler (1938) (oberster Balken) und nach Fatouros et al. (2005) (untere Balken), die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) entschieden hatten.

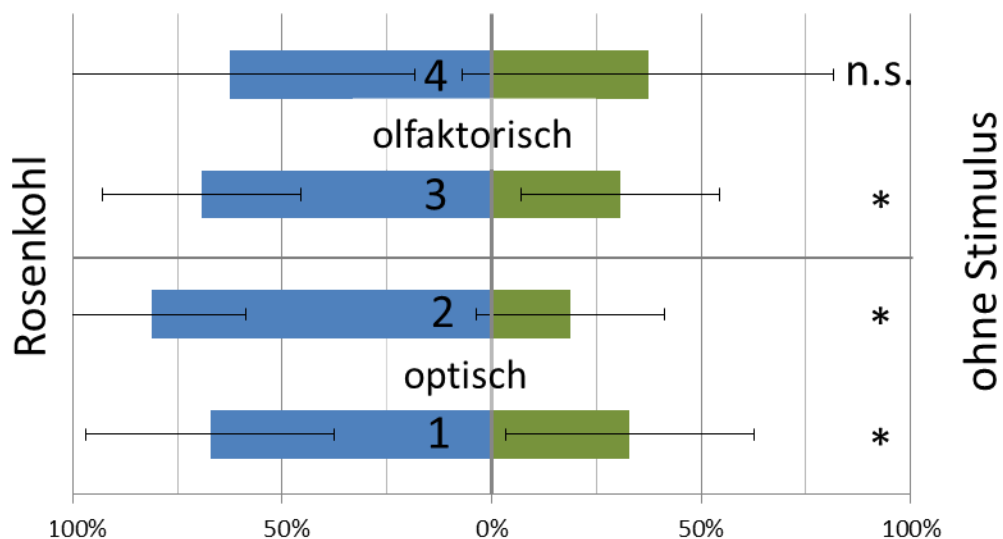
Im Olfaktometer nach Fatouros et al. wurde eine ganze Rosenkohlpflanze, im Olfaktometer nach Butler Blattmaterial (Sorte jeweils 'Content') verwendet. Der unterste Balken sind frei gefangene KSML, im mittleren Balken sind auf Leimtafeln gefangene KSML im Olfaktometer nach Fatouros et al. dargestellt (N = 7, 7, 6; \* = GLM, P < 0,05).

Durch die Verwendung von Glasarenen und weitere Optimierungen (Kontrasterhöhung, synchronisierte Weibchen, Hungerphase) konnten dann positive Reaktionen der Tiere sowohl auf optische als auch auf olfaktorische Stimuli (Rosenkohlblätter) nachgewiesen werden (Abbildung 49, 50). Bei den abschließenden Sortentests wurden Rosenkohlsorten verwendet die vorher als „attraktiv“ ('Content', 'Genius') oder „nicht attraktiv“ ('Esperal', 'Octia') für KMSL bewertet wurden (siehe Kapitel Sortenscreening Anfälligkeit). Es wurden jeweils nur optische oder nur olfaktorische Stimuli getestet. Hierbei konnten allerdings bis auf

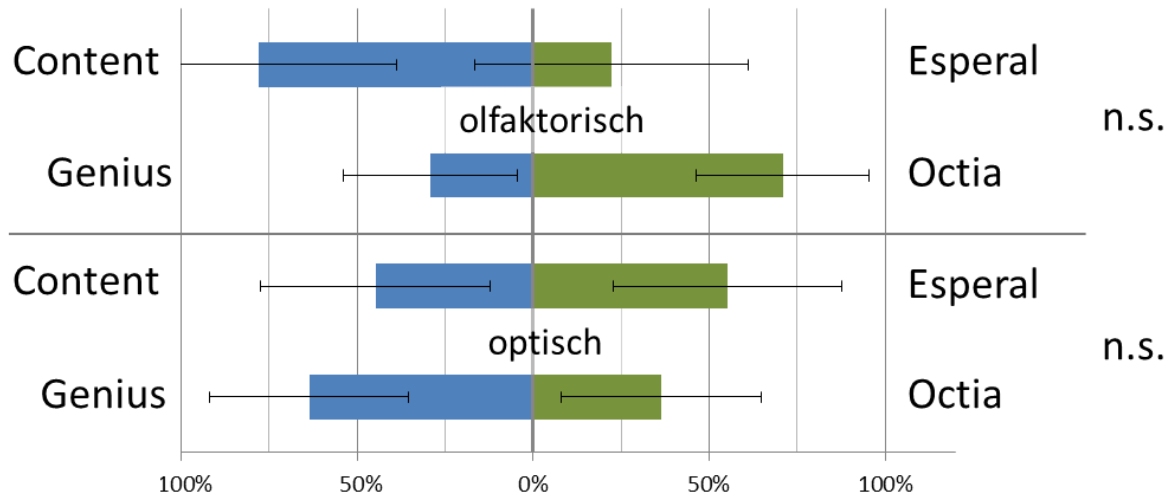
einen signifikanten Unterschied zwischen 'Octia' und 'Genius' bei optischen Reizen, keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden (Abbildung 51, 52).



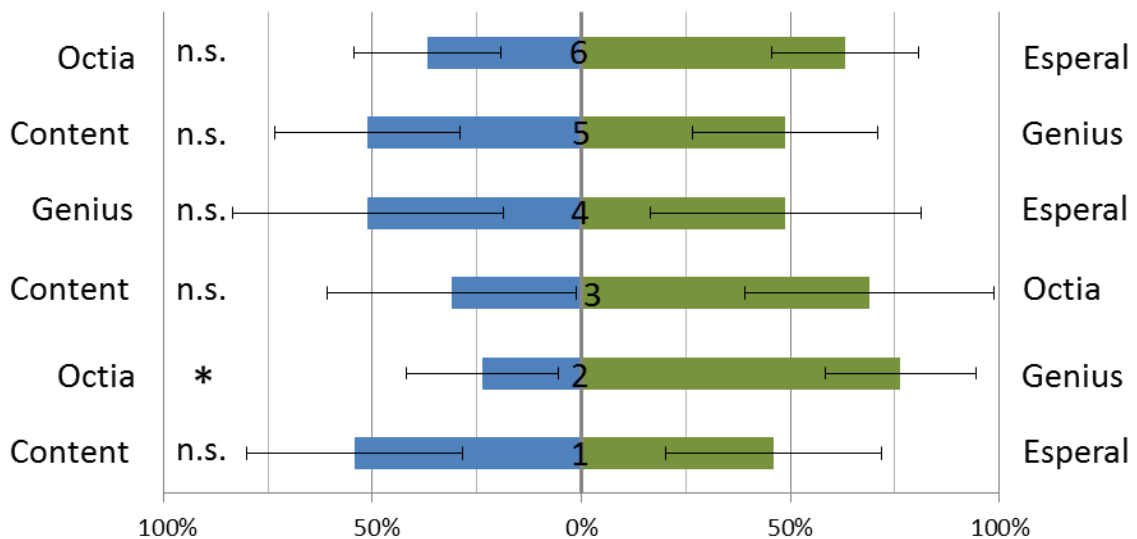
**Abbildung 49:** Mittlerer prozentualer Anteil der Kohlmottenschildläuse ( $\pm$  SD) die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) in der Glasarena entschieden haben. Getestet hier wurden KMSL mit verschiedenen physiologischen Stadien sowie eine Änderung im Versuchsdesign: 1: für 24 h hungernde Tiere; 2: synchronisierte, junge Tiere; 3: ausschließlich Weibchen; 4: schwarze Pappe in den leeren Petrischalen (Kontrasterhöhung) (N = je 6, \* = GLM, P < 0,05).



**Abbildung 50:** Mittlerer prozentualer Anteil der Tiere ( $\pm$  Standardabweichung), die sich für Rosenkohl ('Content') oder die leere Seite (ohne Stimulus) in der Glasarena entschieden haben. Dabei wurden nur olfaktorische (oben) bzw. nur optisch Stimuli getestet. Versuchsaufbau war die Glasarena mit 1: Blatt in Petrischale; 2: mit eingeschweißtem Blatt; 3: mit Sichtschutz; 4: mit Blatt in schwarz gefärbter Petrischale (N = je 6, \* = GLM, P < 0,05).



**Abbildung 51:** Sortenpräferenzen der Kohlmottenschildlaus in der Glasarena aufgrund rein olfaktorischer (oben) und optischer (unten) Signale. Gezeigt ist der mittlere prozentuale Anteil der Tiere ( $\pm$  Standardabweichung), die sich im veränderten Versuchsaufbau (synchronisierte Weibchen, Sichtschutzwand bzw. eingeschweißte Blattausschnitte) für eine der beiden Rosenkohlsorten entschieden haben (N = 6, n.s. = GLM, P > 0,05).



**Abbildung 52:** Sortenpräferenz der Kohlmottenschildlaus aufgrund der Blattfarbe als mittlerer prozentualer Anteil der Tiere ( $\pm$  SD), die sich in Glasarenen mit Blattstücken in Petrischalen für eine der beiden Sorten entschieden haben (N = 6, \* = GLM, P < 0,05).

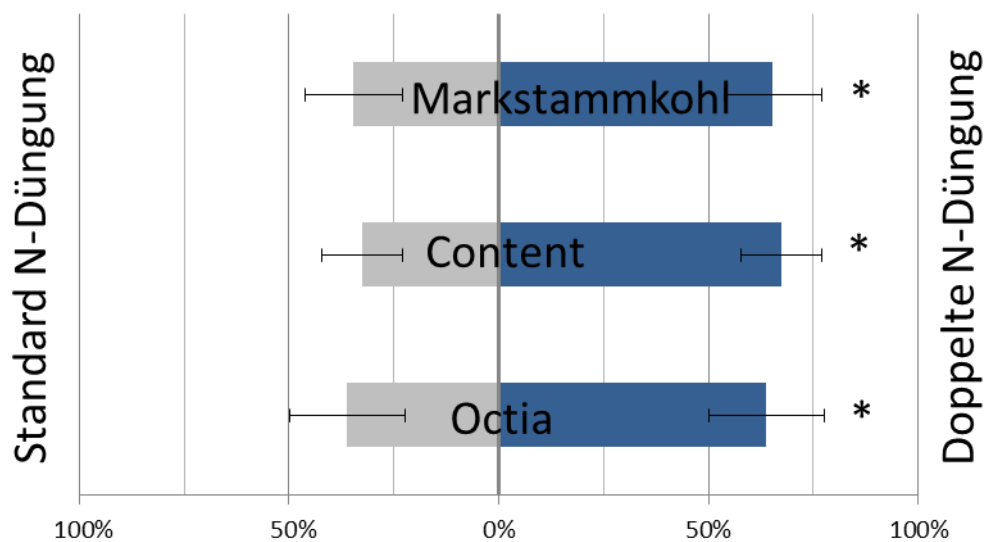
#### 4.8 Düngungsversuche

Die erhöhte Stickstoffdüngung führte zu einer höheren Stickstoffkonzentration im Blatt im Vergleich zur Kontrollvariante (normale Düngung nach  $N_{\text{Min}}$ ). Der Schwefelgehalt blieb unverändert. Die Erhöhung der Schwefeldüngung führte zu einer Erhöhung der



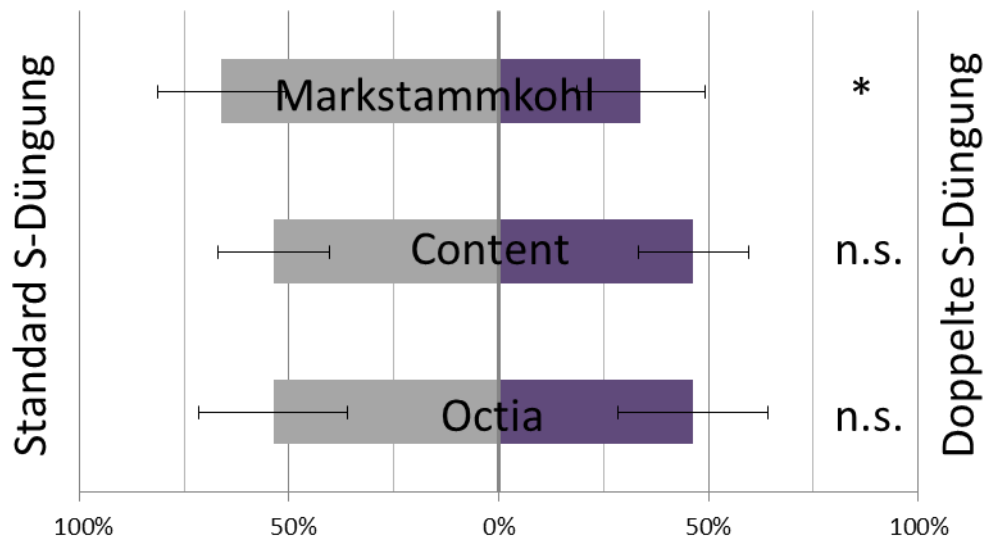
Konzentration von sowohl Stickstoff als auch Schwefel im Blatt im Vergleich zur Kontrollvariante (normale Düngung nach  $S_{Min}$ ).

Bei doppelter Stickstoffdüngung traten in den Wahlversuchen bei allen Kohlsorten signifikante Effekte in der Wirtswahl auf (Abbildung 53). Es wurden in allen Wiederholungen unabhängig von Jahreszeit, Temperatur und Kohlsorte signifikant mehr Adulte auf den doppelt mit Stickstoff gedüngten Pflanzen gefunden, als auf den nach dem  $N_{Min}$  Verfahren gedüngten Kontrollpflanzen. Das gleiche Ergebnis war bei der Oviposition zu beobachten.



**Abbildung 53:** Prozentuale Verteilung der wiedergefangenen adulten KMSL ( $\pm$  SD) auf die Versuchspflanzen der Stickstoffdüngungsversuche (Wiederfangrate=85%) ('Octia'  $P = 0,0004189$ ; 'Content'  $P = 0,00000118$ ; Markstammkohl  $P = 0,0071$ ). Es wurde jeweils nur der Effekt der Düngung innerhalb einer Sorte bzw. Art getestet, nicht die Sorten gegeneinander.

Die mit doppelter Schwefelmenge gedüngten Markstammkohlpflanzen wiesen einen signifikant geringeren Befall mit adulten Kohlmottenschildläusen auf als die normal gedüngte Variante (Abbildung 54). Zwischen den verschiedenen Düngungen der Rosenkohlpflanzen konnte kein signifikanter Unterschied in der Stärke des Befalls festgestellt werden. Es gibt jedoch eine Tendenz zu einer Attraktivitätsminderung durch gesteigerte Schwefeldüngung.



**Abbildung 54:** Prozentuale Verteilung der wiedergefangenen adulten KMSL ( $\pm$  SD) auf die Versuchspflanzen der Schwefeldüngungsversuche (Wiederfangrate=75%) (Markstammkohl  $P = 0,029$ ). Es wurde jeweils nur der Effekt der Düngung innerhalb einer Sorte bzw. Art getestet, nicht die Sorten gegeneinander.

Bei den no-choice-Versuchen hingegen konnten keine signifikanten Antibiosis-Effekte (Mortalität, Gewicht, Entwicklung) bei erhöhter Schwefeldüngung nachgewiesen werden. Bei erhöhter Stickstoffdüngung gab es nur an der Sorte 'Octia' bei den KMSL signifikant geringere Mortalität (GLM, Tukey-Test,  $P = 0,0284$ ) und tendenziell höhere Adultgewichte (bei Markstammkohl signifikant; GLM, Tukey-Test;  $P = 0,0198$ ).

## 5 Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass es kommerziell erhältliche Rosenkohlsorten gibt, die eine Resistenz bzw. eine geringere Anfälligkeit gegenüber der Kohlmottenschildlaus im Sinne von Antixenosis bzw. Antibiosis aufweisen. Kohlmottenschildläuse nehmen diese Sorten also als weniger attraktiv wahr, oder sie entwickeln sich schlechter (z. B. geringere Fitness, längere Entwicklungszeit, oder erhöhte Larvalmortalität). Dies konnte sowohl in Gewächshaus bzw. Klimakammer als auch im Freiland experimentell belegt werden und es wurden dabei auch annähernd die gleichen Sorten als anfällig bzw. nicht anfällig eingestuft. Auch gab es hier - soweit die gleichen Sorten untersucht wurden - Übereinstimmungen mit Hirthe & Jakobs (2013). Deutliche Unterschiede gab es hingegen bei der Antibiosis und Antixenosis (s. u.). Kritisch zu sehen ist bei den Versuchen das Alter der Versuchspflanzen (außer Freiland), da zumindest bei Weißkohl erst ältere Pflanzen Resistenzen aufweisen (Broekgaarden et al., 2012). Hier wurden aus Versuchsgründen (Anzuchtdauer, zunehmender Mehltaubefall älterer Pflanzen) sechs Wochen alte Pflanzen verwendet. Zum anderen wurden bei Klimakammerversuchen die Pflanzen ohne UV-Licht angezogen und gebraucht. Dies hat auch Effekte auf den Metabolismus von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen (insb. Glucosinolate), da die vermehrte Synthese solcher Substanzen durch abiotischen Stress induziert werden kann (z. B. Kuhlmann & Müller, 2010). Hier wurde allerdings bei diesem Versuchsteil ein Schwerpunkt auf kontrollierte Bedingungen in der Klimakammer gelegt, um die Entwicklungsparameter der Kohlmottenschildlaus auf unterschiedlichen Sorten ohne andere Störfaktoren erfassen zu können. Es ist zu erwarten, dass unter Berücksichtigung dieser Faktoren stärkere Effekte und damit stärkere Resistenzen nachzuweisen sind. Zum Teil können durch die unterschiedlichen Versuchsbedingungen die unterschiedlichen Ergebnisse von Freiland- und Klimakammerversuchen erklärt werden.

Die beiden Resistenztypen (Antixenosis und Antibiosis) waren selten zusammen in Sorten zu finden, d. h. wenig attraktive Sorten sind nicht unbedingt auch weniger geeignet und umgekehrt. Dies ist ein bekanntes Phänomen (z. B. Smith, 2005) und kann u. a. auch an der wenig stringenten Definition von Antixenosis bzw. Antibiosis liegen. Das heißt diese beiden Resistenztypen sind eigentlich Konstrukte, die in der Praxis schwer zu trennen sind (siehe Stout, 2012). Dies ist wahrscheinlich auch bedingt durch die Vielfalt an Eigenschaften, die dabei eine Rolle spielen können (u. a. Wachsschicht, Farbe, Wuchsform, Stickstoff-Gehalt, Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, Duftstoffe (VOCs), usw.), was bedeutet, dass sie von diversen Genen kontrolliert werden, die nicht in die gleiche Richtung wirken müssen bzw. unterschiedlich aktiv sein können. Auch ist die Wirksamkeit von Resistenzmechanismen gegenüber der Kohlmottenschildlaus fraglich, da diese Art zwar als Spezialist eingeschätzt wird (Newton et al., 2009; Broekgaarden et al., 2012), es aber durch

die Polyphagie (Ramsey & Ellis, 1996; NPAG, 2001) fraglich erscheint, ob es wirklich ein Spezialist ist.

Zu den Resistenzmechanismen von Kohl ist bislang nur wenig geforscht worden (Pelgrom et al., 2014), wobei hier der Schwerpunkt auf Weißkohl (*B. oleracea* var. *capitata*) und verschiedenen Kohl-Wildformen lag (Broekgaarden et al., 2012; Pelgrom et al., 2014) und für Rosenkohl ist außer Studien zur Wirtseignung bzw. Attraktivität verschiedener Sorten und Formen (z. B. Iheagwam, 1981; Trdan & Papler, 2002; Hirthe & Jakobs, 2013) noch weniger bekannt. Sowohl bei Wildformen von Kohl als auch bei einer Weißkohlsorte konnte eine deutliche Resistenz gegen die KMSL nachgewiesen werden. Diese wurde als Phloem-basierte Antibiosis interpretiert und trat erst ab einem bestimmten Pflanzenalter auf (Broekgaarden et al., 2012). Weitere Mechanismen oder Resistenzgene sind noch unbekannt, obwohl vermutet wird, dass sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe hier eine Rolle spielen (Broekgaarden et al., 2012) was aber für einen phloemsaugenden Spezialisten eher ungewöhnlich wäre. Zusammenfassend lassen diese Studien, wie auch die vorliegenden Ergebnisse, zumindest vermuten, dass auch in Rosenkohl Potenzial für Resistenzzüchtungen vorhanden ist, welches die Grundlage für eine weitere züchterische Bearbeitung darstellen kann (Pelgrom et al., 2014), auch wenn dies bei Rosenkohl wegen der relativen ökonomischen Unbedeutendheit fraglich erscheint.

Bei den untersuchten Sorten scheint es keine hoch resistenten Sorten zu geben, die sowohl unattraktiv als auch ungeeignet für Kohlmottenschildläuse sind, was u. a. darauf hinausläuft, dass Resistenz allein als Bekämpfungsstrategie nicht ausreicht, sondern nur als Teil einer kombinierten Strategie sein kann. Auch kann auch die Verwendung von Sorten mit mäßigen Resistenzen zusammen mit anderen Bekämpfungsmaßnahmen sinnvoll und ökonomisch vorteilhaft sein (Smith 2005). Insbesondere im Freiland muss der Effekt solcher Resistenzen anders erfasst werden, da für den Anwender am Ende die Verschmutzung des Ernteguts der wichtigste Parameter ist. Dieser scheint aber wenig und nicht signifikant mit dem Befall korreliert zu sein. Hier sollten die Sorten in Zukunft auch von ihrer Morphologie untersucht werden, da es Hinweise gibt, dass die Blattstellung eine Rolle spielt (Hirthe & Jakobs, 2013). Allerdings können auch weitere nicht bekannte Faktoren eine Rolle spielen (z. B. Mikroklima das das Rußtaupilzwachstum beeinflusst). Außerdem sollte die subjektive Beurteilung der Verschmutzung, die auch von den jeweils beteiligten Personen und deren Erfahrung abhängt, durch eine objektivierte und besser vergleichbare Methode ersetzt oder ergänzt werden. Um die Resistenzeigenschaften der untersuchten Rosenkohlsorten besser zusammenfassend charakterisieren zu können, wird zurzeit an einer Benotungsskala der Sorten gearbeitet, in der alle Parameter zusammenfasst und ggf. gewichtet werden können. Diese soll später veröffentlicht werden. Bei Rosenkohl gibt es zudem eine sehr hohe Sortenanzahl, und das angebotene Sortiment wird fortlaufend verändert. Es können also

durchaus noch Sorten vorhanden sein oder zukünftig auf den Markt kommen, die eine höhere Resistenz aufweisen, aber im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht wurden.

Um sekundäre Inhaltsstoffe näher zu charakterisieren wurden von einigen der untersuchten Rosenkohlsorten die Glucosinolatgehalte und -spektren untersucht. Dabei waren die Pflanzen unbefallen; es können hier also nur Rückschlüsse auf die Präferenzen bei Erstbesiedelung durch die Kohlmottenschildlaus gezogen werden, da ein Befall die Gehalte und Zusammensetzung von sekundären Inhaltsstoffen verändert (Winde & Wittstock, 2011). Bei den Ergebnissen ließen sich aber keine sortenspezifischen Zusammenhänge (Korrelationen) oder Muster zwischen den anderen untersuchten Resistenzeigenschaften, Befall und Glucosinolaten erkennen. Dies kann an mehreren Gründen liegen: Zum einen wurden ganze Blätter untersucht, was den GLS-Gehalt und Zusammensetzung des Phloems nicht wiedergibt, der aber in erster Linie Auswirkungen auf den Phloemsauger Kohlmottenschildlaus hat. Zum anderen können Glucosinolate bzw. deren Abbauprodukte als induzierte Resistenz wirken, also erst nach Befall hochreguliert werden und dann bei höheren Konzentrationen oder veränderter Zusammensetzung eine Wirkung (dann Antibiosis) entfalten. Dieses würde zu den Ergebnissen von Broekgaard et al. (2012) passen. Außerdem können natürlich auch noch andere nicht untersuchte Substanzen des pflanzlichen Sekundärstoffwechsels wie z. B. Flavonole oder Phenylpropanoide einen Effekt haben (Hahlbrock & Scheel, 1989; Kuhlmann & Müller, 2010), die aber nicht im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden konnten.

Das System Glucosinolate–Kohlmottenschildlaus–Gegenspieler (z. B. Wirkung auf das Tier und Detoxifizierung, Attraktivität oder repellente Effekte, Effekte durch Saugen auf die GLS-Synthese der Pflanze; indirekte Effekte auf Gegenspieler) ist in der Forschung bislang noch vernachlässigt worden. Ein Ausnahme ist Newton et al. (2010), die eine negative Korrelation zwischen Befall und Anteil Sinigrin-produzierender Pflanzen (auf Populationslevel) nachweisen konnten, was wiederum für einen Spezialisten ungewöhnlich wäre. Es ist also weiterhin fraglich welche Mechanismen hinter den vorhandenen Eigenschaften der Sorten stehen, die zu einer erhöhten Resistenz beitragen und wie sie auf die Kohlmottenschildlaus wirken. Insbesondere ob Glucosinolate hierbei eine Rolle spielen ist wegen der oben genannten Zusammenhänge ebenfalls fraglich. Bei Rosenkohl ist darauf zu achten, dass der Geschmack (insb. Bitterkeit) durch die Glucosinolatgehalte beeinflusst wird und neuere Züchtungen oft milder (weniger bitter, süßer) schmecken. Obwohl dies gewollt ist, kann es wiederum Einfluss auf die Anfälligkeit haben, was zu einem Zielkonflikt bei Züchtungen führen könnte.

Ein weiterer Faktor, der die Einsetzbarkeit von Sorten im Freiland mit beeinflussen kann, ist die Oberfläche der Pflanze. Es gibt Wirkungen auf den Schädling direkt (dicke Wachsschicht bzw. Kutikula kann dazu führen, dass saugende Insekten, diese nicht mehr durchdringen

können und die Pflanze so über eine mechanische Barriere verfügt (Eigenbrode & Espelie, 1995) und indirekt über die Farbe der Pflanze (Wachsschichten führen zu Reflexionen und Streuung des Lichts), so dass deren Attraktivität verändert werden kann (Müller & Riederer, 2005). Es gibt aber auch Wirkungen auf Gegenspieler, die auf wachsigen bzw. glatten Oberflächen Beute suchen und finden müssen. Dies kann bei entsprechenden Pflanzencharakteristika zu Problemen führen (Eigenbrode, 2004). Hierbei fallen die Prädatoren entweder häufiger von der Pflanze oder sind häufiger am Putzen, um Wachsverunreinigungen der Tarsen oder Mundwerkzeuge zu entfernen. Beides reduziert die Prädationseffizienz. Dies kann bei entsprechenden Sorten zu einer schlechteren Eignung solcher Sorten für Strategien führen, die Nützlinge einsetzen oder fördern, was auch in diesem Projekt implementiert war. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass viele Rosenkohlsorten zwar ähnliche Wachsgehalte haben, es aber einige Rosenkohlsorten mit signifikanten Unterschieden gibt, und auch die Effizienz einiger ausgewählter Nützlinge auf solchen Sorten signifikant anders ist. Es ist allerdings fraglich, inwieweit solche Effekte im Freiland nachweisbar bzw. von Bedeutung sind, da hier Pflanzen andere Oberflächencharakteristika aufweisen können, die sich mit dem Alter auch ändern können. Zudem sind zwei wichtige Antagonistengruppen, Schwebfliegenlarven (die sich auf einem Schleimfilm problemlos auf glatten Oberflächen bewegen können) und Parasitoide (flugfähig) von solchen Einschränkungen vermutlich nicht betroffen.

Der Einsatz von Fangpflanzen als Kontrollstrategie gegen Schädlinge ist ein langbewährtes System (Review in Shelton & Badenes-Perez, 2006), das auch gegen Weiße Fliegen (z. B. Schuster, 2004) eingesetzt wird. Hier wurde versucht, zum einen eine effektive (also attraktive und leicht anbaubare) Fangpflanzenart zu finden und dies in Feldversuchen zusammen mit den in Vorversuchen ermittelten weniger anfälligen Rosenkohlsorten sowie einem Blühstreifen (Erhöhung der Antagonistendichten) zu kombinieren. Dieser Ansatz hatte im ersten Versuchsjahr keinen Effekt. Hier zeigt sich, dass Wahlversuche im Käfig anscheinend ein so artifizielles System sind, dass nur bedingt Aussagen über den Erfolg im Freiland gemacht werden können. Gründe hierfür können neben abiotischen Faktoren (Witterung, Strahlung), die sowohl Tiere (z. B. unterschiedliche physiologische Stadien) als auch Pflanzen (z. B. deren Attraktivität über UV-Strahlung oder Mikroklima) beeinflussen, insbesondere die Größenverhältnisse sein. Eine Aufskalierung von Käfigen zu Parzellen scheint daher schwieriger zu sein und es sollte bei weiteren Versuchen überlegt werden, eine Zwischenstufe (beispielsweise kleinere Wahlversuche im Freiland) zu verwenden, soweit dies zeitlich durchführbar ist.

Im zweiten Jahr mit verändertem Versuchsdesign konnte bei den Freilandversuchen ein negativer Effekt auf den Befall nachgewiesen werden. Es kam in Parzellen mit Markstammkohl-Fangpflanzen zu Befallsreduktionen (Larven und Adulte) von bis zu 60 %,

die im Verlauf des Jahres aber abnahmen. Wirsing hatte deutlich geringere Effekte die auch nicht signifikant waren (max. 40 %). Deutlich wird hier, dass anscheinend das Parzellendesign und Pflanzungstermine (Fangpflanzen früher gepflanzt und größerer Abstand zu Rosenkohl) einen Effekt hatten. Dies kann auch bei der Übertragung in die Praxis problematisch werden, da hier Rosenkohl oft in größeren bzw. längeren Streifen angebaut wird. Dies würde eine weitere Erprobungsphase erfordern, in der getestet werden muss, wo, in welchem Abstand und wie viel Fläche für Fangpflanzen verwendet werden müssen, um eine ausreichende Befallskontrolle zu erreichen. Nachteilig hat sich hier möglicherweise auch die sehr lange Besiedelungsphase durch die KMSL ausgewirkt, was bei der Planung der Versuche nicht bekannt war. Anfangs wurde von einer relativ kurzen, „peakartigen“ Immigrationsphase ausgegangen (z. B. Schuldreich et al., 2016), was durch Fangpflanzen gut begrenzt werden kann. Die permanente Neubesiedelung führte aber zu zusätzlichem Schädlingsdruck und zu der Notwendigkeit die Fangpflanzen bis zur Ernte stehen zu lassen. Solche vergleichsweise alten Pflanzen haben dann eventuell eine deutlich geringere Attraktivität was in Vorversuchen kaum geprüft werden kann. Außerdem ist anzunehmen, dass stark befallene Fangpflanzen auch als Quelle für weiteren Befall im Bestand wirken können, so dass hier zusätzliche Bekämpfungsoptionen erforderlich sein können (s. u.).

Obwohl eine signifikant attraktivere Fangpflanzenart gefunden wurde (Markstammkohl) und die Ergebnisse stark sortenabhängig waren, überrascht es, dass keine Grünkohlart gefunden werden konnte die attraktiver war als Rosenkohl, obwohl hier am meisten Sorten getestet wurden (in der Literatur wurde Grünkohl empfohlen; van Rijn et al. (2008)). Auch sind die verwendeten Fangpflanzen nicht optimal. Wirsing der Sorte 'Barbosa' konnte im Freiland nicht überzeugen, was vermutlich auf Wuchsform (der kompakte, runde Wuchs führt dazu, dass große Teile der Pflanze für den Schädling nicht mehr zu erreichen sind, entsprechend war der Befall nach einer gewissen Zeit fast konstant) und eventuelle altersbedingte physiologische Veränderungen der Pflanze, die die Attraktivität verändert haben könnten. Markstammkohl wird außerdem sehr groß und kann eine sehr große Anzahl von weißen Fliegen aufnehmen (bzw. produzieren) und wirkt auch als optische Barriere. Die Pflanze bleibt bis in den Herbst hoch attraktiv. Allerdings ist diese Pflanze nur mäßig dauerhaft und neigt ab September zu Fäulnis, so dass die gesamte Pflanze die Blätter verliert und abstirbt. Außerdem gibt es vereinzelt Pflanzen die sehr groß werden und insb. solche Pflanzen können bei Sturm umknicken. Beides kann ihre Funktion (Integrierbarkeit, Barrierewirkung) beeinträchtigen. Hier sind also weitere Untersuchungen sinnvoll, um geeignetere Sorten oder Arten zu finden, die sich leichter in ein kommerzielles System integrieren lassen, ausreichend lange im Feld stehen können und auch als ältere Pflanze hoch attraktiv bleiben. Alternativ könnte hier auch mit Sätzen gearbeitet werden, so dass in

der Anbauzeit immer ausreichend viele jüngere Pflanzen vorhanden sind, die attraktiver sind. Außerdem kann anscheinend eine veränderte Düngung, wie die Ergebnisse gezeigt haben, die Attraktivität der Pflanzen verändern, wobei dies noch sehr vorläufige Daten eines artifizialen Systems sind. Erhöhte Stickstoffdüngung scheint Sorten oder Arten attraktiver zu machen, erhöhte Schwefeldüngung bewirkt tendenziell das Gegenteil. Hierbei sind aber noch weitere Daten und eine Übertragung ins Feld notwendig und auch unerwünschte Wirkungen (Stabilität der Pflanzen, Geschmack) und finanzielle Aspekte (Kosten/Nutzen) sind zu beachten. Schlussendlich erscheint für eine denkbare Anwendung von Fangpflanzen auch die Teil-Applikation von Pflanzenschutzmitteln als eine mögliche Option, die noch der Erprobung bedarf. Es gibt für den Bioanbau relativ wirksame Mittel (z. B. Azadirachtin-Präparate) und für den konventionellen Anbau hoch wirksame Mittel (z. B. Spirotetramat) (z. B. Richter & Hirthe, 2014). Bei einer Anwendung die nur auf die Fangpflanzen appliziert wird, kann die Aufwandmenge durch die wesentlich kleinere Fläche deutlich reduziert werden, die eigentliche Feldfrucht wird nicht behandelt und die im Vergleich geringere Aufwandmenge kann möglicherweise auch den Einsatz von vergleichsweise teuren Mitteln ökonomisch sinnvoll werden lassen. Dies würde das insbesondere bei Markstammkohl auftretende Problem, dass die Fangpflanzen ab einem gewissen Befallsgrad selbst als Quelle des Befalls werden kann, lösen. Pflanzenschutzmittel werden auch in anderen Fangpflanzensystemen verwendet (Shelton & Badenes-Perez, 2006).

Die Bedeutung von sekundären (also nicht obligaten) Endosymbionten bei Arthropoden ist ein relativ neues Forschungsgebiet, das insbesondere bei weißen Fliegen für den Pflanzenschutz wertvolle Ergebnisse geliefert hat und in Pflanzenschutzstrategien oft vernachlässigt wird (Zindel et al., 2011). So konnten bei *Bemisia tabaci* insgesamt sieben Endosymbionten nachgewiesen werden, die unter anderem dazu beigetragen haben, dass ein Biotyp dieser Art sich weltweit ausbreiten und zu einem der wichtigsten Pflanzenschädlinge wurde (Himler et al. 2011). Hierbei spielten anscheinend Endosymbionten, die die Fitness stark erhöhten (z. B. geringere Mortalität, größeres Wirtspflanzenspektrum) und zu einer Verschiebung des Geschlechterverhältnisses zugunsten von Weibchen beitrugen, eine entscheidende Rolle. Zudem haben Endosymbionten eine wichtige Bedeutung bei der Abwehr von Parasitoiden (Asplen et al., 2014), schützen vor Hitzestress (z. B. Montllor et al., 2002, Brumin et al., 2011), erweitern das Wirtspflanzenspektrum (Tsuchida et al. 2004), tragen zur Insektizidempfindlichkeit bei (Ghanim & Kontsedalov, 2009; Chu et al., 2011), können aber auch die Wirkung von biologischen Insektiziden (z. B. *B. bassiana*) reduzieren (Panteleev et al., 2007; Jaenike et al., 2010) oder spielen eine Rolle bei der Virustransmission (z. B. Morin et al. 1999) und können Insekten auch vor Virusinfektionen schützen (Zindel et al., 2011).



In dieser Untersuchung wiesen die allermeisten Tiere neben dem obligaten primären Endosymbiont (*Portiera aleyrodidarum*) immer zwei sekundäre Endosymbionten auf, *Wolbachia* und *Arsenophonus*. Die Anzahl ist also deutlich geringer als bei den wichtigen Schädlingen *B. tabaci* und *T. vaporariorum*. Durch die vergleichsweise große Individuenzahl und das bundesweite Sammeln kann man bis zu einem gewissen Grad davon ausgehen, dass mit dem NGS-Sequencing keine Endosymbiontenarten übersehen wurden. Einschränkungen sind hier in Bezug auf das Gebiet zu machen, d. h. insbesondere weiter im Süden (Südeuropa) könnte es weitere Endosymbiontenarten geben, wenn man davon ausgeht, dass die Diversität in wärmeren Regionen zunimmt. Außerdem wurde nur Kulturkohl besammelt, es könnte also auf wilden Brassicaceae (Wildkohl, Wildkräuter) und Wirtspflanzen aus anderen Familien (Asteraceae, Papaveraceae, u.a.) eventuell weitere Endosymbiontenarten vorkommen. Nur bei einigen wenigen Tieren waren keine sekundären oder nur Einzelinfektionen zu finden. Dies kann natürlicherweise so vorkommen (Chiel et al. 2007), aber auch an zu geringen Bakteriendichten liegen, die unter der Nachweisgrenze lagen.

Die Funktionen und Effekte von *Arsenophonus* sind von anderen Hemipteren-Arten teilweise bekannt und umfassen u.a. die Manipulation der Reproduktion des Wirtes (Förderung der Verbreitung des Wirtes und damit der eigenen), Erhöhung der generellen Fitness des Wirtes (höhere Lebensdauer und Reproduktionsrate, Verhaltensänderungen), Manipulation des Wirtspflanzenspektrums (größere Wirtspflanzenzahl) und der Erhöhung der Resistenz bzw. Toleranz gegenüber Pathogenen oder Parasitoiden (Gherna et al., 1991; Hansen et al., 2007; Chiel et al., 2007, Chu et al., 2011). *Wolbachia* ist in erster Linie als reproduktionsmanipulierender Symbiont bekannt, der das Geschlechtsverhältnis des Wirtes zugunsten von Weibchen verschiebt (Bing et al., 2013b). Allerdings gibt es auch eine Reihe weiterer Vorteile die bei *B. tabaci* nachgewiesen werden konnten. Dazu zählen z. B. eine geringere Mortalität, eine bessere Versorgung mit Nährstoffen, eine schnellere Entwicklung oder eine erhöhte Fertilität (Xue et al., 2012).

Für die Kohlmottenschildlaus sind die Auswirkungen bzw. Vorteile durch die Endosymbionten bislang nicht bekannt, es ist aber zu vermuten, dass die nachgewiesenen Endosymbionten zu Fitnessvorteilen führen, da sie sonst nicht so weit verbreitet wären bzw. sich nicht in den Populationen halten könnten, da sie auch metabolische Kosten verursachen (Russell & Moran, 2006). Bekannt und bei unseren Untersuchungen als Nebenresultat bestätigt, sind verschobene Geschlechterverhältnisse zugunsten von Weibchen, obwohl ein Zusammenhang mit Endosymbionten nicht nachgewiesen ist. Untersuchungen hierzu sollen noch erfolgen, indem Fitness-Effekte bei Kohlmottenschildläusen untersucht werden, die durch Antibiotikabehandlung frei von sekundären Endosymbionten sind. Problematisch hierbei ist, dass auch die Menge an Endosymbionten entscheidend sein kann (Ghanim &

Kontsedalov, 2009), so dass auch dieser Parameter manipuliert und gemessen (z. B. durch qPCR) werden müsste. Ebenso könnte eine Veränderung der Endosymbiontenzusammensetzung sowohl auf Arten- als auch auf Stamm-Ebene die Kohlmottenschildlaus möglicherweise erst dazu befähigt haben (vergleichbar mit *B. tabaci*) über die letzten Jahrzehnte ein bedeutender Schädling an Kulturpflanzen zu werden. Da aber nur zwei Endosymbionten nachgewiesen wurden, ist dies zumindest auf Artebene unwahrscheinlich. Für die Diversität auf Bakterienstammebene fehlen noch phylogenetische Analysen und auch Tierproben, die aus der Zeit vor dem Massenaufreten auf Kohl stammen (KMSL-Proben aus dieser Zeit konnten nicht beschafft werden, um diese auf Bakterienzusammensetzung zu untersuchen).

Für den Pflanzenschutz haben die Ergebnisse bislang nur langfristigen und prophylaktischen bzw. empfehlenden Charakter, der zum Teil auf Literaturangaben beruht. So konnte *Hamiltonella* in Kohlmottenschildläusen nicht nachgewiesen werden, was darauf hindeutet, dass die heutigen Populationen keinen zusätzlichen Schutz gegen Parasitoide haben. Wichtig wäre dies beim verstärkten Einsatz von Parasitoiden zu kontrollieren, so dass keine Populationen entstehen, die mit *Hamiltonella* infiziert sind, bzw. später bei reduzierter Wirksamkeit schon entstanden sind. Über die von *Wolbachia* oder *Cardinium* verursachte cytoplasmatische Inkompatibilität (CI) könnte entweder durch massenhafte Freilassung von inkompatiblen Männchen die Anzahl an Nachkommen des Schädlings stark reduziert werden ("incompatible insect technique"; Saridaki & Bourtzis, 2009; Zabalou et al., 2012) oder durch das Einbringen von, mit virulenten Linien von CI infizierten Tieren, die deutliche Fitnessnachteile haben, könnte die Schädlingspopulation beeinträchtigt werden (Harris et al., 2010). Dies erscheint allerdings aufgrund der arrhenotoken Fortpflanzung der Kohlmottenschildlaus als nicht zielführend. Die Endosymbionten *Wolbachia* und *Rickettsia* können die Wirkung von bestimmten Insektiziden auf weiße Fliegen (*B. tabaci*) erhöhen, wodurch möglicherweise Kohlmottenschildläuse effektiver mit Insektiziden kontrolliert werden könnten (Ghanim & Kontsedalov, 2009; Chu et al., 2011). Hier wäre ebenfalls zu testen, ob die weitverbreitete *Wolbachia*-Infektion überhaupt diese Wirkung hat und darauf zu achten, ob bei verstärktem PSM-Einsatz Populationen selektiert werden, die *Wolbachia*-frei sind und dann gegebenenfalls schwerer zu bekämpfen sind.

## 6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind insofern praxisrelevant, als zum einen wenig anfällige Rosenkohlsorten gefunden wurden, die über Resistenzeigenschaften verfügen und die auch im Freiland nachweisbar waren, und zum anderen hat das Fangpflanzenkonzept zumindest im zweiten Freilandversuch zu signifikanten Reduktionen des Kohlmottenschildlausbefalls geführt. Diese Ergebnisse können damit eine Grundlage für weitergehende Untersuchungen sein, aber auch zumindest in kleinem Rahmen in der Praxis angewendet werden. Der Vorteil dieser Verfahren ist, dass sie sich mit anderen Kontrollmaßnahmen sehr leicht (Sortenresistenz) oder relativ leicht (Fangpflanzen) kombinieren lassen (s. u.), was den Einsatz in kleinem Maßstab oder eine versuchsweise Umsetzung deutlich erleichtert. Insbesondere für einen Einsatz in größerem Maßstab und in Betrieben bedarf dieser Ansatz allerdings noch weiterer Optimierung und Validierung (z. B. Belege, dass dieser Ansatz auch in weiteren Jahren, mit anderen Schlaggrößen und in anderen Umgebungen (Landschaften) funktioniert), was mit Parzellenversuchen im größeren Maßstab (Beschränkung auf die Rosenkohlsorte 'Octia' und Markstammkohl als Fangpflanze), als auch später in Betrieben (Prüfung Praxistauglichkeit und Integrierbarkeit) erfolgen sollte.

Ein Teil dieser Validierungen und Optimierungen sollte, zusammen mit Versuchen in Praxisbetrieben, im Projektjahr 2016 erfolgen, konnte aber wegen des Projektendes im Juni 2016 und damit fehlender Mittel (eine beantragte Verlängerung wurde nicht bewilligt) nicht durchgeführt werden. Zu den Optimierungsmaßnahmen zählen unter anderem die Sortenwahl (Testung weiterer Rosenkohlsorten), der Abstand Fangpflanze/Kultur, Düngeroptimierung (veränderte S- bzw. N-Düngung der Fangpflanzen und des Rosenkohls), die Kombination mit feinmaschigen Netzen (die z. B. am Ende der Hauptzuflugzeit von der Kultur entfernt und auf die Fangpflanzen aufgelegt werden), Sets von Fangpflanzen (permanentes Vorhandensein von jungen Pflanzen mit höherer Attraktivität), der Übergang vom Perimeterdesign zu Streifendesign (Rosenkohl wird üblicherweise in Streifen angebaut) und der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Applikationen nur auf Fangpflanzen).

Schlussendlich sollten auch noch die Kriterien, die für die Beurteilung einer erfolgreichen Kontrolle der Kohlmottenschildlaus herangezogen werden (in erster Linie Befall Larven und Adulte) überdacht werden, da es keine signifikante und starke Korrelation zwischen Befall und Verschmutzung sowie Ertrag gab. Zum einen scheint die Pflanzenmorphologie (Blattstellung) eine wichtige Rolle spielen (Hirthe & Jakobs, 2013), und zum anderen gibt es anscheinend andere noch unbekannte Faktoren, die die Verschmutzung beeinflussen. Außerdem sollte die subjektive Beurteilung der Verschmutzung, die auch von den jeweils beteiligten Personen abhängt, durch eine objektivere und besser vergleichbare Methode ersetzt oder ergänzt werden.

## **7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und Hinweise auf weiterführende Fragestellungen**

Durch den um ein halbes Jahr verspätete Projektstart (ursprüngliche Planung Projektstart 01.01.2013) und damit deutlich reduzierten Vorversuchszahlen und durch die negativen Ergebnisse des ersten Freilandversuchs 2014 mit Fangpflanzen, Blühstreifen und weniger anfälligen Rosenkohlsorten, wurde es notwendig das Versuchsdesign zu überarbeiten und diesen Versuch im darauffolgenden Jahr zu wiederholen, um das Design und die Wirkung dieser Strategie zu überprüfen. Dadurch konnte der für 2015 geplante Übergang in Praxisbetriebe nicht mehr realisiert werden, was aber angesichts der ambivalenten Ergebnisse auch offenkundig verfrüht erscheint, denn es liegen und lagen noch keine ausreichend sicheren Erkenntnisse zu einer wirkungsvollen und verlässlichen Bekämpfungsstrategie vor. Unter anderem dies war dann 2016 mit einer Verlängerung geplant, konnte aber nicht mehr umgesetzt werden (siehe Kapitel Angaben zum voraussichtlichen Nutzen...). Daher konnte das Ziel, diese alternative Bekämpfungsstrategie in Praxisbetrieben zu validieren und anzupassen, nicht mehr umgesetzt werden.

Bei der Untersuchung der Endosymbionten fehlen noch Experimente zur Nutzen bzw. Funktion der Endosymbionten bei der Kohlmottenschildlaus (z. B. mögliche Fitnesseffekte). Diese Versuche waren wegen gravierender anfänglicher Probleme bei der Etablierung der PCR-Protokolle (Übertragung auf andere Art (Anpassung bzw. Ersatz nicht arbeitender Primer, Optimierung PCR-Bedingungen für andere Polymerase), falsch positive Nachweise, fehlende Positivkontrollen) zeitlich nicht mehr durchführbar. Im Vergleich zur ursprünglichen Planung deutlich ausgeweitet wurden Versuche zur Wirtspflanzenfindung (Orientierung) und zum Wachsgehalt von Rosenkohl und die Interaktionen mit Gegenspielern. Zusätzlich hinzugekommen sind Düngungsversuche um die Attraktivität der Fangpflanzen und des Rosenkohls über unterschiedliche N- bzw. S-Düngung zu beeinflussen.

Alle anderen geplanten Versuche wurden im Rahmen des Zeit- und Arbeitsplans durchgeführt.

Als Ansatzpunkte für weiterführende Fragestellungen sollten die oben genannten Optimierungen dieses Konzeptes verwendet werden:

- Sortenwahl: Gibt es weitere weniger anfällige Rosenkohlsorten? Gibt es weitere attraktivere bzw. besser integrierbare Fangpflanzen?
- Abstand Fangpflanze/Kultur: Optimaler Abstand zur Kultur?
- Flächenverhältnis Fangpflanze/Kultur: Wie groß muss die Fangpflanzenfläche mindestens sein, um einen ausreichenden Effekt zu erzielen?
- Düngung: Kann veränderte S- bzw. N-Düngung der Fangpflanzen und des Rosenkohls die Attraktivität beeinflussen?

- Kombination mit Netzen: Ist eine Kombination mit feinmaschigen Netzen, die z. B. am Ende der Hauptzuflugzeit von der Kultur entfernt und auf die Fangpflanzen aufgelegt werden, sinnvoll?
- Sets von Fangpflanzen: Erhöht permanentes Vorhandensein von jungen Pflanzen mit höherer Attraktivität die Wirkung?
- Streifendesign: Sind Fangpflanzenstreifen ausreichend effizient bzw. fängig?
- Pflanzenschutzmittel: Kann eine Applikationen nur auf Fangpflanzen die Wirkung erhöhen?

## 8 Zusammenfassung

Die Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*) hat sich zum einem wichtigen Schädling im Kohlanbau entwickelt und der Befall kann insbesondere durch Verschmutzungen des Ernteguts zu hohen ökonomischen Verlusten führen. Momentan wird dieser Schädling im konventionellen Anbau noch häufig durch Einsatz synthetischer Pflanzenschutzmittel bekämpft, während bei der ökologischen Produktion oft Netze verwendet werden. Da diese Verfahren mit vielen Nachteilen behaftet sind (relativ hohe Kosten/Aufwand, schwierige Applikation, entstehende Resistenzen, teilweise mangelnde Effizienz und Zuverlässigkeit) und auch eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes von politischer und Verbraucherseite her erwünscht ist, sind alternative Strategien notwendig, die in dieser Studie, die im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) durchgeführt wurde, untersucht und in die Praxis eingeführt werden sollten.

Als alternative Strategie wurde hier ein präventives und modulares Bekämpfungskonzept erarbeitet, das aus den Modulen nicht anfällige (resistente) Sorten, Fangpflanzen und Blühstreifen bestand. Diese Bekämpfungsmodule wurden einzeln in Vorversuchen erprobt (Wahl- und no-choice-Versuche im Gewächshaus, Klimakammer und Freiland, um nicht-anfällige Rosenkohlsorten und attraktive Fangpflanzen zu selektieren) und dann in zwei Jahren (2014, 2015) in Freiland- Parzellenversuchen als kombinierte Bekämpfungsstrategie getestet. Als ausreichend geeignete Fangpflanze hat sich dabei nur Markstammkohl (*B. oleracea* var. *medullosa*) mit Einschränkungen bewährt, als nicht anfällige Rosenkohlsorten können mit Einschränkungen 'Octia', 'Genius' und 'Esperal' empfohlen werden, wobei diese Resistenz allein nicht ausreicht, um einen Befall zu begrenzen. Diese Sorten wurden im Vergleich am wenigsten präferiert und hatten die geringsten Verschmutzungen, konnten aber bei der Antibiosis (Wirtseignung) nicht oder nur teilweise überzeugen.

Bei den Parzellenversuchen konnte im ersten Jahr keinerlei Wirkung erzielt werden (gleicher Befall in allen Varianten), während im zweiten Jahr eine (teilweise signifikante) Befallsreduktion von im Durchschnitt bis zu 60 % erreicht werden konnte. Auch hatte diese Befallsreduktion eine signifikante Auswirkung auf die Verschmutzung, nicht aber auf den Ertrag.

Außerdem wurden grundlegende Arbeiten zur Biologie und Ökologie der Kohlmottenschildlaus in Bezug auf bakterielle Endosymbionten und Wirtspflanzenfindung durchgeführt. Es konnten neben dem weiße Fliegen spezifischen primären Endosymbionten *Portiera aleyrodidarum* nur zwei sekundäre Endosymbionten nachgewiesen werden, die oft in Kombination auftraten: *Wolbachia* und *Arsenophonus*. Nur wenige Individuen hatten Einzelinfektionen oder keine sekundären Endosymbionten. Über die Funktion bzw. den Nutzen dieser Endosymbionten ist noch nichts bekannt. Die Wirtspflanzenfindung wurde in

Olfaktometern und Versuchsarenen untersucht. Hierbei zeigte sich, dass durch die sehr starke Phototaxis, diese Untersuchungen sehr problematisch sind und gebräuchliche Olfaktometer kaum zu verwenden sind. Kohlmottenschildläuse zeigen sowohl auf olfaktorische als auch auf optische Reize Reaktionen, es können aber wegen der hohen Standardabweichungen und geringen Wiederfangraten keine statistisch signifikanten Aussagen insbesondere zur Unterscheidung von Rosenkohlsorten getroffen werden.

## 9 Literaturverzeichnis

- Altschul, S.F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., Lipman, D.J. (1990): Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology* 215: 403-410.
- Asplen, M.K., Bano, N., Brady, C.M., Desneux, N., Hopper, K.R., Malouines, C., Oliver, K.M., White, J.A. & Heimpel, G.E. (2014): Specialisation of bacterial endosymbionts that protect aphids from parasitoids. *Ecological Entomology* 39: 736-739.
- Bing, X.-L., Ruan, Y.-M., Rao, Q., Wang, X. W. & Liu, S.-S. (2013a): Diversity of secondary endosymbionts among different putative species of the whitefly *Bemisia tabaci*. *Insect Science* 20: 194-206.
- Bing, X. L., Yang, J., Zchori-Fein, E., Wang, X. W. & Liu, S. S. (2013b): Characterization of a newly discovered symbiont in the whitefly *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Appl. Environ. Microbiol.* 79: 569-575.
- Björkman, M., Folkedal Schjøll, A., Peterschmidt, B., Meadow, R. (2014): Interactions between two brassica specialists in a trap crop system – effects of *Plutella xylostella* larval feeding on *Delia floralis* host plant choice. *IOBC-WPRS Bulletin* 107: 211.
- Broekgaarden, C., Riviere, P., Steenhuis, G., del sol Cuenca, M., Kos, M., Vosman, B. (2012): Phloem-specific resistance in *Brassica oleracea* against the whitefly *Aleyrodes proletella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 142: 153-164. DOI: 10.1111/j.1570-7458.2011.01210.x.
- Böckmann, E. & Richter, E. (2016): Der Einfluss der Kohlmottenschildlaus auf den Ertrag und die Qualität von Rosenkohl. *Julius-Kühn-Archiv* 454: 421.
- Brumin, M., Kontsedalov, S., Ghanim M. (2011): *Rickettsia* influences thermotolerance in the whitefly *Bemisia tabaci* B biotype. *Insect Sci.* 18: 57-66.
- Butler, C.G. (1938): On the ecology of *Aleurodes brassicae* WALK. (Hemiptera). *Trans. R. Ent. Soc. Lond.* 87: 291-311.
- BVL (2016a): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. [Url: www.bvl.bund.de/DE/04\\_Pflanzenschutzmittel/01\\_Aufgaben/02\\_ZulassungPSM/01\\_ZugelPSM/01\\_OnlineDatenbank/psm\\_onlineDB\\_node.html](http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/01_OnlineDatenbank/psm_onlineDB_node.html) (letzter Zugriff: Jan 17).
- BVL (2016b): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Zugelassene Pflanzenschutzmittel: Auswahl für den ökologischen Landbau nach der Verordnung (EG) Nr. 834/2007. [Url: www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04\\_Pflanzenschutzmittel/psm\\_oekoliste-DE.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=21](http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_oekoliste-DE.pdf?__blob=publicationFile&v=21). (letzter Zugriff: Jan 17).
- Chiel, E., Gottlieb, Y., Zchori-Fein, E., Mozes-Daube, N., Katzir, N., Inbar, M. & Ghanim, M. (2007): Biotype-dependent secondary symbiont communities in sympatric populations of *Bemisia tabaci*. *Bulletin of Entomological Research* 97: 407-413.
- Chu, D., Gao, C.S., De Barro, P., Zhang, Y.J., Wan, F.H. & Khan, I.A. (2011): Further insights into the strange role of bacterial endosymbionts in whitefly, *Bemisia tabaci*: comparison of secondary symbionts from biotypes B and Q in China. *Bulletin of Entomological Research* 101: 477-486.
- Eigenbrode, S. & Espelie, K. (1995): Effects of plant epicuticular lipids on insect herbivores. *Annual Review of Entomology* 40: 171-194.
- Eigenbrode, S. (2004): The effects of plant epicuticular waxy blooms on attachment and effectiveness of predatory insects. *Arthropod Structure & Development* 33: 91-102.
- Everett, K. D., Thao, M., Horn, M., Dyszynski, G.E. & Baumann, P. (2005): Novel chlamydiae in whiteflies and scale insects: endosymbionts '*Candidatus Fritschea bemisiae*' strain



- Falk and '*Candidatus Fritschea eriococci*' strain Elm. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 55: 1581-1587.
- Fatouros, N.E., Bukovinszky-Kiss, G., Kalkers, L.A., Gamborena, R.S., Dicke, Marcel; Hilker, M. (2005): Oviposition-induces plant cues: do they arrest *Trichogramma* wasps during host location? Entomologia Experimentalis et Applicata 115: 207-215.
- Fritsch, F. (1999): Schwefel - ein Hauptnährstoff. Merkblatt der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Mainz.
- Ghanim, M. & Kontsedalov, S. (2009): Susceptibility to insecticides in the Q biotype of *Bemisia tabaci* is correlated with bacterial symbiont densities. Pest Management Science 65: 939-942.
- Gherna, R.L., Werren, J.H., Weisburg, W., Cote, R., Woese, C.R., Mandelco, L. & Brenner, D.J. (1991): *Arsenophonus nasoniae* gen-nov, sp-nov, the causative agent of the son-killer trait in the parasitic wasp *Nasonia vitripennis*. Int J Syst Bacteriol 41: 563-565.
- Giles, D.K., Heinz, K.M., Parrella, M.P. (1996): Quantitative assessment of insect olfactometer performance by experimental flow analysis. Biol. Control 7: 44-47.
- Gottlieb, Y., Ghanim, M., Chiel, E., Gerling, D., Portnoy, V., Steinberg, S., Tzuri, G., Horowitz, A.R. Belausov, E., Mozes-Daube, N., Kontsedalov, S., Gershon, M., Gal, S., Katzir, N., & Zchori-Fein, E. (2006): Identification and localization of a Rickettsia sp. in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Applied and Environmental Microbiology 72: 3646-3652.
- Haaland, C., Naisbit, R.E. & Bersier, L.-F. (2011): Sown wildflower strips for insect conservation: a review. Insect Conservation and Diversity 4: 60-80.
- Hahlbrock, K. & Scheel, D. (1989): Physiology and Molecular Biology of Phenylpropanoid Metabolism. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 40: 347-369.
- Hansen, A.K., Jeong, G., Paine, T.D. & Stouthamer, R. (2007): Frequency of secondary symbiont infection in an invasive psyllid relates to parasitism pressure on a geographic scale in California. Applied and Environmental Microbiology 73: 7531-7535.
- Harris, L., Kelly, S., Hunter, M. & Perlman, S. (2010): Population dynamics and rapid spread of *Cardinium*, a bacterial endosymbiont causing cytoplasmic incompatibility in *Encarsia pergandiella* (Hymenoptera: Aphelinidae). Heredity 104: 239-246.
- Himler, A.G., Adachi-Hagimori, T., Bergen, J.E., Kozuch, A., Kelly, S.E., Tabashnik, B.E., Chiel, E., Duckworth, V.E., Dennehy, T.J., Zchori-Fein, E. & Hunter, M.S. (2011): Rapid spread of a bacterial symbiont in an invasive whitefly is driven by fitness benefits and female bias. Science 332: 254-256.
- Hirthe, G. & Jakobs, M. (2013): Sortenwahl hat Einfluss auf die Schädigung von Rosenkohl durch die Kohlmottenschildlaus. Info-Blatt für den Gartenbau in Mecklenburg-Vorpommern 22(5): 320-329.
- Iheagwam E.U. (1978): Effects of temperature on development of the immature stages of the cabbage whitefly, *Aleyrodes proletella* (Homoptera: Aleyrodidae). Entomologia Experimentalis et Applicata 23: 91-95.
- Iheagwam, E.U. (1981): Influence of Cabbage *Brassica oleracea* Varieties and Temperature on Population Variables of the Cabbage Whitefly *Aleyrodes brassicae*. Oikos 36: 233-237.
- Jaenike, J., Unckless, R., Cockburn, S.N., Boelio, L.M. & Perlman, S.J. (2010): Adaptation via symbiosis: recent spread of a *Drosophila* defensive symbiont. Science 329: 212-215.

- Koch, H.-J. (2000): Schwefelversorgung von Kulturpflanzen - Bedarfsprognose und Düngung. Standpunktpapier des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Darmstadt.
- Kuhlmann, F., Müller, C. (2010): UV-B impact on aphid performance mediated by plant quality and plant changes induced by aphids. *Plant Biol* 12: 676-684.
- Liebig, L. (2010): Regulierungsmöglichkeiten der Kohlmottenschildlaus im ökologischen Kohlanbau. In: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Tagungsband zum Öko-Gemüsebautag am 15. Juli 2010 in Bamberg, Veitshöchheimer Berichte Heft 143: 6-10.
- LWG (2009): Neem Azal gut wirksam gegen Kohlmottenschildlaus am Grünkohl. In: Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau: Gemüsebauversuche 2009. Veitshöchheimer Berichte Nr. 136.
- Martin, J.H., Mifsud, D. & Rapisarda, C. (2007): The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of Europe and the Mediterranean Basin. *Bulletin of Entomological Research* 90: 407-448.
- Morin, S., Ghanim, M., Zeidan, M., Czosnek, H., Verbeek, M., van den Heuvel, J. F. J. M. (1999): A GroEL homologue from endosymbiotic bacteria of the whitefly *Bemisia tabaci* is implicated in the circulative transmission of tomato yellow leaf curl virus. *Virology* 256: 75-84.
- Montllor, C. B., Maxmen, A., Purcell, A. H. (2002): Facultative bacterial endosymbionts benefit pea aphids *Acyrtosiphon pisum* under heat stress. *Ecol. Entomol.* 27: 189-195.
- Müller, C. & Riederer, M. (2005): Plant surface properties in chemical ecology. *Journal of Chemical Ecology* 31: 2621-2651.
- Nebreda, M., Nombela, G. & Muñoz, M. (2005): Comparative Host Suitability of Some Brassica Cultivars for the Whitefly, *Aleyrodes proletella* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* 34: 205-209.
- Newton, E.L., Bullock, J.M. & Hodgson, D.J. (2009): Glucosinolate polymorphism in wild cabbage (*Brassica oleracea*) influences the structure of herbivore communities. *Oecologia* 160: 63-76.
- Newton, E.L., Bullock, J.M. & Hodgson, D. (2010): Temporal consistency in herbivore responses to glucosinolate polymorphism in populations of wild cabbage (*Brassica oleracea*). *Oecologia* 164: 689-99.
- NPAG (New Pest Advisory Group) (2001): *Aleyrodes proletella*, brassica whitefly. NPAG Data Sheet url: <http://www.pestalert.org/storage/AproletellaNAPPO%2Epdf>. (letzter Zugriff: Jan. 17)
- Panteleev, D.Y., Goryacheva, I.I., Andrianov, B.V., Reznik, N.L., Lazebny, O.E. & Kulikov, A.M. (2007): The endosymbiotic bacterium *Wolbachia* enhances the nonspecific resistance to insect pathogens and alters behavior of *Drosophila melanogaster*. *Russian Journal of Genetics* 43: 1066-1069.
- Pelgrom, K.T.B., Broekgaarden, C., Voorrips, R.E., Bas, N., Visser, R.G.F. & Vosman, B. (2014): Host plant resistance towards the cabbage whitefly in *Brassica oleracea* and its wild relatives. *Euphytica* 202: 297-306.
- Pütz, A., Klausnitzer, B., Schwartz, A., & Gebert, J. (2000): Der Bogen-Zwergmarienkäfer *Clitostethus arcuatus* (Rossi, 1794) - eine mediterrane Art auf Expansionskurs (Col.; Coccinellidae). *Entomologische Nachrichten und Berichte* 44: 193-197.
- Ramsey, A. & Ellis, P. (1996): Resistance in wild brassicas to the cabbage whitefly, *Aleyrodes proletella*. *Acta Hort.* 407: 507-514.

- Rehlender, B. (2016): Deutsches Lebensmittelbuch, Leitsätze 2016. Erarbeitet und beschlossen von der Deutschen Lebensmittelbuchkommission beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. 5. Auflage, revidierte Ausgabe. Behr's Verlag, Hamburg.
- Richter, E. & Elwert, A. (2010): „Weiße Fliege“ – Vorkommen und Biologie. Gemüse 2: 18-20.
- Richter, E. & Hirthe, G. (2014): Efficacy of drench and spray applications of insecticides to control cabbage whitefly *Aleyrodes proletella*. IOBC/WPRS Bulletin 107: 151-156.
- Richter, E., Harbrecht, E. & Hirthe, G. (2011): Die Kohlmottenschildlaus – so überwintert sie. Gemüse 2: 24-26.
- Russell, J.A., Moran, N.A. (2006): Costs and benefits of symbiont infection in aphids: variation among symbionts and across temperatures. Proc Biol Sci 273: 603-610.
- Saridaki, A. & Bourtzis, K. (2009): *Wolbachia*-induced reproductive parasitism and applications. Entomologia Hellenica 18: 3-16.
- Sartisohn, A. Hondelmann, P., Meyhöfer, R. (2016): Gezielte Nützlingsförderung durch maßgeschneiderte Blühstreifen im Kohlanbau. Julius-Kühn-Archiv 454: 107.
- Scharpf, H.C. (1991): Stickstoffdüngung im Gemüsebau. Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Bonn. AID-Nr. 1223.
- Schneider-Götz, N., Pfeleiderer, H., Elsässer, M., Breuer, M. (2011): Beratungsgrundlagen für die Düngung im Ackerbau und auf Grünland in Baden-Württemberg. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe.
- Schuldreich, A.-C., Westerman, P.R., Hirthe, G., Katroschan, K.-U. (2016): Opportunities and challenges in predicting local migration dynamics of cabbage whitefly *Aleyrodes proletella* – a preliminary evaluation. IOBC-WPRS Bulletin 118: 30-36.
- Schultz, B., Wedemeyer, R., Saucke, H., Zimmermann, O., Leopold, J., Liebig, N., Rau, F., Katz, P., Rademacher, J. (2010): Anwendung natürlich vorkommender Gegenspieler der Kohlmottenschildlaus in Kohlgemüse im kombinierten Einsatz mit Kulturschutznetzen. BÖL-Bericht 18149.
- Schuster, D.J. (2004): Squash as a trap crop to protect tomato from whitefly-vectored tomato yellow leaf curl. Int. J. Pest Manag. 50: 281-84.
- Shelton, A.M. & Badenes-Perez F.R. (2006): Concepts and applications of trap cropping in pest management. Annual Review of Entomology 51: 285-308.
- Smith, H.A., McSorley, R. (2000): Potential of field corn as a barrier crop and eggplant as a trap crop for management of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on common bean in North Florida. Florida Entomologist 83: 145-158.
- Smith, C.M. (2005): Plant Resistance to Arthropods: Molecular and Conventional Approaches. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Springate, S. & Colvin, J. (2012): Pyrethroid insecticide resistance in British populations of the cabbage whitefly, *Aleyrodes proletella*. Pest Manag Sci 68: 260-267.
- Stout, M.J. (2013): Reevaluating the conceptual framework for applied research on host-plant resistance. Insect Science 20: 263-272.
- Sunnucks, P. & Hales, D.F. (1996): Numerous transposed sequences of mitochondrial cytochrome oxidase I-II in aphids of the genus *Sitobion* (Homoptera: Aphididae). Molecular Biology and Evolution 13: 510-524.
- Thao, M.L. & Baumann, P. (2004): Evidence for Multiple Acquisition of *Arsenophonus* by Whitefly Species (Homoptera: Aleyrodidae). Current Microbiology 48: 140-144.

- Trdan, S. & Papler, U. (2002): Susceptibility of four different vegetable brassicas to cabbage whitefly (*Aleyrodes proletella* L., Aleyrodidae) attack. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent 67: 531-535.
- Tsuchida, T., Koga, R., Fukatsu, T. (2004): Host plant specialization governed by facultative symbiont. Science 303: 1989.
- UNECE (2010): UNECE-Norm FV-08 für die Vermarktung und Qualitätskontrolle von Rosenkohl. Ausgabe 2010. Vereinte Nationen, NY, Genf 2010. Url: [www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/fresh/FFV-Std/German/BrusselsSprouts.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/fresh/FFV-Std/German/BrusselsSprouts.pdf). (letzter Zugriff: Jan. 17)
- Van Doorn, H.E., van der Kruk, G.C., Van Holst, G.J., Raaijmakers-Ruijs, P.E., Groeneweg, B., Jongen, W.H.F. (1998): The Glucosinolates Sinigrin and Progoitrin are Important Determinants for Taste Preference and Bitterness of Brussels Sprouts. Journal of the Science of Food and Agriculture 78: 30-38.
- Van Rijn, P., den Belder, E., Elderson, J., Vlaswinkel, M., van Alebeek, F. (2008): Perspectives for functional agro biodiversity in Brussels sprouts. IOBC/WPRS Bulletin 34: 121-124.
- Vet, L.E.M., Van Lenteren, J.C., Heymans, M., Meelis, E. (1983): An air-flow olfactometer for measuring olfactory responses of hymenopterous parasitoids and other small insects. Physiol. Entomol. 8: 97-106.
- Weeks, A.R., Velten, R. & Stouthamer, R. (2003): Incidence of a new sex-ratio-distorting endosymbiotic bacterium among arthropods. Proceedings of the Royal Society of London B 270: 1857-1865.
- Winde, I. & Wittstock, U. (2011): Insect herbivore counteradaptations to the plant glucosinolate-myrosinase system. Phytochemistry 72: 1566-1575.
- Wyss, E. & Daniel, C. (2002): Wirkung verschiedener Insektizide gegen die Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella* in biologischem Rosenkohl. Mittelprüfung 2002, 02/11e.
- Wyss, E., Specht, N., Daniel, C. & Rüegg, J. (2003): Wirkung verschiedener Insektizide bei Ober- und Unterblattapplikation gegen die Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella* in biologischem Rosenkohl. Mittelprüfungsbericht. Forschungsinstitut für biologischen Landbau Frick, FAW und Neudorff GmbH.
- Xue, X., Li, S.J., Ahmed, M.Z., De Barro, P.J., Ren, S.X. & Qiu, B.L. (2012): Inactivation of *Wolbachia* Reveals Its Biological Roles in Whitefly Host. PLoS ONE 7. 10.1371/journal.pone.0048148
- Zabalou, S., Apostolaki, A., Livadaras, I., Franz, G., Robinson, A.S., Savakis, C., & K Bourtzis, K. (2009): Incompatible Insect Technique: incompatible males from a *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) genetic sexing strain. Entomol. Exp. Appl. 132: 232-240.
- Zchori-Fein, E. & Brown, J.K. (2002): Diversity of prokaryotes associated with *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 95: 711-718.
- Zhou, W., Rousset, F. & O'Neill, S.L. (1998): Phylogeny and PCR-based classification of *Wolbachia* strains using wsp gene sequences. Proceedings of Royal Society of London B 265: 509-515.
- Zindel, R., Gottlieb, Y. & Aebi, A. (2011): Arthropod symbioses: A neglected parameter in pest- and disease-control programmes. Journal of Applied Ecology 48: 864-872.

## 10 Veröffentlichungen

### 10.1 Artikel & Abschlussarbeiten

- Hondelmann, P., Paul, C., Meyhöfer, R. (2016): Combining crop resistance and trap plants for cabbage whitefly control. IOBC-WPRS Bulletin 118: 15-21.
- Anna, Patricia (2017): Untersuchungen zum Verhalten der Kohlmottenschildlaus bei der Wirtswahl. MSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin, 105 S.
- Aung, Khaing Mar (2015): Impact of plant parameters of different Brussels sprout cultivars on colonization ability of selected cabbage whitefly antagonists. Intern. MSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin, 67 S.
- Bröer, Jan Martin (2017): Untersuchungen zur Endosymbiontendiversität der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*). MSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin, 97 S.
- Fiedler, Bennet, & Mühlnikel, Eric (2017): Effekte von erhöhten Düngergaben auf die Antixenosis und Antibiosis von Brassicaceen gegenüber der Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella*. BSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin, 62 S.
- Paul, Christina (2014): Resistenzpotential verschiedener Rosenkohlsorten (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera* DC.) gegenüber der Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella* (L.) (Hemiptera: Aleyrodidae). BSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin, 72 S.
- Paul, Christina (2017): Untersuchungen zu Resistenzmechanismen von Rosenkohl (*Brassica oleracea* L. var. *gemmifera* DC.) gegenüber der Kohlmottenschildlaus *Aleyrodes proletella* (L.) (Hemiptera: Aleyrodidae). MSc-Arbeit am IGPS, Abt. Phytomedizin. 90 S.

### 10.2 Vorträge

- Hondelmann P., Paul C., Meyhöfer R. (2016): Wirksamkeit einer kombinierten Strategie aus weniger anfälligen Rosenkohlsorten und Fangpflanzen zur Kontrolle der Kohlmottenschildlaus. Julius-Kühn-Archiv 45: 261. (zugleich Vortrag, 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20. - 23. September in Halle).
- Hondelmann P., Paul C., Meyhöfer R. (2015): Resistance of Brussels sprout cultivars to the Cabbage Whitefly (*Aleyrodes proletella*), DGaaE-Tagung 2. – 5. März 2015 in Frankfurt/Main.
- Hondelmann P., Paul C., Meyhöfer R. (2015): Combining crop resistance and trap plants for Cabbage Whitefly control. IOBC-WPRS Working Group "Integrated Protection in Field Vegetables", 04. - 07. Oktober in Hamburg.
- Hondelmann P., Khaing Mar Aung, Meyhöfer R. (2015): Effects of plant parameters of different Brussels Sprout cultivars on colonisation ability of selected cabbage whitefly antagonists. 34. Tagung des DPG/DGaaE Arbeitskreises "Nutzarthropoden und Entomopathogene Nematoden" 30. 11 - 01. Dezember in Hannover,.
- Hondelmann P., Paul C., Meyhöfer R. (2014): Attraktivität und Resistenz verschiedener Rosenkohlsorten gegenüber der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*). Julius-Kühn-Archiv 447: 269. (zugleich Vortrag, 59. Deutsche Pflanzenschutztagung, 23. - 26. September in Freiburg).
- Hondelmann P., Hirthe G., Richter E., Meyhöfer R. (2013): Introduction of a new collaboration project for the development of new strategies to control the Cabbage Whitefly (*Aleyrodes proletella*). IOBC/WPRS Working Group "Integrated Protection in Field Vegetables", 23. - 25. September in Bergerac, Frankreich.

### 10.3 Poster

Hondelmann P., Bröer, J.M., Meyhöfer R. (2017): Diversity of bacterial endosymbionts of the cabbage whitefly *Aleyrodes proletella*. DGaaE-Tagung, 13. - 16. März in Freising-Weihenstephan.

Paul C., Hondelmann P., Meyhöfer R. (2016): Freilandversuche zur Sortenresistenz von Rosenkohl gegen die Kohlmottenschildlaus. 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20. - 23. September in Halle.

Hondelmann P.; Fiedler, B.; Mühlwinkel E.; Meyhöfer R. (2016): Wirkung von erhöhten Düngergaben auf die Attraktivität von Rosenkohl und Fangpflanzen gegenüber der Kohlmottenschildlaus. 60. Deutsche Pflanzenschutztagung, 20. - 23. September in Halle.

Hondelmann P., Paul C., Meyhöfer R. (2015): Resistenz von Rosenkohlsorten gegenüber der Kohlmottenschildlaus (*Aleyrodes proletella*). DGaaE-Tagung, 2. - 5. März 2015 in Frankfurt.

Hondelmann P., Laurenz S., Paul C., Meyhöfer R. (2015): Prävention, Prognose, Intervention: Neue Ansätze zur Bekämpfung der Kohlmottenschildlaus. 50. Gartenbauwissenschaftliche Tagung, 24. - 28. Februar in Freising-Weihenstephan.

### 10.4 Andere Präsentationen

Gemeinsame Präsentation des Verbundprojekts auf der Internationalen Grünen Woche (Berlin) vom 17.01.2014 bis 26.01.2014.

Versuchsvorstellung und Diskussion für Landwirte und Erzeuger der Arbeitsgemeinschaft Ökoring e.V. Niedersachsen in Hannover-Herrenhausen am 01.06.2016.

### 10.5 Geplante Aktivitäten

- Die Ergebnisse zu Fangpflanzen und Sortenresistenzen sowie der Endosymbionten sollen in weiteren Artikeln in Fachzeitschriften veröffentlicht werden.
- Im Internet soll über Plattformen wie [www.hortigate.de](http://www.hortigate.de) bzw. [www.hortipendium.de](http://www.hortipendium.de) die wichtigsten Ergebnisse zusammenfassend dargestellt bzw. ergänzt werden.
- In Zusammenarbeit mit den Verbundprojektpartnern ist es in nächster Zeit geplant, einen Flyer im Rahmen der vom Julius Kühn-Institut herausgegebenen Faltblätter zu entwickeln und herauszugeben, der kurz auf die Biologie der KMSL eingeht und, auf Grundlage der im Verbundprojekt erarbeiteten Strategien, Empfehlungen zur Bekämpfung und Vorsorge gibt. Hierfür sind schon die meisten Vorarbeiten durchgeführt worden.