

# **Ausgewählte Einflussfaktoren auf den Nützlingseinsatz gegen Thrips und Blattläuse im ökologischen Topfkräuteranbau unter Glas**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung des Grades  
Doktor der Agrarwissenschaften  
(Dr. agr.)

der  
Landwirtschaftlichen Fakultät  
der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität  
in Bonn

vorgelegt am 24.05.2016

von  
Dipl.-Ing. agr. Dennis Hehnen  
aus  
Leverkusen

Referent: Prof. Dr. R. Pude

Korreferent: Prof. Dr. H.-W. Dehne

Tag der mündlichen Prüfung: 24.10.2016

Erscheinungsjahr: 2016

Des morgens früh, sobald ich mir  
Mein Pfeifchen angezündet,  
Geh' ich hinaus zur Hinterthür,  
Die in den Garten mündet.

Besonders gern betracht ich dann  
Die Rosen, die so niedlich;  
Die Blattlaus sitzt und saugt daran  
So grün, so still, so friedlich.

Und doch wird sie, so still sie ist,  
Der Grausamkeit zur Beute;  
Der Schwebefliegen Larve frißt  
Sie auf bis auf die Häute.

Schluppwespchen flink und klimperklein,  
So sehr die Laus sich sträube,  
Sie legen doch ihr Ei hinein  
Noch bei lebendgem Leibe.

Sie aber sorgt nicht nur mit Fleiß  
Durch Eier für Vermehrung;  
Sie kriegt auch Junge hundertweis  
Als weitere Bescherung.

Sie nährt sich an dem jungen Schaft  
Der Rosen, eh sie welken;  
Ameisen kommen, ihr den Saft  
Sanft streichelnd abzumelken.

So seh ich in Betriebsamkeit  
Das hübsche Ungeziefer  
Und rauche während dieser Zeit  
Mein Pfeifchen tief und tiefer.

Daß keine Rose ohne Dorn,  
Bringt mich nicht aus dem Häuschen.  
Ach sag' ich ohne jeden Zorn:  
»Kein Röslein ohne Läschen!«

Duldsam

Wilhelm Busch (1905)

## **Ausgewählte Einflussfaktoren auf den Nützlingseinsatz gegen Thrips und Blattläuse im ökologischen Topfkräuteranbau unter Glas – Abstract deutsch**

Die Produktion von Topfkräutern, ein in Deutschland rasch an Bedeutung gewinnender Markt, findet meist in hochspezialisierten Betrieben statt, die ganzjährig kultivieren. Die Anzucht im Winter läuft häufig unter ungünstigen Klimabedingungen ab. Bei der Produktion von Topfkräutern wird vermehrt auf biologische Pflanzenschutzmaßnahmen zurückgegriffen, da die Pflanzen teilweise eine sehr kurze Kulturdauer aufweisen und die Wartezeiten chemischer Pflanzenschutzmittel beachtet werden müssen. Es stehen wenige genehmigte Pflanzenschutzmittel zur Verfügung und die Ansprüche des Marktes und der Endverbraucher an die Qualität der Pflanzen sind hoch, was einen effektiven Pflanzenschutz erfordert.

Bislang liegen nicht ausreichend wissenschaftliche Daten vor, um effiziente Nützlingsmanagementsysteme im Topfkräuteranbau zu realisieren. Der Fokus dieser Arbeit lag daher darin, den Einfluss der biotischen und abiotischen Besonderheiten des Topfkräuteranbaues auf Modellschädlinge und -nützlinge unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen, um eine wissenschaftliche Grundlage für einen erfolgreichen Nützlingseinsatz zu schaffen. Dafür wurden die Entwicklung der Grünen Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae* Sulzer) und des Kalifornische Blütenthrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) unter dem Einfluss niedriger Temperaturen und verkürzter Tageslichtlängen zunächst in Labor- und anschließend in Modellversuchen an Ganzpflanzen untersucht. Auf Grund dieser Ergebnisse wurde der Einsatz kommerziell erhältlicher Nützlinge gegen die Schädlinge in Laborversuchen und im Gewächshaus erforscht. Hierfür wurden Prädatoren und Parasitoide verwendet, die häufig bei der Produktion von Topfkräutern im Gewächshaus vorkommen. Der Einfluss suboptimaler Klimabedingungen auf die Insekten konnte genauer quantifiziert werden – der Grundstein zur Entwicklung eines erfolgreichen Bekämpfungsmanagements.

Darüber hinaus konnte der retardierende Einfluss verschiedener ätherischer Öle von Basilikum auf die Populationsentwicklung der Blattlaus *Aulacorthum solani*

(Kaltenbach) gezeigt werden. Hierbei ist die insektizide Wirkung vermutlich auf ein komplexes Zusammenspiel einzelner Wirkstoffe zurückzuführen.

Zur Ergänzung eines ganzheitlichen Nützlingsmanagements wurde die Tauglichkeit der Raubwanze *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) für die ganzjährige Ansiedlung im Topfkräuterbestand gezeigt. Es gelang sie sowohl im Winter als auch unter warmen Sommerbedingungen an Depotpflanzen in verschiedenen Gewächshäusern an Topfkräutern zu etablieren.

**Selected influential factors on the use of beneficials against thrips and aphids in organic potted herb cultures grown under glass  
– abstract English**

The growing of organic potted herbs is a fast growing market in Germany and usually takes place in highly specialized growing operations with year-round production. The production in winter takes place under sub-optimal climatic conditions. Pest management is often carried out biologically, because the plants are partly grown in very short cycles which leave no room for the waiting period after using chemical treatments. Only few pesticides are listed for use in herb cultures and the quality of the plants is expected to be very high by market and consumers, so pest control has to be very effective.

To date there is not enough basic scientific data and only data of few practical trials to develop and establish efficient pest management strategies in potted herb cultures is available. The main focus of this study was to investigate the effects of the specific biotic and abiotic factors in the production of potted herb cultures on model pest and beneficial organisms under controlled conditions. Therefore, the effects of reduced light and temperature on the development of green peach aphids (*Myzus persicae* Sulzer) and the western flower thrips (*Frankliniella occidentalis* Pergande) were studied: at first under laboratory conditions then in whole-plant-trials. The results of these trials were then transferred to laboratory and greenhouse trials on the efficacy of commercial beneficials under different climate-conditions. Important predator and parasitoid insects were used for the trials. The influence of sub-optimal climatic conditions on the insects could be further quantified, to lay basis for a successful biological pest management.

The retarding influence of essential basil oils on the population development of the aphid *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) was shown. The insecticidal effect is most likely due to a combination of different active components.

The possible establishment of the polyphagous predator bug *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) as year-round inhabitant of potted herb cultures under glass could be proven, which can be a useful addition to an integrated pest management system.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Ausgewählte Einflussfaktoren auf den Nützlichenseinsatz gegen Thrips und Blattläuse im ökologischen Topfkräuteranbau unter Glas</b>	
<b>Abstract deutsch</b> .....	<b>IV</b>
<b>Selected influential factors on the use of beneficials against thrips and aphids in organic potted herb cultures grown under glass</b>	
<b>abstract english</b> .....	<b>VI</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Zielsetzung.....	3
<b>2. Literatur</b> .....	<b>6</b>
2.1. Topfkräuteranbau in Deutschland .....	6
2.2. Produktionsverfahren des ökologischen Topfkräuteranbaus im Vergleich zu einem integrierten Kulturmanagement .....	9
2.3. Einfluss niedriger Temperaturen auf Insekten im Gewächshaus .....	12
2.4. Einfluss von Licht auf Insekten im Gewächshaus .....	14
2.5. Einfluss ätherischer Öle auf Insekten im Gewächshaus .....	17
2.6. Insekten als Schädlinge im Topfkräuteranbau .....	20
2.6.1. Ausgewählte Schadinsekten im Topfkräuteranbau .....	20
2.7. Nützlinge (im Topfkräuteranbau) .....	28
2.7.1. Ausgewählte Nützlinge im Topfkräuteranbau .....	31
<b>3. Material und Methoden</b> .....	<b>38</b>
3.1. Klemmkäfige zur Blattlausuntersuchung .....	38
3.2. Blattlausstammzuchten .....	39
3.3. Erzeugung von Blattlausmaterial einheitlichen Alters .....	40
3.4. Parameter des Populationswachstums von Blattläusen .....	40
3.5. Einfluss niedriger Temperaturen auf die Individual- und Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> an <i>P. crispum</i> .....	41
3.6. Einfluss der Tageslichtlänge auf die Individual- und Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> .....	42
3.7. Einfluss der Blattmorphologie von <i>P. crispum</i> auf die Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> .....	44
3.8. Wirtskräuterpräferenz von <i>M. persicae</i> .....	45
3.9. Einfluss verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von <i>A. solani</i> .....	47

3.10. Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von <i>A. solani</i> .....	48
3.11. Einfluss niedriger Temperaturen sowie Lichtreduktion auf die Parasitierungsleistung verschiedener Schlupfwespenarten im Einsatz gegen <i>M. persicae</i> .....	51
3.12. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf den Bekämpfungserfolg von <i>A. matricariae</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus .....	54
3.13. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung der räuberischen <i>C. carnea</i> -Larven .....	56
3.14. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf die Fraßleistung von <i>C. carnea</i> im Gewächshaus .....	58
3.15. Vergleich verschiedener Ausbringmengen von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> im Gewächshaus .....	59
3.16. Stammzucht von <i>F. occidentalis</i> auf <i>P. vulgaris</i> .....	62
3.17. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von <i>F. occidentalis</i> und <i>N. cucumeris</i> an <i>P. crispum</i> und <i>O. basilicum</i> .....	62
3.18. Evaluierung des Einsatzes von <i>N. cucumeris</i> und <i>A. limonicus</i> gegen <i>F. occidentalis</i> im Petersilienanbau während des Winters unter Glas....	66
3.19. Untersuchung zum Flug- und Aktionsradius von <i>M. pygmaeus</i> im Gewächshaus .....	68
3.20. Untersuchung zur ganzjährigen Etablierung von <i>M. pygmaeus</i> in einem Topfkräuterbetrieb .....	71
3.21. Statistische Auswertung .....	72
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>73</b>
4.1. Einfluss der Klemmkäfige auf das Klima am Blatt .....	73
4.2. Einfluss niedriger Temperaturen auf die Individual- und Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> an <i>P. crispum</i> .....	74
4.3. Einfluss der Tageslichtlänge auf die Individual- und Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> .....	77
4.4. Einfluss der Blattmorphologie von <i>P. crispum</i> auf die Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> .....	79
4.5. Wirtskräuterpräferenz von <i>M. persicae</i> .....	81
4.6. Einfluss verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von <i>A. solani</i> .....	84
4.7. Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von <i>A. solani</i> .....	86
4.8. Einfluss niedriger Temperatur sowie Lichtreduktion auf die Parasitierungsleistung verschiedener Schlupfwespenarten im Einsatz gegen <i>M. persicae</i> .....	88

---

4.9. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf den Bekämpfungserfolg von <i>A. matricariae</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus .....	94
4.10. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung der räuberischen <i>C. carnea</i> -Larven in Petrischalenversuchen .....	96
4.11. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von <i>C. carnea</i> im Gewächshaus.....	98
4.12. Vergleich verschiedener Ausbringmengen von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> im Gewächshaus .....	100
4.13. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von <i>F. occidentalis</i> und <i>N. cucumeris</i> an <i>P. crispum</i> und <i>O. basilicum</i>	106
4.14. Evaluierung des Einsatzes von <i>N. cucumeris</i> und <i>A. limonicus</i> gegen <i>F. occidentalis</i> im Petersilienanbau im Winter im Gewächshaus .....	112
4.15. Untersuchung zum Flug- und Aktionsradius von <i>M. pygmaeus</i> im Gewächshaus .....	118
4.16. Untersuchung zur ganzjährigen Etablierung von <i>M. pygmaeus</i> in einem gemischten Bio-Topfkräuterbetrieb .....	125
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>131</b>
<b>6. Schlussfolgerung .....</b>	<b>151</b>
<b>7. Zusammenfassung.....</b>	<b>157</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>160</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>162</b>
Verwendete Schädlinge .....	163
Verwendete Nützlinge .....	163
Verwendete Pflanzen .....	164
<b>Bibliographie.....</b>	<b>165</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>179</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>184</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Umsatz mit Topfkräutern in Deutschland auf Erzeugerebene (nach AMI 2014) .....	6
Abb. 2: Anbau verschiedener Topfkräuterkulturen im Kräuterbetrieb Radicula, Sinzig .....	10
Abb. 3: Linalool und Estragol, vorherrschende Bestandteile im ätherischen Öl von <i>O. basilicum</i> -Sorten .....	19
Abb. 4: Entwicklungszyklus der Blattläuse am Beispiel von <i>Rhopalosiphum padi</i> (Traubenkirschenlaus) .....	23
Abb. 5: Rechtzeitiger Nützlingseinsatz ist unerlässlich: A. Verspätetes Auftreten von Nützlingen führt zu ungenügender Schädlingsbekämpfung. B. Frühzeitiger Nützlingseinsatz kann Schädlinge erfolgreich bekämpfen. 29	
Abb. 6: Aufbau eines Insektenklemmkäfigs. A: Schemazeichnung, B: Anbringung an der Pflanze.....	38
Abb. 7: Aufbau des Versuches zur Wirtspflanzenpräferenz von <i>M. persicae</i> .....	46
Abb. 8: Verwendete Sorten der Art <i>O. basilicum</i> aus dem Sortiment Elfenkräuter .	47
Abb. 9: Zusammensetzung des ätherischen Öles der verschiedenen Sorten von <i>O. basilicum</i> .....	49
Abb. 10: Schematischer Aufbau von Biotests in Petrischalen des Versuches zum Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populations- dynamik von <i>A. solani</i> .....	50
Abb. 11: Blattscheibe <i>B. oleracea</i> var. <i>sabellica</i> mit (A) juvenilen und (B) adulten <i>M. persicae</i> , sowie (C) Blattlausmumien nach der Parasitierung durch <i>A. colemani</i> .....	53
Abb. 12: Aufbau mit Gaze bespannter Insektenkäfige auf Gewächshaustischen am CKA .....	54
Abb. 13: Korkbohrer und ausgeschnittene Blattscheibe <i>B. oleracea</i> var. <i>sabellica</i> auf Agar in einer Petrischale .....	57
Abb. 14: Aufbau des Versuches zur Einsatzmenge von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> auf Petersilie in Köln-Auweiler .....	61
Abb. 15: Versuchsaufbau zur Einsatzmenge von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> im Gewächshaus des Versuchszentrums Gartenbau Köln- Auweiler .....	61

---

Abb. 16: Aufbau der Kabinen zur Untersuchung des Flug- und Aktionsradiuses von <i>M. pygmaeus</i> an <i>B. officinalis</i> im Gewächshaus.....	69
Abb. 17: Aufbau der <i>B. officinalis</i> -Töpfe in den Kabinen zur Untersuchung der Flug- und Aktionsradius von <i>M. pygmaeus</i> im Gewächshaus.....	70
Abb. 18: Vergleich der Temperatur und Luftfeuchte innerhalb und außerhalb der Insektenklemmkäfige im Gewächshaus.....	73
Abb. 19: Intrinsische Wachstumsrate von <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> bei unterschiedlichen Temperaturen, dazu entsprechend Generationsdauer und Nymphenzahl.....	74
Abb. 20: Intrinsische Wachstumsrate von <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> bei unterschiedlicher Tageslichtlänge, dazu entsprechend Generationsdauer und Nymphenzahl.....	78
Abb. 21: Intrinsische Wachstumsrate von <i>M. persicae</i> auf glatter und krauser <i>P. crispum</i> sowie auf <i>B. oleracea</i> , dazu entsprechend Generationsdauer und Nymphenzahl.....	79
Abb. 22: Befall verschiedener Topfkräuter mit <i>M. persicae</i> nach jeweils 7 und 14 Tagen.....	81
Abb. 23: Befall verschiedener Topfkräuter mit <i>Myzus persicae</i> jeweils 7 bzw. 14 Tage nach Inokulation.....	83
Abb. 24: Abnahme der Anzahl lebender Blattlausimagines im Versuch zum Einfluss verschiedener Sorten <i>O. basilicum</i> auf <i>A. solani</i> .....	85
Abb. 25: Anzahl Blattlausmumien pro Petrischale mit alterssynchronisierten <i>M. persicae</i> parasitiert in einem 4-stündigen Ovipositionszeitraum unter verschiedenen Klimabedingungen von unterschiedlichen Parasitoiden ....	89
Abb. 26: Anzahl Blattlausmumien pro Petrischale mit alterssynchronisierten <i>M. persicae</i> parasitiert in einem 4-stündigen Ovipositionszeitraum unter verschiedenen Klimabedingungen von unterschiedlichen Parasitoiden ....	91
Abb. 27: Kumulierte Anzahl Mumien pro Petrischale bei unterschiedlichen Klimabedingungen ab drei Tagen nach Ende der Ovipositionszeit der drei Schlupfwespenarten .....	92
Abb. 28: Kumulierte Anzahl Mumien pro Petrischale bei unterschiedlichen Klimabedingungen ab drei Tagen nach Ende der Ovipositionszeit der drei Schlupfwespenarten .....	93
Abb. 29: Anzahl <i>M. persicae</i> -Blattläuse pro Topf <i>P. crispum</i> nach Ausbringung von <i>A. matricariae</i> -Schlupfwespen bei 8- bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus .....	95

Abb. 30: Gestorbene <i>M. persicae</i> im Biotest bei zwei verschiedenen Temperaturen und Tageslichtlängen in Petrischalen mit je einer <i>C. carnea</i> -Larve über zehn Tage .....	97
Abb. 31: Anzahl <i>M. persicae</i> pro Topf <i>P. crispum</i> nach Ausbringung von <i>C. carnea</i> -Larven bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus .....	99
Abb. 32: Befallsstärke der <i>P. crispum</i> -Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus .....	101
Abb. 33: Befallsstärke der <i>P. crispum</i> -Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus .....	103
Abb. 34: Anzahl <i>M. persicae</i> -Blattläuse pro Topf <i>P. crispum</i> bei verschiedenen hohen Ausbringmengen des Räubers <i>C. carnea</i> im Gewächshaus .....	104
Abb. 35: Anzahl <i>F. occidentalis</i> pro Petrischale auf Blättern von <i>O. basilicum</i> ‚Genoveser‘ nach 14 Tagen bei verschiedenen Temperaturen, verschiedenen Tageslichtlängen mit und ohne <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben .....	107
Abb. 36: Anzahl <i>F. occidentalis</i> pro Petrischale auf Blättern von <i>P. crispum</i> bei verschiedenen Temperaturen und verschiedenen Tageslichtlängen, mit und ohne <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben .....	108
Abb. 37: Populationsentwicklung von <i>F. occidentalis</i> auf <i>Ocimum basilicum</i> in Biotests in Klimakammern bei unterschiedlichen Temperaturen .....	109
Abb. 38: Populationsentwicklung von <i>F. occidentalis</i> auf <i>P. crispum</i> -Ganzpflanzen in Klimakammern bei unterschiedlichen Temperaturen .....	110
Abb. 39: Populationsentwicklung von <i>F. occidentalis</i> auf <i>O. basilicum</i> in Klimakammern bei unterschiedlichen Tageslichtlängen, mit und ohne <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben .....	111
Abb. 40: Entwicklung der Thripspopulation auf <i>P. crispum</i> -Töpfen im ersten Durchgang .....	112
Abb. 41: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit <i>F. occidentalis</i> befallener Töpfe <i>P. crispum</i> mit <i>A. limonicus</i> und <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle .....	113
Abb. 42: Entwicklung der Thripspopulation auf <i>P. crispum</i> -Töpfen im zweiten Durchgang .....	114

---

Abb. 43: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit <i>F. occidentalis</i> befallener Töpfe <i>P. crispum</i> mit <i>A. limonicus</i> und <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle .....	115
Abb. 44: Entwicklung der Thripspopulation auf <i>P. crispum</i> -Töpfen im dritten Durchgang .....	116
Abb. 45: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit <i>F. occidentalis</i> befallener Töpfe <i>P. crispum</i> mit <i>A. limonicus</i> und <i>N. cucumeris</i> -Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle .....	117
Abb. 46: Anzahl <i>M. pygmaeus</i> auf <i>S. officinalis</i> und <i>B. officinalis</i> bei Zugabe von sterilisierten <i>Ephestia</i> -Eiern als Futter .....	119
Abb. 47: Etablierungszeit von <i>M. pygmaeus</i> auf <i>S. officinalis</i> und <i>B. officinalis</i> bei der Zugabe von sterilisierten Eiern von <i>E. kuehniella</i> als Futter .....	119
Abb. 48: Futtersuchaktivität von <i>M. pygmaeus</i> auf <i>B. officinalis</i> mit und ohne sterilisierten Eiern von <i>Ephestia kuehniella</i> als Futter.....	120
Abb. 49: Aktionsradius von <i>M. pygmaeus</i> im ersten Monat nach der Ausbringung im Gewächshaus mit sterilisierten Eiern von <i>E. kuehniella</i> als Futter .....	121
Abb. 50: Anzahl <i>M. pygmaeus</i> pro Futterpflanze <i>B. officinalis</i> im Kammervergleich mit sterilisierten <i>Ephestia</i> -Eiern oder lebenden Blattläusen als Futter .....	122
Abb. 51: Etablierungszeit von <i>M. pygmaeus</i> auf <i>Salvia officinalis</i> und <i>B. officinalis</i> bei der Zugabe von A) sterilisierten Eiern von <i>E. kuehniella</i> bzw. B) lebenden Blattläusen als Futter .....	123
Abb. 52: Aktionsradius von <i>M. pygmaeus</i> nach der Ausbringung im Gewächshaus mit lebenden Blattläusen als Futter .....	124
Abb. 53: Anzahl <i>M. pygmaeus</i> pro Pflanze in Netzkäfigen im Gewächshaus.....	125
Abb. 54: Anzahl <i>M. pygmaeus</i> pro Pflanze in Netzkäfigen im Gewächshaus.....	126
Abb. 55: Vergleich der Entwicklung der Anzahl adulter (A) und juveniler (B) <i>M. pygmaeus</i> vor und nach Öffnung der Netzkäfige .....	128
Abb. 56 Temperaturverlauf im Gewächshaus des Kräuterbetriebes 'Radicula' über den gesamten Versuchszeitraum vom 22.11.2011 bis 20.06.2012 ..	129
Abb. 57: Schematische Ausbreitung der adulten (A) und juvenilen (B) <i>M. pygmaeus</i> nach Öffnung der Netzkäfige im Gewächshaus .....	130

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zugelassene Insektizide für den ökologischen Anbau von frischen Kräutern unter Glas	9
Tabelle 2: Varianten zur Untersuchung der Kräuterpräferenz der Blattlaus <i>M. persicae</i>	45
Tabelle 3: Boniturschema zur Bestimmung der Stärke eines Blattlausbefalles nach DASSONVILLE ET AL. (2012)	46
Tabelle 4: Verschiedene Temperaturen und Tageslichtlängen während der Oviposition von <i>A. colemani</i> , <i>A. matricariae</i> und <i>E. cerasicola</i> gegen <i>M. persicae</i>	52
Tabelle 5: Unterschiedliche Varianten des Versuches zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Parasitierungsrate des Parasitoiden <i>A. matricariae</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus	55
Tabelle 6: Unterschiedliche Varianten zur Ermittlung des Einflusses von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von <i>C. carnea</i>	56
Tabelle 7: Unterschiedliche Varianten des Versuches zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> im Gewächshaus	58
Tabelle 8: Varianten zur Einsatzmenge von <i>C. carnea</i> gegen <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i> im Gewächshaus des Versuchszentrums Gartenbau Köln-Auweiler (2012) und am Campus Klein-Altendorf (2013)	60
Tabelle 9: Bedingungen zur Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von <i>F. occidentalis</i> an Blattscheiben verschiedener Kräuter im ersten Durchgang	63
Tabelle 10: Bedingungen bei der Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Entwicklung von <i>F. occidentalis</i> an verschiedenen Kräutern	64
Tabelle 11: Aufbau der Versuche zur Evaluierung des Einsatzes der Raubmilben <i>N. cucumeris</i> und <i>A. limonicus</i> gegen <i>F. occidentalis</i> auf <i>P. crispum</i> im Winter	67
Tabelle 12: Einfluss der Temperatur auf Populationswachstum von <i>M. persicae</i> auf <i>P. crispum</i>	76
Tabelle 13 Einfluss der Tageslichtlänge in Stunden auf die Individual- und Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i> an <i>P. crispum</i> und <i>B. oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	78
Tabelle 14: Einfluss der Blattmorphologie von <i>P. crispum</i> auf die Populationsentwicklung von <i>M. persicae</i>	80
Tabelle 15: Anzahl überlebender adulter <i>Aulacorthum solani</i> auf verschiedenen <i>O. basilicum</i> Sorten, sowie Mortalitätsrate und Nachkommenzahl der Blattläuse über einen Zeitraum von fünf Tagen	84
Tabelle 16: Anzahl überlebender adulter <i>A. solani</i> auf <i>O. basilicum</i> ‚Genoveser‘ in Abhängigkeit von den ätherischen Ölen der verschiedenen <i>O. basilicum</i>	

---

Sorten, sowie Mortalitätsrate und Nachkommenzahl der Blattläuse über einen Zeitraum von fünf Tagen	86
Tabelle 17: Parasitierungsrate und Reduktion der Parasitierungsrate von <i>M. persicae</i> , parasitiert bei 10 °C bzw. 20 °C und 3000 lx bzw. Dunkelheit von drei verschiedenen Parasitoiden	88
Tabelle 18: Parasitierungsrate und Reduktion der Parasitierungsrate von <i>M. persicae</i> , parasitiert bei 10 °C bzw. 20 °C und 3000 lx bzw. Dunkelheit von drei verschiedenen Parasitoiden	90
Tabelle 19: Anzahl <i>M. persicae</i> pro Topf <i>P. crispum</i> , 7 und 14 Tage nach Ausbringung von zwei <i>A. matricariae</i> bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus	94
Tabelle 20: Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von <i>C. carnea</i> -Larven in Petrischalen	96
Tabelle 21: Anzahl <i>M. persicae</i> pro Topf mit <i>P. crispum</i> , 7 und 14 Tage nach Ausbringung von <i>C. carnea</i> bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus	98
Tabelle 22: Anzahl <i>M. persicae</i> pro Topf bei verschieden hohen Ausbringmengen des Räubers <i>C. carnea</i> auf <i>P. crispum</i> im Gewächshaus	105
Tabelle 23: Einfluss niedriger Temperaturen und reduzierter Tageslichtlängen auf die Populationsentwicklung verschiedener Schädlinge, sowie auf Parasitierungsaktivität (Parasitoide) bzw. Fraßleistung (Räuber) verschiedener Nützlinge	155



## 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat der Wunsch der Verbraucher nach frischen Kräutern zu einem rasanten Wachstum des Topfkräutermarktes geführt (AMI 2016). Die Produktion erfolgt mittlerweile ganzjährig, unter hohem Produktionsdruck und extremen Anforderungen an die Qualität der Rohware. Eine wichtige Anforderung des Handels ist die Freiheit der Ware von tierischen Schaderregern. Bei einer großen Vielfalt gleichzeitig produzierter Arten mit einer breiten Spannweite unterschiedlich langer Standzeiten stellt die Produktion eine besondere Herausforderung dar. Besonders kurze Standzeiten ermöglichen in der Produktion nur einen sehr begrenzten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, um eine Rückstandsfreiheit der Produkte sicherzustellen. Die Rückstandsproblematik hat in der Topfkräuterproduktion in den letzten Jahren zu einem starken Anstieg ökologisch produzierter Topfkräuter gesorgt. Sowohl in der ökologischen wie auch in der konventionellen Produktion ist der biologische Pflanzenschutz daher als Verfahren sehr wichtig.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“ (USL) der Landwirtschaftlichen Fakultät an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn wurde in den Jahren 2011 bis 2013 ein Projekt zum Themenschwerpunkt „Biologischer Pflanzenschutz im ökologischen Topfkräuteranbau“ durchgeführt. Im Mittelpunkt stand dabei das Problem, dass im Topfkräuteranbau massive Ertrags- und Qualitätseinbußen durch tierische Schaderreger hervorgerufen werden können. Durch die hohen Qualitätsansprüche des Marktes ist in diesem Gebiet eine Bekämpfung bereits bei geringem Befallsdruck erforderlich. Hierbei muss insbesondere dem biologischen Pflanzenschutz eine zentrale Bedeutung zukommen, um der teilweise sehr kurzen Kulturdauer und dem steigenden Anteil ökologisch produzierter Topfkräuter gerecht zu werden. Während der Nützlingseinsatz im Unter-Glas-Anbau anderer Kulturen ein Standardverfahren darstellt, lassen sich diese Strategien bisher nicht erfolgreich im Topfkräuteranbau umsetzen (KÖHLER & HANKE 2007, 2008).

Ziel dieses Projektes war es wissenschaftliche Grundlagen des Nützlingseinsatzes in wichtigen marktrelevanten Kulturen des Topfkräuteranbaus zu erarbeiten und

Lösungsansätze zur Bekämpfung von Hauptschaderregern zu entwickeln. Hierbei fiel das Augenmerk auf polyphage Aphididae und Thysanoptera, die im geschützten Topfkräuteranbau zu sehr großen Schäden führen. Zur biologischen Bekämpfung wurden anschließend kommerziell erhältliche Prädatoren und Parasitoide als Nützlinge verwendet. Zunächst wurde hierbei die Individual- und Populationsentwicklung der Insekten in Bezug auf Besonderheiten des Topfkräuteranbaus näher untersucht, um darauf aufbauend Praxistests zur Bekämpfung durchzuführen.

## 1.1. Zielsetzung

Zielsetzung des Projektes war die Erarbeitung notwendiger Grundlagen für den Nützlingseinsatz in der Topfkräuterproduktion und die Entwicklung von Lösungsansätzen bei Befall mit tierischen Hauptschaderregern. Für den Topfkräuterbereich liegen bislang keine ausreichenden wissenschaftlichen Grundlagen und praxisnahen Versuche vor, um effektive und effiziente Managementstrategien entwickeln und etablieren zu können. Dies begründet sich vor allem aus den speziellen Produktionsbedingungen der Topfkräuter unter teilweise ungünstigen Klimabedingungen und mit hoher Artenmischung im Gewächshaus, sowie der überwiegend ökologischen Wirtschaftsweise bei der Pflanzenanzucht und dem hohen Anteil aromatischer sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, die in Interaktion mit Nützlingen und Schädlingen treten (ATEYYAT ET AL. 2012, JOHANSEN ET AL. 2011).

Eine besondere Herausforderung der Topfkräuterproduktion stellt die Ganzjahresproduktion dar. Diese bietet Schaderregern günstige Voraussetzungen für eine Etablierung in den Beständen und auf den Produktionsflächen. Sie können häufig die niedrigen Temperaturen im Winter überleben und im Frühjahr frühzeitig mit einem erneuten starken Befall der Pflanzen beginnen. Topfkräuter unterliegen sehr hohen Qualitätsanforderungen und damit einhergehend einer geringen Schaderregertoleranz. Sowohl in der ökologischen wie auch in der integrierten Produktion haben Pflanzenschutzmittel aus zulassungsrechtlichen Gründen wenig Relevanz. Da es sich bei Topfkräutern, besonders ökologisch produzierten Pflanzen, um ein hochpreisiges Produkt handelt, bekommen kostenintensive Verfahren, wie beispielsweise der Nützlingseinsatz eine ökonomisch interessante Bedeutung.

In den letzten Jahren hat sich der Nützlingseinsatz, als Hauptkomponente des biologischen Pflanzenschutzes, in anderen gartenbaulichen Produktionssparten (Zierpflanzen- und Gemüseanbau) intensiv weiterentwickelt (KÖHLER & HANKE 2008). Die Nützlingssysteme wurden kulturspezifisch optimiert und stehen der Praxis zur Verfügung. Um solche Nützlingsmanagementsysteme auch in der Topfkräuterproduktion etablieren zu können wurde das vorliegende Projekt initiiert. Das Ziel des Vorhabens war die Erarbeitung von Kenngrößen zum Nützlingseinsatz und nachgelagerter Validierungen in Modellversuchen und Praxistests. Daraus ergibt sich die Struktur der durchgeführten Arbeiten, die sich aus den unterschiedlichen

Versuchsbedingungen der verschiedenen Projektebenen ergibt. Im Einzelnen wurden Fragen zum Einfluss der abiotischen Produktionsfaktoren Licht und Temperatur sowie zu Fragen des Betriebsmanagements erarbeitet. Zentral stehen die Untersuchung biologischer Grundlagen der Nützlinge und Schädlinge sowie deren Interaktion im Projektvordergrund. Untersuchungen zur Relevanz der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe bildeten einen weiteren Projektschwerpunkt, ebenso wie die Testung neuer kommerzieller Nützlingsprodukte und kulturspezifische Nützlingseinsatzstrategien.

Gegenstand dieser Untersuchungsreihen waren in der Topfkräuterproduktion in Deutschland relevante Blattlaus- und Thripsarten sowie deren Bekämpfung mit kommerziell verfügbaren Prädatoren und Parasitoiden.

Daraus ergaben sich für die Topfkräuterproduktion folgende Fragenstellungen:

- Welchen Einfluss haben niedrige Temperaturen auf den Nützlingseinsatz?
- Welchen Einfluss haben verkürzte Tageslichtlängen auf den Nützlingseinsatz?
- Welchen Einfluss hat die Blattmorphologie auf die Populationsentwicklung von Blattläusen?
- Sind die empfohlenen Ausbringmengen an Nützlingen sinnvoll?
- Wie ist der Einfluss ätherischer Öle auf den Nützlingseinsatz?
- Gelingt es zur Unterstützung bisheriger Nützlinge einen Räuber ganzjährig im Gewächshaus zu etablieren?

Um diese Fragen zu beantworten wurden zunächst die Kenndaten zur Populationsentwicklung der Modellschädlinge *Myzus persicae* Sulzer (Grüne Pfirsichblattlaus) und *Frankliniella occidentalis* Pergande (Kalifornischer Blütenthrips) an *Petroselinum crispum* L. (Petersilie) bei niedrigen Temperaturen und verkürzten Photoperioden in Labortests untersucht, ebenso der Einfluss auf relevante Nützlinge. Anschließend wurden die Ergebnisse in einem größeren Maßstab, in Gewächshäusern unter semirealistischen Bedingungen, verifiziert.

Die benötigten Ausbringmengen räuberischer Nützlinge wurden unter realistischen Versuchsbedingungen in Forschungsgewächshäusern untersucht.

Am System *Aulacorthum solani* Kaltenbach (Grünfleckige Kartoffellaus) auf verschiedenen Sorten von *Ocimum basilicum* L. (Basilikum) mit unterschiedlichem Anteil ätherischer Öle wurde der Einfluss der Öle auf Schädlinge untersucht. Dies geschah zunächst an Blättern der Pflanzen, Folgeversuche mit extrahierten ätherischen Ölen in Biotests vervollständigten die Ergebnisse.

Die Eignung der räuberischen Weichwanze *Macrolophus pygmaeus* Rambur als ganzjährig zu etablierendem Nützling in Topfkräuterbetrieben wurde in Forschungsgewächshäusern und einem Praxisbetrieb überprüft.

## 2. Literatur

### 2.1. Topfkräuteranbau in Deutschland

Der Topfkräuteranbau ist ein in Deutschland rasch an Bedeutung gewinnender Markt. So hat sich der Umsatz auf Erzeugerebene zwischen 2006 und 2015 auf ca. 50 Millionen Euro fast verdoppelt (AMI 2016, Abb. 1). Dies entsprach 2010 einer Menge von 78,6 Millionen verkaufter Topfkräuter (AMI 2011, nach GROOS 2011). Da seit 2010 Kräuter in der Gemüseerhebung des Statistischen Bundesamtes nicht mehr gelistet und nur noch in der Bodennutzungshaupterhebung aufgeführt werden, ist ein Vergleich mit den Vorjahren nur eingeschränkt möglich. Die letzten detaillierten Informationen über den Umfang des Kräuteranbaus in Deutschland stammen aus dem Jahr 2012. Insgesamt wurden 2012 von 600 Betrieben in Deutschland Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen auf einer Fläche von 7.000 ha angebaut (BMELV 2013a, STATISTISCHES BUNDESAMT 2014). Im Bereich der frischen Topf- und Schnittkräuter entfielen dabei 2010 38 % der Erlöse auf Basilikum (*Ocimum basilicum* L.), 21 % auf Petersilie (*Petroselinum crispum* Mill.), 15 % auf Schnittlauch (*Allium schoenoprasum* L.) und die übrigen 26 % auf sonstige Kräuter (AMI 2011, nach GROOS 2011).

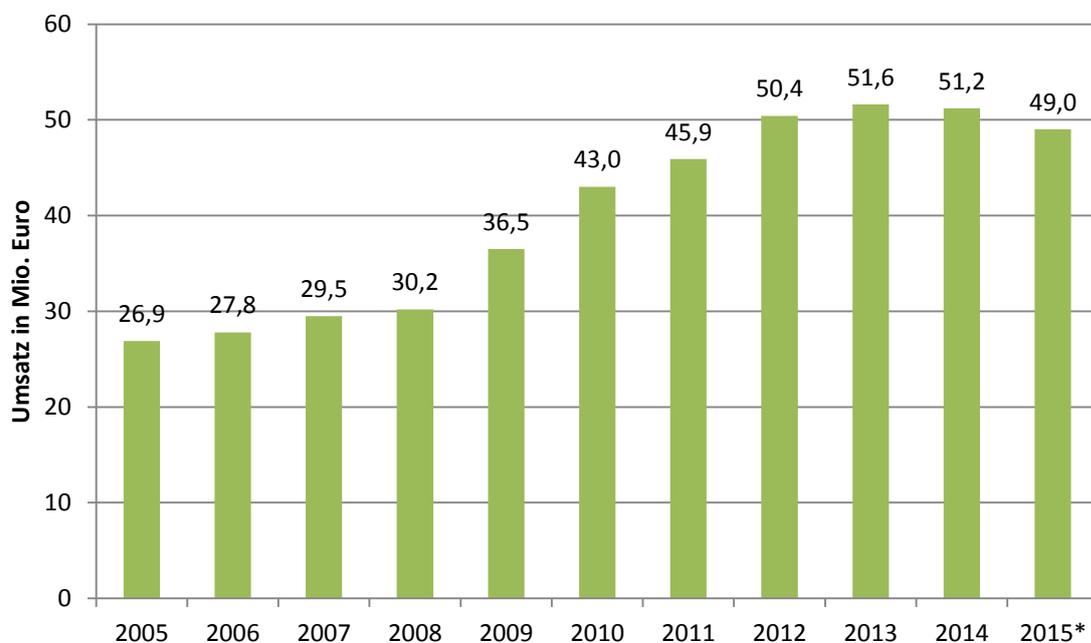


Abb. 1: Umsatz mit Topfkräutern in Deutschland auf Erzeugerebene (nach AMI 2016), \* vorläufig

Ein großer Teil der Topfkräuter wird dabei nach Bio-Richtlinien produziert. Im Jahr 2011 lag der Anteil der Produkte mit dem deutschen Bio-Siegel bei Kräutern und Gewürzen bei 27,7 %, was dem höchsten Anteil aller Warengruppen entsprach (BMELV 2013b).

Neben den verbindlichen Mindestanforderungen an die ökologische Produktion durch die EG-Öko-Basis-Verordnung Nr. 834/2007 die zum Führen des EU-Biosiegels berechtigt, gibt es deutschlandweit neun Anbauverbände mit eigenen, weitergehenden Anforderungen. So waren 2012 neben 10.971 EU-Biobetrieben weitere 12.125 ökologisch wirtschaftende Betriebe in Verbänden organisiert, sodass insgesamt 23.096 Erzeugerbetriebe biologischen Landbau in Deutschland betrieben haben, was einem Anteil von 8 % an der Landwirtschaft insgesamt ausmachte (BÖLW 2013). Im Jahr 2011 waren darunter 247 Kräuter- und Gewürzproduzenten (BMELV 2011).

Dabei ist die Tendenz steigend. Der Marktführer im Topfkräutersektor, die Gartenbauzentrale eG Papenburg, baute bereits 2010 über 40 % des Sortimentes nach Bio-Richtlinien an (GROOS 2011). Eine repräsentative Umfrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) ergab darüber hinaus, dass insbesondere junge Käufer unter 30 Jahren vermehrt zu Bioware greifen. So erklärten 23 % aller Befragten dieser Altersgruppe, häufig Lebensmitteln aus ökologischem Anbau zu kaufen, was einem Plus von 9 % im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Über alle Altersschichten gaben 22 % der Befragten an, häufig bzw. ausschließlich Biolebensmittel zu erwerben (+1 %), 52 % sagten, dass sie zumindest gelegentlich Ökoprodukte beziehen. Weiterhin gilt, dass der Konsum von Bioprodukten mit erhöhtem Einkommen und Bildungsgrad ansteigt. Darüber hinaus zeigte sich ein eindeutiger Trend für die Zukunft, für die die Befragten durchweg angaben mehr Bioprodukte erwerben zu wollen (BMELV 2013b). Nach der Vermeidung von Pflanzenschutzmittelrückständen (52 %) gaben die Konsumenten als zweitwichtigsten Grund zum Kauf von Bioprodukten den Wunsch nach optimaler Frische und Qualität der Produkte an (50 %). Dies zeigt die Notwendigkeit auch im Biobereich ausschließlich höchste Qualitäten zu erzeugen, um am Markt bestehen zu können. Dann können allerdings auch höhere Preise erzielt werden. Bei den meistverkauften Töpfen, Basilikum in der Größe zwischen 11 und 13 cm Durchmesser lag der Preis auf Erzeugerebene im Jahr 2010 für Bioware über 15 %

höher als für konventionelle Ware (AMI 2011, nach GROOS 2011). Die mengenmäßig wichtigsten Biokräuter waren 2012 laut Agrarmarkt Informationen-Gesellschaft mbH (AMI) Kresse (ca. 581 t), Petersilie (577 t) und Basilikum (510 t) (AMI 2013). So wurden in Deutschland im Jahr 2012 ca. 31 Millionen Euro Umsatz mit Biokräutern erzielt, davon etwa 10 Millionen Euro mit *O. basilicum* und 8,2 Millionen Euro mit *P. crispum*.

## 2.2. Produktionsverfahren des ökologischen Topfkräuteranbaus im Vergleich zu einem integrierten Kulturmanagement

Das Ziel der ökologischen Landwirtschaft ist die möglichst nachhaltige Erzeugung qualitativ hochwertiger Lebensmittel. Dabei soll die Umwelt nicht mehr als unbedingt nötig belastet und natürliche Ressourcen geschont werden. Im Unter-Glas-Anbau von Nutzpflanzen stehen hier neben der Nährstoffversorgung mit organischen Düngemitteln insbesondere ein weitgehender Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel und der Verzicht auf gentechnisch veränderten Pflanzen im Vordergrund. Damit kann ein Schutz für Mitarbeiter in den Herstellerbetrieben und eine geringere Belastung der Umwelt sowie des Produktes beim Endverbraucher mit Pflanzenschutzmitteln erreicht werden. Darüber hinaus werden Nichtzielorganismen geschont. Dies birgt allerdings auch besondere Herausforderungen – so sind laut EG-Öko-Basis-Verordnung NR. 834/2007 für den ökologischen Kräuteranbau nur vier verschiedene Wirkstoffe im Einsatz gegen Arthropoden im Gewächshaus zugelassen (Stand 2016). Im Vergleich dazu liegt die Zahl der im konventionellen Anbau mit neun Wirkstoffen mehr als doppelt so hoch (PFLANZENSCHUTZDIENST HAMBURG 2013).

Tabelle 1: Zugelassene Insektizide für den ökologischen Anbau von frischen Kräutern unter Glas

Mittel	Indikation	Wartezeit
Azadirachtin <sup>1</sup>	Saugende Insekten (ausgenommen: Wanzen), beißende Insekten, blattminierende Insekten	14 Tage
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Freifressende Schmetterlingsraupen; ausgenommen: Eulenarten	Keine
Kali-Seife	Saugende Insekten	Keine
Pyrethrin + Rapsöl	Saugende Insekten	7 Tage

Stand: Oktober 2016, <sup>1</sup> außer Schnittlauch, Quelle: BVL 2016

Dennoch wird neben den geringen Pflanzenschutzmittelrückständen eine hohe Qualität von den Konsumenten erwartet (BMELV 2013b). Dies trifft auf Topfkräuter besonders zu, da diese frisch verzehrt werden, sodass jegliche Beeinträchtigung des Produktes vom Konsumenten umgehend bemerkt wird. Dies gilt insbesondere für den Befall mit Schädlingen, die schon bei geringem Befallsdruck zu massiven Ertrags- und Qualitätseinbußen führen können. Auf Grund der bereits beschriebenen

limitierten Möglichkeiten der Nutzung von Insektiziden, wird die Pflanzengesundheit durch vorbeugende Maßnahmen sichergestellt. Dazu gehören die Wahl resistenter und toleranter Sorten, eine auf die Kultur angepasste Klimaführung, die Nutzung von Pflanzenstärkungsmitteln sowie mechanische und physikalische Pflanzenschutzmaßnahmen. Hierbei kommt insbesondere dem Nützlingseinsatz als zentralem Element des biologischen Pflanzenschutzes eine wichtige Rolle zu. Die Strategien dieses im Zierpflanzen- und Gemüseanbau sehr erfolgreich eingesetzten Instrumentes, lassen sich jedoch bislang nicht erfolgreich im Topfkräuteranbau umsetzen. So wird oftmals noch nicht der gewünschte hohe bis sehr hohe Bekämpfungserfolg erreicht, was neben hohen Aufwendungen auch hohe Ertragsausfälle mit sich führen kann, da die Ware nur bedingt verkehrsfähig sein kann.

Der Anbau von Topfkräutern unterscheidet sich von dem vieler anderer Kulturen maßgeblich. Obwohl bekannt ist, dass es zu Schwierigkeiten im Pflanzenschutz kommen kann und sich Standardverfahren des biologischen Pflanzenschutzes, die sich in anderen Kulturen bewährt haben, nicht immer erfolgreich umsetzen lassen gibt es wenig Forschung in diesem Bereich (KÖHLER & HANKE 2007).

Die Produktion von Topfkräutern erfolgt häufig in Spezialbetrieben mit hohem technischem Niveau. Dabei produzieren viele, insbesondere kleine und mittlere Betriebe, eine Vielzahl verschiedener Kräuterkulturen gleichzeitig in einem Gewächshaus (Abb. 2).



Abb. 2: Anbau verschiedener Topfkräuterkulturen im Kräuterbetrieb Radicula, Sinzig

Dieser Kulturmix kann zu verschiedenen Problemen führen. So etablieren sich Schädlinge auf verschiedenen Kräuterarten unterschiedlich, selbst innerhalb einer Schädlingsgattung gibt es unterschiedliche Wirtspflanzenpräferenzen (FRANCIS ET AL. 2000, BAEZ ET AL. 2011). Daraus können sich unterschiedliche Schadausmaße und Bekämpfungserfolge auf den verschiedenen Kulturen sowie mögliche Schädlingsrefugien im Gewächshaus ergeben, von denen eine regelmäßige Neubesiedlung anderer Pflanzen erfolgen kann. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Kulturen zum Teil unterschiedlich hohe Schadschwellen haben, sowie verschieden lange Standzeiten aufweisen (KÖHLER & HANKE 2007, FH WEIHENSTEPHAN 2013). So beträgt die Kulturdauer von *O. basilicum* unter guten Bedingungen nur 25 Tage, wodurch es kaum Etablierungszeit für Nützlinge gibt, so dass ein zu spät festgestellter Schädlingsbefall zu großen Schäden führen kann (FH WEIHENSTEPHAN 2013). Daher sollte eine dauerhafte und präventive Etablierung von Nützlingen im Gewächshaus erfolgen. Dies kann sich durch den satzweisen Abverkauf der Pflanzen als schwierig erweisen, da auf der Pflanze befindliche Nützlinge mit dem Verkauf der Pflanztöpfe ebenfalls das Gewächshaus verlassen (KÖHLER & HANKE 2007).

Eine weitere Herausforderung der Produktion von Topfkräutern liegt in der ganzjährigen Produktionszeit. Aufgrund der hohen Marktnachfrage, ist bei vielen Topfkräutern eine Produktion auch in den Wintermonaten mittlerweile der Normalfall. Im Winter herrschen mit geringeren Temperaturen, kürzeren Photoperioden und geringerer Lichtintensität deutlich andere Kulturbedingungen im Gewächshaus als in den Sommermonaten (ZILAHİ-BALOGH ET AL. 2006). Dies hat sowohl einen großen Einfluss auf verschiedene tierische Schaderreger (VAN STEENIS & EL-KHAWASS 1995, ISHIDA ET AL. 2003, CHAISUEKUL & RILEY 2005, ZAMANI ET AL. 2007), als auch auf die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Nützlinge und deren Leistung (FUJIWARA & NOMURA 1999, PERDIKIS ET AL. 2004, BYEON ET AL. 2011, JOHANSEN ET AL. 2011).

### 2.3. Einfluss niedriger Temperaturen auf Insekten im Gewächshaus

Die Temperatur hat einen sehr großen Einfluss auf die Entwicklung von Insekten. So treten sie auf Grund der Tatsache, dass ihre Körpertemperatur im Gegensatz zu Wirbeltieren fast ausschließlich von der Umgebungstemperatur abhängt und in geringem Maße durch ihr Verhalten beeinflusst werden kann, hauptsächlich saisonal auf (BIRCH 1948). Bei kälteren Temperaturen verringert sich die Stoffwechselaktivität der Insekten, so dass sie weniger Energie verbrauchen und auch längere Kälteperioden überdauern können. *M. persicae* können im Extremfall Temperaturen von bis zu  $-25\text{ °C}$  in Kältestarre überleben, ohne dass ihre Zellen gefrieren (BALE ET AL. 1988). Jedoch ist dieser *supercooling*-Wert eher theoretischer Natur, in der Praxis hat der  $LLT_{50}$ -Wert (*Low Lethal Temperature* bei der 50 % einer Population erfrieren) eine wesentlich größere Bedeutung (HAZELL ET AL. 2010). Dieser liegt bei *M. persicae* zwischen  $-10\text{ °C}$  und  $-17\text{ °C}$ . Dabei ist die genaue Kältetoleranz durch eine Gewöhnung bereits nach einer Generation an niedrigere Temperaturen variabel. Dieser Einfluss ist dabei größer als die geographische Herkunft einer Population (ALFORD ET AL. 2010). Dazu kommt die besondere Kältetoleranz der Wintereier bis über  $-30\text{ °C}$  (O'DOHERTY 1985). Jedoch auch fakultativ als Imago überwinternde Insekten wie *F. occidentalis* können *supercooling*-Werte von  $-25\text{ °C}$  und  $LLT_{50}$ -Werte von  $-10\text{ °C}$  erreichen (BRODSGAARD 1993, TSUMUKI ET AL. 2007). So sind die phytophagen Schädlinge in der Lage einen Winter in gemäßigten Breiten zumindest in geschützten Lagen, etwa in Gewächshäusern zu überdauern. Reproduktion und Entwicklung setzen jedoch erst bei höheren Temperaturen ein, bei *F. occidentalis* bei etwa  $10\text{ °C}$  (KATAYAMA 1997). Auch die Bewegungsgeschwindigkeit und -aktivität der Tiere steigt mit der Temperatur erst langsam an (ALFORD ET AL. 2012).

Im Gewächshaus eingesetzte Nützlinge reagieren ebenso auf niedrige Temperaturen. So erhöht sich die *handling time*, also die Zeitspanne, die sich ein Nützling mit seiner Beute beschäftigt mit sinkender Temperatur, zum Beispiel beim Marienkäfer *Coleomegilla maculata*, einem Räuber von *M. persicae*. Darüber hinaus verlängert sich dessen Verdauungszeit, die Prädationsleistung nimmt also mit sinkender Temperatur ab (SENTIS ET AL. 2013). Auch verschiedene Schlupfwespen

zeigen bei niedrigen Temperaturen geringere Aktivität und fliegen etwa bei 10 °C kaum noch und bewegen sich langsamer (LANGER ET AL. 2004). Da sich die Nützlinge langsamer entwickeln als die Schädlinge kommt es so im Frühjahr zu Komplikationen, wenn diese rascher auf die steigenden Temperaturen reagieren. Hier gilt es genaue Kennzahlen für verschiedene Arten und Optimierungsoptionen für den Nützlingseinsatz zu finden.

## 2.4. Einfluss von Licht auf Insekten im Gewächshaus

Licht übt auf vielfältige Weise einen Einfluss auf Insekten im Gewächshaus aus sowohl direkt als auch indirekt über die Beeinflussung der Pflanzen. Pflanzen benötigen Licht hauptsächlich zur Photosynthese, wobei es von Chlorophyllen und Carotinoiden in den Chloroplasten absorbiert wird. Die aus dem Wellenlängenbereichen 400 nm und 700 nm gewonnene Energie wird für die Assimilation organischer Verbindungen verwendet. Diese dienen anschließend den phytotrophen Insekten als Futter. Neben der Photosynthese sind noch zwei weitere Photosysteme bekannt, mit denen Pflanzen das Umgebungslicht in Abhängigkeit der Wellenlänge mittels Photorezeptoren wahrnehmen (VÄNNINEN ET AL. 2011). Phytochrome Proteine können die das Verhältnis von hellrotem (650 - 680 nm) zu dunkelrotem (710 - 730 nm) Umgebungslicht feststellen. Mit diesem System sind Pflanzen in der Lage Informationen über den Tagesablauf, Jahreszeiten und ihre eigene Position in der Umgebung zu erlangen. Die Proteine Cryptochrome und Phototropine können im cryptocromen Photosystem blaue (390 – 500 nm) und UVA-Strahlung (320 - 390 nm) detektieren und Pflanzenreaktionen darauf auslösen (SULLIVAN & DENG 2003). So steuern sie sowohl das Wachstum aus dem Schatten in Richtung Licht, als auch das Öffnen und Schließen der Stomata, die Reproduktion, Dormanz, Bestäubung und die Keimlingsentwicklung (MATHEWS 2006). Daneben gibt es noch ein weiteres Photosystem, über das UVB-Strahlung (280 – 315 nm) mittels Photorezeptoren wahrgenommen werden kann, dieses ist jedoch noch weitgehend unerforscht (HEIJDE & ULM 2012). Insbesondere zum Schutz vor UVB-Strahlung bildet die Pflanze antioxidative Phenole und Flavonoide, die auch insektizide Wirkungen, etwa gegen Blattläuse, haben (KUHLMANN & MÜLLER 2010). Während in stärker belichteten Pflanzenteilen mehr Zucker und Aminosäuren gebildet werden, steigt dort auch die Konzentration an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen an. Diese wirken häufig abwehrend gegen Insekten (Kapitel 2.5), so dass schattigere Blätter von Herbivoren in der Regel stärker befallen werden (JANSEN & STAMP 1997, IZAGUIRRE ET AL. 2006, MORENO ET AL. 2009).

Neben der Wellenlänge reagieren Pflanzen auch auf die Photoperiode (= Tageslichtlänge), also die Dauer einer hellen Photophase im Vergleich zur dunklen Scotophase. So wurden etwa bei Gurken (*Cucumis sativus* L.) von DANIELSON bereits 1944 erhöhte Mengen an Zucker und Stärke in den stärker beleuchteten Blättern

gemessen. Inwiefern dies jedoch einen Einfluss auf die Interaktion zwischen der Pflanze und phytophagen Insekten hat ist bislang nicht näher untersucht (VÄNNINEN ET AL. 2010). Geringere Lichtmengen, sei es durch geringere Lichtintensität oder kürzere Photophasen verringern nachweislich die Menge an VOCs (**V**olatile **O**rganic **C**ompounds = flüchtige organische Bestandteile), die von Pflanzen gebildet werden (VÄNNINEN ET AL. 2010). Sie dienen Raubmilben, aber auch vielen anderen Insekten, zur Orientierung, die daher durch ein verringertes Lichtangebot gestört wird (TAKABAYASHI ET AL. 1994, GOINGUENÉ & TURLINGS 2002, MAEDA ET AL. 2000).

Neben diesen indirekten Effekten wirkt Licht auch direkt auf die Arthropoden im Gewächshaus. Sie nutzen visuelle Reize um sich zu orientieren, Feinde, Paarungspartner und Futter zu finden sowie zeitliche Abläufe im Tages- und Jahresverlauf zu steuern (JOHANSEN ET AL. 2011). Als Lichtrezeptoren dienen Rezeptorproteine in den Facettenaugen, die Wellenlängen zwischen UV und rotem sowie polarisiertes Licht wahrnehmen können. Sie verfügen über eine hohe räumliche Auflösung, so dass die Insekten Farben, Muster, Formen, Bewegungen und Kontraste wahrnehmen können und bei der Orientierung helfen (STAVENGA 2002). Darüber hinaus dienen Punktaugen (Ocellen) auf der dorsalen Seite des Kopfes den Insekten mit geringer räumlicher Auflösung aber hoher Sensitivität gegenüber UV-Licht insbesondere fliegenden Insekten zur Navigation. Studien haben gezeigt, dass ultraviolettes Licht kritisch für die Flugaktivität und Verbreitung verschiedener Insekten ist, darunter Thripse und Blattläuse (JOHANSEN ET AL. 2011). Dieser Tatsache kommt bei der Möglichkeit weitgehend UV-undurchlässige Bedachungen und Lampen mit anderen Wellenlängenspektren in Gewächshäusern einzusetzen besondere Bedeutung zu. NISHIZAWA ET AL. konnten 2012 einen starken Befallsrückgang von *C. sativus* mit Blattläusen unter UV-undurchlässigen Bedachungsmaterialien feststellen. Blattläuse nutzen, wie viele andere Insekten, neben semiochemischen Reizen auch von Pflanzenoberflächen reflektierte Strahlung zur Wirtspflanzensuche (DÖRUNG & CHITTKA 2007). Dabei ist ihre Vorliebe für die Reflektion von gelben Oberflächen, die einer hohen Stickstoffversorgung eines Blattes entsprechen, im Kontrast zu einem dunklen Boden lange bekannt und wird z.B. bei gelben Fangtafeln im Pflanzenschutz verwendet.

Der Tagesablauf der Insekten wird stark durch das Umgebungslicht gesteuert. So sind etwa Blattläuse, aber auch viele Nützlinge, überwiegend tagaktiv und profitieren

von längeren Photoperioden. So vermehren sich etwa *Aphis gossypii*-Blattläuse bei unterschiedlichen Temperaturen bei 18-stündiger stärker als bei 12-stündiger Beleuchtung (ALDYHIM & KHALIL 1992). Auch *Frankliniella occidentalis* vermehren sich bei längeren Photophasen schneller als unter kürzeren (BRODSGAARD 1994). HE ET AL. (2004) zeigte bei Versuchen an *Acyrtosiphon pisum*-Blattläusen, dass über 95 % der eingesetzten *Aphidius ervi*-Schlupfwespen während der Photophase schlüpften. Die Schlupfwespe *Aphelinus asychis* profitiert ebenfalls von einem höheren Lichtangebot. Untersuchungen zeigten, dass sie sich bei höheren Lichtintensitäten schneller entwickelten und länger lebten (SCHIRMER ET AL. 2008). Einige Insekten, insbesondere Räuber, sind hingegen nachtaktiv, so dass sie bei längeren Scotophasen mehr Schädlinge vertilgen. Die Raubmilbe *Macrolophus pygmaeus* etwa zeigt auf Auberginen (*Solanum melongena* L.) eine höhere Prädationsleistung gegen *M. persicae* bei kürzeren Tageslichtlängen (PERDIKIS ET AL. 1999). Die Beeinflussung des Lichtangebotes in Gewächshäusern, sowohl was Qualität als auch was Quantität angeht, ist heutzutage relativ einfach möglich und wird immer weiter zum Standard. Hier sollte neben der Optimierung für die Pflanzenkulturen, die immer im Vordergrund stehen wird, auch eine Optimierung aus pflanzenschutztechnischer Sicht weiter untersucht werden.

## 2.5. Einfluss ätherischer Öle auf Insekten im Gewächshaus

Topfkräuter werden insbesondere für ihr Aroma in der Küche und ihre wohltuende Wirkung bei verschiedenen Leiden gekauft, die durch hohe Gehalte sekundärer Inhaltsstoffe der Pflanzen bedingt sind. Neben Bitterstoffen (meist Glycoside, Isoprenoide und Alkaloide), Gerbstoffen, Flavonoiden, Antranoiden und Saponinen sind dies insbesondere ätherische Öle (SCHILCHER 2008). Diese Stoffe werden in erster Linie als chemische Schutzstoffe vor Fraßfeinden und Pathogenen gebildet (HARBORNE 1990, BENNETT & WALLSGROVE 1994, TORKEY ET AL. 2009, CHAIB 2010, ATEYYAT ET AL. 2012). Somit haben sie einen teilweise starken Einfluss auf potentielle Schädarthropoden, aber auch auf Nützlinge (CHOI ET AL. 2004, REGNAULT-ROGER 2013).

Als ätherische Öle bezeichnet man organische Stoffe, die von Pflanzen als sekundäre Inhaltsstoffe gebildet werden. Sie kommen häufig in mediterranen Pflanzen vor, in denen sie unter anderem antioxidativ wirken (ISMAN 2000). Diese Kräuter werden auf Grund ihres Aromas in der Küche sehr geschätzt. Ihre antibakteriellen, fungiziden, insektiziden, medizinischen und aromatischen Wirkungen sind schon lange bekannt und wurden teilweise bereits um 1500 v. Chr. im Papyrus Ebers, einem der ältesten erhaltenen medizinischen Schriftstücke des alten Ägypten, beschrieben (BASSOLÉ & JULIANI 2012). Zurzeit sind ca. 3.000 verschiedene ätherische Öle aus über 17.000 aromatischen Pflanzenarten bekannt, von denen etwa 300 kommerziell genutzt werden (TRIPATHI ET AL. 2009). Es handelt sich um eine komplexe Mischung verschiedener flüchtiger Bestandteile: Ester, Ketone, Terpene, Phenole und weiteren aromatischen Verbindungen die durch Wasserdampfdestillation gewonnen werden können und sich durch einen starken Geruch auszeichnen (KRÜGER 2009). Dabei enthalten sie in der Regel zwischen 20 und 60 verschiedene Bestandteile, von denen zwei bis drei in hohen Konzentrationen zwischen 20 % und 70 % vorkommen und weitere nur in Spuren (BAKKALI ET AL. 2008). Ätherische Öle kommen in verschiedensten Pflanzenteilen vor: Samen, Wurzeln, Stängeln, Blättern, Früchten, der Rinde usw., wobei sie dort in Speicherzellen, Epidermiszellen oder Trichomen gespeichert vorliegen (BAKKALI ET AL. 2008). Sie dienen den Pflanzen hauptsächlich als Abwehrstoffe gegen Pilze, Bakterien und Insekten (ZIMMERMANN 2012). Als lipophile Moleküle können sie rasch durch Zellwände und die Cytoplasmamembran gelangen und dort etwa zu einer

Durchlässigkeit verschiedene Schichten von Polysacchariden, Fettsäuren und Phosphorlipiden führen. Ein anschließender Ionenverlust der Zellen kann zu einem verringerten Membranpotential und dadurch zum Versagen von Ionenpumpen führen (BAKKALI ET AL. 2009). Dennoch ist über die genaue insektizide Wirkweise der ätherischen Öle wenig bekannt. Da sowohl eine Kontaktwirkung als auch eine Wirkung über die flüchtige Phase nachgewiesen wurde, kann man davon ausgehen, dass sie über das Respirationssystem aufgenommen werden (ZIMMERMANN 2012).

Auf Arthropoden haben ätherische Öle eine vielfältige Wirkung, sie können abstoßend wirken, fraßhemmend oder auch tödlich sein. Andere stören die Eiablage oder beeinträchtigen das Larvenwachstum – gleichzeitig können sie aber auch als Lockstoffe für potentielle Bestäuber dienen (REGNAULT-ROGER 2009).

Während es viele Untersuchungen zur Wirkung gegen Lagerschädlinge, hauptsächlich Coleopteren und Lepidopteren gibt, ist die Bekämpfung von Gewächshausschädlingen und insbesondere Blattläusen nicht so gut erforscht. Eine Übersicht über die Nutzungsmöglichkeiten verschiedener ätherischer Öle im Pflanzenschutz bietet ZIMMERMANN (2012). HORI (1998, 1999) wies eine abwehrende Wirkung der ätherischen Öle von Rosmarin und Ingwer (*Rosmarinus officinalis* L. und *Zingiber officinalis* Roscoe) gegen *M. persicae* nach. TEIXEIRA ET AL. (2014) zeigte, dass bereits die Verwendung geringer Mengen (1 µL) des ätherischen Öls aus *Mentha spicata* L. eine erhöhte Mortalität und eine verringerte Anzahl abgesetzter Nymphen von *M. persicae* nach sich zog. Bereits 1991 konnten SHAYYA ET AL. eine insektizide Wirkung verschiedener Bestandteile des ätherischen Öls des beliebten Küchenkrauts *O. basilicum* nachweisen.

Eine grundsätzliche insektizide bzw. repellente Wirkung der ätherischen Öle verschiedener Kräuter ist also lange bekannt. Genaue Untersuchungen zu dem Zusammenspiel einzelner Bestandteile der ätherischen Öle sind allerdings bislang nur für wenige Komponenten erfolgt. Auch die Reaktion von Insekten auf Pflanzen mit unterschiedlichen Gehalten an ätherischen Ölen ist bisher nicht ausreichend untersucht. Dies ist insbesondere wichtig, da sich die Zusammensetzung innerhalb verschiedener Arten und sogar Sorten stark unterscheiden kann (KRÜGER 2009), selbst wenn, etwa bei *O. basilicum*, immer die gleichen Hauptbestandteile vorliegen (Abb. 3).

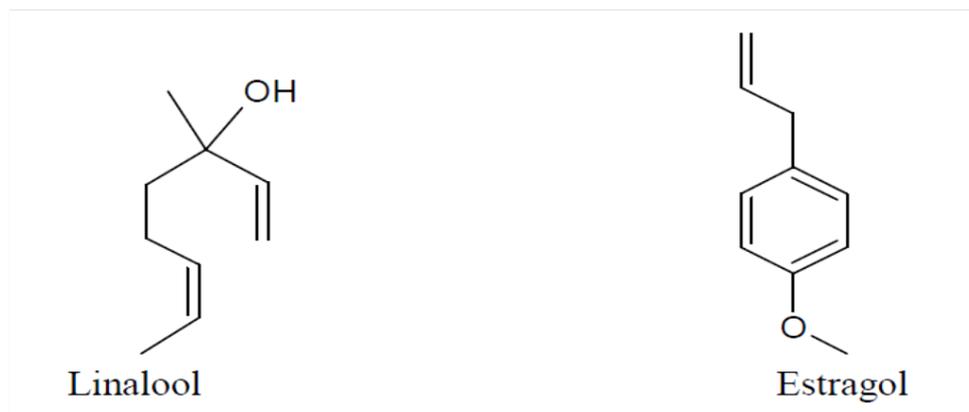


Abb. 3: Linalool und Estragol, vorherrschende Bestandteile im ätherischen Öl von *O. basilicum*-Sorten (KRÜGER 2009)

## 2.6. Insekten als Schädlinge im Topfkräuteranbau

Gewächshäuser bieten gegenüber dem Anbau im Freiland den Vorteil von wärmeren und ausgeglichenen klimatischen Bedingungen. Durch die Nutzung von künstlicher Beleuchtung ist die ganzjährige Pflanzenproduktion autonom von äußeren Einflussfaktoren auf jedem Breitengrad der Erde möglich (HEUVELINK ET AL. 2006, MOE ET AL. 2006). In Kombination mit erhöhten Temperaturen bieten Gewächshäuser damit aber auch den, insbesondere aus wärmeren Gebieten eingeschleppten, Schädlingen – vor allem den ektothermen Arthropoden – ideale Lebensbedingungen (HASSAN ET AL. 1993). Diese können dort in rascher Zeit erhebliche Schäden anrichten. Die räumliche Begrenzung und die vorhersehbaren und geregelten Klimabedingungen schaffen andererseits aber auch gute Bedingungen für den Einsatz von Nützlingen. Als Hauptschaderreger treten insbesondere verschiedene Blattlausarten (Hemiptera: Aphididae), Thripse (insbesondere *Frankliniella occidentalis* Pergande), Gewächshaus-Weiße-Fliegen (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood), Spinnmilben (*Tetranychus urticae* Koch) und Trauermücken (Diptera: Sciaridae), im Topfkräuteranbau insbesondere *Bradysia* spp., auf (HASSAN ET AL. 1993, KÖHLER & HANKE 2007, NEUBAUER 2013).

### 2.6.1. Ausgewählte Schadinsekten im Topfkräuteranbau

Dieses Projekt beschäftigt sich hauptsächlich mit der Entwicklung und Bekämpfung der Blattlausarten *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) und *Myzus persicae* (Sulzer), sowie des Kalifornischen Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* auf *Ocimum basilicum* L. und *Petroselinum crispum* L..

Bei *M. persicae* handelt es sich sowohl um einen weltweit verbreiteten, sehr polyphagen Schädling, als auch um einen der wichtigsten Virusvektoren im Nutzpflanzenanbau, der als Modellorganismus in der Wissenschaft Verwendung findet und dessen genetischer Code Großteils entschlüsselt ist (RAMSEY ET AL. 2007). *A. solani* ist eine ebenfalls sehr polyphage Blattlausart, die häufig im Topfkräuteranbau vorkommt und sich an *O. basilicum* stark vermehrt, so dass sie sich als Modellorganismus für die Arbeiten mit ätherischen Ölen in diesem Projekt anbot. Der Kalifornische Blütenthrips *F. occidentalis* ist ein in Europa erst relativ neu

vorkommender Schädling, der auf Grund seiner geringen Größe und sehr raschen Vermehrung – einhergehend mit schneller Resistenzentwicklung – zu sehr großen Schäden im Anbau unter Glas führt. Darüber hinaus ist auch er ein sehr häufiger Virusvektor, insbesondere für Tospoviren wie dem Tomato Spotted Wilt Virus (TSWV, Tomatenbronzefleckenvirus) (REITZ 2009).

#### **2.6.1.1. Blattläuse**

Die Überfamilie der Blattläuse (Aphidoidea) gehört zur Unterordnung der Sternorrhyncha (Pflanzenläuse) in der Ordnung der Hemiptera (Schnabelkerfe). Sie ist in die drei Familien Aphididae (Röhrenläuse), Phylloxeridae (Zwergläuse) und Adelgidae (Tannenläuse) unterteilt (REMAUDIÈRE & REMAUDIÈRE 1997). Die Aphididae stellen hierbei die größte und wirtschaftlich wichtigste Familie mit über 2.000 Arten weltweit dar, ca. 650 davon in Mitteleuropa (HOFFMANN ET AL. 1994). Die kleinen ca. 1,5 - 3,5 mm langen Insekten zeichnen sich durch ein Paar röhrenförmige Anhänge (Siphone) auf dem fünften Abdomensegment aus, durch das sie in der Lage sind eine Mischung aus Hämolymphe und Wachs auszuscheiden (daher der Name Röhrenläuse) (BLACKMAN & EASTOP 2000). Dieses klebrige Sekret dient zur Verteidigung gegen Feinde und enthält Alarmpheromone zur Warnung von Artgenossen im Umkreis mehrerer Zentimeter (NAULT ET AL. 1973). Die Antennen der Imagines sind häufig sehr lang und bestehen in der Regel aus fünf oder sechs Segmenten (BLACKMAN & EASTOP 2000). Die Mundwerkzeuge sind zu einem zweikanaligen, bei Nichtbenutzung unter den Bauch gefalteten, Saugrüssel geformt, mit dem die phytophagen Phloemsauger den Siebröhrensaft aufsaugen und Speichelsekrete absondern können (HASSAN ET AL. 1993). Dabei wird Speichel in die Pflanzenzelle injiziert, so dass Viren sowohl persistent als auch nicht-persistent übertragen werden können – dies stellt in der Regel den Hauptschaden eines Blattlausbefalls dar (KENNEDY ET AL. 1962). Da der Phloemsaft reich an Kohlenhydraten, jedoch arm an essentiellen Aminosäuren und Mineralien ist, müssen die Blattläuse sehr viel davon aufnehmen um ihren Proteinhaushalt zu decken. Die überschüssige, kohlenhydratreiche Flüssigkeit wird über den Anus als sogenannter Honigtau abgegeben und über die *Cauda* genannte Analplatte von der Blattlaus weggeschleudert (HOFFMANN ET AL. 1993). Dieser Honigtau bietet vielen Rußtaupilzen (Capnodiales, Schwärzepilze) ideale Lebensbedingungen, so dass diese die klebrige Schicht besiedeln. Dies kann zu einem hohen Sekundärschaden führen, da die

Pflanzen unansehnlich werden und Photosynthese und Atmung behindert werden (HASSAN ET AL. 1993). Darüber hinaus dient das Sekret einigen Ameisenarten als Nahrung, welche eine symbiotische Beziehung mit den Blattläusen eingehen, diese zu verstärkter Saugtätigkeit anregen, melken und gegen Räuber und Parasitoide verteidigen (HASSAN ET AL. 1993). Dies führt dazu, dass im Gewächshaus eine Bekämpfung von Ameisen unabdingbar ist, um einen funktionierenden Nützlingseinsatz durchzuführen. Einige Blattlausarten bilden Kolonien, so dass starke Saugschäden mit Verkrümmungen, Triebstauchungen, lokalen Seneszenzen und Verfärbungen insbesondere an den Tribspitzen auftreten können (HOFFMANN ET AL. 1994).

Die hemimetabolen r-Strategen Blattläuse sind auf Grund ihres bemerkenswerten Entwicklungszyklus in der Lage sich mit raschem Populationswachstum an neue Bedingungen und Wirtspflanzen anzupassen. Die meisten Blattläuse sind vivi-ovipar, das heißt, dass sie sich in den meisten Generationen lebendgebärend (vivipar) fortpflanzen und eine generative Eiablage (ovipar) nur auf dem Winterwirt stattfindet. Die Fortpflanzung ist dann in der Regel eine thelytoke Parthenogenese, bei der aus den unbefruchteten Eiern einer adulten Blattlaus ausschließlich Weibchen geboren werden (HOFFMANN ET AL. 1994). In Kombination dieser beiden Faktoren kommt es zu einer sehr schnellen Populationsentwicklung sowie Wirtspflanzenbesiedlung, zumal sich auf Grund der asexuellen Vermehrung die Entwicklung der F2-Generation bereits vor dem Absetzen der F1-Generation durch die Mutter beginnt (BLACKMAN & EASTOP 2000). Die Tiere leben etwa 30 Tage und gebären dabei in der Regel zwischen 75 und mehreren 100 Nachkommen. Zur Migration auf weitere Wirtspflanzen werden neben den ungeflügelten (apteren) auch geflügelte (alate) Klone gebildet. Dies geschieht auf Grund von Überbevölkerung einer Population, einem qualitativ schlechten Nahrungsangebot sowie abiotischen Faktoren wie abnehmender Tageslänge und sinkenden Temperaturen, auf die die Blattläuse mit Änderungen in der Genexprimierung reagieren (BRAENDLE ET AL. 2006). Dies sorgt für eine rasche und weitreichende Vermehrung der Blattläuse.

Man unterscheidet im Entwicklungszyklus von Blattläusen zwischen Holozyklus und Anholozyklus (Abb. 4). Der Anholozyklus bezeichnet die oben beschriebene parthenogene Fortpflanzung und ist nur bei sehr wenigen Arten in wärmeren Klimaten obligat. Eine erfolgreiche ganzjährige Anholozyklie kann die Entwicklung

der Frühjahrspopulation der Blattläuse sowie die Epidemiologie einiger Viren entscheidend vorantreiben (HOFFMANN ET AL. 1994).

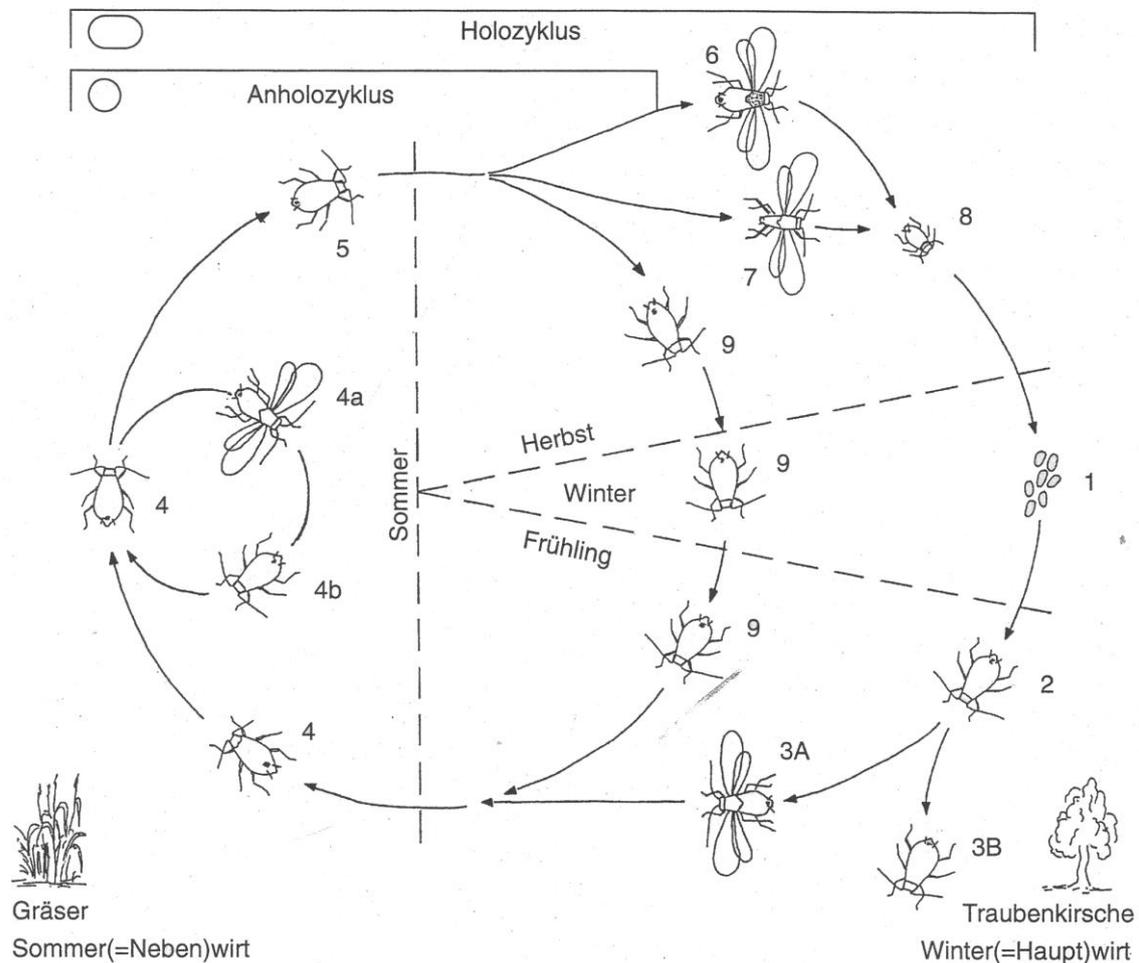


Abb. 4: Entwicklungszyklus der Blattläuse am Beispiel von *Rhopalosiphum padi* (Traubenkirschenlaus) (aus HOFFMANN ET AL. 1994)

In Mitteleuropa sind anholozyklische Blattlausarten jedoch sehr selten und der Holozyklus kann als Normfall betrachtet werden. Dabei reagieren die Blattläuse im Herbst auf kürzere Photoperioden und sinkende Temperaturen mit der Produktion von Sexuparae, die Männchen und Gynoparae (Weibchenmütter) hervorbringen (LAMB & POINTING 1972, BLACKMAN & EASTOP 2000). Diese sind bei wirtspflanzenwechselnden Arten geflügelt und fliegen zum Winterwirt (= Hauptwirt). Dort gebären die Gynoparae die apteren Oviparae, die nach der Begattung durch die Männchen Eier ablegen. Aus diesen sehr frostresistenten Wintereiern schlüpfen im Frühjahr die sogenannten Fundatrizes (Stammütter), die als unbegattete Weibchen wiederum vivipar weitere aptere Generationen produzieren. Auf Grund von

Überbevölkerung und Nahrungsknappheit werden nach einer gewissen Zeit alate Migrantes gebildet, die auf den Sommerwirt wechseln und dort wieder einen Anholozyklus starten (Abb. 4).

Die alaten Blattläuse stellen während der gesamten Vegetationsperiode eine neuerliche Inokulationsquelle dar, da sie mit Hilfe von Luftströmungen auch über weite Strecken verdriftet werden können und eine Abdichtung von Gewächshäusern mit dichter Gaze in der Regel zu teuer ist (HASSAN ET AL. 1993). Insbesondere die Temperatur ist ein entscheidender Faktor für die Vermehrung und Verbreitung von Blattläusen. Niederschläge und zu große Trockenheit sind negative Faktoren, so dass sie in Gewächshäusern eine ideale Umgebung zur Entwicklung vorfinden (HOFFMANN ET AL. 1994).

Auf Grund der teilweise extrem kurzen Generationszeit von bis zu weniger als fünf Tagen sowie des komplexen Entwicklungszyklus haben sich bei Blattläusen viele Resistenzen gegen unterschiedliche Insektizidklassen gebildet (LI 1995, DEVONSHIRE ET AL. 1998, SILVA ET AL. 2012). Daher spielen Nützlinge eine entscheidende Bedeutung bei ihrer Bekämpfung. Dazu gehören Prädatoren wie die Larven bestimmter Gallmücken- und Florfliegenarten, polyphage Räuber wie bestimmte Weichwanzen und verschiedene parasitoide Schlupfwespenarten.

### ***Myzus persicae***

Die Grüne Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) stammt ursprünglich aus Asien, ist inzwischen allerdings weltweit verbreitet (BLACKMAN & EASTOP 2000). Die adulten Tiere sind meist grünlichgelb und zwischen 1,2 und 2,1 mm lang. Alate zeigen dorsal einen schwarzen Fleck auf dem Abdomen. Ihr primärer Hauptwirt ist der Pfirsich (*Prunus persicae* L.), als Sommerwirt dienen der extrem polyphagen Blattlaus ca. 400 krautige Pflanzen aus mehr als 40 verschiedenen Familien (BLACKMAN & EASTOP 2000). Sie entwickelt sich bei Temperaturen zwischen 5 °C und bis zu 30 °C mit einem Optimum zwischen 15 °C und 17 °C, so dass bereits früh im Jahr ein starkes invasives Potential vorliegt. Im Sommer bei Temperaturen über 30 °C legt sie, wie viele andere Blattläuse auch, eine Art Sommerruhe ein (BARLOW 1963, WHALON & SMILOWITZ 1979, SATAR ET AL. 2008). Nach ihrer kurzen Entwicklungszeit von 7 bis 14 Tagen können *M. persicae* eine Vermehrungsrate von 3 bis 6 Nymphen pro Weibchen und Tag aufweisen, so dass

eine Vermehrung um den Faktor 12 pro Woche möglich ist (ALBERT ET AL. 2010). Sie bilden keine dichten Kolonien, es entsteht vor allem indirekter Schaden durch Virusübertragung. *M. persicae* ist der wichtigste Virusvektor aller Blattläuse und kann über 100 verschiedene Pflanzenviren übertragen (KENNEDY ET AL. 1962). Eine biologische Bekämpfung von *M. persicae* ist auf Grund vielfältiger Insektizidresistenzen unabdingbar. Bis 2008 sind Resistenzen gegen 86 verschiedene insektizide Stoffe aufgetreten, die drittgrößte Anzahl unter allen Insekten (WHALON ET AL. 2008).

### ***Aulacorthum solani***

Die Grünfleckige Kartoffellaus *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) (Hemiptera: Aphididae) ist ursprünglich in Europa heimisch, inzwischen aber weltweit verbreitet (BLACKMAN & EASTOP 2000). Die gelbgrünen bis bräunlichen Tiere sind etwa 1,8 bis 3,0 mm lang und zeichnen sich durch auffällige grüne bis rostbraune Flecken an der Basis der langen Siphone aus. *A. solani* gehört zu den Blattlausarten mit den meisten Wirtspflanzen. Die extrem polyphagen Tiere befallen Pflanzen aus über 80 verschiedenen Familien, sowohl Dikotyle als auch Monokotyle. Als Hauptwirt dienen verschiedene Pflanzen, darunter häufig Fingerhutarten (*Digitalis* spp. L.). In Gewächshäusern im Bundesstaat New York in den USA bilden sie inzwischen nach *M. persicae* die am zweithäufigsten vorkommende Art (JANDRICIC ET AL. 2010). Sie entwickeln sich bei Temperaturen zwischen 5 °C und 30 °C und zeigen die maximale Entwicklungsgeschwindigkeit bei ca. 25 °C. Dabei beträgt die Generationszeit weniger als 7 Tage. Anschließend legen sie zwischen 40 und 70 Nymphen pro Weibchen im Laufe ihres Lebens ab (JANDRICIC ET AL. 2010). Auch *A. solani* fungiert häufig als Virusvektor, so ist eine Übertragung von über 40 persistenten und nicht-persistenten Pflanzenviren bekannt (BLACKMAN & EASTOP 2000).

### **2.6.1.2. Thripse**

Die Ordnung der Fransenflügler oder auch Blasenfüße (Insecta: Thysanoptera) besteht aus insgesamt über 5.000 Arten. Sie unterteilt sich in die zwei Unterordnungen Terebrantia und Tubulifera mit insgesamt sechs Familien. Von diesen schädigen nur Arten der Familien der Thripidae und eine Art aus der Familie der Phlaeothripidae Pflanzen die im geschützten Anbau angezogen werden. Dazu

gehören der Kalifornische Blütenthrips *F. occidentalis*, der Tabak- oder Zwiebelthrips *Thrips tabaci* (Lindeman) und der Melonenthrips *Thrips palmi* (Karny) (TOMMASINI & MAINI 1995). Nicht alle Thripse ernähren sich phytophag, viele Arten leben von Pilzen oder räuberisch. Ihren deutschen Namen verdanken die schlanken und mit 1 bis 2 mm Länge sehr kleinen Insekten den langen Haarfransen an ihren Flügelrändern. Damit lassen sich die schlechten Flieger vom Wind über sehr weite Strecken verbreiten. Ihre Fortpflanzung verläuft bei vielen Arten zumindest zeitweise parthenogen (MOUND & TEULON 1995). Aus den gelblichen Eiern, die bei den Terebrentia mittels Ovipositor in pflanzliches Gewebe eingesetzt werden, schlüpfen durchscheinende Larven, die sich in vier bis fünf Larvenstadium zu in der Regel alaten Imagines entwickeln. Auf zwei Larvenstadien, die Nahrung aufnehmen folgen meist zwei Stadien, in denen sich die Tiere kaum bewegen und keinerlei Nahrung aufnehmen. Obwohl es sich biologisch um hemimetabole Insekten handelt, werden diese Stadien Präpuppe und Puppe genannt, sie leben zumeist auf dem oder im Boden (HASSAN ET AL. 1993). Thripse überwintern meist als Imago (HOFFMANN ET AL. 1994). Ihre Mundwerkzeuge sind asymmetrisch, die rechte Mandibel ist stark zurückgebildet, die Linke hingegen zu einer Stechborste geformt. Mit diesem Werkzeug sind sie in der Lage die Zellwände einzelner Zellen oder Pollen zu durchstoßen und diese auszusaugen. In pflanzlichen Zellen dringt anschließend Luft ein, so dass diese silbrig glänzen (KIRK 1995).

Ebenso wie die Blattläuse sind auch die Thripse mittels Parthenogenese in der Lage innerhalb sehr kurzer Zeit gigantische Populationen aufzubauen. Auf Grund ihres sehr kleinen Körpers können sie leicht in Gewächshäuser eindringen und sind dort zunächst schwer nachzuweisen. Sie finden bei den erhöhten Temperaturen ideale Lebensbedingungen vor. Phytopathogene Thripse übertragen häufig Pflanzenviren wie das TSWV, die zu hohen sekundären Schäden im Bestand führen können (HASSAN ET AL. 1993).

### ***Frankliniella occidentalis***

Der Kalifornische Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) wurde 1983 nach Europa eingeschleppt und 1985 zum ersten Mal in Deutschland entdeckt (TOMMASINI & MAINI 1995). Seitdem hat er sich zu einem der gefürchtetsten Schädlinge in Gewächshäusern weltweit entwickelt. Die braun-gelben

adulten Weibchen sind 1,3 bis 1,4 mm lang, die helleren Männchen mit 0,9 bis 1,1 mm etwas kleiner. Sie zeichnen sich durch ein sehr polyphages Verhalten aus. *F. occidentalis* kommen auf über 250 Kulturpflanzen aus über 60 Pflanzenfamilien sowie auf vielen Wildpflanzen vor (REITZ ET AL. 2009). Sie benötigen eine Mindesttemperatur von ca. 10 °C zur vollständigen Entwicklung während die Optimaltemperatur bei ca. 30 °C liegt (KATAYAMA 1997). Höhere Temperaturen führen jedoch zum Absterben der Larven (MCDONALD ET AL. 1998). Ein einzelnes Weibchen ist in der Lage bis zu 300 Eier im Laufe ihres Lebens abzulegen, die sich bei 30 °C in nur 12 Tagen erneut zu Imagines entwickeln können (TOMMASINI & MAINI 1995, MCDONALD ET AL. 1998).

Der Lebenszyklus von *F. occidentalis* entspricht dem klassischen Thysanoptera-Muster, so folgen auf ein Eistadium zwei mobile und darauf zwei immobile Larvenstadien die ohne Nahrungsaufnahme in 1,5 – 2 cm Tiefe im Boden leben und nur sehr schwer bekämpft werden können (REITZ ET AL. 2009). Auf den Wirtspflanzen befällt *F. occidentalis* bevorzugt die Blüten und führt durch seine Saugtätigkeit zur Verkrüppelung der Früchte (SCHOLZ-DÖBELIN 2009). Neben Pollen ernähren sich die Tiere vom Zellsaft, den sie aus angestochenen Pflanzenzellen saugen. Die dabei entstehenden Aufhellungen in Kombination mit dunklen Kottropfen ergeben typische Schadsymptome (HASSAN ET AL. 1993, MEYER ET AL. 2010).

Die hohe Fruchtbarkeit in Kombination mit einem extrem großen Wirtspflanzenspektrum machen *F. occidentalis* zu einer idealen invasiven Spezies (REITZ ET AL. 2009). Seine kleine Größe, lange Lebensdauer und bodenlebenden Stadien sorgen für eine schwierige Bekämpfung, zumal viele Populationen gesteigerte Insektizidresistenzen aufweisen, wodurch eine chemische Bekämpfung kaum möglich ist (JENSEN 2000).

## 2.7. Nützlinge (im Topfkräuteranbau)

Als Nützlinge bezeichnet man allgemein Tiere, die Gegenspieler von Schädlingen darstellen. Sie stellen einen wichtigen Aspekt des biologischen, heutzutage aber auch des integrierten Pflanzenschutzes dar, sowohl im Freiland als insbesondere auch im geschützten Pflanzenanbau (ALBERT ET AL. 2010).

Die ausgeglichenen Klimabedingungen und höheren Temperaturen im Gewächshaus bieten neben den angebauten Pflanzen und ihren Schädlingen auch den meist aus den Tropen und Subtropen importierten Nützlingen äußerst vorteilhafte Lebensbedingungen (ALBERT ET AL. 2010). Der abgeschlossene Raum verhindert darüber hinaus eine Abwanderung der eingesetzten Tiere und begrenzt das Futterangebot auf die Schädlinge im Gewächshaus. Im Gemüseanbau, etwa bei der Produktion von Gurken und Tomaten, ist der Nützlichseinsatz inzwischen Standard. Auch im Zierpflanzenanbau wird er immer weiter integriert (SCHOLZE-DÖBELIN 2009). Im Topfkräuteranbau hingegen zeigen sich trotz der größtenteils gleichen Schädlingsarten Probleme bei der wirksamen Umsetzung (KÖHLER & HANKE 2007).

Seit dem ersten Einsatz von Nützlingen im deutschen Unter-Glas-Anbau Anfang der 1970er Jahre, die sämtlich aus den Niederlanden importiert werden mussten, umfasst die angebotene Palette inzwischen über 70 verschiedene Nützlingsarten von mehr als 15 Firmen (SCHOLZ-DÖBELIN 2009, ALBERT 2010). Gegenüber den chemischen Substanzen bietet der Einsatz von Nützlingen viele Vorteile. So entfällt die Belastung sowohl des Anwenders, als auch der Pflanzen mit chemischen Wirkstoffen. Darüber hinaus muss keine Wartezeit bis zum Inverkehrbringen der Pflanzen beachtet werden. Insbesondere bei multiresistenten Schaderregern profitiert der Anwender davon, dass gegen Nützlinge keine Resistenzen gebildet werden können. Allerdings stehen noch nicht gegen alle Schaderreger auch biologische Bekämpfungsmaßnahmen zur Verfügung. Darüber hinaus erfordert der Einsatz von Nützlingen einen erhöhten Arbeitsaufwand, da zur Nutzung der teilweise hochspezifischen Antagonisten eine genaue Erfassung und Identifikation des Schaderregers notwendig ist. Auch wirkt der Nützlichseinsatz erst zeitversetzt, so dass Nützlinge frühzeitig und in ausreichender Menge ausgebracht werden müssen (Abb. 5). Im integrierten Pflanzenschutz muss auf die nützlichsschonende Verwendung chemischer Pflanzenschutzmittel Rücksicht genommen werden, wenn

diese in Kombination mit einem biologischen Pflanzenschutz angewendet werden sollen.

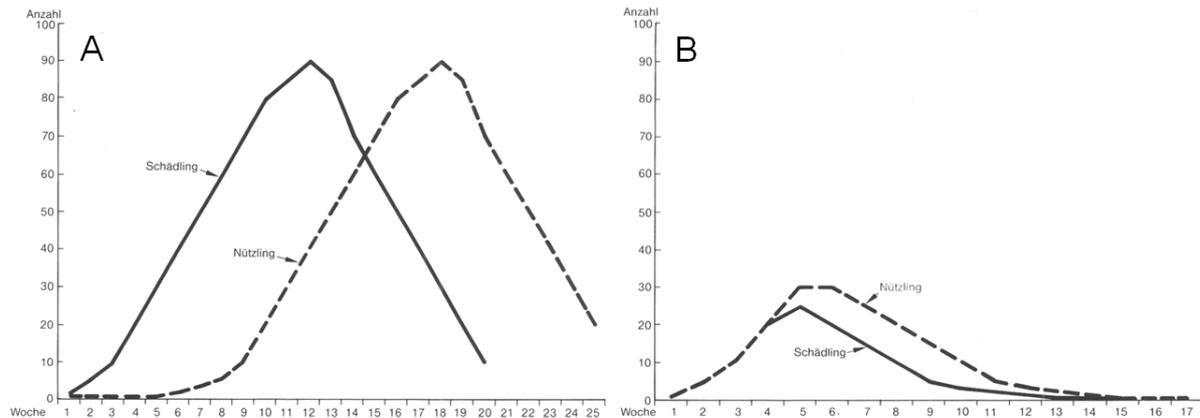


Abb. 5: Rechtzeitiger Nützlingseinsatz ist unerlässlich: A. Verspätetes Auftreten von Nützlingen führt zu ungenügender Schädlingsbekämpfung. B. Frühzeitiger Nützlingseinsatz kann Schädlinge erfolgreich bekämpfen (nach: HASSAN ET AL. 1993)

Man unterscheidet bei Nützlingen zwischen Prädatoren und Parasiten bzw. Parasitoiden. Die räuberisch lebenden Prädatoren benötigen Beuteindividuen für ihre Entwicklung, sie fressen sie oder saugen sie aus. Prädatoren zeigen meist nur eine geringe Wirtsspezifität und vertilgen große Mengen, allerdings ist ihr Suchverhalten begrenzt (SCHOLZ-DÖBELIN 2009). Gegen lokal eingegrenzte Befallsherde und dichteren Befall sind sie in der Regel die schnellere Bekämpfungsmöglichkeit. Eingesetzt werden beispielsweise die Larven der Gemeinen Florfliege *Chrysoperla carnea* (Stephens), die Gallmücke *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani), Raubmilben (Acari) oder Raubwanzen (Reduviidae) sowie einige Weichwanzen (Miridae).

Der Begriff Parasitoid wird in der Regel für Insekten verwendet und bezeichnet Tiere, die in ihrer Larvenzeit parasitisch leben und ihren Wirt mit im Laufe dieses Vorganges, spätestens jedoch bei Erreichen des Adultstadiums, abtöten (EGGLETON & GASTON 1990). Die adulten Tiere ernähren sich in der Regel von Pollen und Honigtau (SCHOLZ-DÖBELIN 2009). Sie stellen damit eine Zwischenstufe zwischen klassischen Parasiten und Prädatoren dar. Die meisten Parasitoide zeichnen sich durch eine hohe Qualität der Wirtsfindung sowie eine hohe Fertilität aus. Im Gegensatz zu den Prädatoren zeigen sie jedoch meist eine sehr hohe Wirtsspezifität, so dass vor ihrer Nutzung eine genaue Identifizierung des zu bekämpfenden

Schädlings unabdingbar ist (HOFFMANN ET AL. 2004). Prädatoren und Parasitoide werden am besten kombiniert eingesetzt um sowohl Befallsherde als auch versteckte sitzende Schädlinge wirksam zu bekämpfen (SCHOLZ-DÖBELIN 2009). Auf Grund der Räuber-Beute-Beziehung muss beim Nützlingseinsatz davon ausgegangen werden, dass eine 100%ige Bekämpfung des Schädlings nicht möglich ist und für einen zufriedenstellenden Bekämpfungserfolg eine frühzeitige Ausbringung der Nützlinge (am besten präventiv) zu erfolgen hat (Abb. 5).

## 2.7.1. Ausgewählte Nützlinge im Topfkräuteranbau

### 2.7.1.1. Prädatoren

#### *Chrysoperla carnea*

Die Gemeine Florfliege *Chrysoperla carnea* (Stephens) stammt aus der Familie der Chrysopidae (Florfliegen) der Ordnung der Neuroptera (Netzflügler). Die genaue taxonomische Zuordnung ist jedoch unklar, so wird zurzeit ein Komplex mehrerer Spezies unter dem Begriff *C. carnea* zusammengefasst (HENRY ET AL. 2001). Die adulten Tiere dieser holometabolen Insekten haben große, netzförmige Flügel, einen länglichen grünen Körper und ernähren sich phytophag von Pollen, Nektar und Honigtau (HOFFMANN ET AL. 1994). Aus den gestielten Eiern schlüpfen nach 4 bis 6 Tagen die Larven, die sich in Abhängigkeit von Temperatur und Nahrungsangebot nach 8 bis 30 Tagen und drei Larvenstadien in einem gesponnenen Kokon verpuppen (BALASUBRAMANI & SWAMIAPPAN 1994, FUJIWARA & NOMURA 1999, NADEEM ET AL. 2012). Als Nützlinge werden nur die bräunlichen, 7 bis 8 mm langen, räuberischen Larven verwendet, die mit 3 Beinpaaren ausgestattet und sehr beweglich sind. Bis zur ihrer Verpuppung fressen diese ca. 200 bis 500 Blattläuse, indem diese sie mit ihren zu Saugzangen umgebildeten Mundorganen fangen, extraintestinal verdauen und aussaugen. Die stärkste Nahrungsaufnahme findet dabei im dritten Larvenstadium statt (ŞENÇONCA & GROOTERHORST 1985). Eine Ausbringung im Gewächshaus erfolgt entweder im Eistadium, meist jedoch im zweiten Larvenstadium damit eine verzögerungsarme Bekämpfung möglich ist (ALBERT ET AL. 2010). *C. carnea* sind hochgradig kannibalistisch, so dass sie von den Produzenten entweder in separierten Wellpappebehältnissen oder auf Hirsespelzen angeboten werden. Sie zeigen trotz der hohen Beweglichkeit nur ein sehr schwach ausgeprägtes Suchverhalten und arbeiten daher nur bei höherer Schädlingsdichte optimal (HOFFMANN ET AL. 1994). Da *C. carnea* die zur vollständigen Entwicklung nötigen Beutemengen im Gewächshaus in der Regel nicht finden, erfolgt auch keine Vermehrung, so dass sich die Tiere nicht im Gewächshaus ansiedeln lassen und wiederholt ausgebracht werden müssen (ALBERT ET AL. 2010). Zu ihrem weiten Beutespektrum zählen neben Blattläusen auch Milben, Insekteneier und die Larven kleiner Insekten, darunter Thripse und Schildläuse (HOFFMANN ET AL. 1994).

***Macrolophus pygmaeus***

Die polyphage Raubwanze *Macrolophus pygmaeus* (Rambur) gehört zur Familie der Miridae (Weichwanzen) der Ordnung der Hemiptera (Schnabelkerfe). Die schlanken Imagines sind 3,3 bis 3,9 mm lang und hellgrün gefärbt. Auffällig sind ihre schwarzen Augen und langen Schreitbeine (HILLERT ET AL. 2002). Ihre Eier legen sie in das Pflanzengewebe der Wirtspflanzen, dabei bevorzugen sie Pflanzen mit dicken Blattadern (KÖHLER & HANKE 2005). Jedes Weibchen legt im Laufe ihres Lebens zwischen 120 und 240 Eiern (SAUTTER & STEPPER 2014b). Aus diesen schlüpfen nach 10 Tagen (bei 20 °C bis 30 °C) bis zwei Monaten (bei 10 °C) die Larven (VAN SCHELT ET AL. 1993, nach HILLERT ET AL. 2002). Sowohl die Imagines, als auch die Larven nutzen ihren ventral gelegenen Saugrüssel um Pflanzensaft, Wasser und auch tierische Nahrung aufzunehmen. Dabei injizieren diese ein Verdauungsekret zur extraintestinalen Verdauung in ihre Beute und saugen sie dann aus (HILLERT ET AL. 2002). Sie verfügen über ein breites Beutespektrum und ernähren sich neben Pflanzensaft und Pollen von Mottenschild- und Blattläusen, Larven von Lepidoptera und Spinnmilben. Thripse werden unter Umständen auch vertilgt, von einem bedeutenden Antagonisten kann jedoch nicht gesprochen werden (PERDIKIS 2000, HILLERT ET AL. 2002, VANDEKERKOVE 2010, JÄCKEL ET AL. 2011). Die Lebensdauer der adulten *M. pygmaeus* sinkt mit steigender Temperatur. Die längste Lebensdauer erreichen sie bei ca. 15 °C. Bei 20 °C leben die Tiere zwischen 51 und 149 Tagen, bei 25 °C sinkt dieser Wert auf etwa 15 bis 58 Tage (HOMMES & TER HORST 2002). Über 30 °C beträgt die Lebensdauer der Imagines nur noch ca. 11 Tage (PERDIKIS & LYKOUSSIS 2003). Eine räuberische Aktivität im Gewächshaus tritt unter Langtagbedingungen zwischen 16°C und 35 °C auf, das Optimum liegt bei etwa 25 °C (HILLERT ET AL. 2002). Die Ausbringempfehlung des Produzenten liegt bei 0,25 (präventiv) bis 5 Tieren \* m<sup>2</sup> (KOPPERT 2014a). *M. pygmaeus* bevorzugen haarige Pflanzen, auf denen sie sich zur Beutesuche und Eiablage besser fortbewegen können als auf Glatten. Eine gewisse Menge dieser haarigen Pflanzen ist daher als Depotpflanzen zur Etablierung der Weichwanzen im Gewächshaus notwendig (KÖHLER & HANKE 2007).

### 2.7.1.2. Raubmilben

Raubmilben gehören zur Kohorte der Gamasina (auch Mesostigmata) aus der Unterklasse der Acari (Milben) (KOEHLER 1999). Sie kommen in der Regel im oder auf dem Boden, sowie auf Pflanzen vor. Sie sind wichtige Prädatoren von Nematoden, Collembola und weiterer Insektenlarven. Ihre Größe reicht von 0,25 bis 1,5 mm, wobei die im Boden lebenden Arten kleiner und heller gefärbt sind. Auf und in der Nähe von Pflanzen lebender Arten werden zum Pflanzenschutz eingesetzt (KOEHLER 1999). Sie gehören zu den ersten der ab Ende 1970er Jahre in Deutschland eingesetzten Nützlingen (ALBERT 2010). Die meisten der heute im Erwerbsanbau genutzten Raubmilben gehören zur Familie der Phytoseiidae. Die bekannteste Raubmilbe ist *Phytoseiulus persimilis* (Athias Henriot), die seit 1979 in Deutschland gegen die Gemeine Spinnmilbe (*Tetranychus urticae*) im Gewächshaus angewendet wird (ALBERT 2010). Die Milben pflanzen sich je nach Art parthenogen oder sexuell vor. Aus den gelegten Eiern schlüpfen in der Regel nach wenigen Tagen die sechsbeinigen Larven (PATTERSON & RAMIREZ 2012). Nach zwei achtbeinigen Nymphenstadien (Proto- und Deutonymphe) entwickeln sie sich zu adulten, geschlechtsreifen Tieren. Die ungeflügelten, fühllosen Raubmilben haben keine Augen, können jedoch Licht wahrnehmen und versuchen es zu vermeiden (KOEHLER 1999). Ihre Beute finden sie durch chemische oder Tastreize (KOEHLER 1999). Sie besitzen stechend-saugende Mundwerkzeuge mit denen sie Speichelsekret in ihre Beute injizieren und es anschließend aussaugen (PATTERSON & RAMIREZ 2012). Ihre Entwicklung ist stark temperaturabhängig und sie benötigen in der Regel eine Luftfeuchte von mindestens 50 %, viele Arten von über 60 % bis 70 % zur Fortpflanzung (KOEHLER 1999). Die meisten Raubmilbenarten sind polyphag, eine Ausnahme bildet etwa *P. persimilis*. Die im Pflanzenschutz verwendeten Arten benötigen in der Regel eine Temperatur von über 16 °C, das Optimum für Bekämpfung und Fortpflanzung liegt bei ca. 25 °C (SCHOLZ-DÖBELIN 2009).

#### ***Neoseiulus cucumeris***

Die Raubmilbe *Neoseiulus* (= *Amblyseius*) *cucumeris* (Oudemans) gehört zur Familie der Phytoseiidae. Die Tiere sind ca. 0,4 mm lang, blassorange und birnenförmig. Die Larven sind etwas kleiner und fast durchsichtig. Sie leben auf Pflanzen und legen ihre Eier an den Blatthaaren ab (SCHOLZ-DÖBELIN 2011). *N. cucumeris* sind

oligophag, zu ihrem Wirtsspektrum gehören neben Thripidae auch Spinnmilben (HOFFMANN ET AL. 1994). Die Diapause, die vor einigen Jahren den Einsatz von *N. cucumeris* unter Kurztagbedingungen schwierig machte (VAN HOUTEN ET AL. 1995a), stellt aktuell kein Problem mehr dar da neuen Stämmen aus Neuseeland eingesetzt werden, die keine Diapause mehr eingehen (VAN HOUTEN ET AL. 1995b, KOPPERT 2014b). Die Raubmilben benötigen Temperaturen ab ca. 18 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von über 50 % um im Gewächshaus aktiv zu sein (SCHOLZ-DÖBELIN 2009, SYNGENTA 2014). Da *N. cucumeris* nur Eier und das erste Larvenstadium von Thrips frisst, muss eine Bekämpfung präventiv erfolgen (SCHOLZ-DÖBELIN 2010). Die Raubmilben werden entweder über dem Bestand ausgestreut oder in Tütchen in die Pflanzen hineingehängt (HOFFMANN ET AL. 1994). Die empfohlenen Aufwandmengen liegen zwischen 50 (präventiv) und 100 (kurativ) Stück \* m<sup>-2</sup>, ausgebracht alle 7 bis 14 Tage (KOPPERT 2014b, SYNGENTA 2014).

#### ***Amblydromalus limonicus***

Die Raubmilbe *Amblydromalus limonicus* (Garman & McGregor) gehört zur Familie der Phytosiidae. *A. limonicus* ist kommerziell erst seit Anfang 2012 erhältlich (KNAPP ET AL. 2013). Sie zeigt gegen *F. occidentalis* eine höhere Prädations- und Ovipositionsleistung als andere Raubmilben, etwa *A. cucumeris*, jedoch eine höhere Anfälligkeit gegenüber Trockenheit (VAN HOUTEN ET AL. 1995a). *A. limonicus* benötigt eine relative Luftfeuchte von mindestens 60 % zur Eiablage (MCMURTRY & SCRIVEN 1965). Die polyphage Raubmilbe ernährt sich von Spinnmilben, Mottenschildläusen und Pollen (KNAPP ET AL. 2013). *A. limonicus* frisst darüber hinaus neben Eiern und L<sub>1</sub>-Larven auch die L<sub>2</sub>-Larven von *F. occidentalis* (KOPPERT 2014c). Eine Reproduktion findet bei Temperaturen ab 13 °C statt (HOGERBRUGGE ET AL. 2011). Der Nützlingsproduzent Koppert empfiehlt Aufwandmengen zwischen 50 (präventiv) und 250 (stark kurativ) Tieren \* m<sup>-2</sup>, bei ein bis fünf Behandlungen im Abstand von je einer Woche, je nach Befallsstärke (KOPPERT 2014c).

### 2.7.1.3. Parasitoide Schlupfwespen

Als Schlupfwespen bezeichnet man primär Tiere aus den Familien der Ichneumonidae (Echte Schlupfwespen), der Aphelinidae und der Braconidae (Brackwespen) die zur Ordnung der Hymenoptera (Hautflügler) gehören. Zur Bekämpfung von Blattläusen werden Arten aus letztgenannten Familien verwendet (SCHOLZ-DÖBELIN 2009). Die Imagines ernähren sich meist von Blütennektar und Honigtau, bei einigen Schlupfwespenarten kommt es darüber hinaus zu einem sogenannten *host feeding*, bei dem sich auch die adulten Tiere teilweise von Blattläusen ernähren und so die Effektivität als Nützling weiter steigern (SUCK ET AL. 2012). Die adulten Weibchen legen mit einem Legestachel ein einzelnes Ei an oder in eine Blattlaus, dabei bevorzugen sie frühe Nymphenstadien (KOUAMÉ & MACKAUER 1991). Im Körper der Blattlaus schlüpft die Larve der Schlupfwespe und beginnt damit sich von deren Gewebe und Körperflüssigkeit zu ernähren bis sie den gesamten Körperinnenraum der Blattlaus ausfüllt (HASSAN ET AL. 1993). Anschließend verpuppt sie sich in oder unter der verbliebenen, verbräunten und aufgeblähten, sogenannten Blattlausmumie (SCHOLZ-DÖBELIN 2009).

Die Entwicklungsgeschwindigkeit ist stark temperaturabhängig, die Entwicklung von der Oviposition bis zum Schlupf der Adulten dauert zwischen 9 (bei 30 °C) und 50 (bei 10 °C) Tagen (ZAMANI ET AL. 2007). Anschließend schneiden die Schlupfwespen ein Loch in die Mumienhülle und schlüpfen hinaus (HASSAN ET AL. 1993).

Blattlausparasiten verfügen über eine hohe Wirtsfindungsleistung (HOFFMANN ET AL. 1994). Um ihre Wirte zu finden reagieren sie auf eine Reihe chemischer und physikalischer Reize. VINSON (1976) unterteilte den Wirtsfindungsvorgang in drei unterschiedliche Phasen: Wirtshabitat-Lokalisierung, Wirtslokalisierung und schließlich Wirtsakzeptanz. Zur Wirtshabitat-Lokalisierung werden in der Regel chemischer Reize in Form flüchtiger Chemikalien von potentiellen Habitatspflanzen (POWELL & ZHANG 1983, PAREJA ET AL. 2007) oder befallenen Pflanzen (VET & DICKE 1992, GUERRIERI ET AL. 1993, DU ET AL. 1996, STOERK ET AL. 2000, LO PINTO ET AL. 2004) verwendet. Flüchtige Stoffe von den Blattläusen selber kommen meist in sehr geringen Konzentrationen vor und werden daher zur Wirtslokalisierung auf der Pflanze verwendet (DU ET AL. 1998, HATANO ET AL. 2008, REHMAN & POWELL 2010). In der direkten Umgebung der Blattläuse suchen die Parasitoiden das Blatt zufällig ab und ertasten ihre Wirte mit ihren Antennen (HOFSVANG & HAGVAR 1986, LI ET AL.

1992). Darüber hinaus können optische Reize den Schlupfwespen dabei helfen ihre Wirte zu finden (MICHAUD & MACKAUER 1994, 1995).

Schlupfwespen weisen häufig eine hohe Spezialisierung auf bestimmte Blattlausarten auf, so dass die richtige Auswahl der Schlupfwespenart ein wichtiges Element eines erfolgreichen Nützlingseinsatzes darstellt (HASSAN ET AL. 1993, SCHOLZE-DÖBLIN 2010).

### ***Aphidius colemani***

Die Schlupfwespe *Aphidius colemani* (Viereck) gehört zur Familie der Braconidae (Brackwespen) der Ordnung der Hymenoptera. Die adulten Tiere sind ca. 2 bis 3 mm lang, sehr schlank, schwarz und ernähren sich von Honigtau und Blütennektar (ALBERT ET AL. 2010). Bei Temperaturen zwischen 15 °C und 20 °C leben die Imagines ca. 7 bis 10 Tage und können in dieser Zeit über 300 Eier ablegen (HASSAN ET AL. 1993, VAN STEENIS ET AL. 1993). Zu ihrem Wirtsspektrum gehören *Aphis gossypii*, *Aphis craccivora*, *Myzus ornatus* und *M. persicae* (BOLVIN ET AL. 2012).

### ***Aphidius matricariae***

Die Schlupfwespe *Aphidius matricariae* (Haliday) gehört zur Familie der Braconidae der Ordnung der Hymenoptera. Die etwa 2 mm langen Imagines ernähren sich von Honigtau (HASSAN ET AL. 1993). Im Laufe ihres ein- bis zweiwöchigen Lebens können sie mehrere hundert Eier legen. Bei 20 °C dauert die Larvenentwicklung von der Eiablage bis zur Bildung der Blattlausmumie ca. 9 Tage, nach weiteren 5 Tagen schlüpfen die adulten Schlupfwespen (HASSAN ET AL. 1993). *A. matricariae* parasitiert *Aphis fabae*, *Aphis gossypii*, *Aphis ruborum*, *Aphis nasturii*, *A. craccivora* und *M. persicae* (BOLVIN ET AL. 2010).

### ***Ephedrus cerasicola***

Die Schlupfwespe *Ephedrus cerasicola* (Starý, 1962) gehört zur Familie der Braconidae der Ordnung der Hymenoptera. Sie hat mit 20 Tagen eine relativ lange Lebensdauer (THIELEMANS ET AL. 2012). In dieser Zeit kann sie bis zu 100 Eier pro Tag ablegen (VIRIDAXIS 2014). Zu ihrem Wirtsspektrum gehören *Aulacorthum circumflex*, *A. solani* und *M. persicae* (THIELEMANS ET AL. 2012). *E. cerasicola* zeichnen sich dadurch aus, dass sich parasitierte Blattläuse vor der Mumifizierung

häufig verstecken und die Mumien auf der Pflanze daher nicht zu sehen sind (THIELEMANS ET AL. 2012). Dies könnte sie im Topfkräuteranbau zu einem wichtigen Nützlich machen, da die optische Reinheit der Pflanzen einen wichtigen Verkaufsaspekt darstellt.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Klemmkäfige zur Blattlausuntersuchung

Zur Beobachtung der Individualentwicklung einzelner Blattläuse an lebenden Pflanzen wurden Klemmkäfige ähnlich denen von NOBLE (1958) verwendet. Diese bestanden aus 35 \* 13 mm großen, transparenten Runddosen aus Polystyrol. In jede Dose wurden vier Löcher mit einem Durchmesser von je 9 mm im rechten Winkel in die Seiten eingebohrt. Anschließend wurde ein 13 mm breiter Gazestreifen rund um die Dose geklebt, um die Löcher luftdurchlässig aber insektendicht zu gestalten. Die offene Seite wurde nun auf einen ca. 10 mm breiten Moosgummiring geklebt. Der Rand des Bodens wurde mittels Skalpell abgetrennt und dort ein, ebenfalls ca. 10 mm breiter, Ring aus Polyurethanschaum aufgeklebt (Abb. 6). Ein Blatt mit darauf befindlicher Blattlaus konnte nun so zwischen die beiden Teile eingespannt werden, dass der Käfig dicht schließt, das Blatt selbst jedoch nicht verletzt wird. Hierbei wurde darauf geachtet, die Blätter so einzuspannen, dass die Blattlaus sich sowohl auf der Blattober- als auch Unterseite frei bewegen konnte. Dieses System erlaubt einen vorsichtigen Wechsel des Käfigs, falls dies durch starke Honigtauverschmutzung nötig wurde. Der Käfig wurde mit einer Klammer aus Aluminium verschlossen und auf der entsprechenden Höhe des Blattes an einem Holzstab befestigt (Abb. 6).

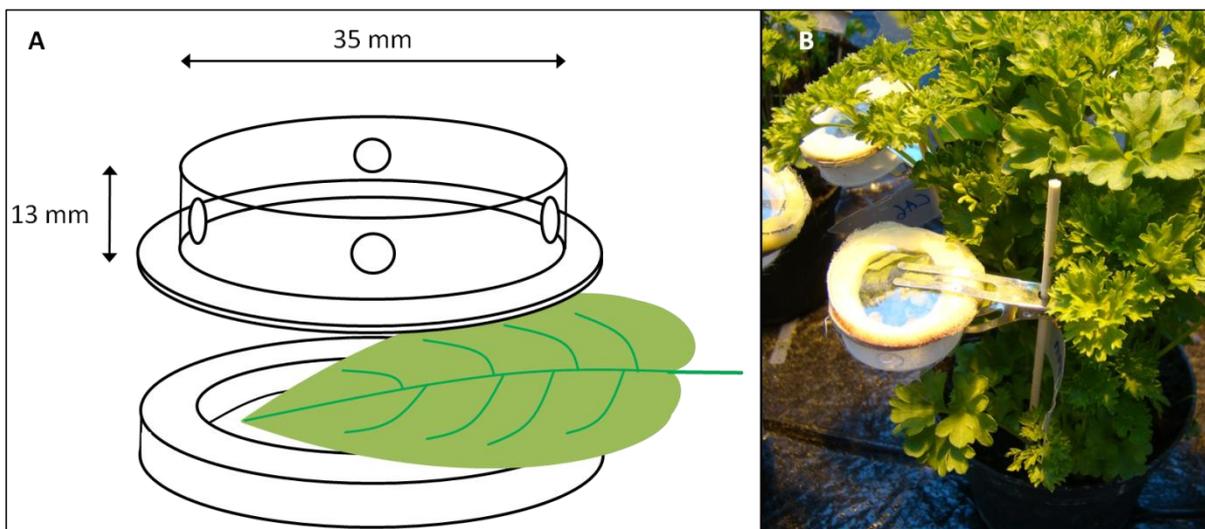


Abb. 6: Aufbau eines Insektenklemmkäfigs. A: Schemazeichnung, B: Anbringung an der Pflanze

Da der umhüllte Raum des Klemmkäfigs relativ gering ist und sich unter der Beleuchtung mit stark wärmeemittierenden Lampen eventuell stark aufheizen könnte,

wurde der Klimaeinfluss der Käfige gemessen. Zur Evaluierung des Einflusses der, durch die mit Gaze überspannten Löcher, reduzierten Belüftung wurde ein kombinierter Temperatur- und Feuchtemesser (TFD-128, EVL Elektronik AG, Leer) in einen Käfig eingespannt. Die über 24 Stunden alle fünf Minuten gemessenen Werte wurden mit denen eines weiteren baugleichen Sensors, der neben dem Käfig auf gleicher Höhe befestigt war, verglichen (Abb. 18).

### 3.2. Blattlausstammzuchten

Die Stammzucht der *Myzus persicae*, die für diese Arbeit verwendet wurden, ist am Lehr- und Forschungsbereich Phytomedizin im Institut für Nutzpflanzen und Ressourcenschutz (INRES) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn angezogen worden. Die Ausgangspopulation wurde von der Bayer CropScience AG aus Monheim am Rhein zur Verfügung gestellt. Die Zuchten wurden in klimaregulierten Zuchträumen bei  $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  und 16 Stunden Beleuchtung pro Tag auf Grünkohl (*Brassica oleracea* var. *Sabellica* L.) der Sorte ‚Lerchenzungen‘ (Kiepenkerl, Bruno Nebelung GmbH) gezüchtet. Die Pflanzen wurden zuvor in Pflanzschalen (ca. 0,6 m \* 0,4 m) im Gewächshaus angezogen und regelmäßig ca. alle sieben Tage erneuert.

Aus Wildsammlungen stammende Exemplare der Art *A. solani* wurden auf Basilikum (*Ocimum basilicum* L.) der Sorte ‚Genoveser‘ (GHG Saaten GmbH, Aschersleben) bei  $23\text{ °C}$  und einer Beleuchtung von 16 Stunden in einer Stammzucht in Klimäräumen des Lehr- und Forschungsbereich Phytomedizin der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn angezogen. Die Wirtspflanzen wurden dafür zuvor im Gewächshaus bis zur vollständigen Ausbildung des ersten Laubblattpaares angezogen und regelmäßig circa alle sieben Tage ausgetauscht.

### 3.3. Erzeugung von Blattlausmaterial einheitlichen Alters

Um für die Versuche gleich alte Blattläuse zu erhalten wurden zuvor junge adulte, ungeflügelte Blattlausweibchen mit einem Pinsel auf ein Petersilienblatt aufgesetzt. Dieses wurde mit einem in Kapitel 3.1 beschriebenen Käfig verschlossen. Nach 24 Stunden bei 22 °C bis 24 °C bei 16-stündiger Beleuchtung wurde die adulte Blattlaus entfernt und die auf der Pflanze zurückbleibenden Nymphen waren zwischen Null und 24 Stunden alt und konnten nun mit einem Haarpinsel auf die entsprechende Versuchspflanze überführt werden. Somit konnte eine vergleichbare Entwicklung der Tiere sichergestellt werden. Hierbei wurden eventuell vorhandene alate Nymphen optisch bestimmt und aussortiert.

### 3.4. Parameter des Populationswachstums von Blattläusen

Zur Bestimmung der Entwicklung der einzelnen Blattlauspopulationen wurden verschiedene Parameter bestimmt. Die intrinsische Wachstumsrate (=  $r_m$ , *intrinsic rate of increase*) gibt die idealisierte, theoretisch mögliche Wachstumsrate einer Population unter spezifischen physikalischen Bedingungen in Nachkommen pro Weibchen und Tag an. Hierbei sind begrenzende Faktoren durch das Wachstum dieser Population (limitierte Ressourcen) sowie weitere äußere Einflussfaktoren (etwa Prädatoren) ausgeschlossen (BIRCH 1948). In der vorliegenden Arbeit wurde die  $r_m$  nach WYATT & WHITE (1977) berechnet:

\_\_\_\_\_

Hierbei entspricht:

$T_d$  = Präreproduktionsdauer in Tagen, die eine Blattlaus unter gegebenen Bedingungen für ihre Entwicklung benötigt, bis sie zum ersten Mal Nachkommen gebiert (WYATT & BROWN 1977). Dieser Faktor ist bedeutend für die Etablierung einer Population sowie ein zeitliches Maß für die Generationsdauer.

$M_d$  = Anzahl der Nymphen, die eine Blattlaus pro Generationsdauer ( $\triangleq T_d$ ) ab dem Tag der Geburt ihrer ersten Nachkommen ablegt.

Die Korrekturkonstante  $c$  liegt für Blattläuse, die in den mittleren Breiten vorkommen bei 0,74 (WHYATT & BROWN 1977).

Nach DELOACH (1974) daraus wurde die Generationszeit ( $D$ ) in Tagen berechnet, also die Zeit die eine Population unter gegebenen Bedingungen benötigt, bis sich die Anzahl ihrer Individuen verdoppelt hat:

—

Tiere, die das Alter  $T_d$  nicht erreichten wurden bei der Berechnung dieses Wertes nicht berücksichtigt. Gleiches gilt für die Berechnung des  $r_m$ -Wertes. Hierbei entfielen darüber hinaus diejenigen Blattläuse, die das entsprechende Alter der Generationszeit ( $\triangleq T_d$ ) nicht erreichten.

### **3.5. Einfluss niedriger Temperaturen auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* an *P. crispum***

Zur Untersuchung des Einflusses niedriger Temperaturen, wie sie im Topfkräuteranbau im Winter an Petersilie vorkommen, auf die Entwicklung der Blattlausart *M. persicae* wurden zwischen Mai und September 2012 Versuche in vier Klimakammern durchgeführt. Diese standen im Lehr- und Forschungsbereich Phytomedizin im Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz (INRES) der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn. Jede Kammer konnte individuell in Temperatur und Belichtungszeit eingestellt werden. In jeden Schrank wurden 10 Töpfe mit *P. crispum* der Sorte ‚Einfache Schnitt‘, mit voll ausgebildetem Laubblatt (BBCH 11) und einer Stiellänge von ca. 5 cm eingesetzt. Die Bewässerung der Pflanzen erfolgte nach Bedarf. Nach dem Aufsetzen einer einzelnen, bis zu 24 Stunden alten, apteren *M. persicae* Nymphe mit einem feinen Haarpinsel wurde diese mit einem Insektenklemmkäfig auf dem Blatt fixiert (Kapitel 3.1). Insgesamt wurden pro Topf drei Käfige aufgesetzt, so dass pro Durchgang und Variante mit  $n = 30$  Blattläusen gearbeitet wurde.

### 3.6. Einfluss der Tageslichtlänge auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* auf *P. crispum*

Zur Untersuchung des Einflusses einer reduzierten Tageslichtlänge, wie sie im Winter im Gewächshaus vorkommt, auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* wurden Versuche in einem Klimaraum an den Außenlaboren Agrar, Geodäsie, Ernährung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Campus Klein-Altendorf (CKA) durchgeführt. Dazu wurde ein ca. 2,5 m \* 3 m großer Klimaraum der Firma Berndt aus Gelsdorf zunächst innen mit einer schwarzen, gering reflektierenden Folie ausgekleidet. Anschließend wurde der Raum mit der Folie in drei Kabinen eingeteilt. Die einzelnen Kabinen hatten eine Grundfläche von 1,2 \* 0,9 m und eine Wandhöhe von ca. 1,3 m. In jede dieser Kabinen wurde eine 400 W Hochdruck-Natriumdampflampe gehängt. Dabei wurde ein extra weiter Schirm gewählt und die Lampen so tief gehängt, dass in den anderen Kabinen auf Pflanzhöhe keine Strahlung einer Lampe aus einer anderen Kabine messbar war (Luxmeter der Firma Jäger Fischer GmbH, Reichelsheim). Die Klimakammer wurde durch die Lampen erhitzt und automatisch über ein Gebläse gekühlt, wenn die Lufttemperatur 22 °C überstieg, so dass die Temperatur  $21 \pm 1$  °C betrug. Die einzelnen Lampen wurden individuell über eine Zeitschaltuhr angesteuert, sodass sich Tageslängen von 6, 11 und 16 Stunden pro Tag simulieren ließen. Die Temperatur war dabei in allen drei Varianten gleich. Unter den Lampen standen zehn Töpfe mit *P. crispum* der Sorte ‚Einfache Schnitt‘. Als Kontrolle zum Einfluss der Wirtspflanze dienten jeweils zehn Töpfe *Brassica oleracea* var. *Sabellica*, der Art auf der die *M. persicae* angezogen wurden. Die Pflanzen befanden sich alle in BBCH-Stadium 11 mit einer Stiellänge von ca. 5 cm (Petersilie). Die Bewässerung erfolgte nach Bedarf. Jede Pflanze wurden mit je einer, wie in Kapitel 3.3 beschrieben alterssynchronisierten Blattlaus besetzt, die jeweils mit einem Insektenklemmkäfig (siehe Kapitel 3.1) fixiert wurden. Der gesamte Versuch wurde dreimal unabhängig voneinander wiederholt, wobei die Tageslichtdauer in den einzelnen Kabinen jeweils durchrotierte, so dass eine Beeinflussung durch die Anordnung der Kabinen im Raum ausgeschlossen werden konnte.

Vier Tage nach Versuchsbeginn wurden die ersten Bonituren durchgeführt, bei denen täglich das Vorhandensein bzw. die Anzahl der neu abgelegten Blattlausnymphen

erfasst wurden. Die Anzahl der abgelegten Nymphen wurde notiert und diese Tiere aus dem Käfig entfernt. Die Versuche wurden jeweils in zweimaliger Wiederholung durchgeführt und galten als beendet, wenn alle eingesetzten Versuchstiere gestorben waren (nach ca. 30 Tagen). Zur Bestimmung des Populationswachstums wurden die entsprechenden Parameter wie in Kapitel 3.4 dargestellt berechnet.

### 3.7. Einfluss der Blattmorphologie von *P. crispum* auf die Populationsentwicklung von *M. persicae*

Zur Untersuchung des Einflusses der Blattmorphologie von *P. crispum* auf die Populationsentwicklung von *M. persicae* wurden Versuche mit Klemmkäfigen (siehe Kapitel 3.1) durchgeführt. Die Anzucht der verwendeten, alterssynchronisierten Blattläuse erfolgte nach dem in Kapitel 3.3 beschriebenen System auf *B. oleracea*. Als Versuchspflanzen dienten die Petersiliensorten ‚Glatte Schnitt‘ und ‚Mooskrause‘ (GHG Saaten), als Kontrollpflanze zur Untersuchung ob äußere Einflüsse die Entwicklung der Blattläuse stören, wurde *B. oleracea* var. *Sabellica* verwendet, auf der die Tiere angezogen worden waren. In dreifacher Wiederholung wurde jeweils ein Klemmkäfig mit einer bis zu 24 Stunden alten Blattlausnympe auf ein Blatt einer von jeweils zehn in BBCH-Stadium 11 befindlichen Pflanzen *O. basilicum* bzw. *P. crispum* aufgebracht. Die Pflanzen standen während ihrer kompletten Entwicklungszeit in einem Gewächshaus des INRES in Bonn-Poppelsdorf. Eine Assimilationsbeleuchtung erfolgte 16 Stunden am Tag über 400 W Hochdruck-Natriumdampflampen und die Temperatur betrug tagsüber 20 °C und in der Nacht 17 °C.

Täglich wurden die Klemmkäfige überprüft und frisch abgesetzte Nymphen gezählt und entfernt. Dabei blieben die Käfige während der ersten Tage wenn möglich verschlossen und eine Inspektion erfolgte rein optisch durch das klare Material um die Gefahr des Verlustes der Versuchstiere zu minimieren. Wenn Nymphen erkannt wurden, wurden erst anschließend die Käfige vorsichtig geöffnet und die Jungtiere mit einem feien Haarpinsel entnommen. Dabei diente eine Schale als Fangschutz für die adulten Blattläuse. Die Bonitur wurde bis zum Tod der letzten, ursprünglich ausgesetzten *M. persicae* durchgeführt.

### 3.8. Wirtskräuterpräferenz von *M. persicae*

Zur Untersuchung des Einflusses von Blattbehaarung und dem Gehalt sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe auf die Wirtspflanzenpräferenz von *Myzus persicae* wurden den Tieren vier verschiedene Pflanzenarten zur Auswahl gestellt. Die Blattläuse wurden zunächst auf *Brassica oleracea* var. *Sabellica* angezogen und anschließend auf die Pflanzen umgesetzt, auf denen sie sich neu etablieren sollten um so eine Neueinschleppung im Gewächshaus zu simulieren. Als Versuchspflanzen wurden *P. crispum*, *O. basilicum*, *Borago officinalis* L. (Borretsch) und *Mentha spicata* L. (Grüne Minze) verwendet. Die Auswahl hierfür erfolgte nach den Kriterien „viele“ bzw. „wenige“ sekundäre Inhaltsstoffe und „hohe“ bzw. „niedrige“ Blattbehaarung. Dabei wurde *P. crispum* als Vertreter mit weniger sekundären Inhaltsstoffen (WIEMER 2009). und einem unbehaarten Blatt, *O. basilicum* mit hohen Gehalten an sekundären Inhaltsstoffen (WOGIATZI ET AL. 2011) und unbehaartem Blatt, *B. officinalis* mit geringem Gehalt sekundärer Inhaltsstoffe (RUSSEL & DUTHIE 2011) und behaartem Blatt sowie *M. spicata* als Vertreter mit hohem Anteil sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe (SOLIMAN & BADEAA 2002) und behaartem Blatt ausgewählt (Tabelle 2).

Tabelle 2: Varianten zur Untersuchung der Kräuterpräferenz der Blattlaus *M. persicae*

Variante	Wirtspflanze	Blattbehaarung	Gehalt sekundärer Inhaltsstoffe
1	<i>Petroselinum crispum</i>	-	gering
2	<i>Ocimum basilicum</i>	-	hoch
3	<i>Borago officinalis</i>	+	gering
4	<i>Mentha spicata</i>	+	hoch

Im Gewächshaus wurden nun von jeder Pflanzenart neun Töpfe um eine zentrale, mit ca. 300 *M. persicae* befallene *B. oleracea*-Pflanze aufgestellt (Abb. 7). Um einen ausreichenden und gleichmäßigen Blattlausbesatz der Kohlpflanze sicherzustellen wurden gleichmäßig befallene Pflanzen aus den Blattlausstammzuchten (siehe Kap. 3.1) verwendet. Die Pflanzen in diesem Versuch wurden dabei so angeordnet, dass sie sich sowohl innerhalb einer Art als auch zwischen den Arten berühren, so dass ein Abwandern der Blattläuse jederzeit möglich war. Zusätzlich wurde jede Pflanze

mittels eines feinen Haarpinsels mit einer einzelnen *M. persicae* belegt. Zur Bonitur des Blattlausbefalls wurden alle Pflanzen einzeln in eine weiße Schale ausgeschüttelt, anschließend optisch inspiziert und die Anzahl aller Blattläuse pro Topf notiert. Anschließend wurden die Blattläuse mit einem Haarpinsel wieder auf ihre entsprechende Ursprungspflanze verbracht. Der Versuch wurde in randomisierter Aufstellung zweimalig mit jeweils dreifacher Wiederholung durchgeführt. Die Bonitur erfolgte nach dem Schema von DASSONVILLE ET AL. (2012) (Tabelle 3).

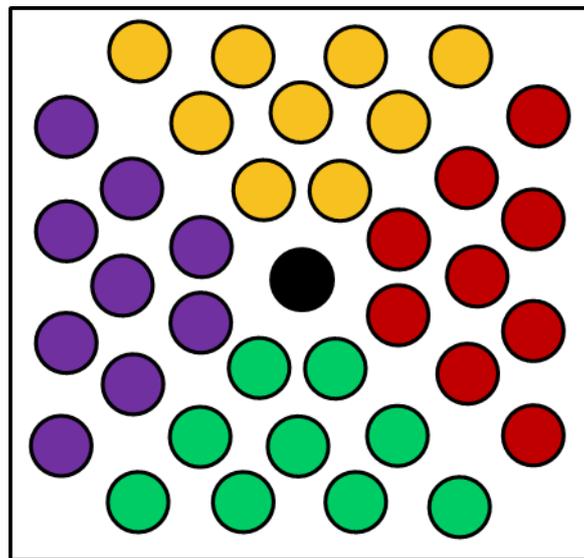


Abb. 7: Aufbau des Versuches zur Wirtspflanzenpräferenz von *M. persicae*. Verschiedenfarbige Kreise stellen Töpfe mit unterschiedlichen Kräuterarten dar, in der Mitte befindet sich als Befallsausgang ein mit ca. 300 *M. persicae* befallener Topf mit *B. oleracea*

Tabelle 3: Boniturschema zur Bestimmung der Stärke eines Blattlausbefalles nach DASSONVILLE ET AL. (2012)

Boniturklasse	Stärke des Blattlausbefalles
0	Kein Blattlausbefall
1	1-4 Blattläuse pro Pflanze
2	5-10 Blattläuse pro Pflanze
3	>10 Blattläuse pro Pflanze / Herdbefall

In den Grafiken wird folgendes Farbeschema verwendet:

■ 0 Blattläuse ■ 1 bis 4 Blattläuse ■ 5 bis 10 Blattläuse ■ Blattlauskolonie

### 3.9. Einfluss verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von *A. solani*

Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Basilikumsorten auf die Anzahl der abgelegten Nachkommen und die Überlebensrate von *A. solani* wurden Blätter verschiedener Basilikumsorten als Futter angeboten. Petrischalen mit einem Durchmesser von 55 mm und einer Höhe von 15 mm, die 5 mm hoch mit Agar (1,8 g auf 100 ml Wasser) gefüllt worden waren dienten als Käfig für die Blattläuse und schützten die Blätter vor Wassermangel und Welke. Da die Blattgröße der verwendeten Basilikumsorten stark unterschiedlich war, wurden jeweils so viele Blätter aufgelegt, dass die Blattfläche in allen Varianten etwa gleich groß war und die Oberfläche des Agars ausfüllte. Anschließend wurden pro Petrischale jeweils drei aptere Imagines von *A. solani* auf die Blätter aufgesetzt. Die Tiere wurden der Stammzucht aus Kapitel 3.1 entnommen. Als Wirtspflanzen wurde *O. basilicum* der Sorten 'Ajaka', 'Dark Lady', 'Feronia', 'Lhasa', 'Wild Magic' und 'Wild Red' aus dem Sortiment Elfenkräuter der Firma Herbalea GmbH (Grolsheim) angeboten (Abb. 8). Die mit Blättern und Blattläusen besetzten Petrischalen wurden in einem Klimaschrank bei einer Temperatur von  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  und einem Tag-/Nachtwechsel von 12 Stunden gelagert. Die Bonitur erfolgte täglich über einen Zeitraum von fünf Tagen. Dabei wurden die Nymphen gezählt und abgesammelt, die adulten Blattläuse verblieben im Käfig. Die Überlebensdauer der Adulten wurde erfasst. Jede der sechs verwendeten Sorten wurde in fünffacher Wiederholung angesetzt.



Abb. 8: Verwendete Sorten der Art *O. basilicum* aus dem Sortiment Elfenkräuter

Fotos: © 2011, Herbalea GmbH

### **3.10. Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von *A. solani***

Zur Untersuchung des Einflusses ätherischer Öle auf die Anzahl der abgelegten Nachkommen und die Überlebensrate von *A. solani* wurden Versuche nach der Methodik von ISIK & GÖRÜR (2009) durchgeführt.

Petrischalen mit einem Durchmesser von 55 mm und einer Höhe von 15 mm wurden zunächst etwa 5 mm hoch mit Agar (1,8 g auf 100 ml Wasser) gefüllt. Nach dem Erkalten wurde die Agarscheibe angehoben und ätherisches Öl mit Hilfe einer Eppendorf Pipette darunter getropft. Die ätherischen Öle wurden jeweils in den Dosierungen 1 µl und 2 µl appliziert. Anschließend wurde das Agar wieder über das ätherische Öl gelegt. Auf die Agarscheibe wurde nun eine Blattscheibe aufgelegt, die später den Blattläusen als Nahrungsquelle dienen sollte (Abb. 10). Im Versuchsverlauf konnte das ätherische Öl durch den Agar hindurch diffundieren, so dass die gesamte Petrischale mit Öldämpfen gefüllt war. Der beschriebene Versuchsaufbau wurde gewählt, um eine phytotoxische Schädigung der Blätter durch direkten Kontakt mit den ätherischen Ölen zu vermeiden. Als Versuchspflanze wurde je ein Blatt *O. basilicum* der Sorte ‚Genoveser‘ pro Petrischale verwendet, da die *A. solani* auf dieser Pflanze angezogen wurden und sie eine enge Verwandte der anderen verwendeten Basilikumsorten darstellt. Bei diesen handelt es sich um *O. basilicum* Neuzüchtungen aus dem Sortiment Elfenkräuter der Firma Herbalea GmbH (Grolsheim). Für die Versuche wurden die Sorten ‚Ajaka‘, ‚Dark Lady‘, ‚Feronia‘, ‚Lhasa‘ und ‚Wild Magic‘ verwendet (Abb. 8). Von der Sorte ‚Wild Red‘ stand nicht genug Blattmaterial zur Extraktion ausreichender Mengen ätherischen Öls zur Verfügung, so dass mit dieser Sorte nicht gearbeitet werden konnte. Die Pflanzen wurden am CKA in Rheinbach im Gewächshaus angezogen und die ätherischen Öle wurden von der Firma IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH in Nuthetal extrahiert. Die Sorten unterschieden sich hierbei gravierend in der Zusammensetzung der ätherischen Öle (Abb. 9).

Innerhalb des in Deutschland gängigen Sortenspektrums an *O. basilicum* kommen zwei unterschiedliche Chemotypen vor. Der mittelländische Typ zeichnet sich dadurch aus, dass er als Hauptkomponente des ätherischen Öls Linalool enthält. Dazu gehören von den untersuchten Sorten ‚Ajaka‘, ‚Dark Lady‘ und ‚Wild Magic‘. Die

Sorten ‚Lhasa‘ und ‚Feronia‘ gehören zum stark von Estragol dominierten Typ Reunion (Abb. 9). Von der Sorte ‚Wild Red‘ ließ sich nicht genügend Ausgangsmaterial sammeln um die Zusammensetzung des ätherischen Öles untersuchen zu können.

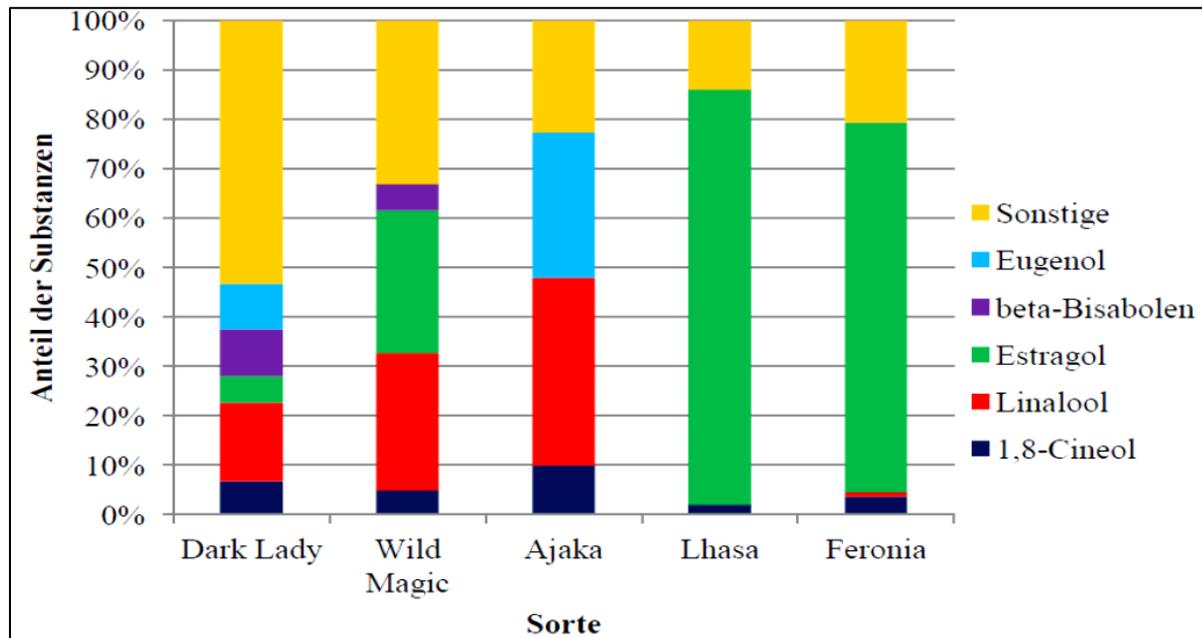


Abb. 9: Zusammensetzung des ätherischen Öles der verschiedenen Sorten von *O. basilicum* (nach PREUSS 2013)

Auf die Blattscheiben wurden pro Petrischale drei weibliche, aptere Blattlausimagines mit einem feinen Haarpinsel aufgesetzt. Jede Versuchsvariante wurde jeweils mit 5 Petrischalen wiederholt. Die Petrischalen wurden verschlossen. Jeweils eine Versuchsvariante wurde zusammen in einen Gefrierbeutel mit Druckverschluss verpackt, um zu verhindern, dass sich Öldämpfe verschiedener Varianten vermischen. Die Beutel mit den Petrischalen wurden in einem Klimaschrank bei einer Temperatur von  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  und einem Tag-/Nachtwechsel von 12 Stunden gelagert. Die Bonitur erfolgte täglich über einen Zeitraum von fünf Tagen. Dabei wurden die Nymphen gezählt und abgesammelt sowie die Lebensdauer der adulten Blattläuse erfasst. Diese verblieben im Käfig. Das Luftvolumen in den Beuteln bzw. in den Petrischalen und tägliches Öffnen stellten die Sauerstoffversorgung der Versuchstiere sicher.

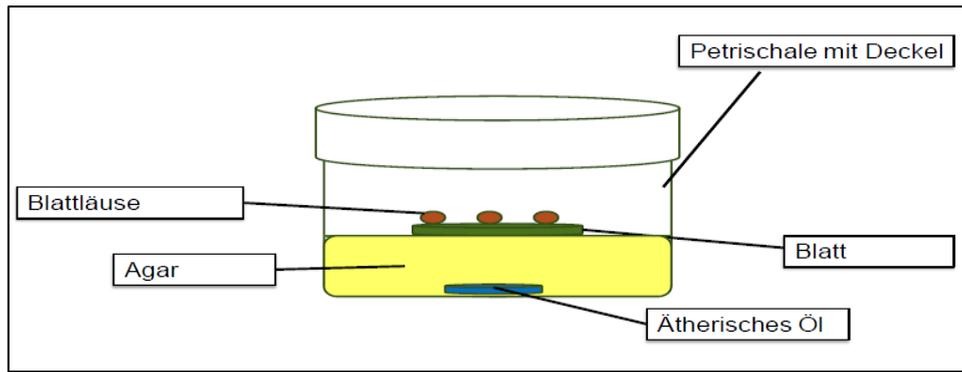


Abb. 10: Schematischer Aufbau von Biotests in Petrischalen des Versuches zum Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von *A. solani* (nach PREUSS 2013)

### **3.11. Einfluss niedriger Temperaturen sowie Lichtreduktion auf die Parasitierungsleistung verschiedener Schlupfwespenarten im Einsatz gegen *M. persicae***

Zur Untersuchung des Einflusses niedriger Temperaturen und Dunkelheit auf die Parasitierungsleistung verschiedener Schlupfwespenarten wurden Biotests in durchsichtigen Runddosen in Klimaschränken durchgeführt. Die Polystyrolschalen mit einem Durchmesser von 35 mm und einer Höhe von 20 mm wurden mit einem dicht schließenden Deckel verschlossen, dessen Oberteil ausgesägt und mit einer feinen Gaze bespannt war, um für eine ausreichende Luftzirkulation im Inneren zu sorgen. Um eine zufriedenstellende Luftfeuchtigkeit für die verwendeten Insekten, sowie eine ausreichende Wasserversorgung des verwendeten Blattmaterials sicherzustellen, erfolgte eine Füllung jeder Schale mit 2%igen Agar, sodass diese etwa zur Hälfte gefüllt waren. Auf die erstarrte Agarscheibe wurde eine, mittels eines Korkbohrers ausgeschnittene, Scheibe *Brassica oleracea* var. *sabellica* aufgelegt (Abb. 11). Die Pflanzen waren zuvor bei 20 °C im Gewächshaus des Instituts für Phytomedizin des INRES der Universität Bonn angezogen worden und nur junge, ungekräuselte Blätter fanden Verwendung. Anschließend erfolgte die Ausbringung von 20 auf 24 bis 48 Stunden alterssynchronisierten *M. persicae* (siehe Kapitel 3.5) pro Blattscheibe mittels eines feinen Haarpinsels.

Für den Versuch wurden die Schlupfwespenarten *Aphidius colemani*, *Aphidius matricariae* sowie *Ephedrus cerasicola* verwendet. Diese Auswahl erfolgte, da alle drei Arten gut zur Bekämpfung von *M. persicae* geeignet sind (DASSONVILLE ET AL. 2012).

Die über einen kommerziellen Züchter (Viridaxis SA, Gosselies) bezogenen Schlupfwespen wurden verpuppt in Blattlausmumien verschickt. Nach Erhalt der Ware folgte eine Vereinzelung der Mumien in 1,5 ml Reaktionsgefäße (Eppendorf AG, Hamburg) mit einem feinen Haarpinsel. Auf diese Weise konnte der genaue Schlupftermin sowie das Geschlecht der Parasitoiden optisch erfasst werden. Um genügend gleich alte, weibliche Tiere zu erhalten wurden pro benötigter Schlupfwespe zehn Mumien einzeln in Reaktionsgefäße gefüllt. Der vom Produzenten angegebene Schlupftag stimmte in der Regel relativ gut mit dem tatsächlichen Schlupftermin der Parasitoide überein. Männliche, offensichtlich kranke

und nicht geschlüpfte Schlupfwespen wurden aussortiert. Die in den Experimenten verwendeten Schlupfwespen hatten ein Alter von maximal 24 Stunden. Die Geschlechterbestimmung erfolgte optisch mit einem Stereomikroskop (Wild Heerbrugg AG) bei 16-facher Vergrößerung. Die weiblichen Schlupfwespen wurden durch leichtes Klopfen an den Rand der Reaktionsgefäße auf die Blattscheiben mit den *M. persicae* übertragen und die Schalen wurden umgehend verschlossen. Anschließend hatten die Schlupfwespen während einer 4-stündigen Eiablageperiode unter unterschiedlichen Klimabedingungen die Möglichkeit die Blattläuse zu parasitieren.

Jeweils zehn Schalen pro Schlupfwespenart kamen in eine der folgenden Klimakammern:

Tabelle 4: Verschiedene Temperaturen und Tageslichtlängen während der Oviposition von *A. colemani*, *A. matricariae* und *E. cerasicola* gegen *M. persicae*

Variante	Beleuchtungsstärke [lx]	Temperatur [°C]
1	3000	10
2	0	10
3	3000	20
4	0	20

Ovipositionszeit unter angegebenen Bedingungen jeweils 4 Stunden

Nach Beendigung der vier Stunden wurden die Schlupfwespenweibchen entfernt und die Schalen mit den Blattläusen erneut in Klimaschränke verbracht. Das Lichtregime entsprach hierbei nun 3000 lx über 16:8 Stunden Licht zu Dunkelheit für alle Varianten. Entsprechend der Temperatur während der Eiablage der Schlupfwespen wurden die Schalen auf zwei Klimaschränke mit 10 °C bzw. 20 °C aufgeteilt. Es erfolgte eine täglich Bonitur der Schalen, bei der die Anzahl der lebenden Blattläuse gezählt sowie die Anzahl der Mumien und ihr Erscheinungsdatum festgehalten wurden. Anschließend wurden die Blattlausmumien aus den Schalen entfernt, um den Schlupf der Tiere und eine weitere Parasitierung zu vermeiden. Neu abgelegte Blattlausnymphen wurden ebenfalls umgehend entfernt. Eine Blattlaus galt als mumifiziert, sobald ihre Haut dunkel und fest war (Abb. 11). Die Tiere wurden regelmäßig alle sieben Tage in neue Schalen auf frische Blätter umgesetzt. Die

Durchführung des Versuches verlief in zweifacher Wiederholung, mit insgesamt 800 Blattläusen pro Schlupfwespenart. Ein Durchgang galt als beendet, wenn sich über sechs Tage keine neuen Blattlausmumien gebildet hatten und die vorhandenen Blattläuse optisch als nicht parasitiert identifiziert wurden.

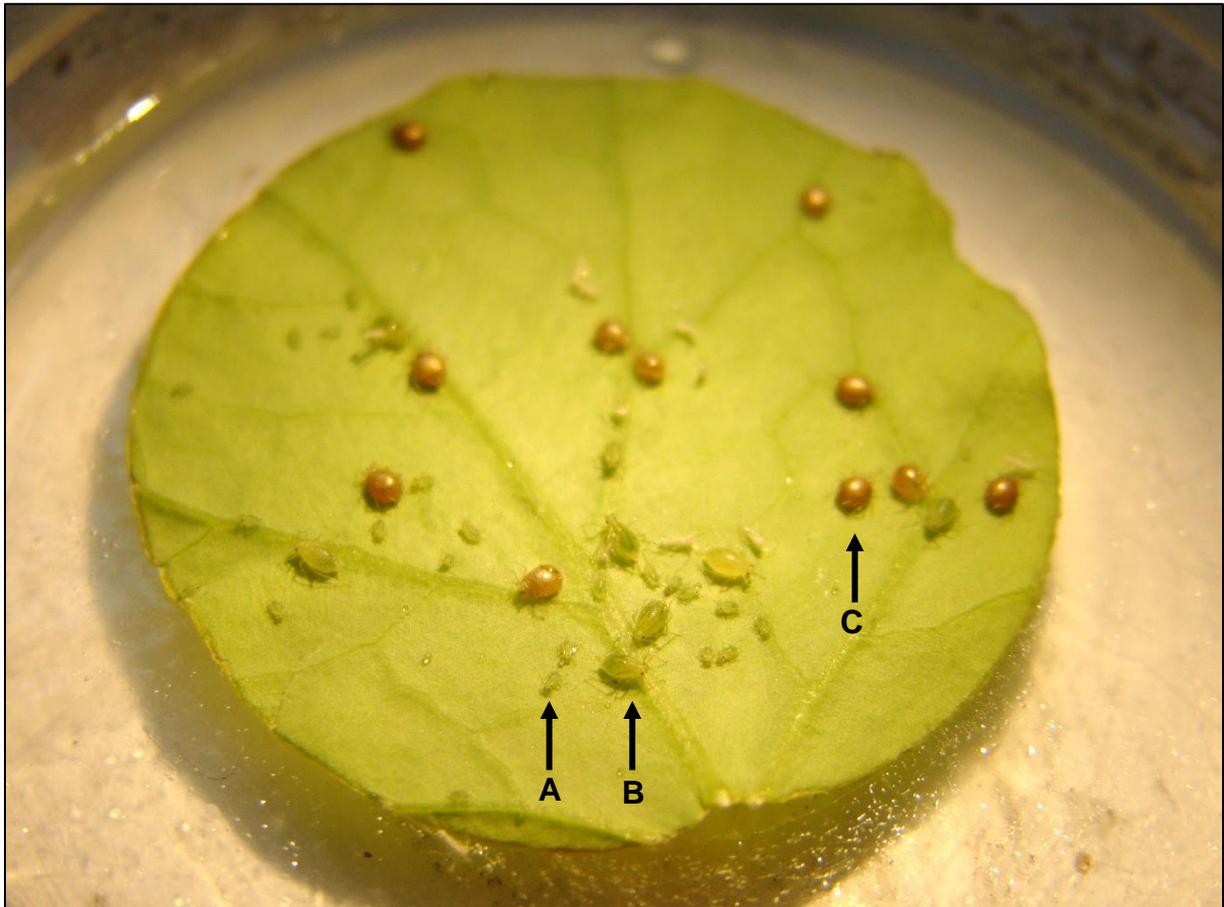


Abb. 11: Blattscheibe *B. oleracea* var. *sabellica* mit (A) juvenilen und (B) adulten *M. persicae*, sowie (C) Blattlausmumien nach der Parasitierung durch *A. colemani*

### 3.12. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf den Bekämpfungserfolg von *A. matricariae* gegen *M. persicae* im Gewächshaus

Zur Untersuchung des Einflusses einer reduzierten Tageslichtlänge auf die Parasitierungsleistung von *A. matricariae* im Einsatz gegen *M. persicae* auf *Petroselinum crispum* der Sorte ‚Einfache Schnitt‘ wurden Untersuchungen im Forschungsgewächshaus am Campus Klein-Altendorf durchgeführt. Auf Rolltischen mit Ebbe-Flut Bewässerungssystem standen jeweils zwei quadratische Parzellen mit je 30 Pflanzen. Die Pflanzen einer Parzelle berührten sich dabei mit den äußeren Blattspitzen, im Laufe ihres Wachstums erfolgte dann ein Auseinanderrücken, um durch bessere Belüftung der Pflanzen einem Pilzbefall vorzubeugen. Mit 2,5 m langen, biegsamen Hohlrohren mit einem Durchmesser von 25 mm, die in 100 \* 100 mm starke Holzbalken eingesteckt waren, wurden vier Bögen über jeden Tisch befestigt. Nach Bespannung mit einem feinen GazeNetz (Filbio, 0,5 \* 0,5 mm, Hartman-Brockhaus, Egenberg), konnte jeder Tisch durch Beschwerung mit einem querliegenden Holzstab in der Mitte des Netzes in zwei gleich große Netzkäfige zu unterteilt werden. Zur Reduktion der Tageslänge wurden 50 % der Tische nach achtstündiger Assimilationsbeleuchtung mit einer schwarzen, lichtundurchlässigen Folie bespannt, während die restlichen Tische über Assimilationsbeleuchtung eine Tageslichtlänge von 16 Stunden erreichten (Abb. 12).

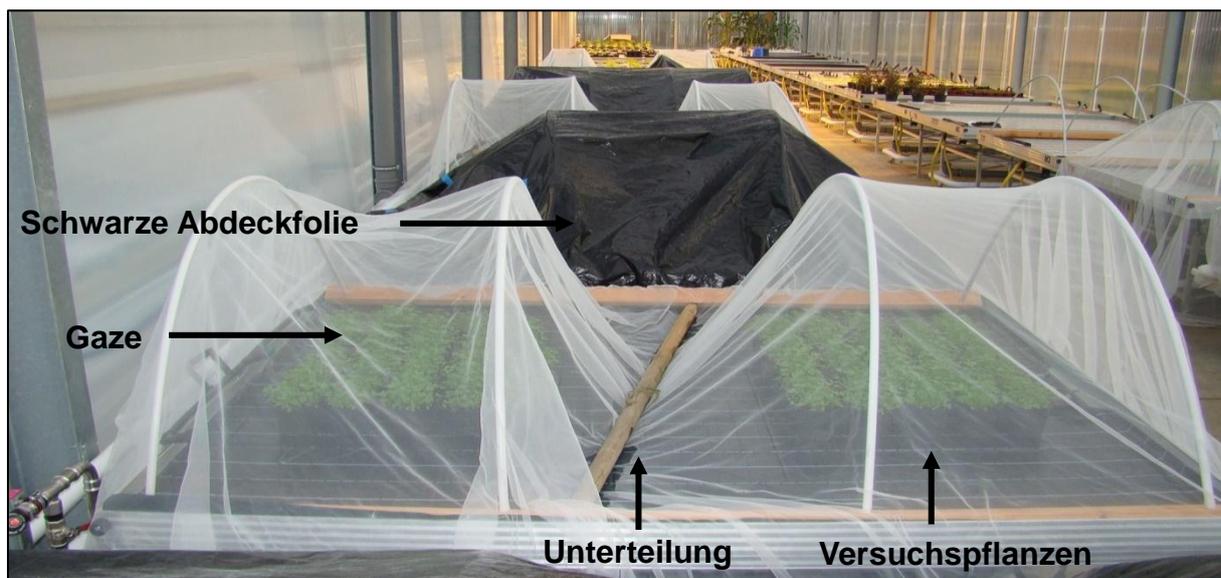


Abb. 12: Aufbau mit Gaze bespannter Insektenkäfige auf Gewächshautischen am CKA

Auf jede Petersilienpflanze wurden zwei *M. persicae* (24-48 Stunden alt, siehe Kapitel 3.3) aufgesetzt. Das Hinzufügen von zwei weiblichen, gleich alten *A. matricariae* (siehe Kapitel 3.11) \* m<sup>-2</sup> erfolgte nach einer Etablierungszeit der Blattläuse von 24 Stunden. Als Kontrollvariante wurde mit Blattläusen infizierte Petersilie ohne Schlupfwespenzugabe verwendet, so dass sich vier mögliche Varianten ergaben (8 und 16 Stunden Licht jeweils mit und ohne zwei *A. matricariae* \* m<sup>-2</sup>), die in vierfacher Wiederholung in randomisierten Blockdesign aufgestellt waren (Tabelle 5). Zwei unabhängige Versuchsdurchgänge erfolgten Februar bis April 2013 bei 20 °C (Nachttemperatur 16 °C). Zur Feststellung des Parasitierungserfolges der Schlupfwespen erfolgten zwei Bonituren im Abstand von sieben Tagen. Bei diesen wurden jeweils zehn Töpfe pro Parzelle in eine weiße Schale ausgeschüttelt, die Anzahl der in die Schale gefallenen und an den Pflanzen verbliebenen Blattläuse, sowie vorhandene Blattlausmumien gezählt und Letztere entfernt. In einer Parzelle außen stehende Pflanzen wurden bei der Bonitur ausgelassen, um Randeffekte auszuschließen.

Tabelle 5: Unterschiedliche Varianten des Versuches zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Parasitierungsrate des Parasitoiden *A. matricariae* gegen *M. persicae* im Gewächshaus

Variante	Tageslänge [h]	Nützling * m <sup>-2</sup>	Schädling * Pflanze <sup>-1</sup>	Pflanzen * Parzelle <sup>-1</sup>
1	8 (Assimilationslicht + abgedeckt)	2 <i>A. matricariae</i>	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
2	8 (Assimilationslicht + abgedeckt)	ohne	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
3	16 (Assimilationslicht)	2 <i>A. matricariae</i>	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
4	16 (Assimilationslicht)	ohne	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>

### 3.13. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung der räuberischen *C. carnea* Larven

Zur Untersuchung des Einflusses der Temperatur und der Länge des Tageslichtes auf die Fraßleistung von Larven der räuberischen Florfliege *C. carnea* sind Versuche in Klimaschränken im Phytomedizinischen Institut des INRES in Bonn durchgeführt worden. Diese zweifaktoriellen Versuche wurden in vier verschiedenen Klimavarianten durchgeführt. Die Temperaturen lagen bei 10 °C ±1 °C bzw. 20 °C ± 1 °C, jeweils kombiniert mit einem kurzen Tag (8 Stunden Belichtung) und einem langen Tag (16 Stunden Belichtung) bei einer gleichmäßigen Beleuchtungsstärke von jeweils 3.000 lx (Tabelle 6).

Tabelle 6: Unterschiedliche Varianten zur Ermittlung des Einflusses von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von *C. carnea*-Larven

Variante	Schädlinge	Temperatur	Tageslichtlänge
1	40 <i>M. persicae</i>	10 °C	8 h
2		10 °C	16 h
3		20 °C	8 h
4		20 °C	16 h

Jeweils 1 *C. carnea*-Larve pro Petrischale, Versuchsdauer: 5 Tage

Petrischalen aus klarem Styrol mit einem Durchmesser von 35 mm und einer Höhe von 13 mm wurden zunächst mit ca. 5 ml 2%igem Wasseragar 1 cm hoch gefüllt. Nach Abkühlung des Agars erfolgte die Belegung mit einer Blattscheibe *B. oleracea* var. *sabellica*, die mittels Korkbohrers ausgeschnitten worden war (Abb. 13). Auf diese wurden jeweils 40, wie in Kapitel 3.3 beschrieben auf 24 bis 48 Stunden alterssynchronisierte *M. persicae* mit einem feinen Haarpinsel aufgesetzt. Anschließend erfolgte die Einbringung je einer *C. carnea* Larve pro Petrischale. Als Kontrolle der natürlichen Sterblichkeitsrate in den Petrischalen diente eine Kontrollvariante ohne Räuber zu jeder Klimavariante. Eine Auszählung der Blattläuse in den Schalen erfolgte täglich über einen Zeitraum von jeweils fünf Tagen. Der Versuch wurde insgesamt zweimal wiederholt, wobei jedes Mal zehn Petrischalen pro Variante eingesetzt wurden.



Abb. 13: Korkbohrer und ausgeschnittene Blattscheibe *B. oleracea* var. *sabellica* auf Agar in einer Petrischale (Ø 35 mm)

### 3.14. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf die Fraßleistung von *C. carnea* im Gewächshaus

Zur Untersuchung des Einflusses einer reduzierten Tageslichtlänge auf die Fraßleistung und damit den Bekämpfungserfolg von *C. carnea* gegen *M. persicae* erfolgten Gewächshausversuche am CKA. Die Versuche sind zwischen Februar und April 2013 in zwei unabhängigen Wiederholungen nach dem gleichen System wie in Kapitel 3.12 durchgeführt worden, wobei hier an Stelle von *A. matricariae* 20 *C. carnea* Larven (kommerzielle Züchtung durch Koppert BV, Berkel en Rodenrijs) \* m<sup>2</sup> eingesetzt worden sind (Tabelle 7). Dementsprechend erfolgte eine Bonitur nur im Rahmen der gezählten Blattläuse. Blattlausmumien wurden nicht erfasst.

Tabelle 7: Unterschiedliche Varianten des Versuches zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von *C. carnea* gegen *M. persicae* im Gewächshaus

Variante	Tageslänge [h]	Nützlinge * m <sup>-2</sup>	Schädling * Pflanze <sup>-1</sup>	Pflanzen * Parzelle <sup>-1</sup>
1	8 (Assimilationslicht + abgedeckt)	20 <i>C. carnea</i>	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
2	8 (Assimilationslicht + abgedeckt)	ohne	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
3	16 (Assimilationslicht)	20 <i>C. carnea</i>	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>
4	16 (Assimilationslicht)	ohne	2 <i>M. persicae</i>	30 <i>P. crispum</i>

### **3.15. Vergleich verschiedener Ausbringmengen von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf *P. crispum* im Gewächshaus**

Zum Vergleich der Effektivität unterschiedlich großer Ausbringmengen von *C. carnea* gegen einen Herdbefall mit *M. persicae* an *P. crispum* erfolgten Versuche am Versuchszentrum Gartenbau der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in Köln-Auweiler (Juni/Juli 2012) sowie im Forschungsgewächshaus am Campus Klein-Altendorf (Mai/Juni 2013). Zunächst wurden auf Gewächshaustischen mit Ebbe-Flut Bewässerung Parzellen zu je 50 Töpfen Petersilie der Sorte ‚Einfache Schnitt‘ aufgebaut. Die Aufstellung der Pflanzen mit vollausgebildetem Laubblatt (BBCH 11, HACK ET AL. 1992) erfolgte so, dass sie zunächst aneinander standen und im Laufe des Versuches weiter auseinandergerückt werden konnten, um ein Berühren der Blattspitzen weiterhin zu gewährleisten. Dies diente der Möglichkeit des Abwanderns von Blattläusen und Florfliegenlarven von einer Pflanze zur anderen bei gleichzeitiger Durchlüftung des Bestandes zur Reduktion der Gefahr eines Pilzbefalls. Zu Beginn des Versuches erfolgte das Aufbringen von drei *M. persicae* mit einem feinen Haarpinsel auf die Pflanzen jedes Topfes. Nach einer Eingewöhnungszeit der Blattläuse von 48 Stunden wurden die Nützlinge ausgebracht. Zum Einsatz kamen unterschiedliche Ausbringmengen an Florfliegenlarven (1, 5, 25 und 50 \* m<sup>-2</sup>), sowie eine Kontrollvariante mit Pyrethrinen (Spruzit Neu®, 0,3%ig, in 2.000 l Wasser \* ha<sup>-1</sup>) und eine Nullkontrolle ohne Pflanzenschutzmaßnahmen, sowie eine siebte Variante mit einem sehr starken Befall von 10 *M. persicae* pro Topf und einer präventiven Ausbringmenge von 5 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> (Tabelle 8).

Tabelle 8: Varianten zur Einsatzmenge von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf *P. crispum* im Gewächshaus des Versuchszentrums Gartenbau Köln-Auweiler (2012) und am Campus Klein-Altendorf (2013)

Variante	Pflanzenschutzmaßnahme	Blattläuse * Topf <sup>-1</sup>
1	1 <i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	3
2	5 <i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	3
3	20 <i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	3
4	50 <i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	3
5	Spruzit Neu®, 0,3%ig, 2000 L Wasser * ha <sup>-1</sup>	3
6	5 <i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	10
7	ohne	3

Die verwendeten *C. carnea* wurden von Koppert BV bezogen und mit einem Haarpinsel auf die Pflanzen gesetzt. Die Ausbringung erfolgte nach einem gleichmäßigen Muster von der Mitte her, mit maximaler Belegung von einer Florfliegenlarve pro Topf. Um eine Abwanderung der Tiere zu verhindern wurden die Parzellen mindestens 1,5 m auseinandergestellt (Abb. 14). Im ersten Durchgang in Köln-Auweiler dienten darüber hinaus mit Leim eingepinselte Streifen, die über die komplette Breite der Tische zwischen die Parzellen verlegt waren, als Blockade, um die Florfliegenlarven von einem Wechsel der Parzellen abzuhalten. Da im ersten Durchgang auf den Streifen keine *C. carnea* gefunden wurden, wurde im zweiten Durchgang auf diese Vorsichtsmaßnahme verzichtet.

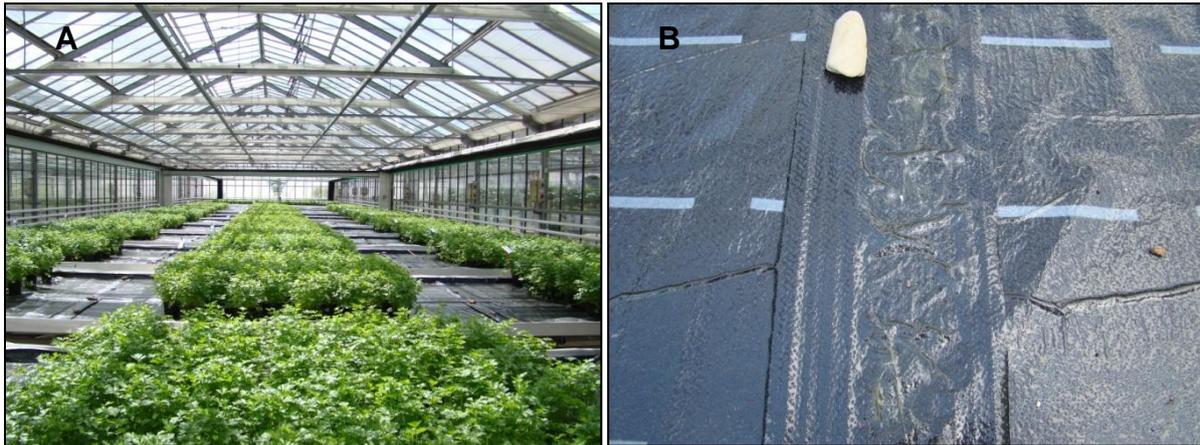


Abb. 14: (A) Aufbau des Versuches zur Einsatzmenge von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf Petersilie in Köln-Auweiler (B) Detail: Leimstreifen zwischen den Parzellen

Die Versuche wurden in vierfacher Wiederholung in zwei individuellen Durchgängen jeweils in randomisiertem Blockdesign durchgeführt, um mögliche Beeinflussungen untereinander und durch Klimabedingungen im Gewächshaus auszuschließen (Abb. 15). Die verwendeten Pflanzen waren vor Versuchsbeginn befallsfrei, zusätzliche Blattläuse konnten während des Versuches jedoch durch die Lüftung in das Gewächshaus einfliegen. Die Bonitur erfolgte an fünf Terminen im Abstand von jeweils drei Tagen. Dabei wurden pro Parzelle fünf Töpfe untersucht. Zunächst erfolgte ein Ausschütteln in eine weiße Schale, anschließend eine Zählung der heruntergefallenen und noch in den Pflanzen verbliebenen Blattläuse, die zum Schluss vorsichtig an die Pflanze zurückgesetzt wurden. In einer Parzelle außen stehende Pflanzen wurden bei der Bonitur nach DASSONVILLE ET AL. (2012) (Tabelle 3) ausgelassen, um Randeffekte auszuschließen.

3 I	6 I	4 II	2 II	5 III	1 III	4 III	3 IV	7 IV	6 IV
2 I	5 I	1 II	6 II	7 II	3 III	7 III	5 IV	2 IV	
1 I	4 I	7 I	5 II	3 II	6 III	2 III	1 IV	4 IV	
Tisch 1	Tisch 2	Tisch 3	Tisch 4	Tisch 5	Tisch 6	Tisch 7	Tisch 8	Tisch 9	Tisch 10

Abb. 15: Versuchsaufbau zur Einsatzmenge von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf *P. crispum* im Gewächshaus des Versuchszentrums Gartenbau Köln-Auweiler. 1-7: unterschiedliche Varianten (siehe Tabelle 8), I-IV: Wiederholungen

### 3.16. Stammzucht von *F. occidentalis* auf *P. vulgaris*

Das Ausgangsmaterial für eine an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn angesetzten Zucht von *F. occidentalis*, die für die hier dargestellten Versuche verwendet worden ist, wurde vom Julius Kühn-Institut (JKI) in Quedlinburg zur Verfügung gestellt. Im Gewächshaus in 0,4 \* 0,6 m großen Anzuchtschalen gezogene Buschbohnen (*Phaseolus vulgaris* L.) dienten den Thrips bei 25 °C ± 1 °C und 16 Stunden Licht in klimaregulierten Zuchträumen als Wirtspflanzen und wurden regelmäßig gewechselt. Hierbei fanden jeweils zwei Schalen Verwendung, die um sieben Tage versetzt alle 14 Tage ausgetauscht wurden um dauerhaft frisches Pflanzenmaterial anzubieten. Nach dem Ausschütteln der alten über einer neuen Schale erfolgte die Übertragung einiger Blätter zum Transfer von im Pflanzengewebe eingebetteter Eier.

### 3.17. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von *F. occidentalis* und *N. cucumeris* an *P. crispum* und *O. basilicum*

Zur Untersuchung des Einflusses von niedrigen Temperaturen und verkürzten Tageslichtlängen auf die Populationsentwicklung von *F. occidentalis* und deren Prädatoren, den Raubmilben *N. cucumeris*, sind zunächst Biotests in klimaregulierten Zuchtkammern durchgeführt worden. Blätter von *O. basilicum* ‚Genoveser‘ und *P. crispum* ‚Einfache Schnitt‘ dienten als Wirte für die verwendeten Thripse. Sie lagen nach Pflanzenart getrennt in mit Agar gefüllten Petrischalen mit Gazedeckel, wobei die Anzahl der Blätter je nach Größe variieren konnte, um in allen Schalen eine einheitlich große Blattoberfläche zur Verfügung zu stellen. Nach Ausbringung einer weiblichen Imago pro Schale (Thripsanzucht, siehe Kap. 3.16) wurden diese verschlossen und anschließend auf verschiedene Zuchtschränke mit unterschiedlich regulierten Klimabedingungen verteilt. Nach einer Eiablageperiode von vier Tagen erfolgte das Entfernen der adulten Thripse aus den Petrischalen mit einem leicht befeuchteten feinen Haarpinsel. Jeweils zehn Schalen mit Blättern einer Pflanzenart wurden in jeder Klimavariante untersucht.

Im ersten Durchgang wurden für beide Pflanzenarten eine hohe (25 °C) und eine im Gewächshausanbau eher niedrigere Temperatur (15 °C) mit langen (16 Stunden) und

kurzen (8 Stunden) Tageslichtdauern kombiniert, so dass sich acht verschiedene Varianten ergaben (Tabelle 9). Im zweiten Durchgang kam neben einer im Gewächshaus sehr niedrigen Temperatur (10 °C, 16 h Belichtung) zusätzlich zu den beiden Lichtregimen der höheren Temperatur des ersten Durchgangs (25 °C, 8 und 16 Stunden Belichtung) eine Variante mit verringerter Nachttemperatur (25 °C, 16 Stunden Belichtung, 10 °C Nachttemperatur) zum Einsatz, die einem Kräuteraanbau im Gewächshaus im Winter nachempfunden wurden. Im zweiten Durchgang wurden weitere zehn Schalen jeder der oben beschriebenen Klimavarianten nach Entnahme der adulten *F. occidentalis* mit jeweils drei *N. cucumeris*-Raubmilben besetzt, um die Beeinflussung des Bekämpfungserfolges durch niedrige Temperaturen und kurze Tageslichtlängen an *P. crispum* und *O. basilicum* zu untersuchen. Ab Entnahme der Thripsimagines erfolgte eine Zählung der Thripsnachkommen in den Schalen alle zwei Tage über einen Zeitraum von 14 Tagen.

Tabelle 9: Bedingungen zur Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von *F. occidentalis* an Blattscheiben verschiedener Kräutern im ersten Durchgang

Variante	Wirtspflanze	Temperatur [°C]	Tageslichtlänge [h]
1	<i>P. crispum</i>	15	8
2			16
3		25	8
4			16
5	<i>O. basilicum</i>	15	8
6			16
7		25	8
8			16

Pro Blattscheibe wurde eine weibliche *F. occidentalis*-Imago für 4 Tage aufgesetzt, in denen sie Eier ablegen konnte. Anschließend wurde die Anzahl geschlüpfter Larven gezählt

Im Anschluss wurden Versuche an Ganzpflanzen von *P. crispum* und *O. basilicum* in den gleichen Klimakammern durchgeführt. In einem ersten Durchgang erfolgte hierbei das Aufsetzen von je zwei adulten *F. occidentalis*-Weibchen auf fünf Pflanzen jeder Art (in BBCH 11), die bei insgesamt vier Temperaturen in unterschiedlichen Klimakammern standen. Die verwendeten Temperaturen bei einer gleichmäßigen Beleuchtung von 16 Stunden (3.000 lx) waren 10 °C, 15 °C, 25 °C sowie eine Wechseltemperatur von 25 °C tagsüber und 10 °C in der Nacht (Tabelle 10).

Tabelle 10: Bedingungen bei der Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Entwicklung von *F. occidentalis* an verschiedenen Kräutern

Variante	Wirtspflanze	Temperatur [°C]
1	<i>P. crispum</i>	10
2		15
3		25
4		25/10*
5	<i>O. basilicum</i>	10
6		15
7		25
8		25/10*

\* Wechseltemperatur: 25 °C in der Photophase, 10 °C in der Scotophase, Belichtung 16:8 h L:D

Darauf folgte ein weiterer Durchgang, bei dem fünf Pflanzen *O. basilicum* pro Klimavariante genutzt wurden. Die Temperatur lag in allen vier Varianten bei gleichbleibenden 25 °C ( $\pm 1$  °C). Es wurden mit 8 und 16 Stunden zwei verschiedene Tageslichtlängen verwendet. Die Pflanzen waren wie im ersten Durchgang mit jeweils zwei weiblichen Thripsimagines besetzt. Pro unterschiedlicher Tageslichtlänge erfolgte die Durchführung einer Variante mit Raubmilbenzugabe. Nach 24 Stunden wurden drei *N. cucumeris* pro Pflanze ausgebracht, die zuvor von einem kommerziellen Händler (Koppert BV) bezogen und mit einem Stereomikroskop mit 16facher optischer Vergrößerung mit Hilfe eines feinen Haarpinsels abgezählt worden waren.

In allen Durchgängen wurde eine ausreichende Wasserversorgung über regelmäßiges Gießen auf Untertellern unter den Töpfen erreicht. Die Bonitur des Befalles jeder einzelnen Pflanze erfolgte drei Wochen lang, alle sieben Tage, durch Ausschütteln in eine weiße Schale und anschließendes Auszählen. Die Durchgänge wurden jeweils in zweifacher Wiederholung durchgeführt, wobei eine zufällige Zuordnung der Klimakammern zu den einzelnen Varianten erfolgte, um eine Beeinflussung durch die Kammern auszuschließen.

### **3.18. Evaluierung des Einsatzes von *N. cucumeris* und *A. limonicus* gegen *F. occidentalis* im Petersilienanbau während des Winters unter Glas**

Zur Untersuchung der Effizienz des Einsatzes der Raubmilben *N. cucumeris* und *A. limonicus* als Prädatoren von *F. occidentalis* unter Winterbedingungen sind im Forschungsgewächshaus am Campus Klein-Altendorf Gewächshausversuche durchgeführt worden. Auf Rolltischen mit Ebbe-Flut Bewässerungssystem wurde diese Fragestellung in drei individuellen Durchgängen (Oktober-November 2012, Januar-Februar 2013, Februar-März 2013) bearbeitet. Jeder Tisch diente als eigene Pflanzparzelle für *P. crispum* (42-58 Töpfe \* m<sup>-2</sup>, je nach Durchgang), über denen ein GazeNetz (Ornata Plus 2788, HowitecNetting BV, Bolsward, Maschenweite 0,27 \* 0,88 mm) gespannt wurde. Die Töpfe mit den 3 cm hohen Pflanzen in BBCH Stadium 11 wurden so aufgestellt und im Laufe ihres Wachstumes auseinandergerückt, dass sie sich an den Blattspitzen leicht berührten, um eine Translokation der Raubmilben zu ermöglichen und einem eventuellen Pilzbefall durch negatives Kleinklima im Bestand vorzubeugen. Zur Herstellung eines Initialbefalls mit *F. occidentalis* dienten Tiere aus der in Kapitel 3.16 beschriebenen Stammzucht. Mit einem feinen, leicht angefeuchteten Haarpinsel konnten die Thripse auf der Blattoberseite der Pflanzen gleichmäßig verteilt werden. Null bis sechs Tage später (je nach Durchgang) wurden die Raubmilben erstmalig und anschließend alle sieben Tage ausgebracht. Hierbei konnte eine gleichmäßige Verteilung der (kommerziell jeweils frisch von Koppert BV erhaltenen) Nützlinge dadurch sichergestellt werden, dass die Tiere mit einem Stereomikroskop bei 16-facher Vergrößerung zunächst abgezählt und anschließend in Petrischalen überführt und über den Pflanzen ausgeschüttet wurden. Dabei verblieben die Petrischalen noch einen Tag zwischen den Blättern der Pflanzen, um ein vollständiges Abwandern zu gewährleisten.

In drei individuellen Durchgängen wurden nun drei praxisnahe Szenarien aus dem Anbau von *P. crispum* verwendet um die Effizienz der Raubmilben im Winter zu evaluieren. Im ersten Durchgang erfolgte der Einsatz einer kurativen Ausbringmenge (150 *A. limonicus* bzw. *N. cucumeris* \* m<sup>-2</sup>) gegen einen rechtzeitig erkannten Befall (35 *F. occidentalis* \* m<sup>-2</sup>). Der zweite Durchgang stellte die gleiche Standardausbringmenge einem zu spät erkannten Thripsbefall (70 *F. occidentalis* \* m<sup>-2</sup>)

gegenüber, während im dritten Durchgang eine frühzeitige Schaderkennung ( $20 F. occidentalis \cdot m^{-2}$ ) mit einer hohen Nützlingsdichte ( $250 A. limonicus$  bzw.  $N. cucumeris \cdot m^{-2}$ ) bekämpft wurde. Jeder der Versuche lief über ca. 30 Tage bis die Pflanzen zu alt für einen Abverkauf aus dem Betrieb gewesen wären. Zur statistischen Auswertung erfolgte eine zweimalige Wiederholung jeder Variante. Als Kontrolle diente jeweils eine Variante ohne Nützlinge (Tabelle 11).

Tabelle 11: Aufbau der Versuche zur Evaluierung des Einsatzes der Raubmilben *N. cucumeris* und *A. limonicus* gegen *F. occidentalis* auf *P. crispum* im Winter (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Durchgang	1	2	3
Zeitraum	12.10.2012 – 12.11.2012	10.01.2013 – 06.02.2013	08.02.2013 – 02.03.2013
Dauer [Tage]	29	22	28
Durchschnittstemperatur [°C]	17,8	15,8	20,0
Durchschnittsluftfeuchte [%]	76,2	72,4	59,7
Tische	6	9	6
Pflanzen pro Parzelle	58	54	42
Parzellengröße		≈ 1 m <sup>2</sup>	
Szenario	Kurative Ausbringung bei rechtzeitiger Schadfeststellung	Kurative Ausbringung bei zu später Schadfeststellung	Hohe Ausbringung nach frühzeitiger Schaderkennung
Anzahl <i>F. occidentalis</i> pro Parzelle	35	70	20
Anzahl <i>A. limonicus</i> bzw. <i>N. cucumeris</i> pro Parzelle	150	150	250
Kontrollvariante	ohne Nützlingseinsatz		

Um den Erfolg des Nützlingseinsatzes zu evaluieren wurden alle sieben Tage zehn Töpfe pro Parzelle bonitiert. Nach vorsichtigem Ausschütteln der Töpfe über einer weißen Schale konnten die Anzahl der herausgefallenen Thripse und Raubmilben gezählt und diese anschließend auf die entsprechende Pflanze zurückgesetzt werden. In einer Parzelle außen stehende Pflanzen wurden bei der Bonitur ausgelassen um Randeffekte auszuschließen.

### 3.19. Untersuchung zum Flug- und Aktionsradius von *M. pygmaeus* im Gewächshaus

Zur Untersuchung des Flug- und Aktionsradius der Raubwanze *M. pygmaeus* (kommerzielle Züchtung, Koppert BV) sowie ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit sind zwischen April und Juni 2013 Versuche auf Borretschpflanzen (*Borago officinalis* L.) im *Multicover*-Foliengewächshaus des CKA durchgeführt worden. Der erste Durchgang erfolgte mit einer künstlichen Zufütterung von sterilisierten Eiern der Mehlmotte (*Ephestia kuehniella* Zeller) in Form von ENTOFOOD (Koppert BV), im zweiten Durchgang dienten Blattläuse der Art *Acyrtosiphon pisum* (Harris) sowie einige *Aulacorthum solani* als Vergleichsfutter.

Vor der Durchführung des ersten Durchganges vom 10.04. bis 14.05.2012, erfolgte zunächst das Einrichten zweier gleich großer Gewächshauskabinen. Dazu wurde ein komplettes Schiff (28,0 \* 6,4 m) in der Mitte und am Eingang durch Gaze netze (Maschenweite: 0,5 \* 0,5 mm) in gesamter Höhe in zwei Zellen à 14 \* 6,4 m Größe aufgeteilt. Zum Schutz vor Verunkrautung bedeckte ein schwarzes Vlies des ansonsten offenliegenden Bodens im Gewächshaus (Abb. 16). Der Aufbau der Pflanzen erfolgte in beiden Zellen nach dem gleichen Muster: Um eine zentrale Depotpflanze (*Salvia officinalis* L., belegt mit 30 adulten *M. pygmaeus*, (zunächst mit einem Metallkäfig abgedeckt)) wurden 64 durchnummerierte Borretschpflanzen (BBCH 11) in vier konzentrischen Kreisen mit Radien von 1 m, 2,5 m, 5 m (zwei Halbkreise) und 6,6 m (vier Pflanzen) so aufgestellt, dass zwischen den Töpfen soweit möglich ein Abstand von jeweils 0,5 m eingehalten wurde (Abb. 17). Der innerste Kreis bestand demnach aus 12 (Nr. 1-12), der Zweite aus 28 (Nr. 13-40), die beiden Halbkreise aus jeweils 10 Pflanzen (Nr. 41-60). Die restlichen vier Pflanzen wurden mit einem Abstand von 6,6 m zur zentralen Depotpflanze in den Ecken der Zellen aufgestellt (Nr. 61-64). Die Bewässerung der einzelnen Töpfe erfolgte über ein Tröpfchenbewässerungssystem.



Abb. 16: Aufbau der Kabinen zur Untersuchung des Flug- und Aktionsradiuses von *M. pygmaeus* an *B. officinalis* im Gewächshaus (MATRAY 2012)

Im ersten Durchgang wurden auf jeder Pflanze mit ungerader Nummer anschließend 30 *E. kuehniella*-Eier mit einem feinen Haarpinsel aufgebracht. Nach einer Etablierungszeit von 24 Stunden erfolgte am 11.04.2012 die Freilassung der *M. pygmaeus* auf der Depotpflanze durch Entfernung des Käfigs.

Für den zweiten Durchgang wurden die Pflanzen zurückgeschnitten und in Zelle 1 einmalig mit Lambda-Cyhalothrin (0,01%, Karate Zeon, Syngenta AG, Basel) behandelt. Dort bestand das angebotene Futter aus *E. kuehniella*-Eiern nach gleichem Muster wie in Durchgang 1. In Zelle 2 wurden hingegen Blattläuse (*A. pisum* sowie einige *A. solani*) als Vergleichsfutter auf den Borretschpflanzen angeboten. Die Freilassung der *M. pygmaeus* Weichwanzen erfolgte erneut nach 24-stündiger Etablierungszeit auf einer zentralen Salbeipflanze am 26.12.2012.

Die Bonitur wurde alle zwei Tage in den Zeiträumen vom 14.04.-14.05.2012 und 28.05.-15.06.2012 jeweils vormittags durchgeführt. Nach optischer Inspektion der Töpfe folgte ein vorsichtiges Ausschütteln über einer weißen Schale zur Erfassung der Anzahl juveniler und adulter *M. pygmaeus* pro Pflanze. Darüber hinaus wurden Blühstadium der Pflanze, sowie Aufenthaltsort der Weichwanzen erfasst.

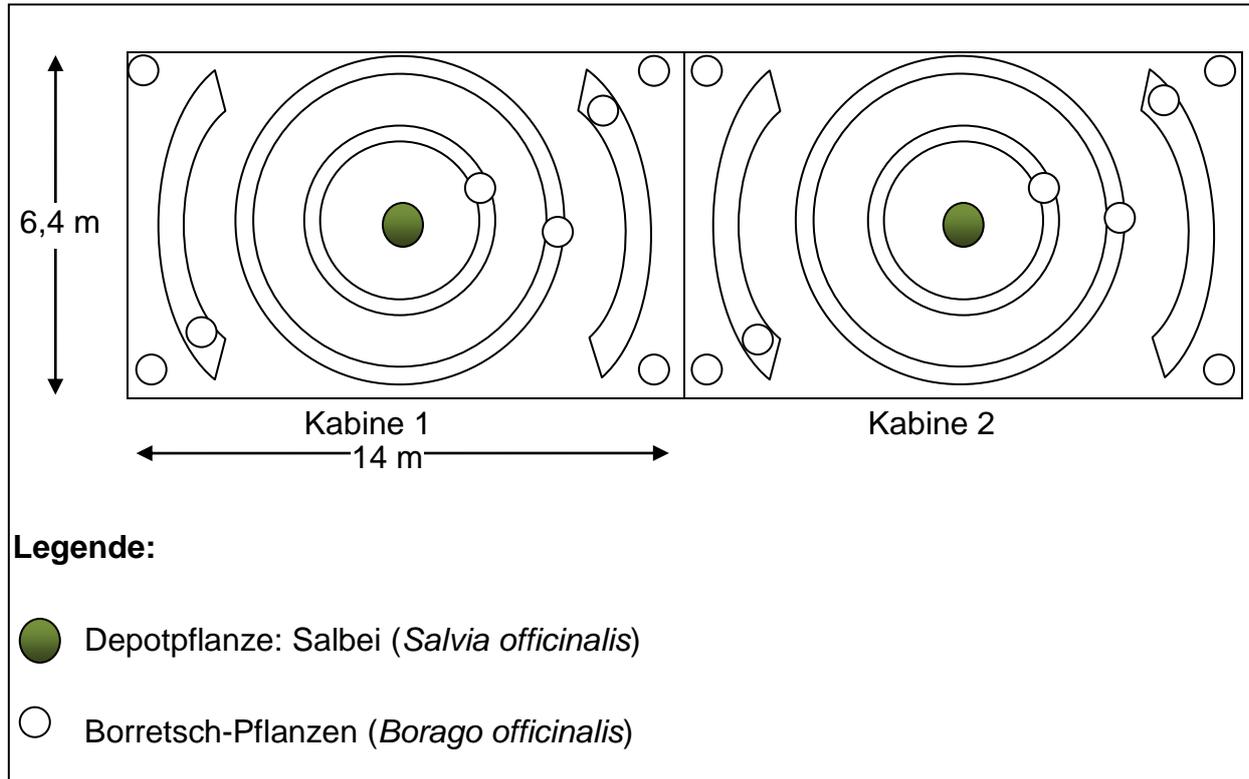


Abb. 17: Aufbau der *B. officinalis*-Töpfe in den Kabinen zur Untersuchung der Flug- und Aktionsradius von *M. pygmaeus* im Gewächshaus. Radius der Kreise 1 m, 2,5 m, 5 m & 6,6 m, Abstand der Pflanzen in den Kreisen: 0,5 m, sofern möglich (verändert nach MATRAY 2012)

### 3.20. Untersuchung zur ganzjährigen Etablierung von *M. pygmaeus* in einem Topfkräuterbetrieb

Versuche zur ganzjährigen Etablierung von *M. pygmaeus* in einem Topfkräuterbetrieb konnten in Zusammenarbeit mit dem Betrieb Radicula in Sinzig durchgeführt werden. Der Topfkräuterbetrieb „Radicula – Kräuter und Kreatives“ wird von den Intec-Betrieben der Caritas Werkstätten, einer Einrichtung der St. Raphael Caritas Alten- und Behindertenhilfe GmbH in Sinzig betrieben. Auf 700 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche werden in einem Warm- sowie einem ungeheizten Kalthaus hauptsächlich Topfkräuter mit einem breit gefächerten Artenspektrum in kleinen Chargen produziert. Da es sich um eine Werkstatt für behinderte Menschen (WfbM) handelt, wird zum Schutz der Mitarbeiter weitgehend auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verzichtet. Die Schäden durch tierische Schaderreger an den Kulturen waren teilweise sehr stark, so dass sich im Herbst/Winter 2011 ein hoher Schädlingsbefall feststellen ließ und der Betrieb mit einem hohem Infektionspotential in den Winter ging.

Zur Untersuchung der Populationsentwicklung auf verschiedenen Wirten im Winter wurden zwei Netzkäfige (1,79 \* 1,08 m und 1,75 \* 0,75 m) mit verschiedenen repräsentativen Pflanzenarten (*O. basilicum* 'Genoveser', *O. basilicum* 'African Blue', *Salvia elegans* (Vahl), *Mentha arvensis* (L.) 'Banana', *Mentha suaveolens* (Ehrh.) var. *variegata*) im Warmhaus aufgebaut. Am 32.11.2011 erfolgte der erste Einsatz der Weichwanze *M. pygmaeus* auf den Pflanzen in den Käfigen. Die Tiere kamen aus kommerzieller Züchtung der Firma Koppert BV. Hierbei wurden zweimalig (23.11.2011 und 14.12.2012) zehn bzw. sieben Imagines in die beiden Käfige ausgebracht, was der Empfehlung des Herstellers von 5 Tieren \* m<sup>2</sup> als kurative Ausbringungsmenge entspricht (KOPPERT 2014). Als Futter diente eine Zugabe von 240 sterilisierten Eiern von *E. kuehniella* pro Netzkäfig ( $\cong 1 \text{ g} * 250 \text{ m}^2$ ), sowie je eine am 06.12.2011 pro Käfig zugegebene, stark mit *F. occidentalis* befallene Pflanze *O. basilicum* 'Genoveser'. Die erste Bonitur des Ausgangsbefalles fand am 11.11.2011 statt. Vierzehntägig wurde anschließend eine Bonitur der Nützlinge und Schädlinge im Gewächshaus zwischen dem 06.12.2011 und dem 17.02.2012, innerhalb und außerhalb der Käfige durchgeführt. Nach optischer Inspektion der Töpfe folgte ein vorsichtiges Ausschütteln über einer weißen Schale zur Erfassung

der Anzahl juveniler und adulter *M. pygmaeus*, Thripse und Blattläuse auf den Pflanzen.

Im zweiten Teil der Untersuchung wurden am 22.02.2012 die Netzkäfige geöffnet um die Ausbreitung und Etablierung der *M. pygmaeus* im gesamten Gewächshaus beobachten zu können. Einundzwanzig mit farbigen Holzstiften markierte *M. suaveolens* var. *variegata*, die gleichmäßig im Gewächshaus verteilt wurden, dienten hierbei als Bonitурpflanzen. Die Bonitur erfolgte 14-tägig zwischen dem 07.03.2012 und dem 20.06.2012. Die zuvor markierten Pflanzen wurden zunächst optisch inspiziert und anschließend vorsichtig über einer weißen Schale ausgeschüttelt, um die Anzahl juveniler und adulter *M. pygmaeus*, Thripse und Blattläuse pro Pflanze zu erfassen. Da der Betrieb das Pflanzenstärkungsmittel Vi-Care zur Bekämpfung von echtem Mehltau auf allen Kulturen verwendete, musste der Versuch am 20.06.2012 nach dem Verbot dieses Pflanzenstärkungsmittels beendet werden (BVL, 2012).

### **3.21. Statistische Auswertung**

Eine Aufbereitung aller Daten erfolgte zunächst mit Microsoft Excel 2010, mit diesem Programm wurden auch die meisten Grafiken erstellt. Für die statistische Auswertung diente die Analysesoftware IBM SPSS Statistics 20, in diesem Programm wurden auch die in dieser Arbeit dargestellten Boxplots erstellt. Zur statistischen Auswertung der im Rahmen dieser Arbeit gemessenen Daten, wurde zunächst die Homogenität der Varianzen der miteinander verglichenen Varianten mittels Levene-Test ermittelt. Für paarweise Vergleiche der Mittelwerte von zwei Stichproben wurde ein t-Test verwendet. Eine weitere Varianzanalyse bei mehr als zwei Stichproben wurden bei gleichen Stichprobenumfängen aller Varianten die überspannten Mittelwerte der einzelnen Gruppen mit Hilfe eines Tukey-Tests, bzw. eines Duncan-Tests miteinander verglichen. Bei ungleichen Stichproben, und wenn die Nullhypothese der Varianzhomogenität mittels Levene-Tests abgelehnt werden muss, wurden die Mittelwertpaare mittels eines Scheffé-Tests verglichen. Signifikanzen wurden mit einem Konfidenzintervall von 95 % getestet, was einem Signifikanzniveau von  $\alpha \leq 0,05$  entspricht.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Einfluss der Klemmkäfige auf das Klima am Blatt

Untersuchungen der Klimawerte innerhalb und außerhalb eines Klemmkäfigs im Topfkräuterbestand im Gewächshaus mit Assimilationsbeleuchtung zeigten leichte Änderungen durch den Klemmkäfig. Die relative Luftfeuchte lag im Inneren des Käfigs über den Ablauf von 24 Stunden zwischen 1 und 8 Prozentpunkte über dem Wert außerhalb des Klemmkäfigs. Die Temperatur lag in den Nachtstunden ohne künstliche Beleuchtung im und neben dem Käfig auf dem gleichen Wert. Während des Tages war sie um 1 bis 3 Grad Celsius erhöht (Abb. 18).

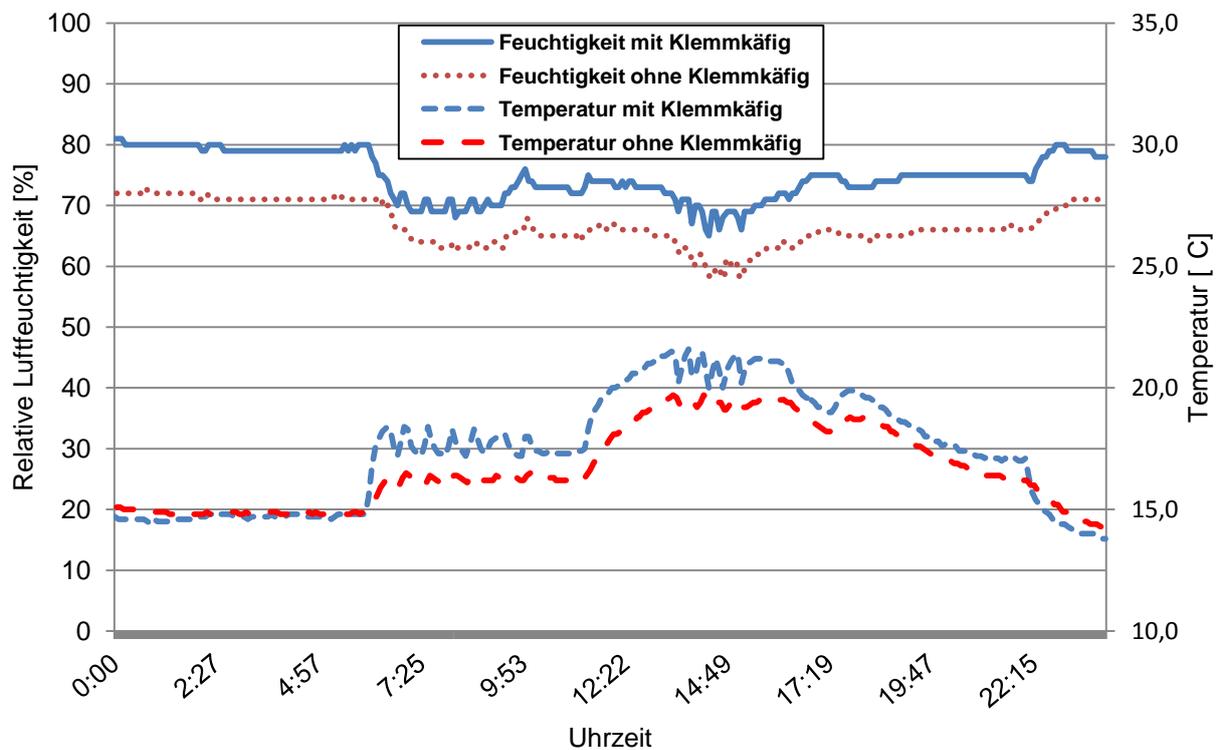


Abb. 18: Vergleich der Temperatur und Luftfeuchte innerhalb und außerhalb der Insektenklemmkäfige im Gewächshaus.

## 4.2. Einfluss niedriger Temperaturen auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* an *P. crispum*

Die Temperatur zeigte einen großen Einfluss auf die Populationsentwicklung von *M. persicae* auf *P. crispum*. Die Dauer der Entwicklung ( $T_d$ ) und damit einer Blattlausgeneration unterschied sich zwischen den vier getesteten Temperaturvarianten signifikant (ANOVA, REGW-F Test,  $\alpha \leq 0,05$ ). Die längste Entwicklungsdauer von durchschnittlich 13,1 Tagen bis zum Absetzen der ersten Nymphe zeigten die Blattläuse bei der niedrigsten Temperatur von 15 °C (Abb. 19). Eine Erhöhung der Temperatur auf 20 °C führte zu einer ca. 20 % schnelleren Entwicklung, sodass die ersten Nachkommen nach durchschnittlich 10,6 Tagen abgesetzt wurden. Bei 25 °C zeigten die Tiere die geringste  $T_d$ , so dass die ersten Blattlausnymphen bereits von durchschnittlich 8 Tage alten Imagines abgesetzt wurden, was einer erneuten Reduktion der Entwicklungszeit von ca. 25 % entspricht. Eine weitere Erhöhung der Temperatur auf 30 °C führte zu einem 100%igen Ausfall der *M. persicae*, die keine 24 Stunden überlebten (Abb. 19).

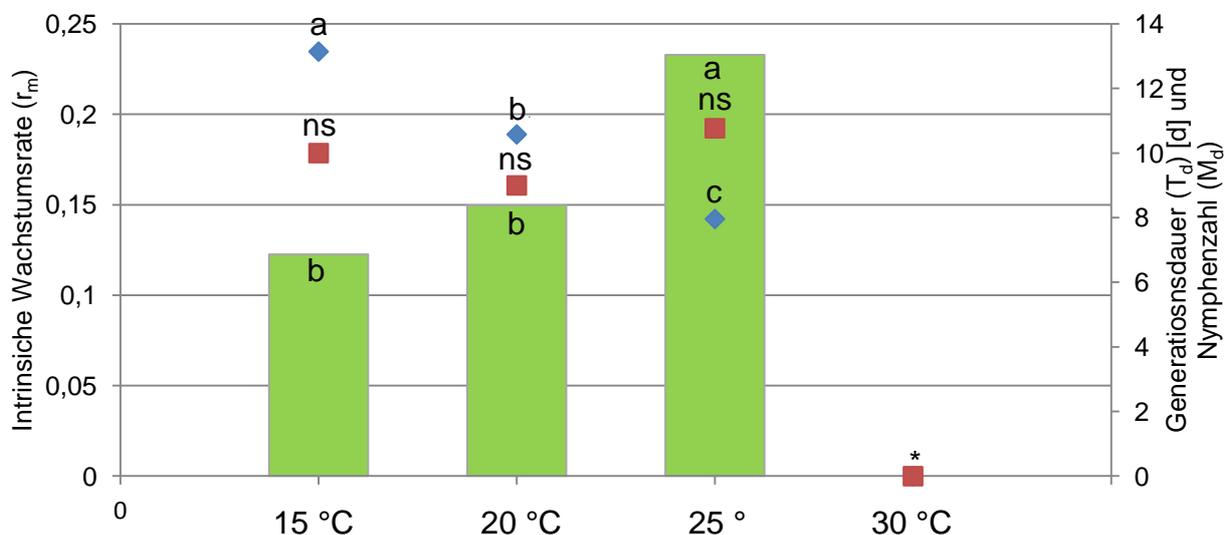


Abb. 19: Intrinsische Wachstumsrate  $r_m$  ■ (nach WYATT & WHITE 1977) von *M. persicae* auf *P. crispum* bei unterschiedlichen Temperaturen (Primärachse), dazu entsprechend Generationsdauer  $T_d$  ◆ und Nymphenzahl in  $T_d = M_d$  ■ (beide Sekundärachse),  $n = 3-26$ , Verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Scheffé-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), ns = nicht signifikant, \* bei 30 °C starben alle *M. persicae* innerhalb der ersten 24 Stunden

Die Anzahl der in der Generationszeit ( $\triangleq T_d$ ) ab den ersten Nachkommen abgelegten Nymphen ( $M_d$ ) unterschied sich in den drei Varianten zwischen 15 °C und 25 °C nicht

signifikant (Tabelle 12). In der kühleren Variante wurden durchschnittlich 10 Nachkommen pro Imago abgelegt, bei 20 °C waren es 10 % weniger. Bei 25 °C wurden in der kürzesten Zeit mit durchschnittlich 10,8 Nymphen die meisten Nachkommen produziert (Abb. 19).

Auf Grund der kürzesten Entwicklungszeit und der meisten Nachkommen pro Generationsdauer zeigte *M. persicae* bei 25 °C die höchste intrinsische Wachstumsrate der Population ( $r_m$ ) von 0,233 Nymphen \* ♀ \* Tag<sup>-1</sup> (Tabelle 12). Dies ist eine statistisch signifikante Steigerung gegenüber den beiden kühleren Varianten (ANOVA, REGW-F Test,  $\alpha \leq 0,05$ ). So erreichten die Blattläuse angesichts der langsameren Entwicklung bei annähernd gleicher Nachkommenzahl eine  $r_m$  von 0,122 bei 15 °C und eine leicht gesteigerte  $r_m$  von 0,150 bei 20 °C. Auf Grund des Totalausfalls der Tiere bei 30 °C konnte keine Wachstumsrate der Population ermittelt werden (Abb. 19).

Die Zeit D, in der sich die Größe der Blattlauspopulation verdoppelte, unterlag somit ebenfalls stark dem Einflussfaktor Temperatur. So dauerte es bei 15 °C 5,8 Tage bis sich die Population verdoppelte. Bei 20 °C reduzierte sich die Zeit leicht auf 5,2 Tage (statistisch nicht signifikant). Bei 25 °C reduzierte sich D signifikant auf nur noch 3,1 Tage (Tabelle 12).

Tabelle 12: Einfluss der Temperatur auf Populationswachstum von *M. persicae* auf *P. crispum*

	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
$T_d$ Präreproduktionszeit/ Generationsdauer [d]	13,14 a <sup>1</sup> ± 1,79	10,58 b ± 1,84	7,96 c ± 1,27	*
$M_d$ Anzahl Nymphen * $\text{♀}^{-1}$ * $T_d^{-1}$	10,0 ns ± 3,61	9,0 ns ± 3,94	10,77 ns ± 3,72	
$r_m$ Intrinsische Wachstumsrate der Population [ $\text{♀} * \text{♀}^{-1} * \text{d}^{-1}$ ]	0,122 b ± 0,03	0,150 b ± 0,05	0,233 a ± 0,05	
D Generation doubling time [d]	5,8 a ± 1,51	5,2 a ± 1,91	3,1 b ± 1,45	

<sup>1</sup> verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede, ns = nicht signifikant (ANOVA, Scheffé-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), n = 3-26, ± Standardabweichung, \* bei 30 °C starben alle *M. persicae* innerhalb der ersten 24 Stunden

### 4.3. Einfluss der Tageslichtlänge auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* auf *P. crispum*

Die Tageslichtlänge zeigt einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklungsgeschwindigkeit von *M. persicae*-Populationen auf *P. crispum* (Abb. 20). In den in Klimakammern am Campus Klein-Altendorf durchgeführten Versuchen zeigte sich auf Petersilie bei 16 Stunden Belichtung die kürzeste Entwicklungszeit ( $T_d$ ) von durchschnittlich 8,2 Tagen, bis es zur Geburt der ersten Nachkommen kam. Bei einer Verkürzung der Tageslichtlänge auf 11 Stunden verlängerte sich diese Präreproduktionszeit auf 8,4 Tage. Eine erneute Reduktion der Tageslichtlänge auf nur noch sechs Stunden erhöhte die Entwicklungszeit der Blattläuse von Geburt bis zur Produktion ihrer ersten Nachkommen statistisch signifikant um weitere ca. 15 % auf 9,7 Tage (Tabelle 13). Auch die Anzahl der Nymphen, die die *M. persicae* auf *P. crispum* ablegten, wurde von der Tageslichtlänge maßgeblich beeinflusst. Bei 16-stündiger Beleuchtung der Pflanzen gebaren die Blattläuse durchschnittlich 18,6 Nachkommen während der Generationszeit ( $\triangleq T_d$ ). Dieser  $M_d$  genannte Wert, verringerte sich bei auf elf Stunden verkürzter Tageslichtlänge um über 30 % auf 12,8 Nachkommen. Eine weitere Verkürzung auf nur noch 6 Stunden führte zu einer statistisch signifikanten Reduktion der geborenen Nymphenanzahl auf 10,7.

Durch eine reduzierte Nachkommenzahl ( $M_d$ ) bei verlängerter Generationszeit  $T_d$  kommt es zu einem reduzierten Populationswachstum bei verkürzter Tageslichtlänge (Abb. 20). Die intrinsische Wachstumsrate  $r_m$  der *M. persicae* betrug bei 16-stündiger Beleuchtung 0,267 auf *O. basilicum* (Tabelle 13). Bei 11-stündiger Beleuchtung verringerte sich  $r_m$  um ca. 15 % auf 0,229. Bei 6-stündiger Tageslichtlänge betrug  $r_m$  lediglich 0,167, eine statistisch signifikante Reduktion um 26 % bzw. 36 % zu den länger belichteten Varianten. Somit erhöhte sich die Zeit  $D$ , die benötigt wird bis sich die Größe der Blattlauspopulation verdoppelt, von 2,9 bzw. 3 Tagen bei 16 und 11 Stunden Licht um über 36 % auf 4,8 Tage (Tabelle 13).

Um einen Einfluss der Wirtspflanze auszuschließen wurde eine Kontrollvariante mit *B. oleracea*-Pflanzen in den gleichen Klimaräumen durchgeführt. Auch hier zeigte sich die gleiche Reaktion der Blattläuse auf die verkürzte Tageslichtlänge (Abb. 21).

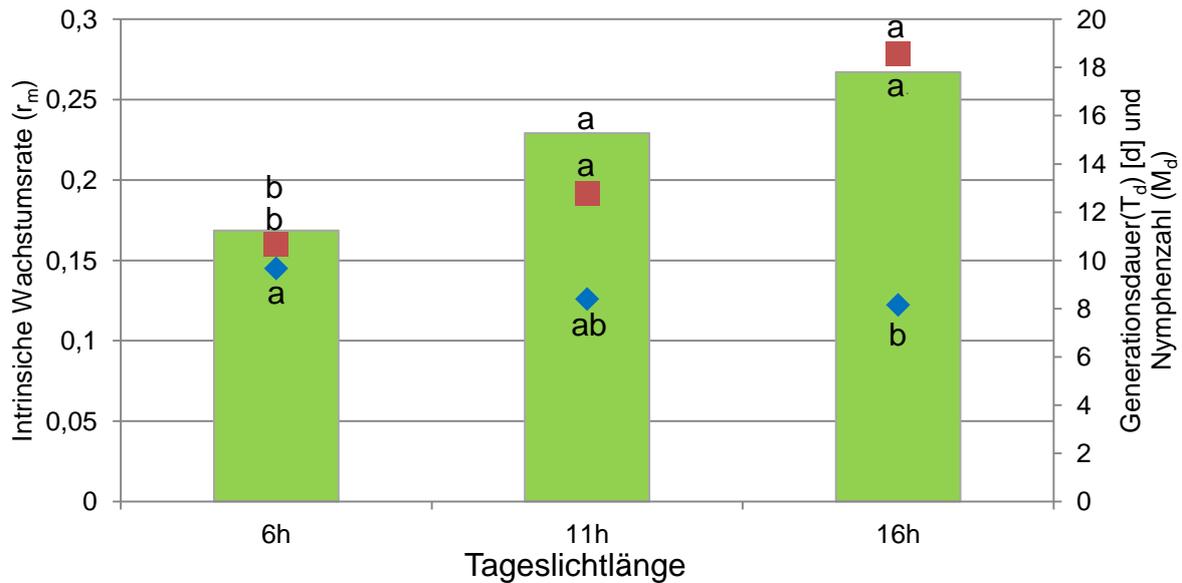


Abb. 20: Intrinsische Wachstumsrate  $r_m$  ■ (nach WYATT & WHITE 1977) von *M. persicae* auf *P. crispum* bei unterschiedlicher Tageslichtlänge (Primärachse), dazu entsprechend Generationsdauer  $T_d$  ◆ und Nymphenzahl in  $T_d = M_d$  ■ (beide Sekundärachse),  $n = 18-26$ , Verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Scheffé-Test  $\alpha \leq 0,05$ )

Tabelle 13: Einfluss der Tageslichtlänge in Stunden [h] auf die Individual- und Populationsentwicklung von *M. persicae* an *P. crispum* und *B. oleracea* var. *sabellica*

	<i>P. crispum</i>			<i>B. oleracea</i>		
	6 h	11 h	16 h	6 h	11 h	16 h
$T_d$ Präreproduktionszeit/ Generationsdauer [ $T_d$ ]	9,67 a ±1,52	8,40 ab ± 2,26	8,15 b ± 1,59	9,22 ab ± 2,18	8,05 b ±1,02	7,68 b ± 1,08
$M_d$ Anzahl Nymphen * $\text{♀}^{-1}$ * $T_d^{-1}$	10,67 b ± 5,66	12,78 ab ± 6,06	18,55 a ± 7,44	16,86 ab ± 9,27	16,53 ab ± 8,51	18,94 a ± 8,07
$r_m$ Intrinsische Wachstumsrate der Population [ $\text{♀} * \text{♀}^{-1} * \text{d}^{-1}$ ]	0,169 b ± 0,07	0,229 a ± 0,08	0,267 a ± 0,08	0,226 ab ± 0,07	0,242 b ± 0,07	0,282 a ± 0,05
D Generation doubling time [d]	4,8 a ± 3,41	3,0 b ± 0,73	2,9 b 1,04	3,4 b ± 1,21	3,2 b ± 1,21	2,6 b ± 0,55

verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Scheffé-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 18-26$ , ± Standardabweichung

#### 4.4. Einfluss der Blattmorphologie von *P. crispum* auf die Populationsentwicklung von *M. persicae*

Die unterschiedliche Blattmorphologie mit glatten bzw. krausen Blättern von *P. crispum* zeigt keinen signifikanten Einfluss auf die Populationsentwicklung von *M. persicae* (Abb. 21). Insgesamt durchliefen die Blattläuse ihre Entwicklung bis zur Ablage der ersten Nachkommen ( $T_d$ ) auf *P. crispum* mit krausen Blättern mit 8,73 Tagen etwas schneller als auf der glattblättrigen Sorte (10,07 Tage) und sogar schneller als auf der Zuchtpflanze *B. oleracea* (9,64 Tage), jedoch statistisch nicht signifikant (Tabelle 14). Die anschließende Zahl der geborenen Nachkommen pro Blattlaus während der Generationsdauer,  $M_d$ , war hingegen auf *P. crispum* mit krausen Blättern mit nur 7,2 Nachkommen am geringsten. Auf der glattblättrigen Variante wurden im entsprechenden Zeitraum 10,15 Nymphen (+ 14 %) abgesetzt. Mehr Nachkommen wurden von *M. persicae* hingegen auf *B. oleracea* abgesetzt (17,29). Dementsprechend ergab sich für *P. crispum* mit krausen Blättern die geringste intrinsische Wachstumsrate der Population ( $r_m$ ) von  $0,161 \text{ ♀} * \text{♀}^{-1} * \text{d}^{-1}$ . Auf der glattblättrigen Sorte entwickelte sich die Blattlauspopulation etwas stärker, mit einem  $r_m$ -Wert von 0,176. Die höchste Wachstumsrate von 0,211 wurde auf der ursprünglichen Wirtspflanze *B. oleracea* var. *sabellica* erreicht.

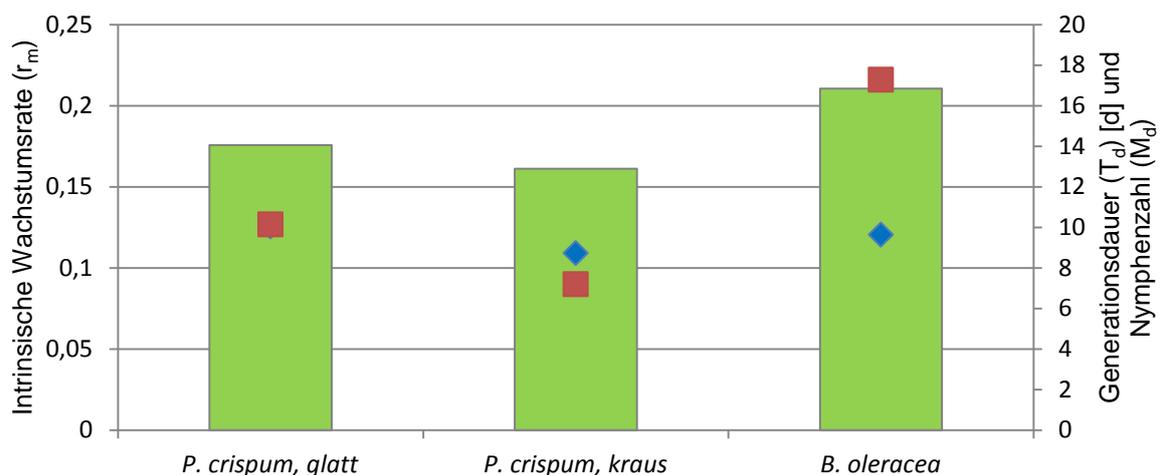


Abb. 21: Intrinsische Wachstumsrate  $r_m$  ■ (nach WYATT & WHITE 1977) von *M. persicae* auf glatter und krauser *P. crispum* sowie auf *B. oleracea* (Primärachse), dazu entsprechend Generationsdauer  $T_d$  ◆ und Nymphenzahl in  $T_d = M_d$  ■ (beide Sekundärachse), (ANOVA, Scheffé-Test  $\alpha \leq 0,05$ ):  $T_d$ ,  $M_d$  und  $r_m$  unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Arten,  $n = 8-28$

Dementsprechend zeigte sich in der Kontrollvariante auf *B. oleracea* auch die geringste Verdopplungsdauer der Generation (D) von 4,41 Tagen (Tabelle 14). Die Größe der Population auf glattblättriger *P. crispum* verdoppelte sich nach 5,2 Tagen, auf der krausen Sorte dauerte es 5,7 Tage.

Tabelle 14: Einfluss der Blattmorphologie von *P. crispum* auf die Populationsentwicklung von *M. persicae*

	<i>P. crispum</i> , glatt	<i>P. crispum</i> , kraus	<i>B. oleracea</i>
$T_d$ Präreproduktionszeit/ Generationsdauer [ $T_d$ ]	10,05 ns ± 2,41	8,73 ± 2,22	9,64 ± 1,87
$M_d$ Anzahl Nymphen * $\varnothing^{-1}$ * $T_d^{-1}$	10,15 ns ± 8,15	7,20 ± 3,84	17,29 ± 7,41
$r_m$ Intrinsische Wachstumsrate der Population [ $\varnothing$ * $\varnothing^{-1}$ * $d^{-1}$ ]	0,176 ns ± 0,07	0,161 ± 0,08	0,211 ± 0,08
D Generation doubling time [d]	5,18 ns ± 2,12	5,66 ± 1,75	4,41 ± 3,12

ns = nicht signifikant, n = 8-28, ± Standardabweichung

#### 4.5. Wirtskräuterpräferenz von *M. persicae*

Die Wirtspflanzenpräferenz von *M. persicae* wurde auf den vier verschiedenen Topfkräutern *P. crispum*, *O. basilicum*, *M. spicata* und *B. officinalis* untersucht. Die polyphagen Tiere waren während dieses Versuches in der Lage sich von der Wirtspflanze der Stammzucht (*B. oleracea*) an alle vier angebotenen Pflanzen anzupassen und sich auf ihnen zu vermehren, was anhand eines Anstieges der Anzahl Blattläuse pro Pflanze von 7 auf 14 Tagen nach Ausbringung deutlich wurde (Abb. 22).

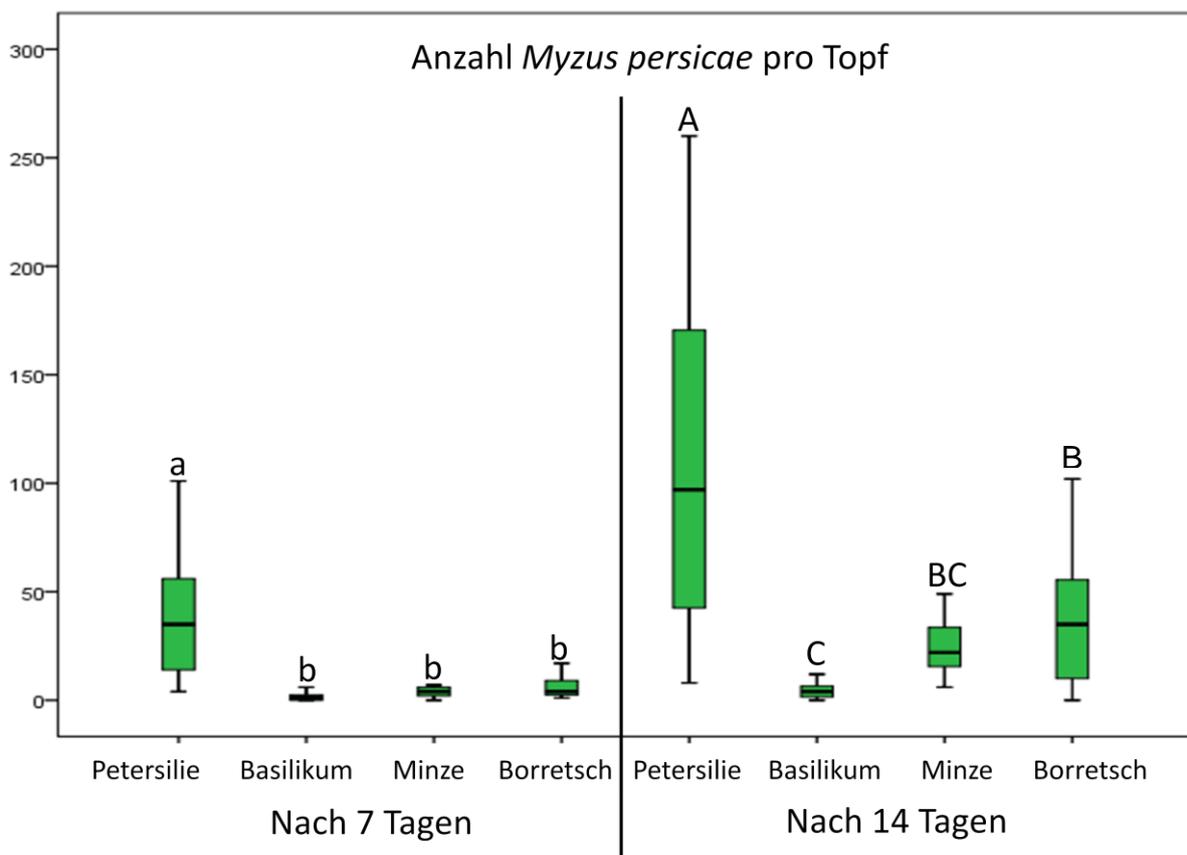


Abb. 22: Befall verschiedener Topfkräuter mit *M. persicae* nach jeweils 7 und 14 Tagen, unterschiedliche Buchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede an (ANOVA Tukey HSD,  $\alpha \leq 0,05$ ), zweiter Durchgang,  $n = 27$

Die Stärke der Entwicklung unterschied sich in den einzelnen Arten allerdings stark. Bereits nach sieben Tagen zeigte sich eine Präferenz der Tiere für die angebotene glatte Petersilie, die mit bis zu 100 Tieren pro Pflanze statistisch signifikant am stärksten befallen war (Abb. 22). Dabei wies nur *P. crispum* Pflanzen mit sehr starkem Befall und keine befallsfreien Pflanzen auf (Abb. 23). Lediglich auf Zwei von 54 Pflanzen der stark behaarten Art *B. officinalis* entwickelte sich ein starker Befall mit *M. persicae* nach 7 Tagen. Dem stand jedoch die höchste Anzahl befallsfreier Pflanzen gegenüber. Auf den Pflanzen mit höherem Anteil an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, *O. basilicum* und *M. spicata*, entwickelten sich die Blattläuse während der ersten sieben Tage etwa gleich, mit sehr vielen leicht (1-2 Blattläuse pro Pflanze) befallener Pflanzen (Abb. 23).

Nach 14 Tagen hatten sich der Blattlausbesatz auf allen angebotenen Wirtspflanzen stark vergrößert (Abb. 22). Die *M. persicae* entwickelten sich weiterhin am besten auf *P. crispum*, die mit bis zu 250 Blattläusen \* Topf<sup>-1</sup> befallen war. Zu diesem späteren Boniturtermin ließ sich jedoch auch eine statistisch signifikante Differenzierung (Tukey-HSD,  $\alpha \leq 0,05$ ) der Entwicklung auf den anderen drei Pflanzenarten vornehmen (Abb. 22). Wie bereits nach einer Woche angedeutet, zeigte sich die zweitstärkste Entwicklung der Blattlauspopulation auf *B. officinalis*, trotz der höchsten Anzahl nicht befallener Pflanzen (Abb. 23). Die zweitschwächste Entwicklung zeigte sich auf der haarigen *M. spicata*, gefolgt von *O. basilicum*, welches ebenfalls viele sekundäre Inhaltsstoffe enthält.

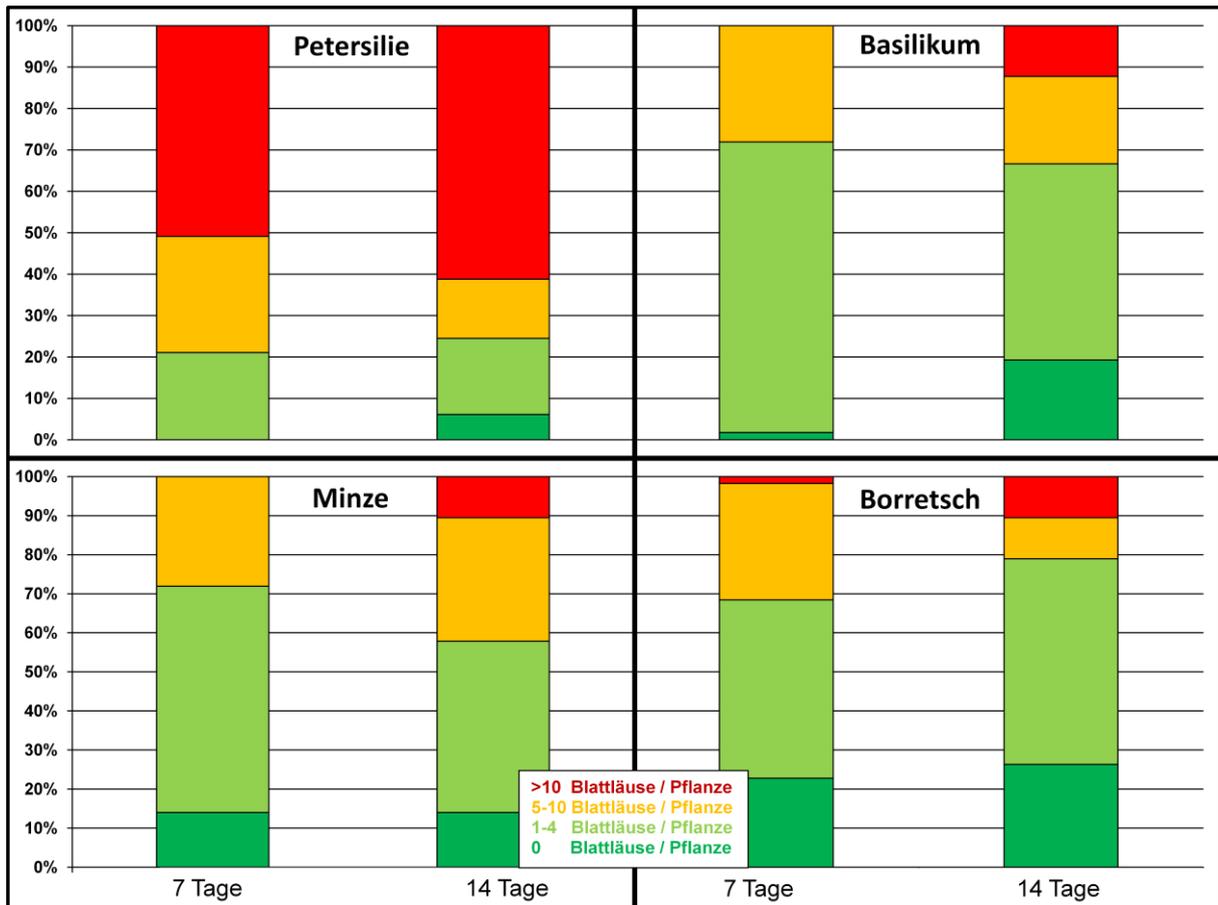


Abb. 23: Befall verschiedener Topfkräuter mit *Myzus persicae* jeweils 7 bzw. 14 Tage nach Inokulation, unterschiedlich gefärbte Balken zeigen Häufigkeit verschiedener Befallstärken der einzelnen Töpfe an [in %], Boniturschema nach DASSONVILLE ET AL. 2012, n = 54

#### 4.6. Einfluss verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von *A. solani*

Bei der Untersuchung des Einflusses verschiedener Basilikumsorten *O. basilicum* auf die Populationsentwicklung von *A. solani* wurden die Blattläuse auf Blätter insgesamt sechs verschiedener Sorten aufgebracht. Dabei zeigten sich große Unterschiede in der Anzahl der Nachkommen, die von den Blattläusen über einen Zeitraum von fünf Tagen abgesetzt wurden. Die höchste Nachkommenzahl zeigten die Insekten auf der Sorte ‚Wild Red‘, auf der durchschnittlich 10,8 Tiere abgesetzt wurden. Kaum geringer war die Nachkommenzahl auf der Sorte ‚Ajaka‘ mit 9,6 Nymphen pro adulter Laus. Die Sorte ‚Dark Lady‘ gehörte mit 7,9 Nymphen \* ♀<sup>-1</sup> ebenfalls zu den Sorten mit hoher Nachkommenzahl. Auf den Blättern der Sorten ‚Feronia‘, ‚Wild Magic‘ und ‚Lhasa‘ entwickelten sich mit 1,4, 0,2 und Null ♀ \* ♀<sup>-1</sup> hingegen kaum Nachkommen von *A. solani* (Tabelle 15).

Tabelle 15: Anzahl überlebender adulter *A. solani* auf verschiedenen *O. basilicum*-Sorten, sowie Mortalitätsrate und Nachkommenzahl der Blattläuse über einen Zeitraum von fünf Tagen

Variante	Anzahl Adulte (nach 5 Tagen)	Mortalitäts- rate [%]	Gesamte Nachkommen	Nachkommen * ♀ <sup>-1</sup>
Ajaka	1,4 ab <sup>1</sup> ± 0,55	53,3	47	9,6 ns ± 9,5
Dark Lady	1,2 ab ± 0,84	60,0	37	7,4 ± 7,3
Feronia	1,0 ab ± 0,70	66,6	7	1,4 ± 3,1
Lhasa	0,6 bc ± 0,54	80,0	0	0,0 ± 0,0
Wild Magic	0,2 c ± 0,44	93,3	1	0,2 ± 0,5
Wild Red	1,6 a ± 0,55	46,6	54	10,8 ± 14,5

<sup>1</sup> verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA Duncan-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), ns = nicht signifikant, n = 5, ± Standardabweichung (verändert nach PREUSS 2013)

Im Laufe des Versuches kam es in den Petrischalen zu einem steten Absterben der Blattlausimagines über die fünftägige Versuchsdauer (Abb. 24). Dabei zeigte sich die höchste Sterblichkeitsrate von 93,3 % bei der Sorte ‚Wild Magic‘. Damit unterschied sie sich statistisch signifikant von den drei Sorten, die auch die meisten Nachkommen hatten: ‚Ajaka‘, ‚Dark Lady‘ und ‚Wild Red‘. Die zweithöchste Mortalitätsrate konnte bei der Sorte ‚Lhasa‘ festgestellt werden, auf deren Blättern 80 % der ursprünglich aufgesetzten Blattläuse starben. Geringer war die Mortalität bei ‚Feronia‘ mit 66,6 %, ‚Dark Lady‘ mit 60 % und ‚Ajaka‘ mit 53,3 %. Die geringste Sterblichkeit wurde in diesem Versuch auf Blättern der Basilikumsorte ‚Wild Red‘ gemessen, auf der lediglich 46,6 % der ursprünglich ausgebrachten Imagines von *A. solani* während des Versuches starben (Tabelle 15).

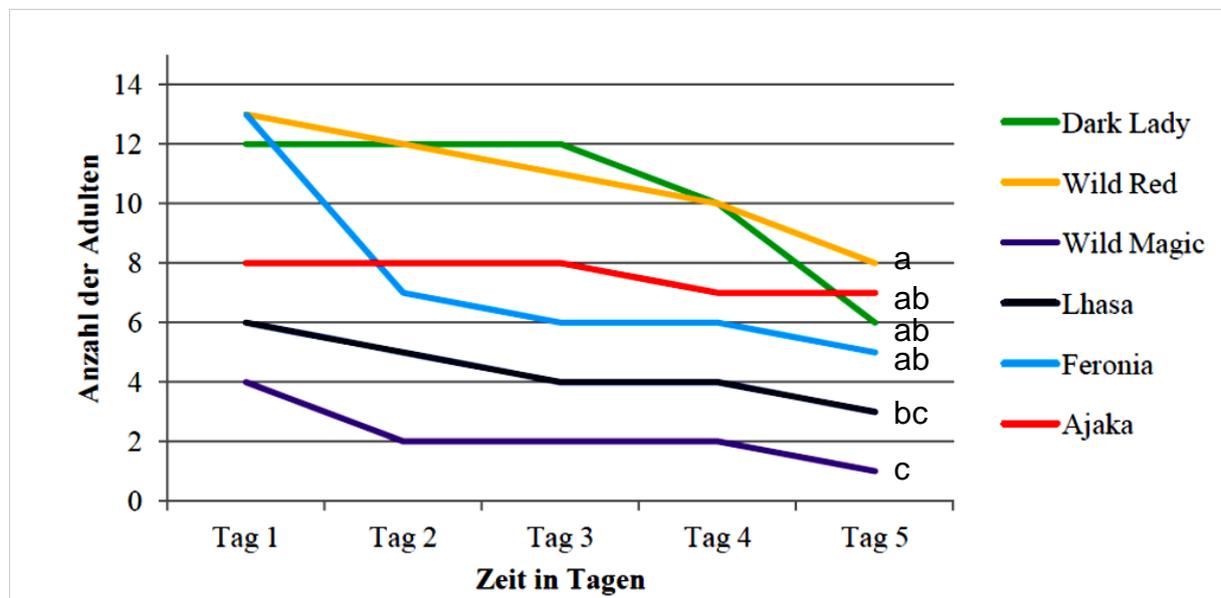


Abb. 24: Abnahme der Anzahl lebender Blattlausimagines im Versuch zum Einfluss verschiedener Sorten *O. basilicum* auf *A. solani* (PREUSS 2013), verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA Duncan-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 5$

#### 4.7. Einfluss ätherischer Öle verschiedener Basilikumsorten auf die Populationsdynamik von *A. solani*

Die ätherischen Öle der sechs verschiedenen Basilikumsorten von *O. basilicum*, zeigten einen deutlichen Einfluss auf die Anzahl der Nachkommen, von *A. solani* während des fünftägigen Versuches. Auch die Konzentration der Öle war hierbei entscheidend.

Tabelle 16: Anzahl überlebender adulter *A. solani* auf *O. basilicum* ‚Genoveser‘ in Abhängigkeit von den ätherischen Ölen der verschiedenen *O. basilicum* Sorten, sowie Mortalitätsrate und Nachkommenzahl der Blattläuse über einen Zeitraum von fünf Tagen

Variante	Anzahl Adulte (nach 5 Tagen)	Mortalitäts- rate [%]	Gesamte Nachkommen	Nachkommen * Schale <sup>-1</sup>
Ajaka 1 µl	2,67 ns ± 0,47	11,1	46	15,33 a ± 1,73
Ajaka 2 µl	2,67 ± 0,47	11,1	52	17,3 ab ± 1,96
Dark Lady 1 µl	2,33 ± 0,47	22,2	40	13,3 ab ± 1,99
Dark Lady 2 µl	2,33 ± 0,47	22,2	81	27,0 a ± 2,60
Feronia 1 µl	1,67 ± 0,47	44,4	29	9,7 b ± 1,81
Feronia 2 µl	1,33 ± 0,47	55,6	41	13,7 ab ± 2,14
Lhasa 1 µl	2,33 ± 0,47	22,2	59	19,7 ab ± 2,77
Lhasa 2 µl	1,67 ± 1,25	44,4	54	18,0 ab ± 3,78
Wild Magic 1 µl	1,33 ± 0,57	55,6	35	11,7 ab ± 1,92
Wild Magic 2 µl	2,00 ± 0,00	33,3	47	15,7 ab ± 1,54

verschiedene Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA Duncan-Test  $\alpha \leq 0,05$ ), ns = nicht signifikant, n = 5, ± Standardabweichung

Die meisten Nachkommen (27) gebaren die Blattläuse, die in Petrischalen mit 2  $\mu\text{l}$  des Öles der Sorte ‚Dark Lady‘ gehalten wurden. Die zweithöchste Nachkommenzahl von 19,7 wurde in der Variante ‚Lhasa‘ 1  $\mu\text{l}$  erreicht, gefolgt von ‚Lhasa‘ 2  $\mu\text{l}$  mit durchschnittlich 18,0 Nymphen \* Schale<sup>-1</sup>. Die Sorte ‚Ajaka‘ lag mit 15,3 (1  $\mu\text{l}$ ) und 17,3 (2  $\mu\text{l}$ ) Nachkommen im Mittelfeld. Etwas darunter lag die Sorte ‚Wild Magic‘ mit 11,7 und 15,7 Nymphen pro Schale. Die niedrigste Nachkommenzahl von 9,7 wurden in der Variante ‚Feronia‘ 1  $\mu\text{l}$  erzielt. Allgemein zeigten sich steigende Nachkommenzahlen mit steigender Konzentration der reinen ätherischen Öle der einzelnen Basilikumsorten (Tabelle 16).

Die Sterblichkeitsrate der Blattläuse war in diesem Versuch mit *A. solani* auf *O. basilicum* ‚Genoveser‘ geringer als zuvor auf den Blättern der verschiedenen Basilikumsorten. Die geringste Mortalitätsrate von 11,1% zeigte sich in den Varianten mit Öl der Sorte ‚Ajaka‘. Beide ‚Dark Lady‘ sowie die ‚Lhasa‘ 1  $\mu\text{l}$ -Variante zeigten eine leicht erhöhte Sterblichkeit von 22,2 %. ‚Wild Magic‘ lag in der 2  $\mu\text{l}$ -Variante mit 33,3 % im Mittelfeld, eine etwas höhere Mortalität von 44,4% konnte bei ‚Feronia‘ 1  $\mu\text{l}$  und ‚Lhasa‘ 2  $\mu\text{l}$  festgestellt werden. Die höchste Sterblichkeit von 55,6 % ergab sich in den Varianten ‚Feronia‘ 2  $\mu\text{l}$  und ‚Wild Magic‘ 1  $\mu\text{l}$  (Tabelle 16).

#### 4.8. Einfluss niedriger Temperatur sowie Lichtreduktion auf die Parasitierungsleistung verschiedener Schlupfwespenarten im Einsatz gegen *M. persicae*

Durch alle Durchgänge parasitierten die drei verwendeten Schlupfwespenarten *A. colemani*, *A. matricariae* und *E. cerasicola* sowohl bei Dunkelheit als auch bei einer Beleuchtung von 3000 lx. Dabei zeigte sich kontinuierlich eine signifikant höhere Parasitierung bei den beleuchteten Varianten sowohl bei 10 °C als auch bei 20 °C (Tabelle 17 und Tabelle 18).

Tabelle 17: Parasitierungsrate und Reduktion der Parasitierungsrate von *M. persicae*, parasitiert bei 10 °C bzw. 20 °C und 3000 lx bzw. Dunkelheit von drei verschiedenen Parasitoiden, Durchgang 1

Parasitoid	Temperatur		20 °C			10 °C		
	Licht		3000 lx	0 lx	Reduktion	3000 lx	0 lx	Reduktion
<i>Aphidius colemani</i>			48,5 *	14,0	-71,1 % <sup>1</sup>	16,0	13,5	-15,6 %
<i>Aphidius matricariae</i>			74,5 ***	14,5	-80,5 %	30,0	15,5	-48,3 %
<i>Ephedrus cerasicola</i>			73,0 ***	10,5	-85,6 %	48,5 ***	4,0	-91,8 %

n = 20 *M. persicae* synchronisieren Alters parasitiert von einem Parasitoiden (♀) ebenfalls synchronisiertem Alters während einer 4-stündigen Ovipositionszeit, <sup>1</sup> Reduktion der Parasitierungsrate von 3000 lx zu 0 lx in %, \* statistisch signifikanter Unterschied zwischen der 3000 lx und 0 lx Variante gleicher Temperatur (t-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), \*\* ( $\alpha \leq 0,01$ ), \*\*\* ( $\alpha \leq 0,001$ )

Im ersten Durchgang parasitierte *A. matricariae* mit 74,4 % der angebotenen Blattläuse bei 20 °C und 3.000 lx die meisten Tiere. Bei gleicher Temperatur reduzierte sich bei Dunkelheit die Parasitierungsleistung statistisch signifikant um 80,5 % auf 14,5 %. Eine etwas geringere Parasitierungsleistung von 73,0 % erzielte bei 20 °C *E. cerasicola*. Bei dieser Schlupfwespenart kam es zur höchsten Reduzierung der Parasitierungsrate in Dunkelheit von 85,6 % auf 10,5 % der Blattläuse. *Aphidius matricariae* parasitierte im ersten Durchgang mit 48,5 % die wenigsten *M. persicae* bei 20 °C und 3.000 lx, dafür jedoch die meisten (14 %) in Dunkelheit und zeigte so die geringste Abnahme der Parasitierungsleistung von 71,1 % (Tabelle 17).

Bei 10 °C zeigte sich insgesamt eine signifikant geringere Parasitierungsleistung bei 3.000 lx. Hier parasitierte *E. cerasicola* mit 48,5 % die meisten der angebotenen *M. persicae* bei 3.000 lx, statistisch signifikant 91,8 % mehr als bei Dunkelheit (4,0 %). *A. matricariae* parasitierte mit 30 % die zweitmeisten Blattläuse in der beleuchteten Variante, 48,3 % mehr als bei Dunkelheit. *A. colemani* parasitierte auch bei 10 °C die wenigsten Blattläuse und zeigte die geringste Beeinflussung durch Veränderungen in der Belichtung (16 % Parasitierung bei Licht und 13,5 % bei Dunkelheit) von 15,6 % (Tabelle 17). Insgesamt zeigte sich eine trotz recht hoher Streuung in der Anzahl der Blattläuse die von den Schlupfwespen parasitiert wurden klare Tendenzen bezüglich des Licht- und Temperatureinflusses (Abb. 25).

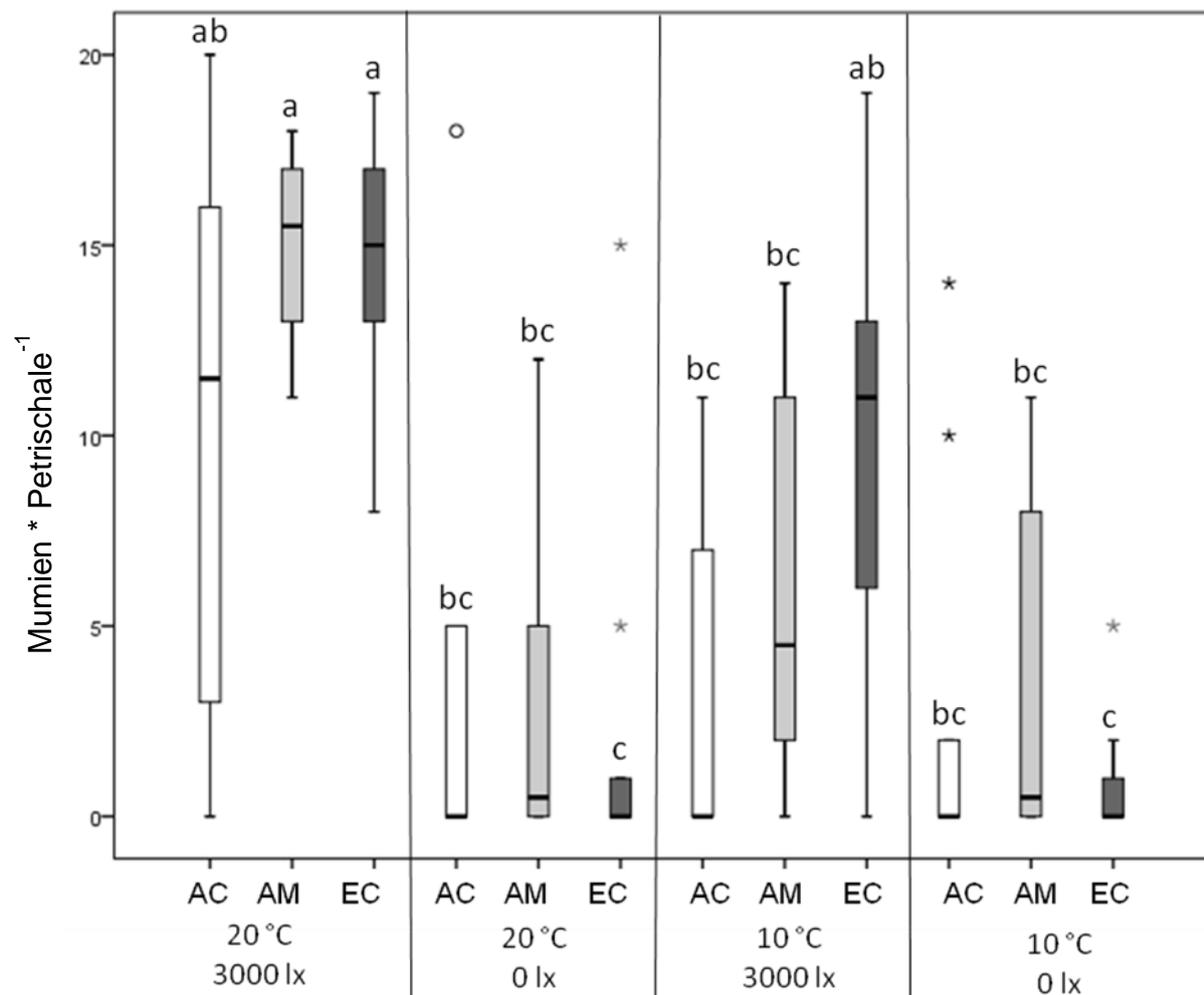


Abb. 25: Anzahl Blattlausmumien pro Petrischale mit  $n = 20$  alterssynchronisierten *M. persicae* parasitiert in einem 4-stündigen Ovipositionszeitraum unter verschiedenen Klimabedingungen von unterschiedlichen Parasitoiden: AC = *Aphidius colemani*, AM = *A. matricariae*; EC = *Ephedrus cerasicola*,  $n = 10$ , unterschiedliche Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), Durchgang 1

Im zweiten Durchgang war die Parasitierungsleistung der verwendeten Schlupfwespen insgesamt geringer, insbesondere *E. cerasicola* zeigte hier eine große Variabilität (Tabelle 17). Im Gegensatz zum ersten Durchgang betrug die Parasitierungsleistung dieses Parasitoiden bei 20 °C und 3.000 lx Beleuchtung lediglich 31 %. Bei gleicher Temperatur ohne Licht reduzierte sich die Anzahl der parasitierten Blattläuse allerdings um lediglich 19,4 %, so dass mit 25 % parasitierter *M. persicae* der höchste Wert für alle Null-lx-Varianten erzielt wurde, statistisch nicht unterschiedlich zur beleuchteten Variante. *A. colemani* parasitierte 55 % der 20 angebotenen Blattläuse bei 20 °C und 3.000 lx, 86,5 % mehr als in Dunkelheit (7,5 %). *A. matricariae* konnte 41 % Parasitierungsleistung erzielen, dafür bei Dunkelheit lediglich 6,5 % (-84,1 %).

Tabelle 18: Parasitierungsrate und Reduktion der Parasitierungsrate von *M. persicae*, parasitiert bei 10 °C bzw. 20 °C und 3000 lx bzw. Dunkelheit von drei verschiedenen Parasitoiden, Durchgang 2

Parasitoid	Temperatur		20 °C			10 °C		
	Licht		3.000 lx	0 lx	Reduktion	3.000 lx	0 lx	Reduktion
<i>Aphidius colemani</i>			55,5 ***	7,5	-86,5 % <sup>1</sup>	16,5	9,5	-42,4 %
<i>Aphidius matricariae</i>			41,0 **	6,5	-84,1 %	8,0	6,0	-25,0 %
<i>Ephedrus cerasicola</i>			31,0	25,0	-19,4 %	9,0	7,5	-16,7 %

n = 20 *M. persicae* synchronisieren Alters parasitiert von einem Parasitoiden (♀) ebenfalls synchronisiertem Alters während einer 4-stündigen Ovipositionszeit, <sup>1</sup> Reduktion der Parasitierungsrate von 3.000 lx zu 0 lx in %. \* statistisch signifikanter Unterschied zwischen der 3000 lx und 0 lx Variante gleicher Temperatur (t-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), \*\* ( $\alpha \leq 0,01$ ), \*\*\* ( $\alpha \leq 0,001$ )

Bei 10 °C verringerte sich die Parasitierungsrate mit 3.000 lx erneut signifikant zu den 20 °C-Varianten. Bei Dunkelheit zeigten sich wie auch im ersten Durchgang keine signifikanten Unterschiede zwischen der hohen und niedrigen Temperatur (Abb. 26). Die höchste Parasitierungsleistung erzielte *A. colemani* mit 16,5 % bei 3.000 lx, 42,4 % mehr als bei Dunkelheit (Tabelle 18). *A. matricariae* und *E. cerasicola* unterschieden sich mit 8,0 % und 9,0 % bei 3.000 lx und 6 % und 7,5 % im zweiten Durchgang bei der niedrigen Temperatur von 10 °C kaum voneinander.

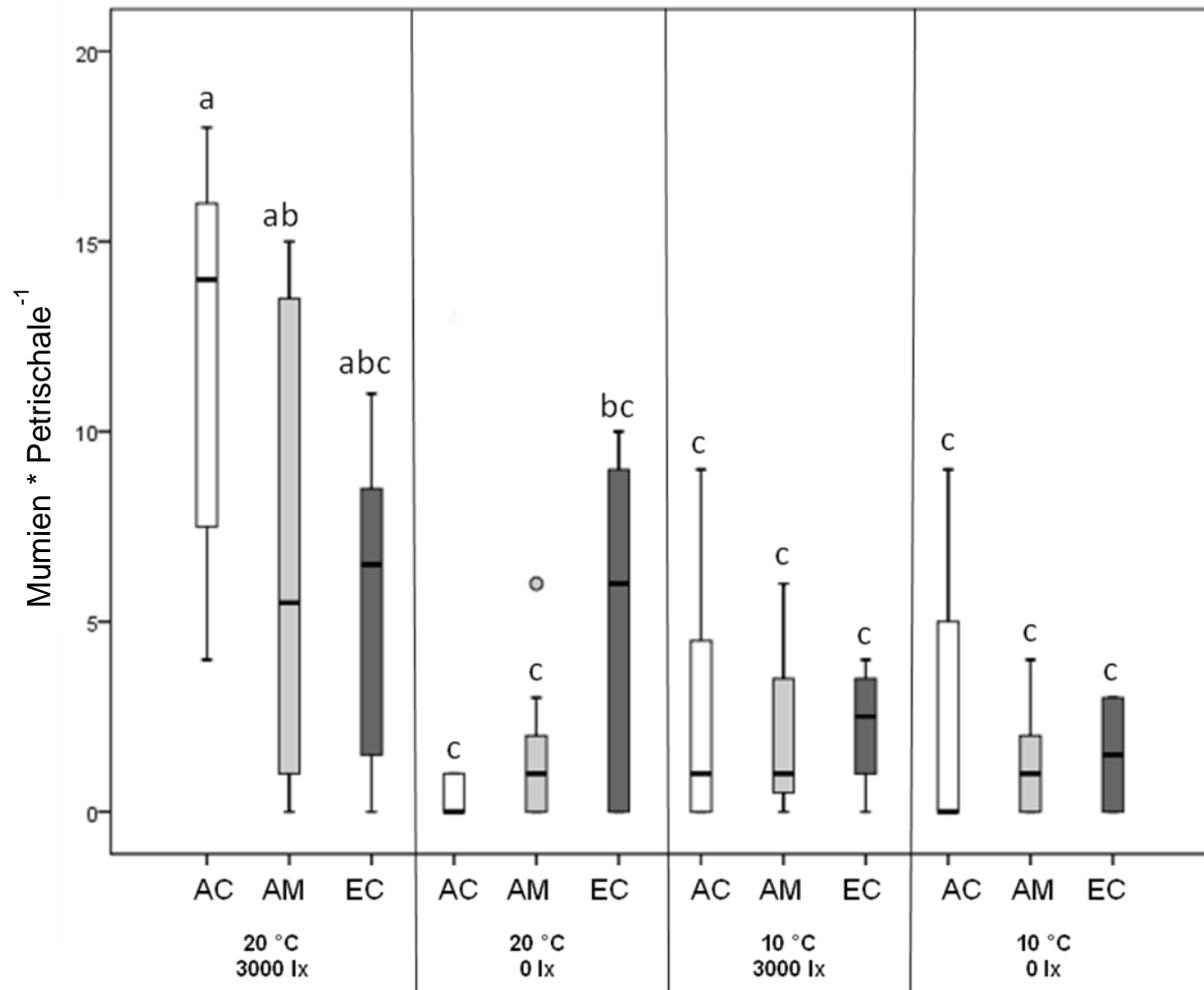


Abb. 26: Anzahl Blattlausmumien pro Petrischale mit  $n = 20$  alterssynchronisierten *M. persicae* parasitiert in einem 4-stündigen Ovipositionszeitraum unter verschiedenen Klimabedingungen von unterschiedlichen Parasitoiden: AC = *Aphidius colemani*, AM = *A. matricariae*; EC = *Ephedrus cerasicola*,  $n = 10$ , unterschiedliche Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-Test,  $\alpha \leq 0,05$ ), Durchgang 2

Bei der Entwicklung der parasitoiden Larven in den Blattlausmumien zeigte sich kein Einfluss der Belichtung während der Oviposition. Sowohl im ersten (Abb. 27) als auch im zweiten Durchgang (Abb. 28) zeigte sich bei einer Auflistung der kumulierten Anzahl der Blattlausmumien entsprechend ihres Formungstermins zwischen den verschiedenen Belichtungsvarianten gleicher Temperatur lediglich die unterschiedliche Anzahl gebildeter Mumien. Bei 10 °C entwickelten sich Larven unabhängig von der Belichtung während der Oviposition jedoch deutlich langsamer und ungleichmäßiger als bei 20 °C. So kam es zu einer späteren Verpuppung der Larven (d.h. Mumienbildung), die sich zwischen Individuen einer Art stärker unterschied, so dass sich die Mumienbildung über einen längeren Zeitraum verteilte.

Bei 20 °C hingegen erfolgte die Mumifizierung sehr synchron für alle Individuen innerhalb weniger Tage (Abb. 27 und Abb. 28).

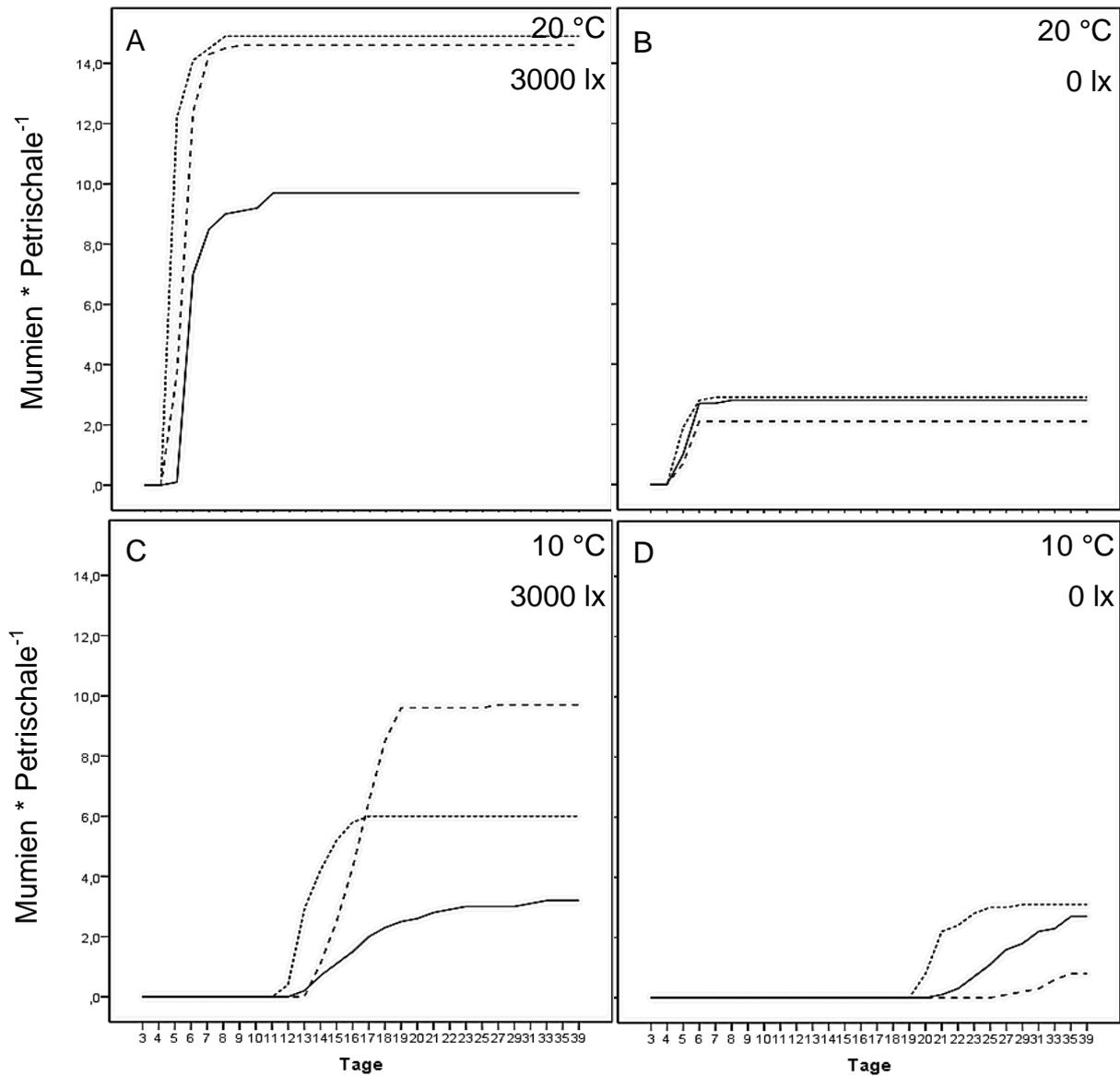


Abb. 27: Kumulierte Anzahl Mumien pro Petrischale bei unterschiedlichen Klimabedingungen ab drei Tagen nach Ende der Ovipositionszeit der drei Schlupfwespenarten, A) 20 °C, 3.000 lx, B) 20 °C, 0 lx, C) 10 °C, 3.000 lx, D) 10 °C, 0 lx, Durchgang 1

— = *A. colemani*, ..... = *A. matricariae*, - - - - - = *E. cerasicola*.

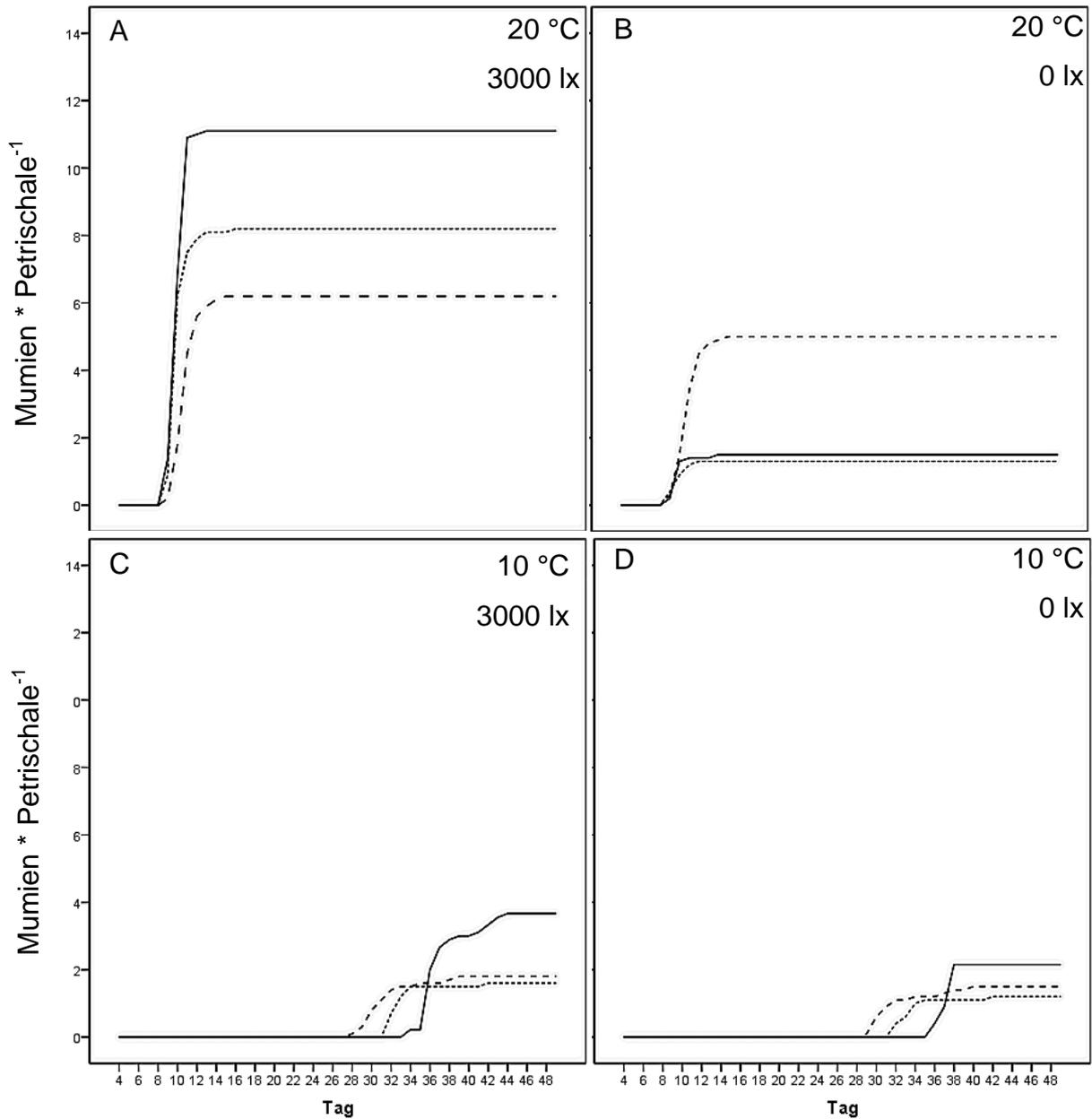


Abb. 28: Kumulierte Anzahl Mumien pro Petrischale bei unterschiedlichen Klimabedingungen ab drei Tagen nach Ende der Ovipositionszeit der drei Schlupfwespenarten, A) 20 °C, 3.000 lx, B) 20 °C, 0 lx, C) 10 °C, 3.000 lx, D) 10 °C, 0 lx, Durchgang 2

—— = *A. colemani*, ..... = *A. matricariae*, - - - - - = *E. cerasicola*

#### 4.9. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslänge auf den Bekämpfungserfolg von *A. matricariae* gegen *M. persicae* im Gewächshaus

Unter Gewächshausbedingungen konnte ein Einfluss der Tageslichtlänge auf den Bekämpfungserfolg von *A. matricariae* gegen die Blattlaus *M. persicae* auf *P. crispum* beobachtet werden. Zunächst zeigte sich eine signifikante Reduktion der Anzahl Blattläuse pro Pflanze bei 8- sowie 16-stündiger Beleuchtung, 7 und 14 Tage nach Ausbringung der Parasitoiden in Netzkäfigen im Gewächshaus (Tabelle 19).

Tabelle 19: Anzahl *M. persicae* pro Topf *P. crispum*, 7 und 14 Tage nach Ausbringung von zwei *A. matricariae* bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus

Variante	Tageslänge	Nützling	Blattläuse nach 7 Tagen	Reduktion	Blattläuse nach 14 Tagen	Reduktion
1	8 h	<i>A. matricariae</i>	8,53	-44,4 % **	14,52	-46,2 % ***
2		Kontrolle	15,33		26,98	
3	16 h	<i>A. matricariae</i>	7,70	-19,8 % *	15,47	-58,1 % ***
4		Kontrolle	9,63		37,32	

Sterne bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und der Nützlingsvariante bei jeweils gleicher Belichtungszeit (t-Test: \*  $\alpha \leq 0,05$ , \*\*  $\alpha \leq 0,01$ , \*\*\*  $\alpha \leq 0,001$ ),  $n = 10$

Nach 7 Tagen befanden sich bei 16-stündiger Beleuchtung durchschnittlich 9,6 *M. persicae* auf jedem unbehandelten Topf. Das Aussetzen von zwei *A. matricariae* \*  $m^{-2}$  reduzierte diesen Befall signifikant auf 7,7 Blattläuse \*  $Topf^{-1}$  (Tabelle 19). In der Variante mit reduzierter Beleuchtungslänge befanden sich nach sieben Tagen durchschnittlich 15,3 *M. persicae* an jeder Pflanze der unbehandelten Kontrolle, *A. matricariae* reduzierte die Anzahl signifikant um 44,4 % auf 8,5 Blattläuse \*  $Topf^{-1}$ .

Nach 14 Tagen hatte sich die Anzahl der Blattläuse in der Variante mit 16-stündiger Beleuchtung ohne Nützlingseinsatz bereits auf durchschnittlich 37,3 *M. persicae* pro Pflanze erhöht. In der Variante mit *A. matricariae*-Zugabe reduzierte sich diese Anzahl signifikant um 58,1 % auf 15,5. Bei kürzerer Tageslichtlänge war der

Blattlausbefall leicht reduziert. Unbehandelt betrug er 27,0 Blattläuse \* Topf<sup>-1</sup>, signifikant reduziert um 46,2 % auf 14,5 Blattläuse durch den Einsatz von Parasitoiden.

Die Varianten ohne Nützlingseinsatz unterschieden sich sowohl nach 7 als auch nach 14 Tagen je nach Tageslichtlänge statistisch signifikant voneinander (Abb. 29). Die Varianten mit Einsatz der Schlupfwespen *A. matricariae* unterschieden sich untereinander in den beiden Belichtungszeitvarianten nicht signifikant voneinander.

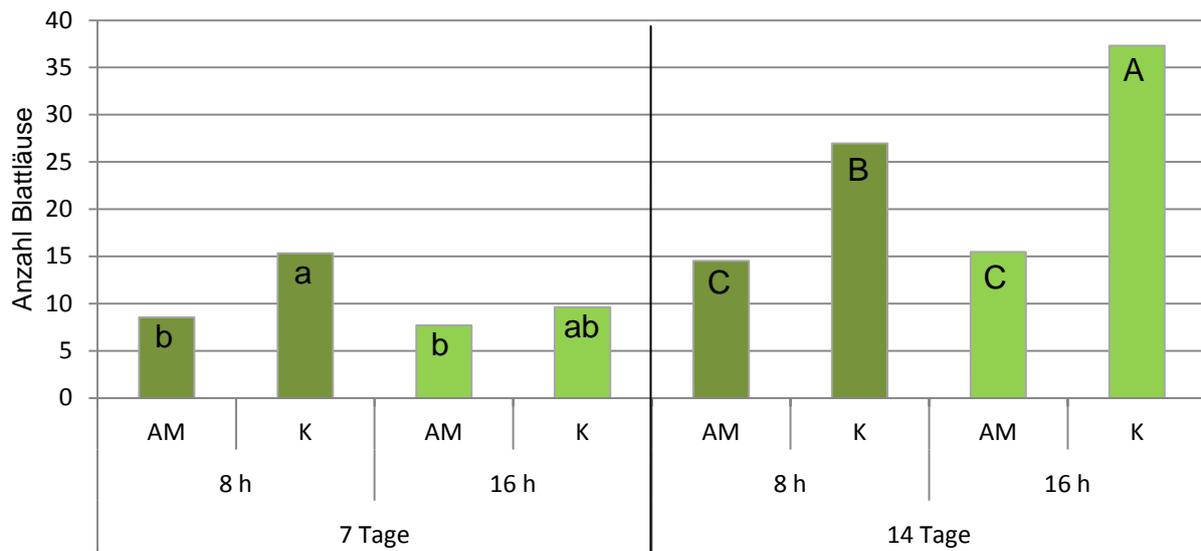


Abb. 29: Anzahl *M. persicae*-Blattläuse pro Topf *P. crispum* 7 bzw. 14 Tage nach Ausbringung von *A. matricariae*-Schlupfwespen bei 8- bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus. AM = *Aphidius matricariae*, K = unbehandelte Kontrolle, verschiedene Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede nach 7 bzw. 14 Tagen (ANOVA, Tukey-HSD  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 10$

#### 4.10. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung der räuberischen *C. carnea*-Larven in Petrischalenversuchen

Die Tageslichtlänge zeigte in Klimakammern einen großen Einfluss auf die Fraßleistung von *C. carnea*-Larven bei einer Fütterung mit *M. persicae* in Petrischalen. Eine Temperaturreduktion hatte hingegen nur einen geringen Einfluss.

Bei 10 °C und 16-stündiger Belichtung fraß jede Florfliegenlarve durchschnittlich 28,9 Blattläuse über einen Zeitraum von fünf Tagen (Tabelle 20). Bei einer Reduktion der Tageslichtlänge auf 8 Stunden reduzierte sich die Anzahl der gefressenen *M. persicae* um über 63 % auf 10,6. Bei 20 °C und langer Belichtungszeit fraßen die *C. carnea*-Larven durchschnittlich 23,5 Blattläuse. Bei der gleichen Temperatur und auf 8 Stunden verkürzter Tageslichtlänge reduzierte sich die Fraßleistung um 23 % auf 15,7 Blattläuse.

Nullkontrollen ohne Nützlingszugabe, die gleichzeitig in den Klimakammern durchgeführt wurden, zeigten eine natürliche Sterberate von 4 % bis 7,5 % (Tabelle 20).

Tabelle 20: Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von *C. carnea*-Larven in Petrischalen

Temperatur [°C]	Belichtungszeit [h]	Nützling	Gefressene / gestorbene Blattläuse [* Petrischale <sup>-1</sup> ]
10	8	<i>C. carnea</i>	10,6 cd <sup>1</sup>
		Kontrolle	2,8 d
	16	<i>C. carnea</i>	28,9 a
		Kontrolle	2,4 d
20	8	<i>C. carnea</i>	15,7 bc
		Kontrolle	3,0 d
	16	<i>C. carnea</i>	23,5 ab
		Kontrolle	1,6 d

<sup>1</sup> unterschiedliche Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-HSD,  $\alpha \leq 0,05$ ), n = 5-18, angeboten wurden jeweils 40 *M. persicae* synchronisierten Alters pro *C. carnea* Larve in einer Petrischale.

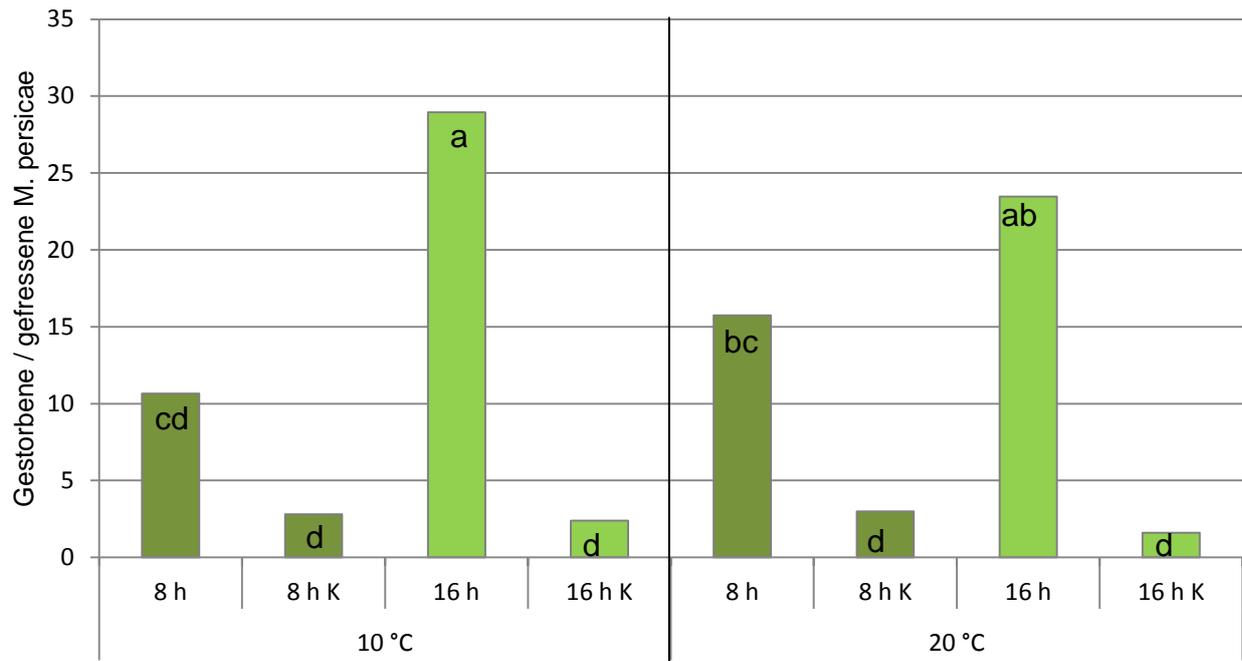


Abb. 30: Gestorbene *M. persicae* im Biotest bei zwei verschiedenen Temperaturen (10 °C, 20 °C) und Tageslichtlängen (8 h und 16 h) in Petrischalen mit je einer *C. carnea*-Larve über zehn Tage. Kontrollen (K) ohne Räuber, unterschiedliche Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey-HSD,  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 10$

#### 4.11. Untersuchungen zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Fraßleistung von *C. carnea* im Gewächshaus

Die Tageslichtlänge zeigte einen signifikanten Einfluss auf die Effektivität des Einsatzes von *C. carnea*-Larven gegen einen Befall von *P. crispum* mit *M. persicae* unter Netzkäfigen im Gewächshaus. Zunächst zeigte sich ein signifikanter Einfluss auf die Stärke des Blattlausbefalls durch den Einsatz von Florfliegenlarven (Tabelle 21).

Tabelle 21: Anzahl *M. persicae* pro Topf mit *P. crispum*, 7 und 14 Tage nach Ausbringung von *C. carnea* bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus

Belichtungszeit [h]	Nützling	Blattläuse nach 7 Tagen	Reduktion	Blattläuse nach 14 Tagen	Reduktion
8	<i>C. carnea</i>	4,72	-61,1 % ***	11,88	-52,9 % ***
	Kontrolle	12,13		25,52	
16	<i>C. carnea</i>	4,37	-55,1 % ***	10,00	-70,8 % ***
	Kontrolle	9,82		34,30	

Sterne bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und der Nützlingsvariante bei jeweils gleicher Belichtungszeit (t-Test: \*  $\alpha \leq 0,05$ , \*\*  $\alpha \leq 0,01$ , \*\*\*  $\alpha \leq 0,001$ ),  $n = 10$

Nach 7 Tagen betrug der Befall der unbehandelten Variante bei 16-stündiger Beleuchtung durchschnittlich 9,82 Blattläuse pro Topf (Tabelle 21). In der behandelten Variante halbierte sich der Befall signifikant auf 4,37 Blattläuse pro Topf. Bei auf 8 Stunden reduzierter Tageslänge betrug der Blattlausbefall nach einer Woche 12,13 Tiere. Dieser Wert wurde durch den Einsatz von *C. carnea* signifikant auf 4,72 Tiere reduziert.

Nach 14 Tagen zeigte sich weiterhin ein starker Einfluss der Nützlingsbehandlung. In der Variante mit 16-stündiger Tageslichtlänge betrug der Befall durchschnittlich 34,3 *M. persicae* \* Topf<sup>-1</sup>, signifikant reduziert um über 70 % auf 10 Tiere pro Topf auf den behandelten Pflanzen. Bei verkürzter Tageslichtlänge war der Befall in der unbehandelten Kontrolle im Vergleich zur längeren Belichtungszeit signifikant reduziert und betrug 25,52 Blattläuse \* Topf<sup>-1</sup> (Abb. 31). In der Variante mit

Nützlingseinsatz wurde dieser Wert durch die *C. carnea* um weitere 52,9 % auf 11,9 Blattläuse verringert.

Nach 7 Tagen zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Kontrollvarianten bzw. zwischen den beiden mit Räubern behandelten Varianten (Abb. 31). Nach 14 Tagen zeigte sich ein Unterschied in der Entwicklung der Blattlauspopulationen auf den unbehandelten *P. crispum*-Pflanzen, sodass die Anzahl der *M. persicae* bei verkürzter Tageslichtlänge signifikant reduziert war. Die beiden mit Florfliegenlarven behandelten Varianten zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Anzahl der Blattläuse \* Topf<sup>1</sup> nach 14 Tagen (Abb. 31).

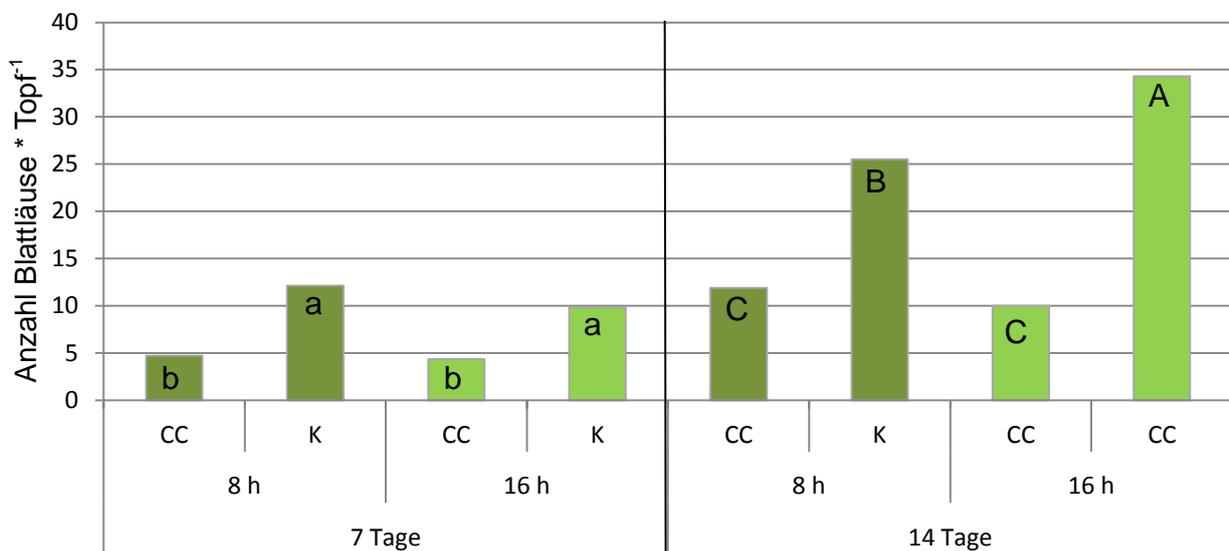


Abb. 31: Anzahl *M. persicae* pro Topf *P. crispum* 7 bzw. 14 Tage nach Ausbringung von *C. carnea*-Larven bei 8 bzw. 16-stündiger Beleuchtung in Netzkäfigen im Gewächshaus. CC = *C. carnea*, K = unbehandelte Kontrolle. Verschiedene Buchstaben bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede nach 7 bzw. 14 Tagen (ANOVA, Tukey-HSD  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 10$

#### 4.12. Vergleich verschiedener Ausbringungsmengen von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf *P. crispum* im Gewächshaus

Die Einsatzmenge des Nützlings *C. carnea* hatte einen großen Einfluss bei der Bekämpfung von *M. persicae* auf *P. crispum* im Gewächshaus.

Im ersten Durchgang zeigte sich nur ein sehr geringer Unterschied der Prädationsleistung des Nützlings bei 1 bzw. 5 ausgebrachten Florfliegenlarven \* m<sup>-2</sup> (Abb. 32). In beiden Varianten war die Anzahl der Blattläuse auf den Pflanzen neun Tage nach Ausbringung höher als in den Varianten mit 25 und 50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> und es existierten kaum befallsfreie Pflanzen im Bestand (Boniturstufe 0, nach DASSONVILLE ET AL. 2012). Nach 12 Tagen waren bereits 35 % (5 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>) bzw. über 50 % (1 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>) der Töpfe mit mehr als 10 *M. persicae* stark befallen (Boniturstufe 3) und es zeigte sich nur in der Variante mit 5 Larven \* m<sup>-2</sup> ein einzelner unbefallener Topf. Nachdem es nach 14 Tagen zu einem sehr starken Befallsanstieg kam (durch Zuflug weiterer Blattläuse), waren zu diesem Boniturtermin in den beiden Varianten mit 1 bzw. 5 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> 19 von 20 Pflanzen sehr stark mit Blattläusen befallen. Im Gegensatz zur unbehandelten und der stark mit Blattläusen befallenen sechsten Variante, die sich im ersten Durchgang ebenfalls ähnlich verhielten, war die Blattlausmenge jedoch über den gesamten Versuchszeitraum leicht reduziert. Diese beiden Varianten zeigten bereits nach 9 Tagen die ersten stark befallenen Petersilienpflanzen. Nach 12 Tagen waren bereits 80 % (starker Befall) bzw. 90 % (unbehandelte Kontrolle) der Töpfe sehr stark befallen und nach 14 Tagen alle Pflanzen in diesen Varianten. Die stark behandelten Varianten mit 25 bzw. 50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> verhielten sich im ersten Durchgang ebenfalls ähnlich zueinander und waren die einzigen, die für eine ausreichende Blattlausbekämpfung sorgten. Nach 9 Tagen waren 90 % (25 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>) bzw. 85 % (50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>) der Töpfe ohne Blattlausbefall. 12 Tage nach Ausbringung der Prädatoren waren es nur noch 25 % bzw. 35 %, der Rest der Pflanzen wies jedoch lediglich einen leichten Befall (1-4 Blattläusen pro Topf, Boniturstufe 1) auf. Durch die starke Blattlauszunahme am 14. Bonitурtag kam es auch in diesen Varianten zu einem starken Anstieg des Befalls, der jedoch immer noch wesentlich geringer als in allen anderen mit *C. carnea* behandelten Varianten und der Kontrolle war. Die mit Pyrethrin behandelten Pflanzen verhielten sich deutlich anders als

diese, in denen Florfliegenlarven ausgebracht wurden. Nach 9 Tagen war der Anteil unbefallener Pflanzen geringer als in den beiden stark mit *C. carnea* behandelten Varianten. Auch nach 12 Tagen war der Befall höher, jedoch geringer als in den anderen Varianten. Nach 14 Tagen zeigten die mit Spritzmitteln behandelten Pflanzen jedoch den geringsten Blattlausbefall (Abb. 32).

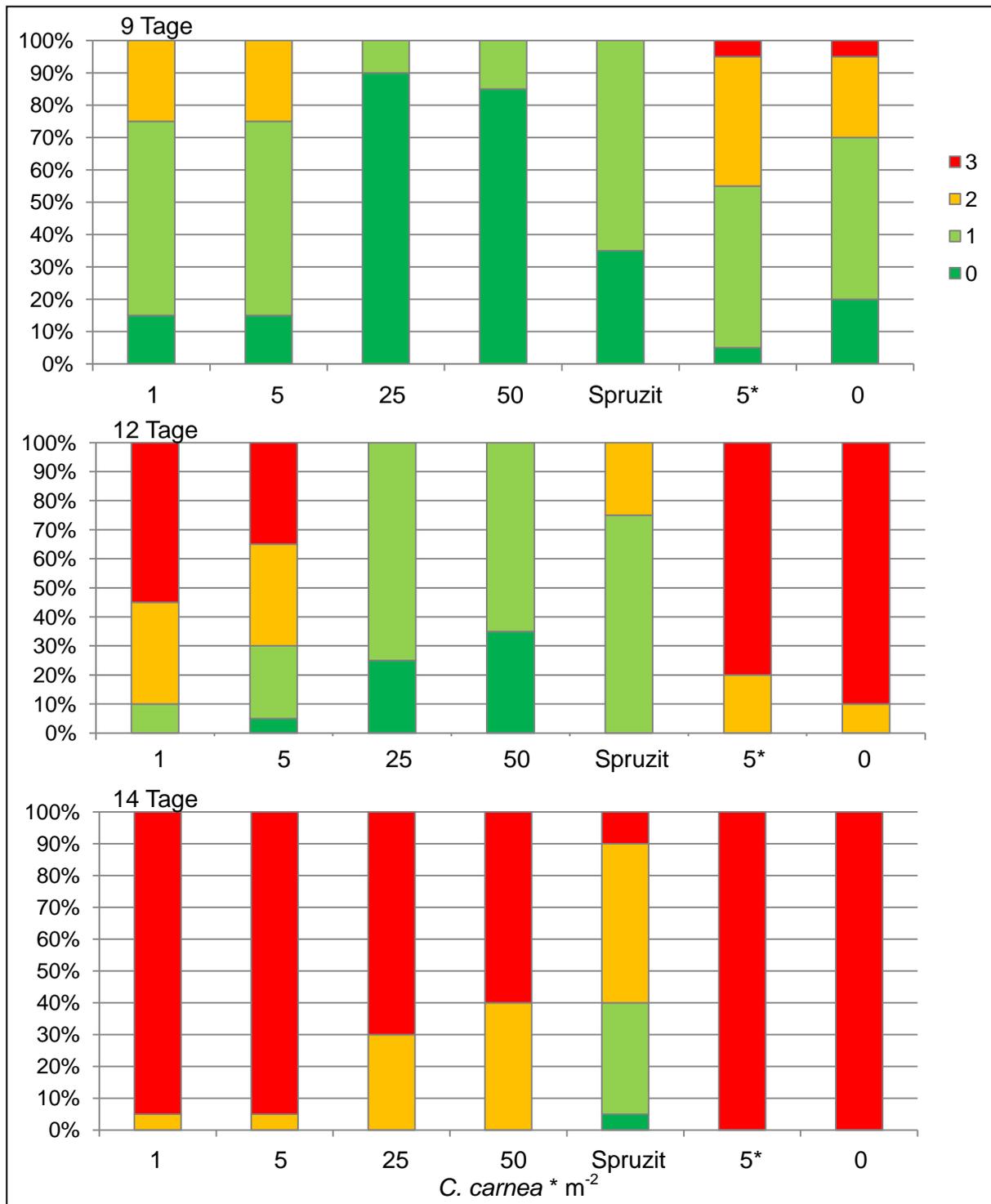


Abb. 32: Befallsstärke der *P. crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *C. carnea* gegen *M. persicae* im Gewächshaus 9, 12 und 14 Tage nach Nützlingsausbringung

Dargestellt ist der Prozentsatz der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012) (siehe Tabelle 3) in den einzelnen Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Nützlingsdichte mit je 3 *M. persicae* je Topf, außer \* mit 10 *M. persicae* pro Topf, n = 20

Im zweiten Durchgang war der Blattlausbefall im Gegensatz zum Ersten leicht reduziert und es kam nicht zu einer so plötzlichen Befallssteigerung. In der Variante mit 5 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> zeigte sich eine leichte Reduktion des Blattlausbefalls im Vergleich zur Variante mit 1 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>, welche bereits nach 7 Tagen keine befallsfreien Pflanzen mehr aufwies (Abb. 33). Im Laufe des Versuches zeigte der Blattlausbefall in den Varianten mit 5 und 50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> im zweiten Durchgang einen ähnlichen Verlauf. Nach 10 Tagen waren jeweils 15 % der Töpfe sehr stark mit *M. persicae* befallen (Boniturstufe 3). Nach 14 Tagen waren es nur noch 10 %, jedoch kamen keine befallsfreien Töpfe (Boniturstufe 0) mehr vor und der Anteil Töpfe mit mittelstarken Befall, von 5-10 Blattläusen pro Topf (Boniturstufe 2), stieg von 25 % (20 *C. carnae*) bzw. 30 % (5 *C. carnea*) auf 55 %. Die Varianten mit einer bzw. null *C. carnea*-Larven zeigten während des zweiten Durchgangs einen ähnlichen Befallsverlauf. Nach zehn Tagen waren 25 % (1 *C. carnea*) bzw. 40 % (Kontrolle) und nach 14 Tagen 60 % bzw. 65 % der Töpfe sehr stark mit Blattläusen befallen und es kamen keine befallsfreien Töpfe mehr vor. In der von Anfang an sehr stark mit *M. persicae* besetzten Variante waren die 5 *C. carnea*-Larven \* m<sup>-2</sup> nicht in der Lage, die Blattläuse ausreichend zu bekämpfen. So waren nach sieben Tagen 75 % der Pflanzen mit mehr als 10 *M. persicae* befallen und nach 14 Tagen alle Pflanzen. Die mit den meisten *C. carnea* pro m<sup>2</sup> zeigte die beste Befallsregulierung im zweiten Durchgang mit dauerhaft den meisten befallsfreien Pflanzen und nur einem Topf der höchsten Befallsstufe 3 nach 14 Tagen. Einzig in der mit Pyrethrinen behandelten Variante konnte nach sieben Tagen neben der stark befallenen Variante der erste auch stark befallene Topf gefunden werden. Nach 10 Tagen lag ebenfalls ein Topf der Boniturstufe 3 vor, nach der Variante mit 50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> der zweitgeringste Wert. Nach 14 Tagen waren 80 % der Töpfe mit mehr als 10 Blattläusen besetzt (Abb. 33). Insgesamt war der Bekämpfungserfolg der Pyrethrin-Variante im zweiten Durchgang geringer als im ersten Durchgang. Jedoch zeigte sich in der Gesamtzahl der Blattläuse nach 18 Tagen, dass diese chemische Behandlung auf Grund der Kontaktwirkung die schnellste Bekämpfungsmethode darstellen kann (Abb. 34).

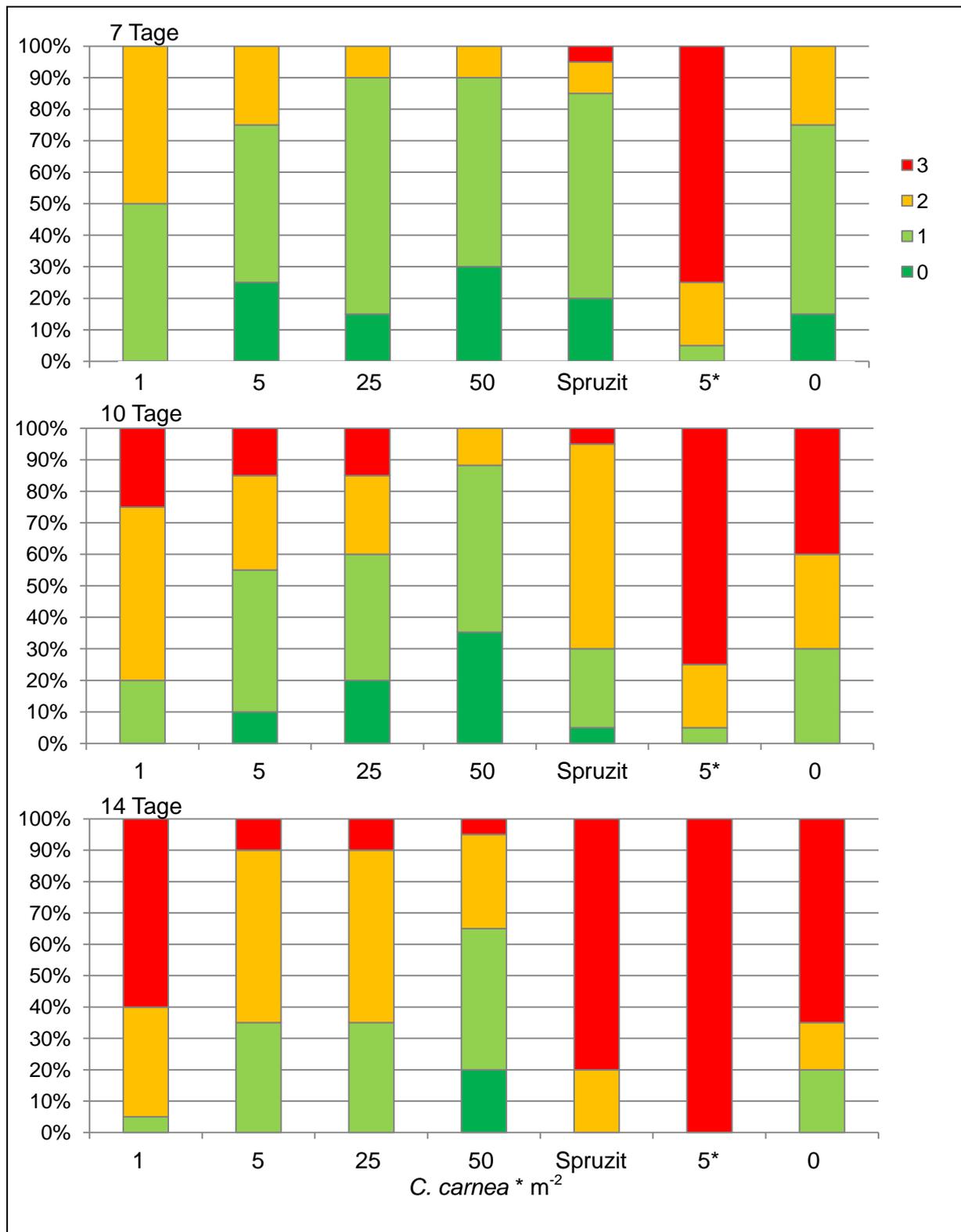
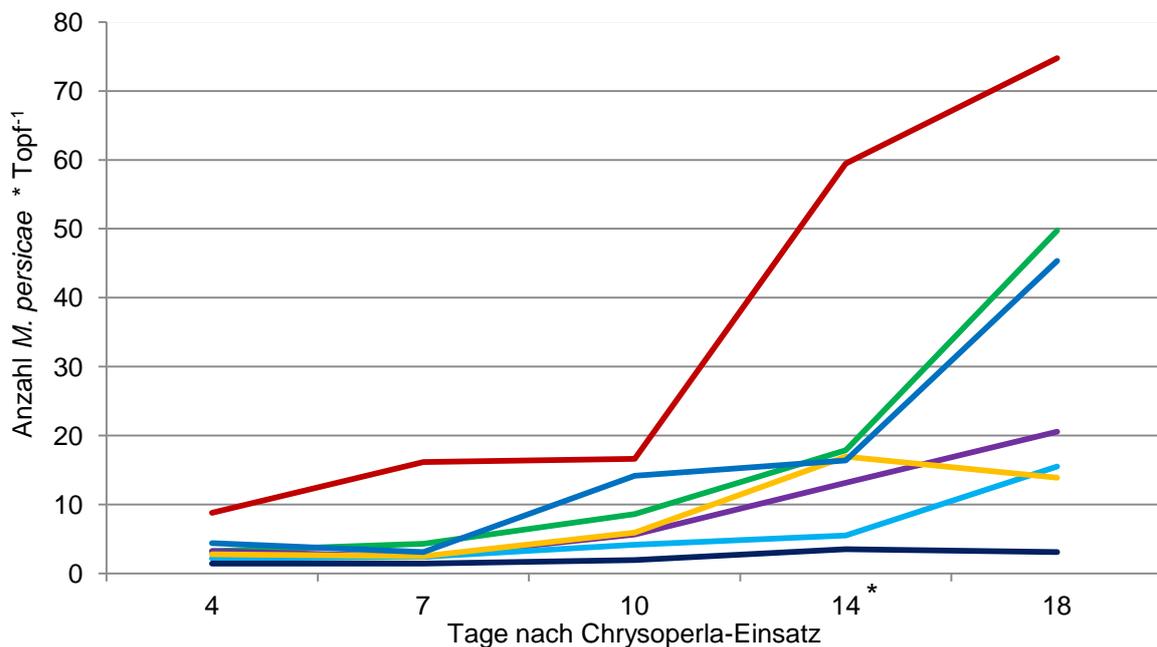


Abb. 33: Befallsstärke der *P. crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *C. carnea* gegen *M. persicae* im Gewächshaus 7, 10 und 14 Tage nach Nützlingsausbringung

Dargestellt ist der Prozentsatz der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012) (siehe Tabelle 3) i in den einzelnen Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Nützlingsdichte mit je 3 *M. persicae* je Topf, außer \* mit 10 *M. persicae* pro Topf, n = 20

Im zweiten Durchgang wurde neben den Boniturstufen auch die Gesamtzahl der Blattläuse pro Topf aufgenommen (Abb. 34). Hierbei zeigte sich, dass die zu Beginn am stärksten besetzte Variante 6 durchweg über alle Boniturtermine mit 8,8 bis 74,8 die meisten Blattläuse pro Pflanze aufwies (Tabelle 22). In der mit 50 Florfliegenlarven  $\cdot m^{-2}$ , hielt sich der Befall dauerhaft zwischen 1,4 und 3,5 Blattläusen pro Topf. Die Spruzitvariante reagierte als einzige Variante kurzfristig auf die zweite Pflanzenschutzmaßnahme nach 14 Tagen, sodass es zu einer Reduzierung des Befalls von 17,0 auf 13,9 Blattläusen pro Topf kam.



Behandlung	Variante						
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7
<i>M. persicae</i> * Topf <sup>-1</sup>	3	3	3	3	3	10	3
<i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	1	5	25	50	Spruzit	5	0

Abb. 34: Anzahl *M. persicae*-Blattläuse pro Topf *P. crispum* bei verschiedenen hohen Ausbringungsmengen des Räubers *C. carnea* im Gewächshaus über 18 Tage im zweiten Durchgang, \* erneute Ausbringung von *C. carnea* sowie Spruzit, n = 20

Tabelle 22: Anzahl *M. persicae* pro Topf bei verschiedenen hohen Ausbringmengen des Räubers *C. carnea* auf *P. crispum* im Gewächshaus über 18 Tage (d) im zweiten Durchgang

<i>M. persicae</i> * Topf <sup>-1</sup>	<i>C. carnea</i> * m <sup>-2</sup>	<i>M. persicae</i> 4d	<i>M. persicae</i> 7d	<i>M. persicae</i> 10d	<i>M. persicae</i> 14d	<i>M. persicae</i> 18d
3	1	3,2 bc ± 1,9	4,3 b ± 2,2	8,6 bc ± 5,0	17,9 b ± 13,1	49,8 ab ± 39,2
3	5	3,2 bc ± 2,8	2,4 b ± 1,6	5,7 c ± 4,6	13,2 bcd ± 6,6	20,6 cd ± 12,8
3	25	2,2 bc ± 2,3	2,4 b ± 2,1	4,2 c 3,9	5,5 cd ± 3,0	15,5 d ± 16,5
3	50	1,4 c ± 1,3	1,4 b ± 1,5	1,9 c ± 2,2	3,5 d ± 3,3	3,1 d ± 1,6
3	Spruzit	2,8 bc ± 3,7	2,5 b ± 4,4	5,9 c ± 3,2	17,0 bc ± 8,2	13,9 d ± 8,5
10	5	8,8 a ± 4,2	16,2 a ± 7,9	16,6 a ± 7,8	59,5 a ± 27,1	74,8 a ± 33,3
3	0	4,4 b ± 3,3	3,1 b ± 2,5	14,2 ab ± 6,9	16,4 bc ± 11,4	45,4 bc ± 45,7

Erneute Ausbringung von *C. carnea* und Spruzit nach 14 Tagen, unterschiedliche Buchstaben in einer Spalte bezeichnen statistisch signifikante Unterschiede für diesen Boniturtermin (ANOVA, Tukey-HSD,  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 20$

#### **4.13. Einfluss von Temperatur und Tageslichtlänge auf die Entwicklung von *F. occidentalis* und *N. cucumeris* an *P. crispum* und *O. basilicum***

In Biotests zeigte die Tageslänge einen geringeren Einfluss auf die Nachkommenproduktion von *F. occidentalis* als die Temperatur. Im ersten Durchgang auf Blättern von *O. basilicum* ‚Genoveser‘ setzte ein adultes Thripsweibchen über 14 Tage bei 15 °C und 16-stündiger Tageslichtlänge durchschnittlich 5,1 Nachkommen ab (Abb. 35). Bei Reduktion der Tageslänge auf 8 Stunden blieb dieser Wert mit 5,7 fast unverändert. Im Gegensatz dazu führte eine Anhebung der Temperatur auf 25 °C bei 8-stündiger Beleuchtung zu einer Erhöhung der Nachkommenzahl um 20 % auf 7,2 Nachkommen \* ♀<sup>-1</sup>. Ein leicht reduzierter Wert von 6,4 Nachkommen wurde bei 16-stündiger Beleuchtung erreicht. Bei einer Wechseltemperatur von 25 °C während der 16-stündigen Tageslichtdauer und 10 °C in der Nacht kam es zu einer starken Reduktion der Nachkommenschaft auf lediglich 2,9 Nachkommen pro Weibchen (Abb. 35). Bei 10 °C wurden über den gesamten Versuchszeitraum keine Nachkommen gefunden, so dass diese Varianten nicht mehr aufgeführt sind.

Die Fraßleistung der Raubmilbe *N. cucumeris* auf Blättern von *O. basilicum* zeigte im Biotest eine starke Abhängigkeit von der Tageslichtlänge (Abb. 35). Bei 25 °C konnten sie in der Variante mit 16-stündiger Beleuchtung die Thripszahl auf 0,2 Nachkommen pro Weibchen reduzieren. Bei verkürzter Tageslichtlänge von 8 h zeigte sich eine geringere Fraßleistung, die in einem 80%ig höheren Thripsbefall von 1,4 Tieren pro Schale führte. Bei der Wechseltemperatur von 25 °C tags und 10 °C in der Nacht reduzierte sich auch die Fraßleistung der Raubmilben stark. Die Abnahme zur Variante ohne Raubmilben betrug mit durchschnittlich 0,6 Nachkommen pro Petrischale lediglich ca. 50 %, während sie bei durchgehend 25 °C zwischen 79 % (8 h) und 97 % (16 h) lag (Abb. 35).

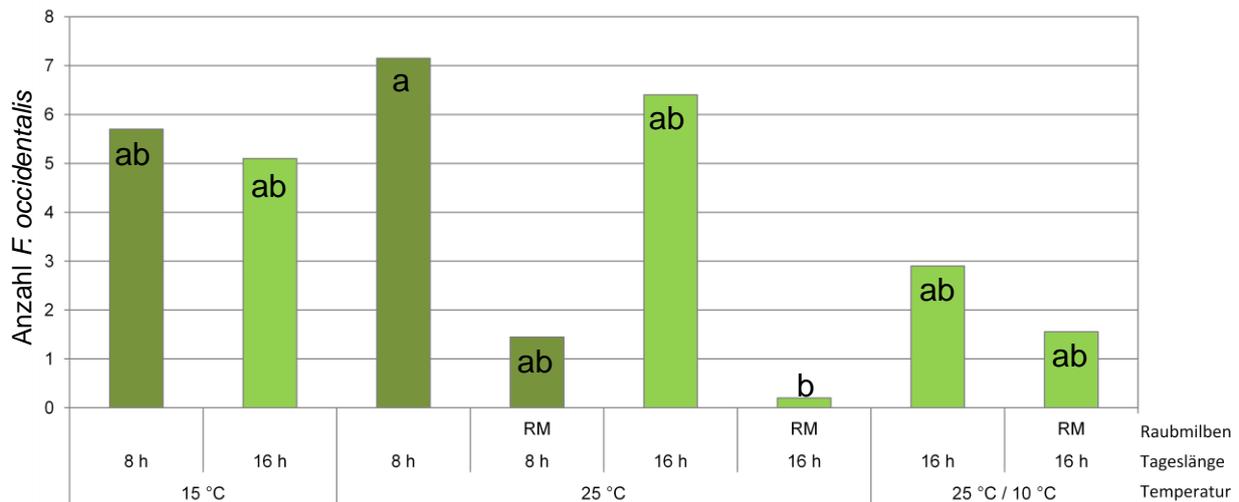


Abb. 35: Anzahl *F. occidentalis* pro Petrischale auf Blättern von *O. basilicum* ‚Genoveser‘ nach 14 Tagen bei verschiedenen Temperaturen (15 °C, 25 °C, sowie Wechseltemperatur 25 °C Tages- und 10 °C Nachttemperatur), verschiedenen Tageslichtlängen (8 h und 18 h), mit und ohne *N. cucumeris*-Raubmilben (RM), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Scheffé-Test  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 10-20$

Auf Blättern der Art *P. crispum* zeigte sich grundsätzlich ein reduzierter Thripsbefall und erneut ein geringerer Lichtlängen- und höherer Temperatureinfluss. Auch hier sind während des gesamten Versuchszeitraums in den Varianten bei 10 °C keine Thripsnachkommen gefunden worden, so dass diese Varianten hier nicht weiter vorgestellt werden.

Bei 15 °C und 16-stündiger Beleuchtung betrug die Nachkommenzahl 2,8 Nymphen pro Weibchen. Bei reduzierter Lichtlänge zeigte sich eine leichte, statistisch jedoch nicht signifikante, Reduktion dieses Wertes auf 2,3 (Abb. 36). Bei 25 °C wurden bei langer Belichtungsdauer über 40 % mehr Nachkommen als in der zehn Grad kälteren Variante gezählt (4,9). Bei 8-stündiger Beleuchtung war die Nachkommenzahl mit 4,1 pro Weibchen leicht reduziert. Bei der 25 °C/10 °C-Wechseltemperatur zeigte sich erneut ein stärkerer Einfluss der Temperatur, so dass sich die Anzahl an Nachkommen auf 1,3 pro Schale reduzierte. Auch auf *P. crispum* zeigte die Raubmilbe *N. cucumeris* eine stärkere Reaktion auf die unterschiedlichen Tageslichtlängen, als ihre Beute die Thripse (Abb. 36). Bei 25 °C und 8-stündiger Beleuchtung reduzierte *N. cucumeris* den Befall mit *F. occidentalis* um 70 % auf 1,22 Nachkommen pro Schale. Bei einer Tageslichtlänge von 16 Stunden war die Fraßleistung höher, sodass die Anzahl der Nachkommen von 4,85 um 88% auf 0,6

reduziert wurde. Bei der Variante mit Wechseltemperaturen zeigte sich ein statistisch nicht signifikanter Anstieg der Anzahl Thripse pro Schale auf 1,3 (Abb. 36).

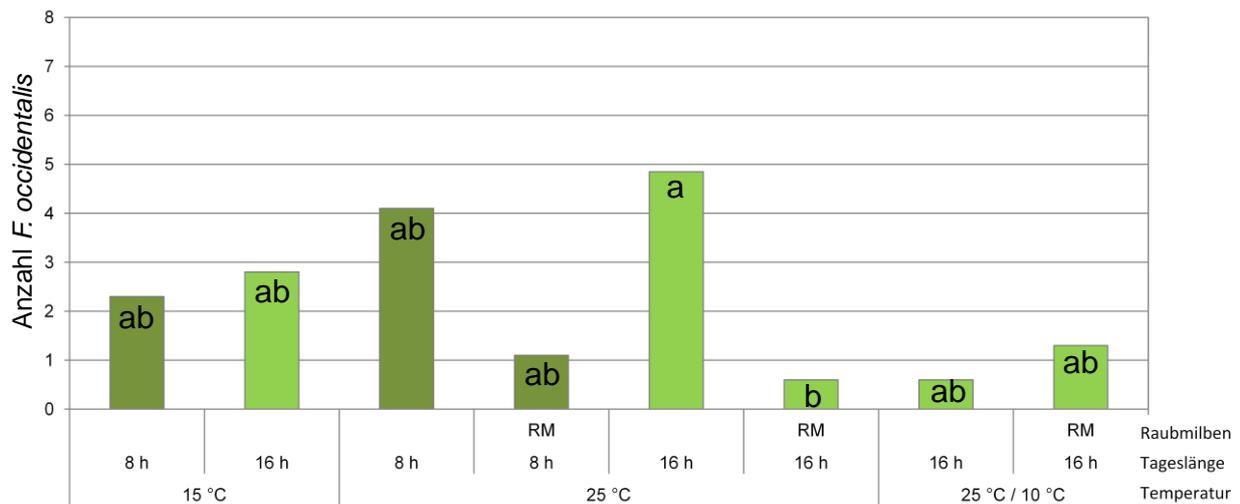


Abb. 36: Anzahl *F. occidentalis* pro Petrischale auf Blättern von *P. crispum* nach 14 Tagen bei verschiedenen Temperaturen (15 °C, 25 °C, sowie Wechseltemperatur 25 °C Tages- und 10 °C Nachttemperatur) und verschiedenen Tageslichtlängen (8 h und 18 h), mit und ohne *N. cucumeris*-Raubmilben (RM), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Scheffé-Test  $\alpha \leq 0,05$ )

Der Einfluss der Tageslichtlänge wurde bei Ganzpflanzen nur an *O. basilicum* untersucht. Auf Grund des geringen Einflusses der Tageslichtlänge auf das Populationswachstum der Thripse, der sich in den vorangegangenen Biotests gezeigt hat, wurden die Versuche bei 16-stündiger Beleuchtung durchgeführt. Hierbei konnte der starke Temperatureinfluss weiter verifiziert werden (Abb. 37).

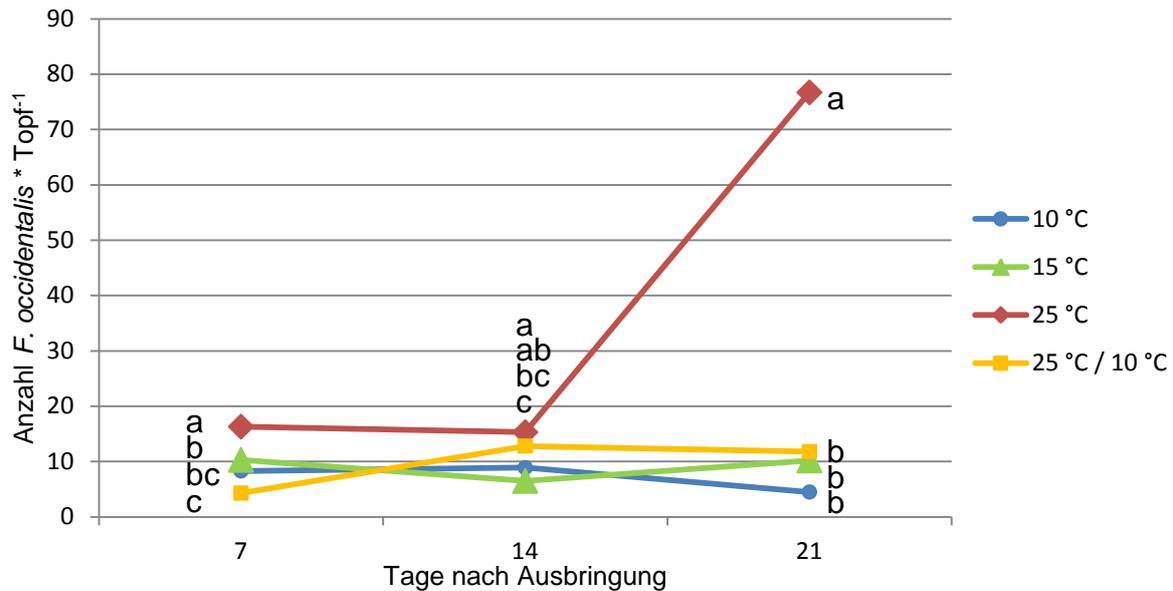


Abb. 37: Populationsentwicklung von *F. occidentalis* auf *O. basilicum* in Biotests in Klimakammern bei unterschiedlichen Temperaturen. Belichtung konstant 16 h \* Tag<sup>-1</sup>, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey HSD  $\alpha \leq 0,05$ ), n = 10

Bei 10 °C entwickelte sich die Thripspopulation über den gesamten Versuchszeitraum von 21 Tagen kaum (Abb. 37). Nach 7 Tagen waren durchschnittlich 8,3 *F. occidentalis* pro Pflanze zu finden. Nach 14 Tagen waren es 8,9 und nach 21 Tagen ging die Population auf durchschnittlich 4,5 Tiere pro Pflanze zurück. Bei 15 °C lag die Endgröße der Population mit 10,2 Thripsen pro Pflanze um 55 % höher. Bei 25 °C entwickelten sich die Tiere mit Abstand am besten, so dass an allen drei Boniturterminen jeweils der signifikant höchste Wert gezählt wurde. Nach 21 Tagen betrug der durchschnittliche Befall pro Pflanze 76,7 *F. occidentalis*. In der Variante mit Wechseltemperaturen von 10 °C in der Nacht reduzierte sich der Befall um 75 % auf 11,8 Tiere \* Pflanze<sup>-1</sup> (Abb. 37).

Auf *P. crispum*-Ganzpflanzen zeigte sich in den Klimakammern eine ähnliche Populationsentwicklung von *F. occidentalis*. Dabei war auch in diesem Fall die Anzahl Thripse pro Pflanze durchgehend geringer als auf *O. basilicum* (Abb. 38). Bei 10 °C betrug der Befall nach 21 Tagen durchschnittlich 5,9 Thripse pro Pflanze *P. crispum*. Bei 15 °C zeigte sich ein höheres Populationswachstum, so dass 44 % mehr *F. occidentalis* (10 Tiere) pro Pflanze gezählt wurden. Bei 25 °C war auch an Petersilie die Entwicklung der Thrips am stärksten, so dass nach 7, 14 und 21 Tagen die jeweils höchsten Populationsgrößen in dieser Variante gemessen wurden: 14,6,

26,9 und 25,9 *F. occidentalis* pro Pflanze. In der Variante mit einer Nachttemperatur von 10 °C wurde der niedrigste Wert an *F. occidentalis* (5,7) gemessen, 88 % weniger als in der reinen 25 °C-Variante (Abb. 38).

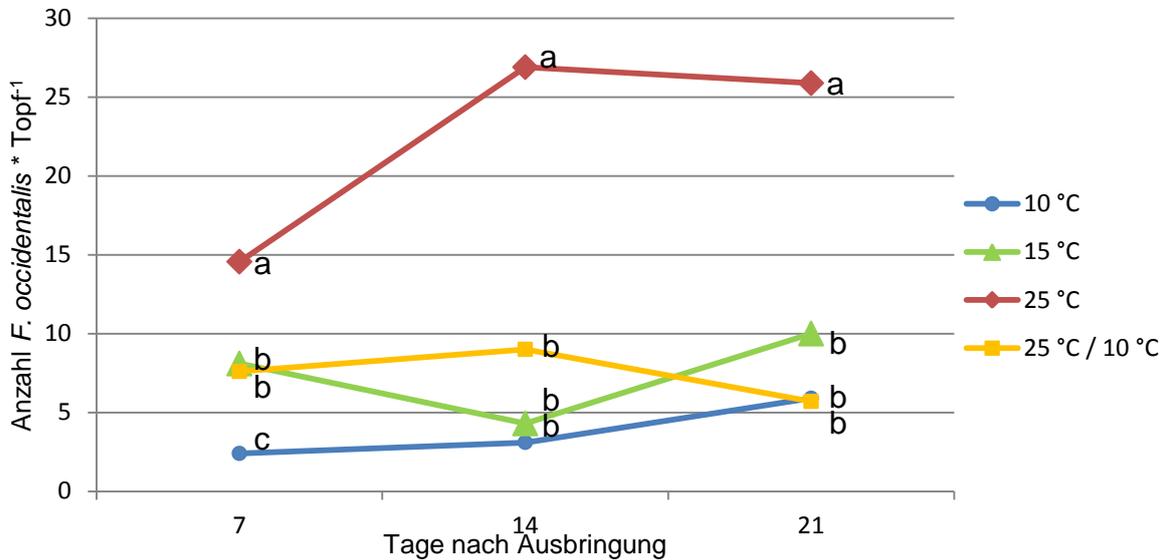


Abb. 38: Populationsentwicklung von *F. occidentalis* auf *P. crispum*-Ganzpflanzen in Klimakammern bei unterschiedlichen Temperaturen, Belichtung konstant 16 h \* Tag<sup>-1</sup>, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey HSD  $\alpha \leq 0,05$ ), n = 10

Auf *O. basilicum*-Ganzpflanzen zeigte sich in den Klimakammern eine starke Reduktion der Population von *F. occidentalis* durch den Einsatz des Prädators *N. cucumeris*, sowohl bei 8- als auch bei 16-stündiger Tageslichtlänge (Abb. 39).

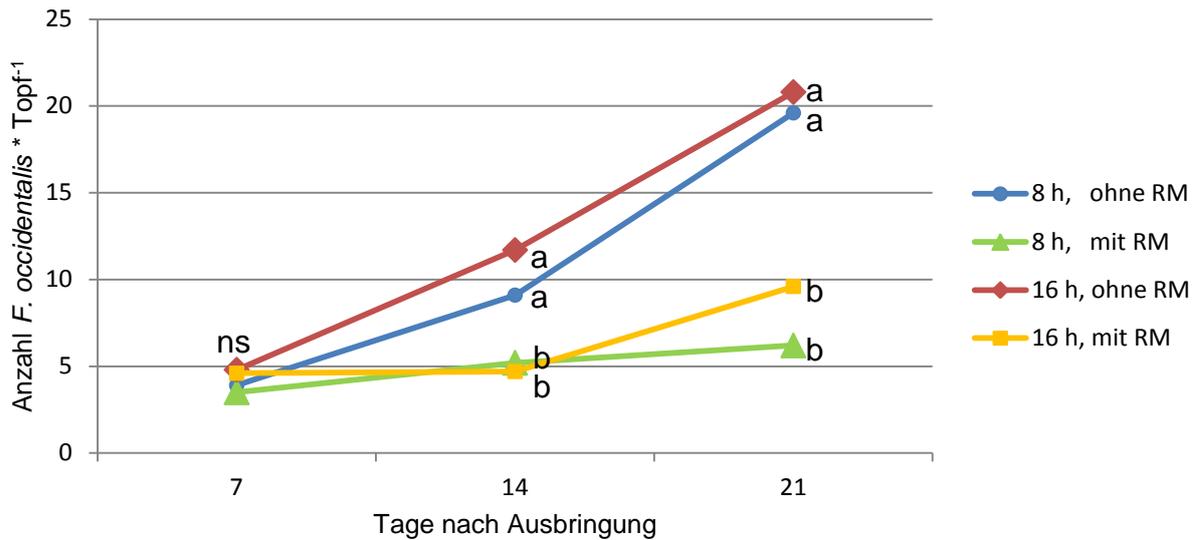


Abb. 39: Populationsentwicklung von *F. occidentalis* auf *O. basilicum* in Klimakammern bei unterschiedlichen Tageslichtlängen (8 und 16 h), mit und ohne *Neoseiulus cucumeris*-Raubmilben (RM) bei konstant  $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ , unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede (ANOVA, Tukey HSD  $\alpha \leq 0,05$ ),  $n = 10$

Bei sowohl 8- als auch bei 16-stündiger Beleuchtung reduzierte sich die Anzahl der Thripse pro Pflanze nach 14 Tagen signifikant (Abb. 39). Bei 8-stündiger Tageslichtlänge betrug die Reduktion durch den Nützlingseinsatz zu diesem Termin ca. 43 %, so dass ohne Raubmilben 9,1 und mit Raubmilben 5,2 Schädlinge pro Pflanze gezählt wurden. Bei längerer Belichtungszeit erhöhte sich die Effektivität des Nützlings, so dass der Befall mit *F. occidentalis* von 11,7 um 60 % auf 4,7 Tiere pro Pflanze reduziert wurde. Nach 21 Tagen betrug der Befall bei 8-stündiger Belichtungszeit ohne Raubmilbeneinsatz 19,6 Tiere pro Pflanze und reduzierte sich durch den Nützlingseinsatz auf 6,2 Tiere pro Pflanze. Bei 16-stündiger Tageslichtlänge befanden sich durchschnittlich 20,8 *F. occidentalis* auf jeder Pflanze, in der Variante mit Prädatoreneinsatz 9,6 Tiere.

#### 4.14. Evaluierung des Einsatzes von *N. cucumeris* und *A. limonicus* gegen *F. occidentalis* im Petersilienanbau im Winter im Gewächshaus

Im ersten Durchgang zeigte sich für beide verwendeten Raubmilbenarten eine signifikante Reduktion des Thripsbefalls im 1-monatigen Versuchslauf (Abb. 40).

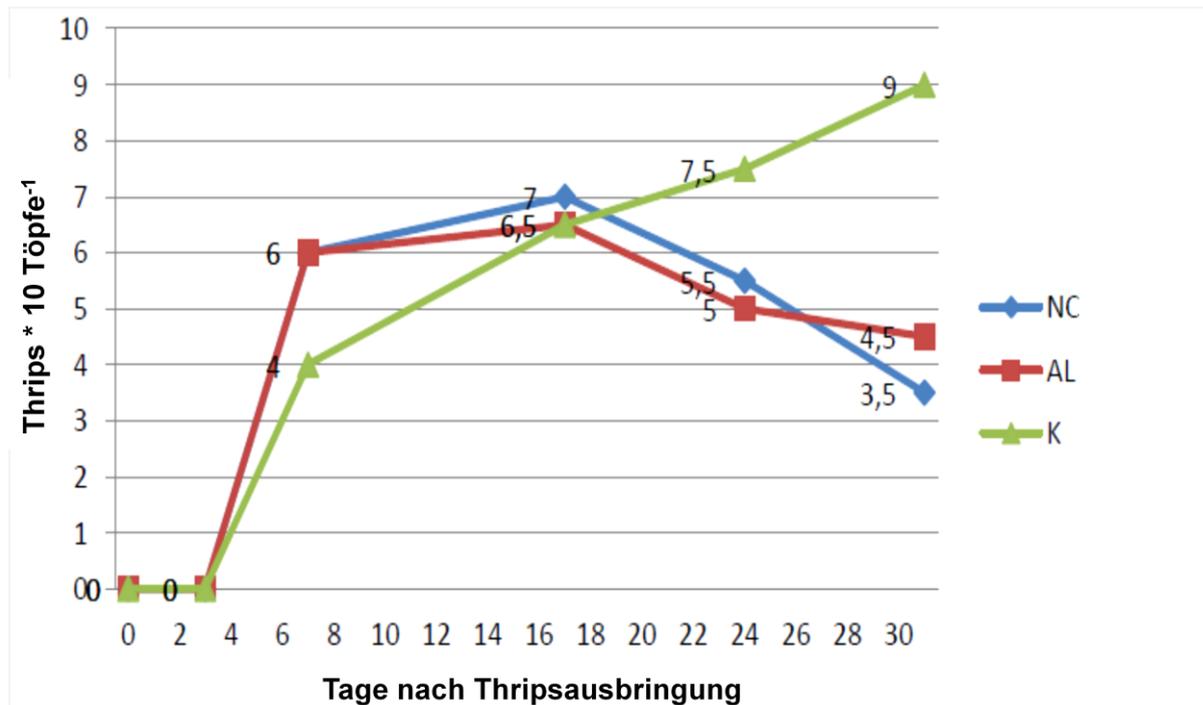


Abb. 40: Entwicklung der Thripspopulation auf *P. crispum*-Töpfen im ersten Durchgang. NC: *Neoseiulus cucumeris*, AL: *Amblyseius limonicus*, K: Kontrolle (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Zwischen den beiden Raubmilbenvarianten mit *A. limonicus* und *N. cucumeris* zeigten sich nur geringe Unterschiede im Bekämpfungserfolg. In den ersten 14 Tagen des Versuches war noch kein Bekämpfungserfolg festzustellen. Nach sieben Tagen lag der Befall in der Kontrollvariante mit 4 Thrips \* 10 Pflanzen<sup>-1</sup> sogar leicht unter dem Befall in den Raubmilbenvarianten mit je 6 Thrips (Abb. 40). Nach 14 Tagen war der Befall in allen Varianten etwa gleich stark (6,5 bzw. 7 Thrips) und ab dem dritten Boniturtermin nach 24 Tagen konnte eine Reduktion des Befalls durch die Raubmilben festgestellt werden. Nach 30 Tagen konnten in der mit *A. limonicus* behandelten Variante 4,5 Thrips gezählt werden, halb so viele wie in der

Kontrollvariante. Die *N. cucumeris*-Variante lag mit 3,5 Thrips noch einmal unter diesem Wert.

Auffällig war die hohe Zahl der Töpfe ohne Thripsbefall, die einen wichtigen Wert in der Praxis darstellen. Diese nahm in beiden Raubmilbenvarianten im Vergleich zur Kontrolle im Laufe des Experimentes stark zu (Abb. 41).

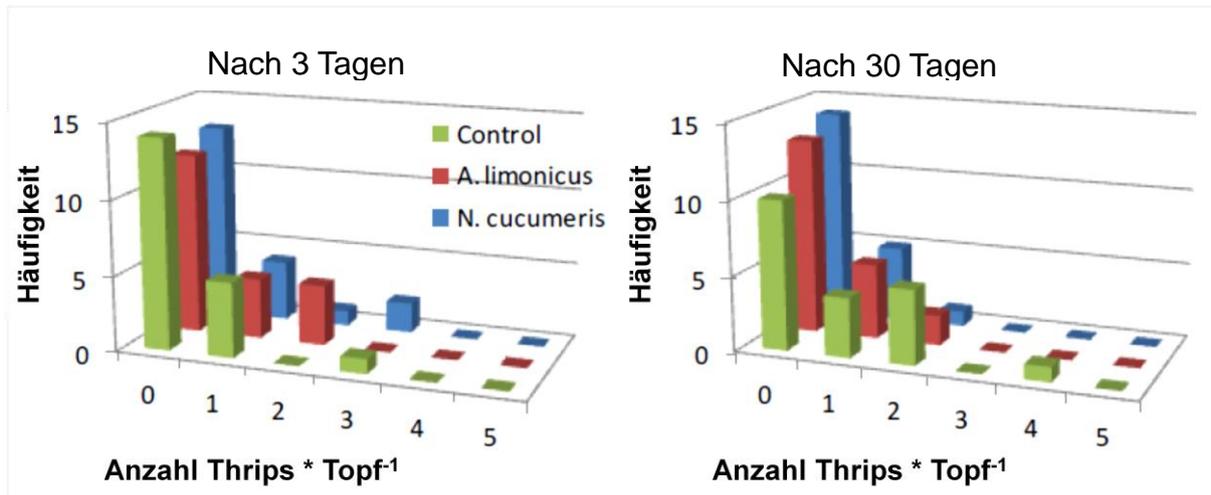


Abb. 41: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit *F. occidentalis* befallener Töpfe *P. crispum* bei der ersten und letzten Bonitur des ersten Durchganges mit *A. limonicus* und *N. cucumeris*-Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Im zweiten Durchgang mit doppelt so hoher Ausgangsdichte des Befalls bei gleichbleibender Nützlingsdichte entwickelten sich die *F. occidentalis* wesentlich stärker als im ersten Durchgang. Dieses rasche Populationswachstum konnte durch den Einsatz von Raubmilben nur wesentlich schwächer reguliert werden (Abb. 42).

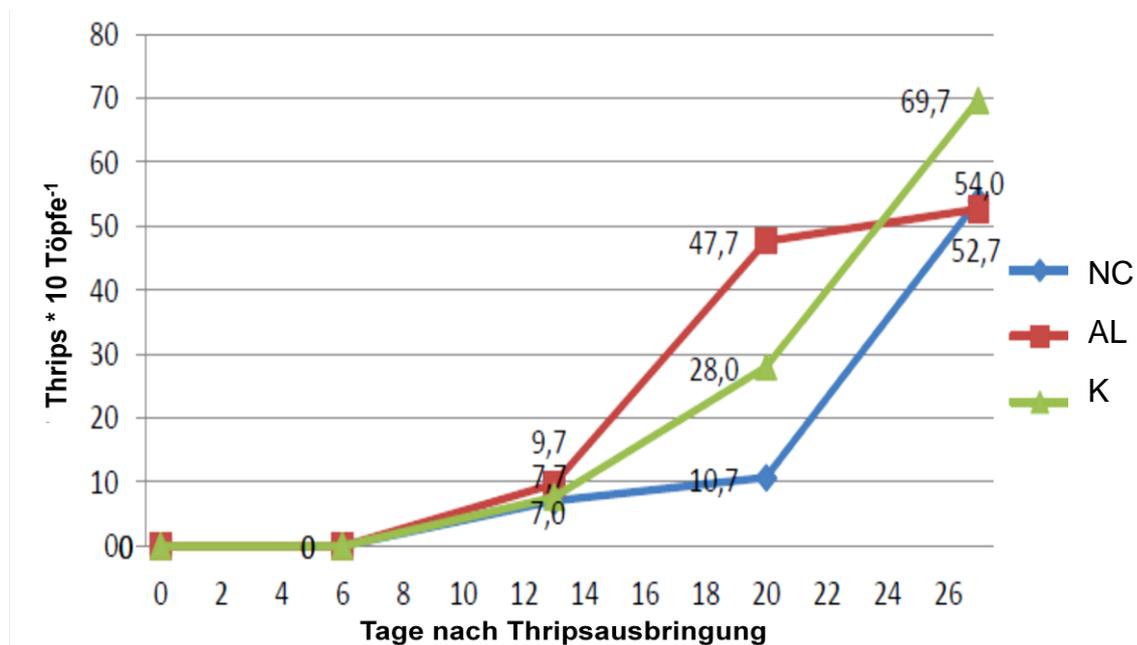


Abb. 42: Entwicklung der Thripspopulation auf *P. crispum*-Töpfen im zweiten Durchgang. NC: *Neoseiulus cucumeris*, AL: *Amblyseius limonicus*, K: Kontrolle (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Nach 13 Tagen konnte noch kein Unterschied der Größe der Thripspopulationen zwischen den einzelnen Varianten festgestellt werden. In der Kontrollvariante fanden sich durchschnittlich 7,7, in der mit *N. cucumeris* behandelten 7,0 und in der *A. limonicus*-Variante 9,7 *F. occidentalis*. Nach 20 Tagen zeigte sich eine stärkere Differenzierung zwischen den Varianten, sowie ein starker Anstieg der Population insbesondere in der *A. limonicus*-Variante mit 47,7 Thrips \* 10 Pflanzen<sup>-1</sup>. In der Kontrollvariante wurden zu diesem Termin 28 Thrips gezählt und die mit *N. cucumeris* behandelten Pflanzen wiesen den geringsten Befall von 10,7 Thrips auf. Nach 26 Tagen konnte insbesondere für die beiden Varianten mit bislang geringerem Befall eine sehr starke Populationsentwicklung von *F. occidentalis* gemessen werden, so dass alle drei Varianten einen ähnlichen Befall aufwiesen. In der Kontrollvariante zeigte sich der stärkste Thripsbefall mit 69,7 Tieren. Beide Raubmilbenvarianten lagen mit 52,7 (*A. limonicus*) und 54 (*N. cucumeris*) ca. 15 %

darunter. Auf Grund des hohen Befalls und der starken Blattschäden, die zu einer Verkaufsunfähigkeit der Pflanzen führen würden, wurde der Durchgang nach 26 Tagen nicht weiter fortgesetzt.

Bei der Betrachtung der Befallsstärke einzelner Töpfe fällt im Vergleich zum ersten Durchgang die breitere Verteilung der Werte und der insgesamt stärkere Befall auf (Abb. 43). Auch hier waren in beiden mit Raubmilben behandelten Varianten mehr befallsfreie und mit ein bis zwei *F. occidentalis* besetzte Töpfe zu finden, obwohl der Gesamtbefall ähnlich war.

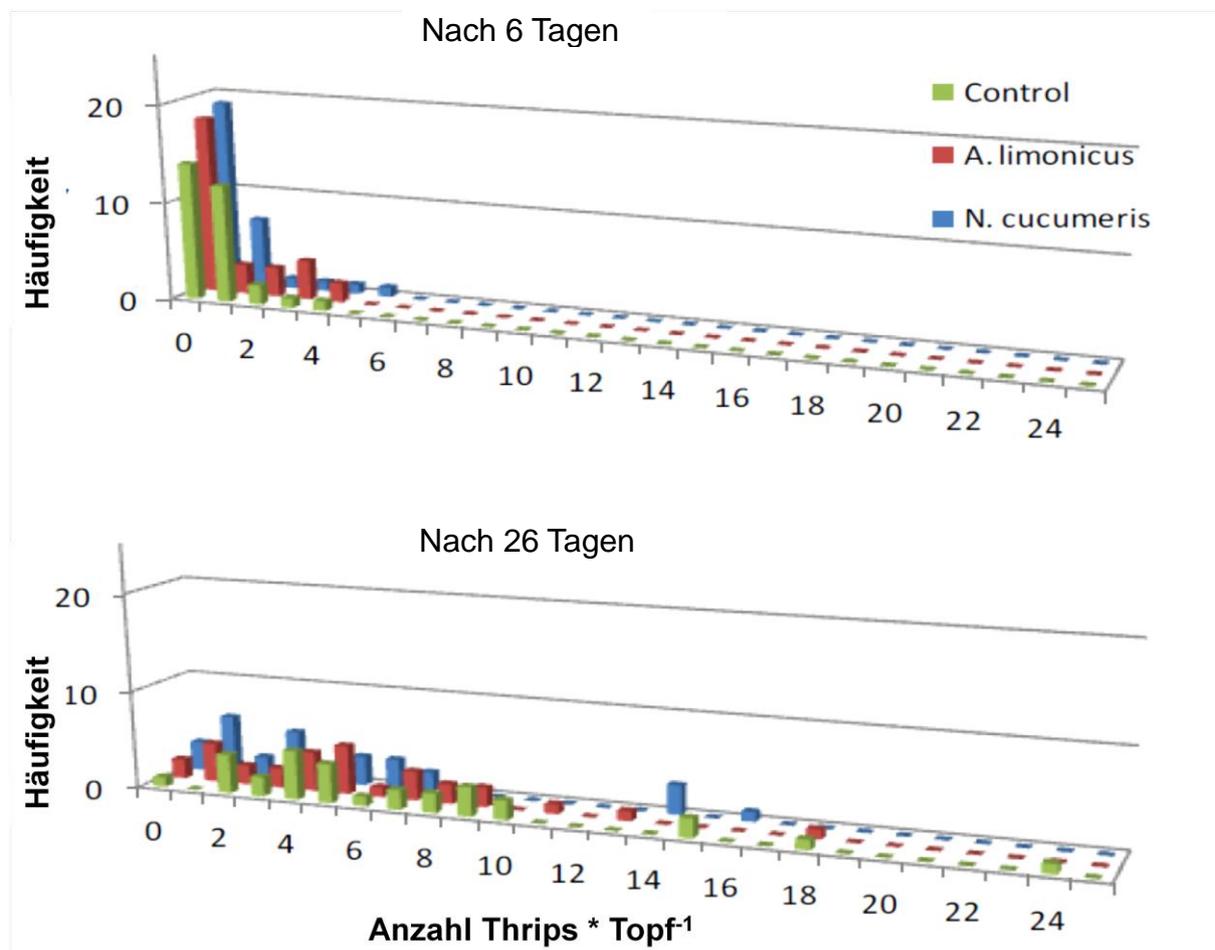


Abb. 43: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit *F. occidentalis* befallener Töpfe *P. crispum* bei der ersten und vierten Bonitur des zweiten Durchganges mit *A. limonicus* und *N. cucumeris*-Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle, n = 20 (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Im dritten Durchgang mit auf 150 Tieren \* m<sup>2</sup> erhöhter Raubmilbendichte zeigte sich eine deutliche Reduktion des Thripsbefalls in beiden Nützlingsvarianten. *N. cucumeris* konnte *F. occidentalis* besser regulieren als *N. cucumeris* (Abb. 44).

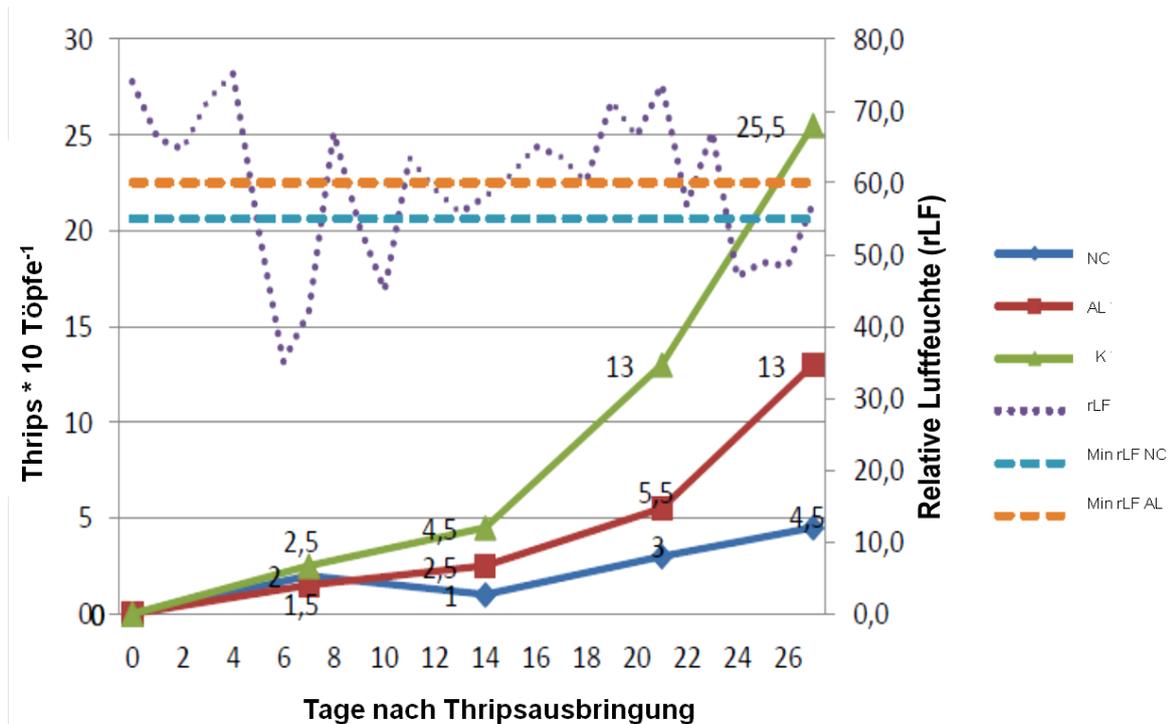


Abb. 44: Entwicklung der Thripspopulation auf *P. crispum*-Töpfen im dritten Durchgang. NC: *Neoseiulus cucumeris*, AL: *Amblyseius limonicus*, K: Kontrolle, rLF: relative Luftfeuchte, Min rLF NC: Grenzwert für NC (55 %, SHIPP & VAN HOUTEN 1997), Min rLF AL: Grenzwert für AL (60 %, MCMURTRY & SCRIVEN 1965) (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

Nach sieben Tagen lag der Befall zwischen 1,5 (*A. limonicus*) und 2,5 (Kontrolle) Thrips \* 10 Töpfe<sup>-1</sup> (Abb. 44). Nach 14 Tagen war eine erste Tendenz erkennbar: In der *N. cucumeris*-Variante war der Befall mit 1 Thrips am geringsten, *A. cucumeris* zeigte mit 2,5 Thrips einen erhöhten Wert und in der unbehandelten Kontrollvariante ließen sich 4,5 Thrips finden. Am dritten Boniturtermin nach 21 Tagen hatte sich die Population in der Kontrolle auf durchschnittlich 13 *F. occidentalis* \* 10 Töpfe<sup>-1</sup> fast verdreifacht. In der mit *A. limonicus* behandelten Variante waren 5,5 Thrips zu finden, *N. limonicus* konnte die Thripspopulation am besten regulieren, so dass sich nur 3 Tiere in zehn Töpfen fanden. Nach 26 Tagen zeigten sich in der Kontrollvariante durchschnittlich 25,5 Thrips, die Raubmilben reduzierten diesen Wert um ca. 50 % (*A. limonicus*) und 82 % (*N. cucumeris*) auf 13 und 4,5 *F. occidentalis* \* 10 Töpfe (Abb. 44). Auf Grund des unerwartet geringen Bekämpfungserfolges von *A. limonicus*

sind in Abb. 44 die der Literatur entnommenen Grenzwerte für eine erfolgreiche Fortpflanzung der verwendeten Raubmilben sowie die gemessene Luftfeuchtigkeit dargestellt.

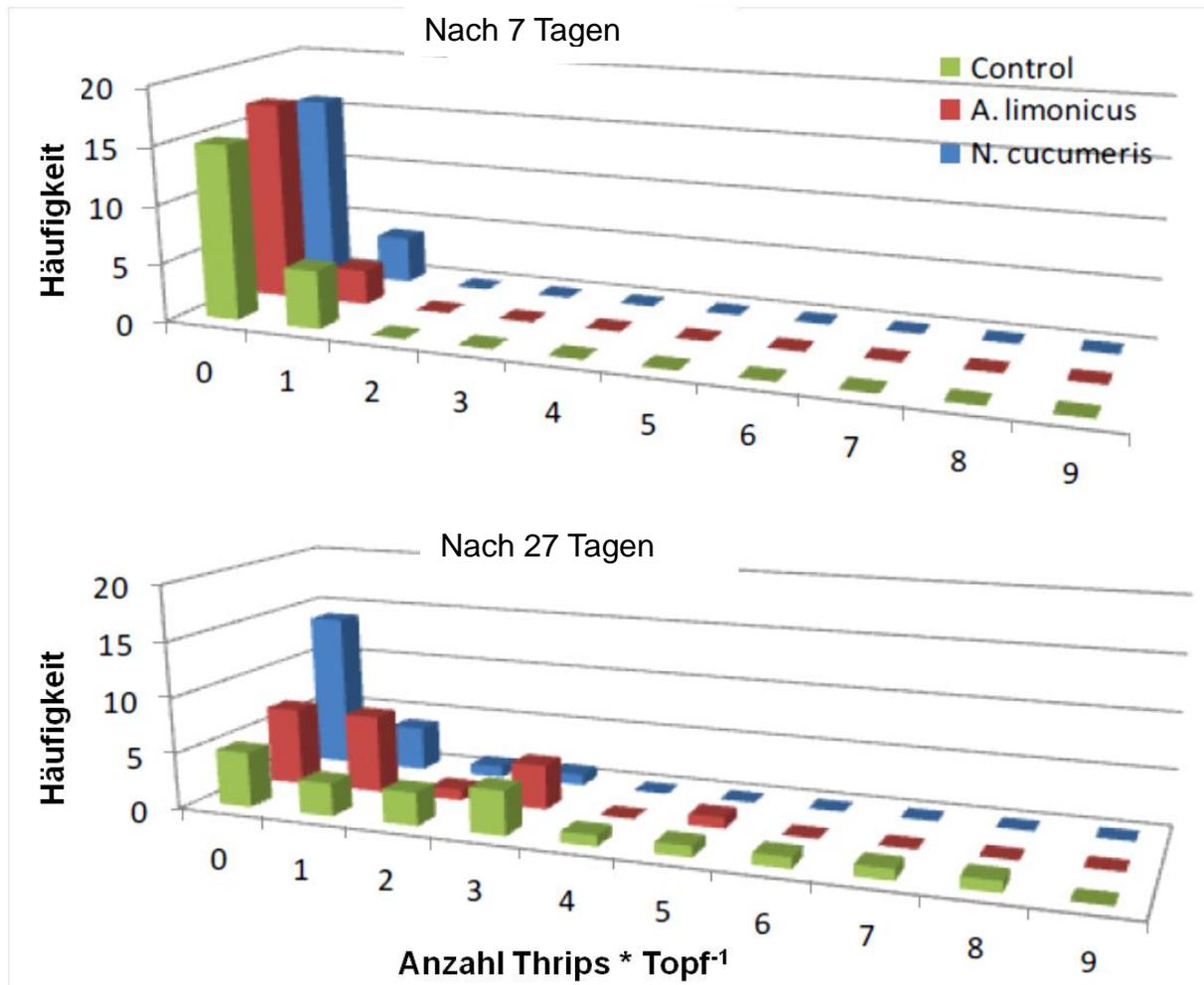


Abb. 45: Vergleich der Verteilung der Häufigkeiten verschieden stark mit *F. occidentalis* befallener Töpfe *P. crispum* bei der ersten und vierten Bonitur des dritten Durchganges mit *A. limonicus* und *N. cucumeris*-Raubmilben sowie einer unbehandelten Kontrolle, n = 20 (verändert nach AMONGERO NORIEGA 2013)

In der Häufigkeitsverteilung sieht man die größere Zahl befallsfreier Töpfe in der mit *N. cucumeris* behandelten Variante am vierten Boniturtermin nach 26 Tagen. Dies sind fast dreimal so viele wie in der Kontrollvariante (Abb. 45). Insgesamt zeigt sich eine weniger breite Streuung als im zweiten Durchgang, auf Grund des geringeren individuellen Befalls einzelner Töpfe. Stärkerer Befall mit mehr als fünf *F. occidentalis* wurde nur in der Kontrollvariante festgestellt.

#### **4.15. Untersuchung zum Flug- und Aktionsradius von *M. pygmaeus* im Gewächshaus**

Zur Untersuchung der Aktivität und Ausbreitung von *M. pygmaeus* wurden adulte Tiere auf einer einzelnen *Salvia officinalis*-Pflanze ausgebracht. Von dort konnten sie sich auf *Borago officinalis*-Pflanzen im Gewächshaus verteilen. Die Anzahl der Tiere auf den einzelnen Pflanzen wurde schließlich in regelmäßigen Abständen ausgezählt. Im ersten Durchgang waren hierbei auf jeder zweiten *B. officinalis*-Pflanze sterilisierten Eiern von *Ephestia kuehniella* (Zeller) als künstliche Zufütterung ausgelegt.

Kurz nach Ausbringung lässt sich ein rascher Abfall der Raubwanzenzahl auf der Ausgangspflanze *S. officinalis* feststellen (Abb. 46). Nach zehn Tagen befanden sich zunächst gleichbleibend zwei Individuen auf der Pflanze. Gleichzeitig konnte eine starke Zunahme der Tiere im Bestand von *B. officinalis* festgestellt werden, die zunächst am 12. Tag ihr Maximum mit über sechs Individuen erreichte. Anschließend nahm die Anzahl der gefundenen Individuen ab und folgte dem abfallenden Temperaturverlauf (Abb. 46). Am 25. Boniturtag konnten die ersten Nymphen der F1-Generation gezählt werden, die sich entwickelt hatten, worauf die Population im Gewächshaus schlagartig anstieg. Bemerkenswert ist, dass die Anzahl der gezählten Tiere mit der Temperaturkurve im Gewächshaus korrelierte. Bei niedrigeren Temperaturen wurden weniger *M. pygmaeus* wiedergefunden.

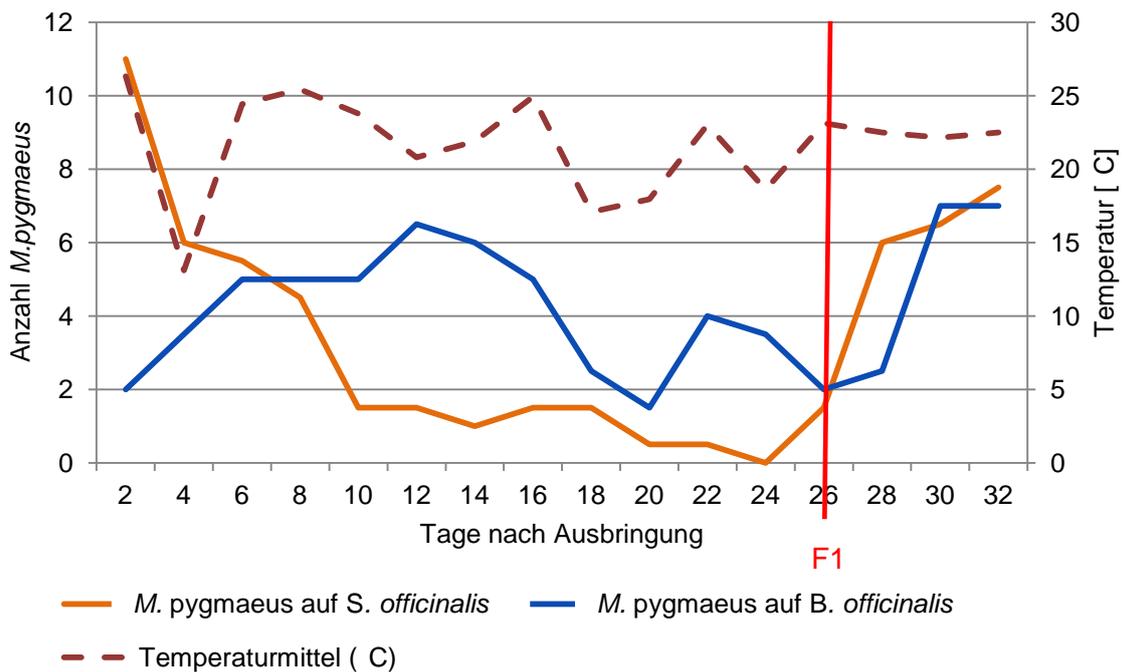


Abb. 46: Anzahl *M. pygmaeus* auf *S. officinalis* und *B. officinalis* bei Zugabe von sterilisierten Ephestia-Eiern als Futter. Mittelwerte aus Kabinen 1 und 2, die rote Linie kennzeichnet den ersten Fund von F1-Larven (nach MATRAY 2012)

So lässt sich nach einer Etablierungszeit von 26 Tagen feststellen, dass sich die erste Nachkommengeneration entwickelt hat. Auf *B. officinalis* erfolgte der erste Schlupf zwei Tage später, entwickelte sich dann aber sehr ähnlich wie auf *S. officinalis* (Abb. 46). Durchschnittlich fanden sich am 32. Tag nach Freilassung 6 Larven auf *S. officinalis* und 7,5 Larven auf *B. officinalis*. Der Verlauf der Populationsentwicklung verlief auf beiden Pflanzenarten ähnlich.

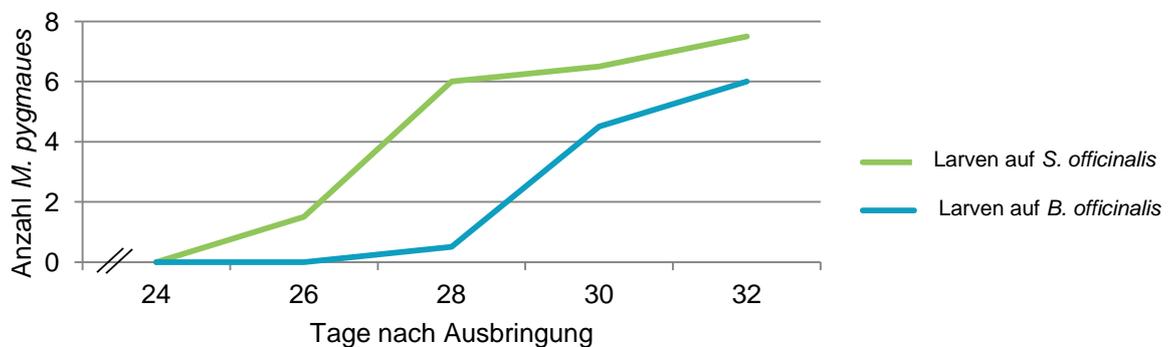


Abb. 47: Etablierungszeit von *M. pygmaeus* auf *S. officinalis* und *B. officinalis* bei der Zugabe von sterilisierten Eiern von *E. kuehniella* als Futter, erfasst wurden nur die F1-Larven, Mittelwert aus Kabinen 1 und 2 (nach MATRAY 2012)

Zur Feststellung der Aktivität von *M. pygmaeus* bei der Futtersuche wurde die Anzahl der Tiere auf Pflanzen mit und ohne Futterzugabe gezählt. Hierbei zeigten sich über den gesamten Zeitraum mehr Tiere auf Futterpflanzen, als auf Nicht-Futterpflanzen (Abb. 48).

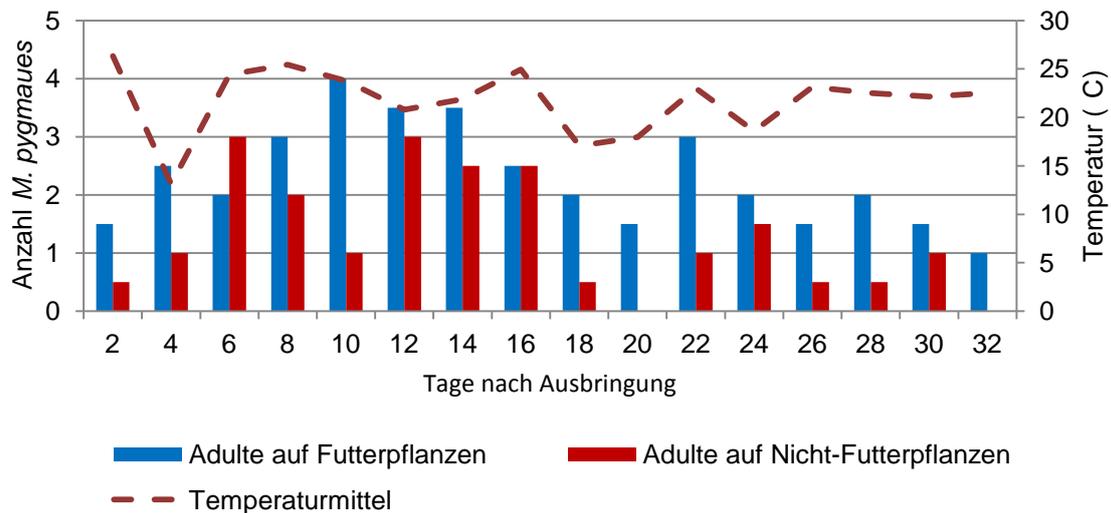


Abb. 48: Futtersuchaktivität von *M. pygmaeus* auf *B. officinalis* mit und ohne sterilisierten Eiern von *Ephestia kuehniella* als Futter, Mittelwert aus Kabinen 1 und 2 (nach MATRAY 2012)

Von Beginn des Experimentes bis zum 14. Boniturtag wurden die meisten *M. pygmaeus* auf Pflanzen der inneren beiden *B. officinalis*-Ringe (Abstand 1 m und 2,5 m zur Ausgangspflanze) gefunden (Abb. 49). Bereits am vierten Tag nach der Ausbringung konnten Raubwanzen jedoch auch auf Pflanzen des äußersten Ringes (6,6 m) wiedergefunden werden, hatten sich also über die gesamte Kammergröße von ca. 90 m<sup>2</sup> ausgebreitet. Ab Tag 12 nach Ausbringung fanden sich bereits viele Tiere auf Pflanzen des 5 m entfernten Ringes. In den folgenden Tagen kam es insgesamt zu einer Abnahme der gefundenen *M. pygmaeus* auf den Pflanzen, was sich mit der niedrigeren Temperatur und damit verringerten Aktivität der Insekten erklärt (Abb. 46).

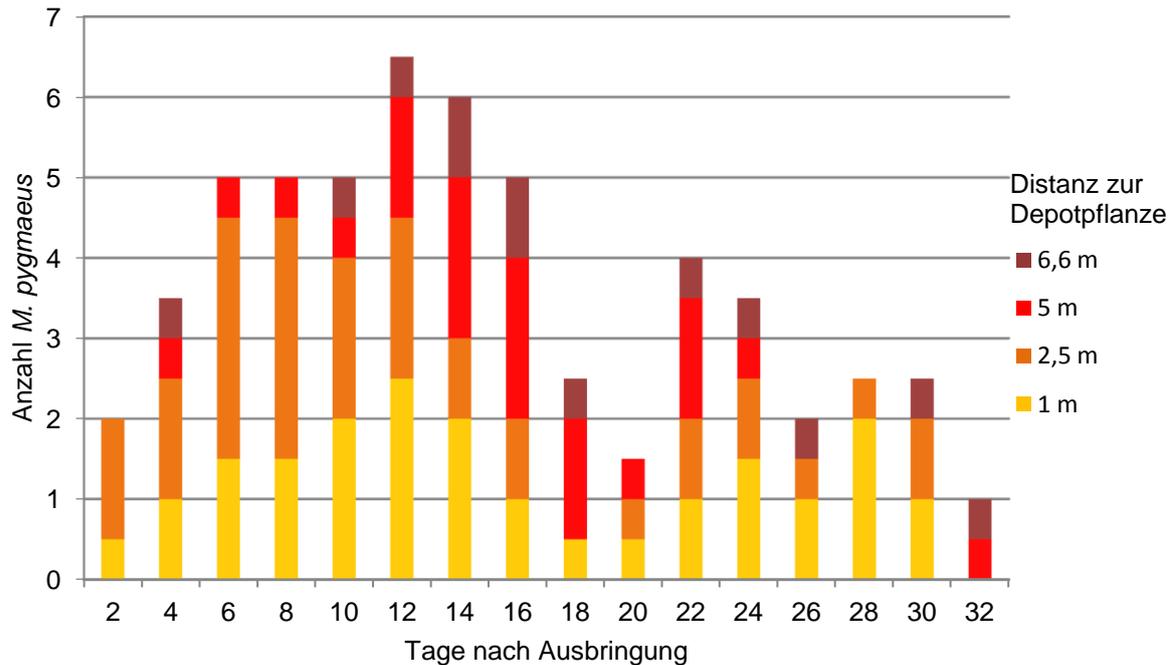


Abb. 49: Aktionsradius von *M. pygmaeus* im ersten Monat nach der Ausbringung im Gewächshaus mit sterilisierten Eiern von *E. kuehniella* als Futter (nach MATRAY 2012)

Im zweiten Durchgang wurde in Kabine 1 wie bereits im ersten Durchgang mit sterilisierten Eiern von *E. kuehniella* zugefüttert, während in Kabine 2 lebende Blattläuse auf den Pflanzen als Futterquelle für die Raubwanzen dienten.

Auch hier zeigte sich, dass die Anzahl der Individuen, die auf den Pflanzen gefunden wurden, dem Temperaturverlauf im Gewächshaus folgte. Da der Blattlausbefall in der Kabine mit Lebendfutter auf alle Pflanzen ausbreitete, in der Ephestia-Variante jedoch nur jede zweite Pflanze mit Futter belegt war, ist zur besseren Vergleichbarkeit die Anzahl der Individuen *M. pygmaeus* pro Futterpflanze angegeben (Abb. 50).

Zunächst ließen sich in der Ephestia-Variante bis zum 6. Tag mehr Tiere pro Futterpflanzen finden, anschließend war der Verlauf der Anzahl gezählter Tiere jedoch sehr ähnlich. Auf Grund der höheren Temperatur im Vergleich zum ersten Durchgang ließen sich im zweiten Durchgang bereits nach 16 Tagen die ersten Larven der F1-Generation in beiden Kammern finden, sodass es zu einem raschen Anstieg der Individuenzahl kam (Abb. 50).

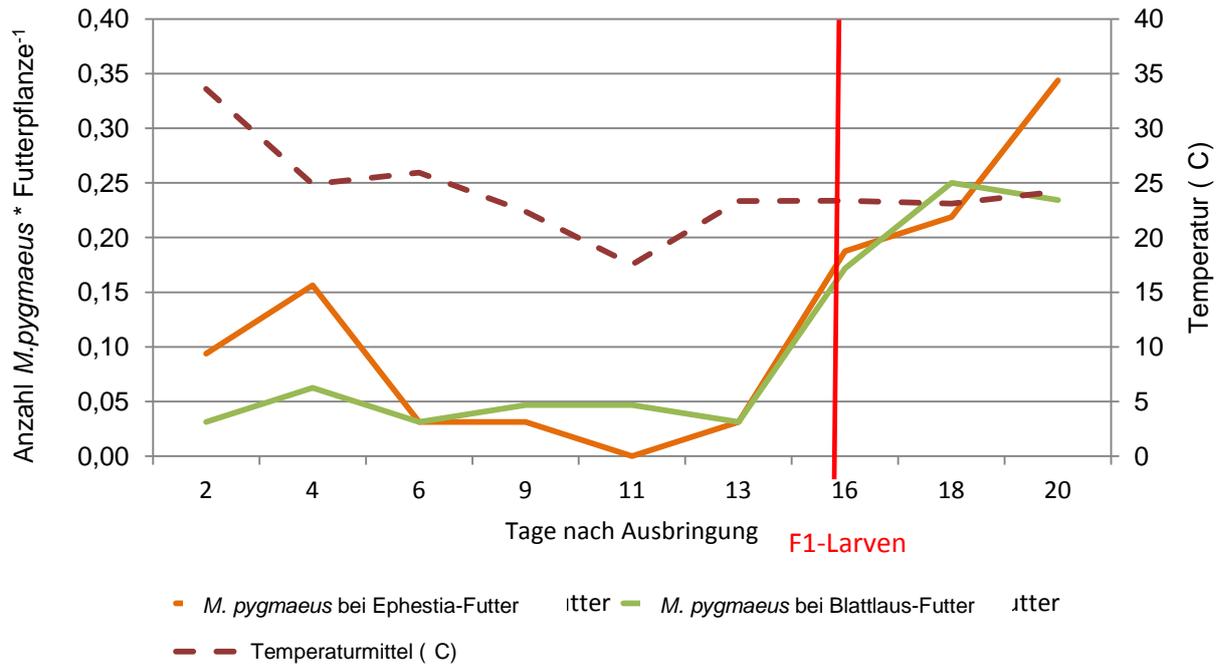


Abb. 50: Anzahl *M. pygmaeus* pro Futterpflanze *B. officinalis* im Kammvergleich mit sterilisierten Ephestia-Eiern oder lebenden Blattläusen als Futter. Die rote Linie kennzeichnet den ersten Fund von F1-Larven (nach MATRAY 2012)

Nach einer rascheren Entwicklungszeit stieg auch die Anzahl der Nachkommen im zweiten Durchgang schneller an (Abb. 51). So fanden sich nach 16 Tagen 5 *M. pygmaeus* in der Ephestia-Variante auf *S. officinalis*, bei Versuchsende mit 10 Stück bereits doppelt so viele Tiere. Auf *B. officinalis* fanden sich in der Zeit keine F1-Raubwanzen. In der zweiten Kammer mit Blattlausfutter fanden sich nach 16 Tagen ebenfalls 5 *M. pygmaeus*-Larven auf *S. officinalis*, 8 Tiere nach 18 Tagen und 5 Tiere nach 20 Tagen. Auf *B. officinalis* befanden sich nach 16 Tagen 4 F1-Raubwanzen, nach 20 Tagen waren es bereits 9 Wanzen.

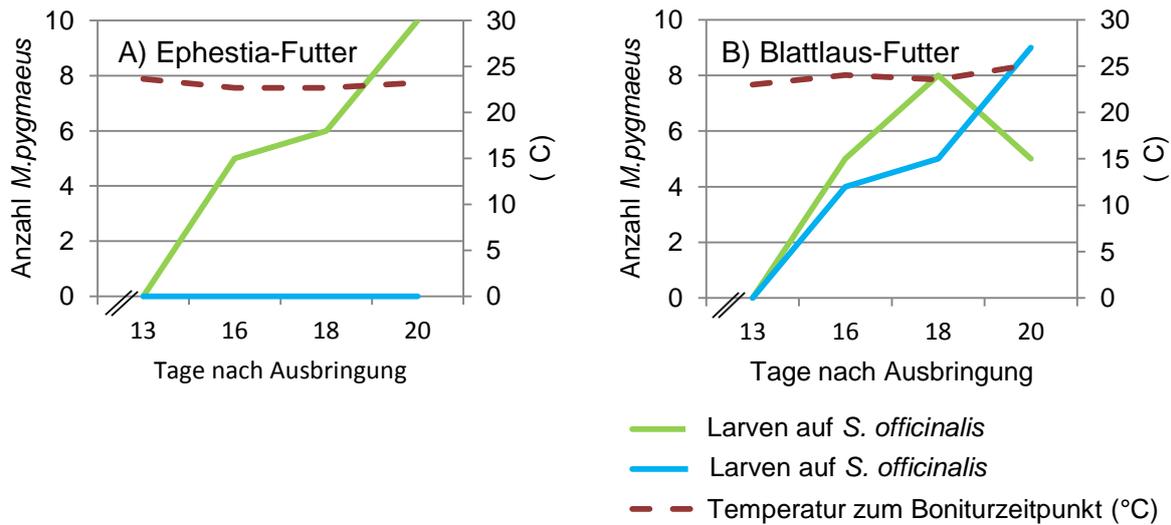


Abb. 51: Etablierungszeit von *M. pygmaeus* auf *Salvia officinalis* und *B. officinalis* bei der Zugabe von A) sterilisierten Eiern von *E. kuehniella* bzw. B) lebenden Blattläusen als Futter. Erfasst wurden nur die F1-Larven (nach MATRAY 2012)

Insgesamt wurden im zweiten Durchgang weniger *M. pygmaeus* gefunden als im ersten Durchgang. So zeigte sich auch bei den Untersuchungen zum Aktionsradius in Kabine 2 mit Blattlauszufütterung kein so differenzierter Verlauf als zuvor (Abb. 52). Auffällig ist auch hier, dass sich die Raubwanzen relativ schnell im Gewächshaus verbreiten und obwohl nach zwei Tagen noch keine Tiere auf den *B. officinalis*-Pflanzen gefunden wurden, hatten sie sich an Tag 4 bereits im Haus verteilt und waren auch auf Pflanzen des dritten Ringes mit einer Entfernung von 5 m zur Ausgangspflanze zu finden. Insgesamt fanden sie sich später allerdings vermehrt in den inneren Ringen zwischen 1 m und 2,5 m von der Ausgangspflanze entfernt wieder.

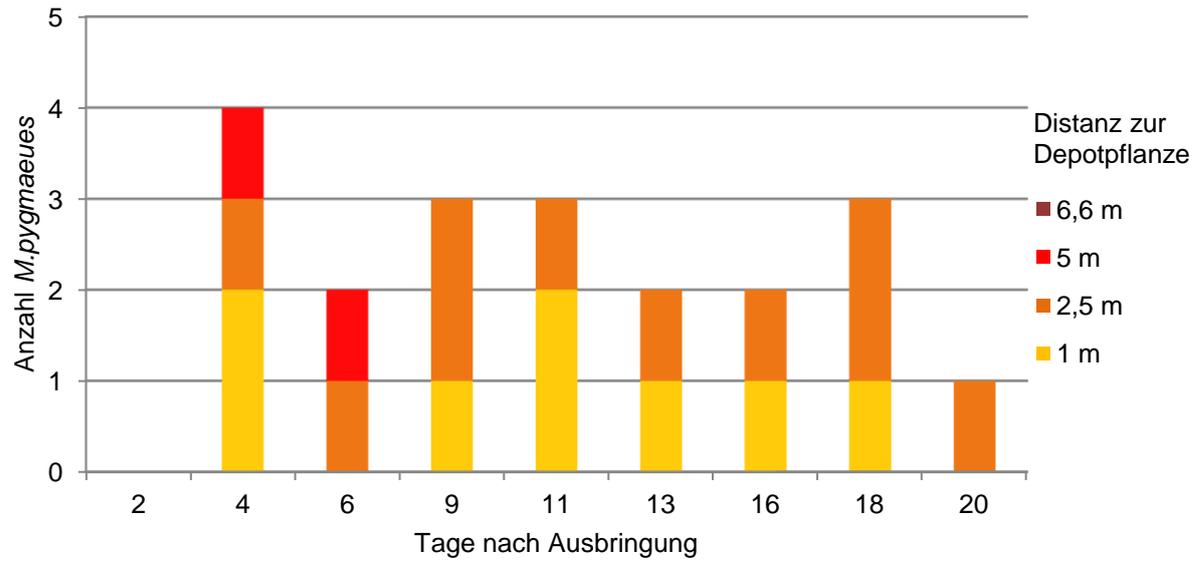


Abb. 52: Aktionsradius von *M. pygmaeus* über 20 Tage nach der Ausbringung im Gewächshaus mit lebenden Blattläusen als Futter (nach MATRAY 2012)

#### 4.16. Untersuchung zur ganzjährigen Etablierung von *M. pygmaeus* in einem gemischten Bio-Topfkräuterbetrieb

Zur Untersuchung der Möglichkeit zur ganzjährigen Etablierung der Raubwanze *M. pygmaeus* wurden die Tiere in Käfigen mit repräsentativen Pflanzen aus dem laufenden Betrieb ausgebracht. Dort konnte ihre Entwicklung von Dezember bis Februar beobachtet werden, bevor die Tiere in das komplette Gewächshaus freigelassen wurden.

Zunächst wurde dabei die Anzahl der adulten und juvenilen Tiere auf den Pflanzen erfasst (Abb. 53). Dabei zeigten sich bereits nach einem Monat erste F-1 Nachkommen in beiden Käfigen (5,5 und 1,5 Tiere \* Pflanze<sup>-1</sup>). In Käfig 1 blieb die Anzahl juveniler Raubwanzen danach stabil, während in Kabine 2 die Anzahl Mitte Februar auf über sechs Tiere anstieg. Ein starker Anstieg der Anzahl der Adulten konnte schließlich Ende Januar festgestellt werden.

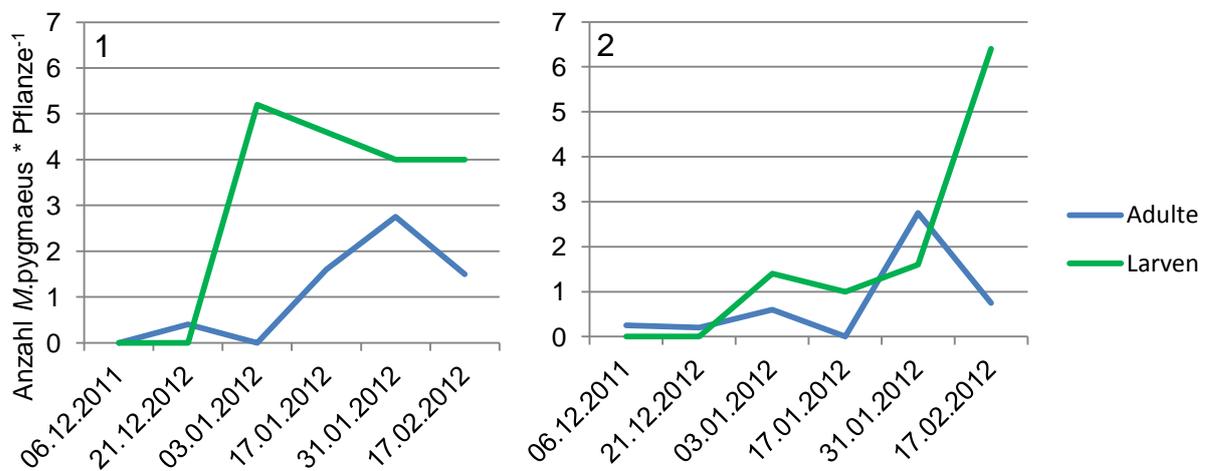


Abb. 53: Anzahl *M. pygmaeus* pro Pflanze in Netzkäfigen 1 und 2 im Gewächshaus (nach MATRAY 2012)

Die Verteilung der *M. pygmaeus*-Nachkommen auf den Pflanzen zeigte eine große Übereinstimmung der Präferenz der Raubwanzen in beiden Netzkäfigen (Abb. 54). Die meisten Larven fanden sich in beiden Käfigen auf hochstämmigen, blühenden *O. basilicum* (8,2 *M. pygmaeus* in Netzkäfig 1 und 3,5 in Netzkäfig 2), sowie auf *M. arvensis* ‚Banana‘ (6,8 bzw. 3,1), gefolgt von *M. suaveolens* var. *Variegata* (4,0 bzw.

3,5). Die geringsten Larvenzahlen waren auf *Salvia elegans* (2,8 bzw. 1,0) und schließlich auf *O. basilicum* ‚Genoveser‘ (0,3 bzw. 1,4) zu finden. Die drei geringer belegten Pflanzen zeigten einen höheren Blattlaus- (*S. elegans*) bzw. Thripsbefall (*O. basilicum* ‚Genoveser‘), die mit einem schlechteren Gesamtpflanzenzustand einhergingen. Die nicht blühende *M. suaveolens* stellte sich als gute Depotpflanze für *M. pygmaeus* heraus und wurde auf Grund ihrer Kompaktheit der Basilikumampel als Depot- und Boniturpflanze nach dem Öffnen der Käfige im gesamten Gewächshaus vorgezogen.

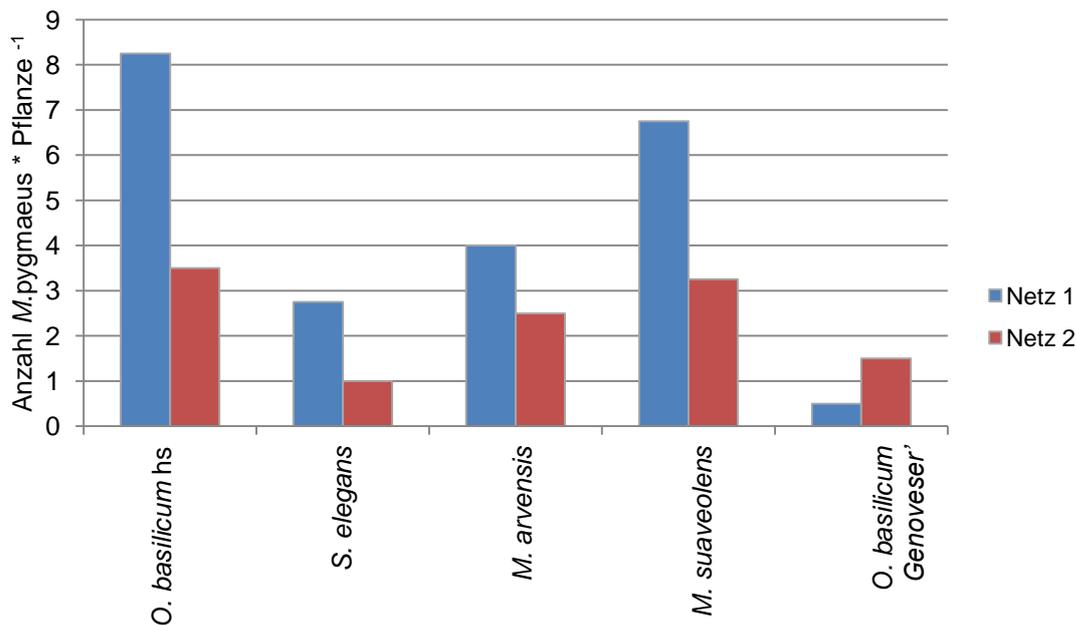


Abb. 54: Anzahl *M. pygmaeus*-Larven pro Pflanze im Zeitraum von 03.01.2012 bis 17.02.2013 in Netzkäfigen 1 und 2 im Gewächshaus, hs = Hochstamm (nach MATRAY 2012)

Auf *O. basilicum* und *M. arvensis* zeigte sich während des Versuches ein ähnlicher Verlauf der Anzahl adulter *M. pygmaeus*, die auf den Pflanzen des Netzkäfigs vor und nach Öffnung gefunden wurden (Abb. 55 A). Nachdem zunächst kein Tier gefunden wurde, zeigte sich ab Anfang Januar ein Anstieg, der auf *M. arvensis* Ende Januar und auf *O. basilicum* zur Öffnung des Netzes Mitte Februar einen Höhepunkt hatte. Danach fiel die Anzahl der Tiere auf den Versuchspflanzen wie erwartet ab, als sich die Raubwanzen im Gewächshaus verteilen konnten. Ein leichter Anstieg zeigte sich auf *O. basilicum* noch einmal Ende Mai. Auf *S. elegans* waren kontinuierlich

weniger Adulte zu finden, bis Mitte Januar gar keine und kurz nach der Öffnung der Netze ab Anfang März ebenfalls nicht mehr.

Die Entwicklung der Anzahl juveniler *M. pygmaeus* auf den Versuchspflanzen zeigte sich weniger gleichmäßig verteilt (Abb. 55 B). Zunächst kam es zu einem raschen Anstieg der Larvenzahlen auf *M. arvensis* auf 12 Tiere Anfang Januar. Anschließend fiel dieser Wert auf 2 Larven bei und nach Öffnung der Käfige Mitte bis Ende Februar, bevor Anfang April erneut 12 Larven zu finden waren. Anschließend fiel dieser Wert wieder auf 3 Tiere ab. Bei *O. basilicum* zeigte sich zunächst ein relativ gleichmäßiger Anstieg der Larvenzahlen bis zur Öffnung des Käfigs Mitte Februar auf 13 Tiere. Nach einem Einbruch der Larvenzahl auf allen Pflanzenarten bis Ende März, stieg die Larvenzahl nochmals auf 14 Tiere an. Anschließend kam es auch hier zu einem starken Abfall der Larvenzahlen. Auf *S. elegans* zeigten sich auch weniger Larven als auf den anderen Arten. Der Verlauf der Verteilung folgte aber auch auf dieser Pflanze mit zwei Maximalwerten Ende Januar und Ende März und zwischenzeitlichem Einbruch der Larvenzahlen dem Muster, das bereits auf den anderen Pflanzen beobachtet wurde.

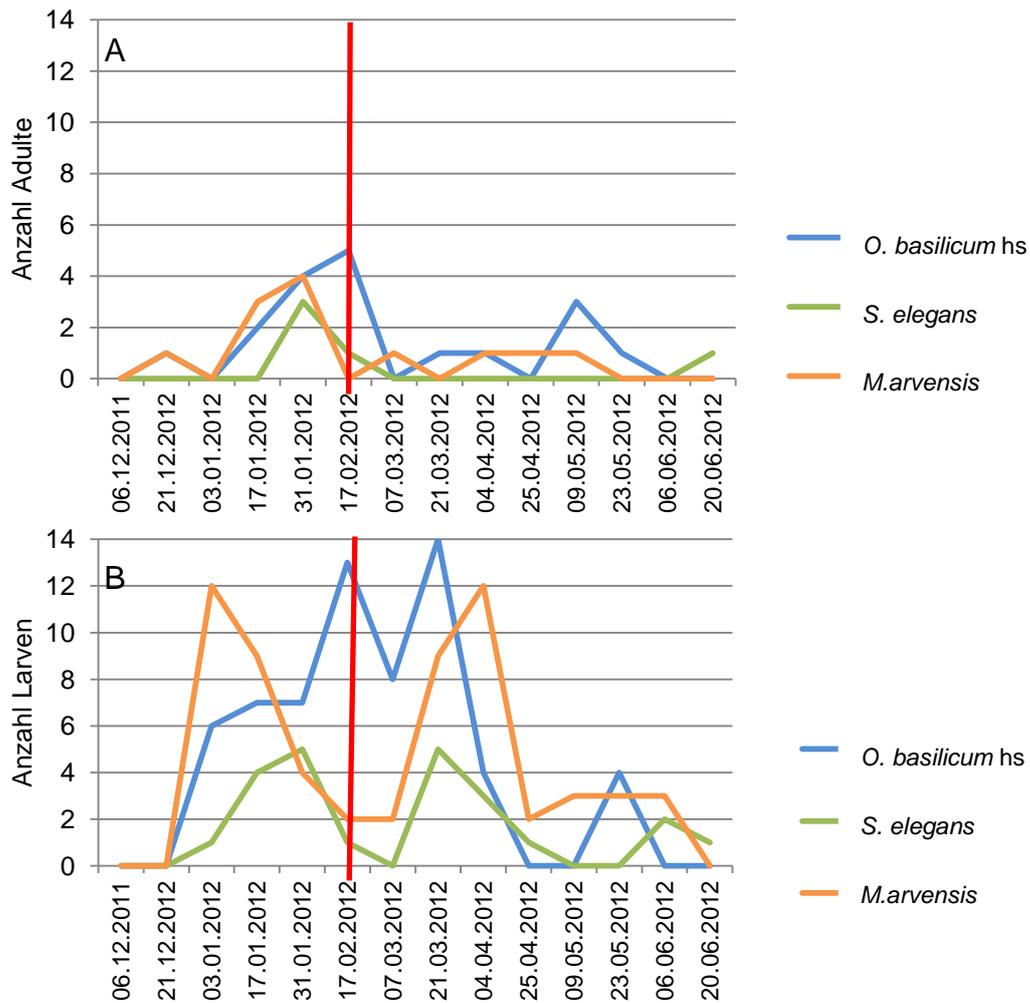


Abb. 55: Vergleich der Entwicklung der Anzahl adulter (A) und juveniler (B) *M. pygmaeus* vor und nach Öffnung der Netzkäfige (roter Strich), hs = Hochstamm (nach MATRAY 2012)

Anhand der regelmäßig durchgeführten Bonituren zuvor gekennzeichnete *M. arvensis*-Pflanzen, die gleichmäßig im Gewächshaus verteilt waren, konnte die Ausbreitung der adulten Raubwanzen und die Etablierungsphase nach Öffnung der Netzkäfige beobachtet werden (Abb. 57).

Im ersten Monat nach Öffnung der Netzkäfige wurden nur wenige adulte *M. pygmaeus* im Gewächshaus gefunden: auf der Warmhausseite, etwa auf der Hälfte zwischen beiden Käfigen (Abb. 57 A). Im zweiten Monat nach Öffnung fanden sich viele adulte Tiere in der Nähe des ehemaligen Netzkäfigs 1. Im dritten Monat fanden sich wieder weniger adulte Raubwanzen an einer Bonitурpflanze in der Nähe von Käfig 1. Im vierten Monat wurden adulte *M. pygmaeus* schließlich im ganzen Gewächshaus vermehrt auch auf der Kaltseite gefunden.

Im ersten Monat nach der Öffnung fanden sich viele Raubmilbenlarven in der Nähe der Käfige, insbesondere des ehemaligen Netzkäfigs 1. Diese Pflanzen wurden also zuerst besiedelt (Abb. 57 B). Im zweiten Monat fanden sich Larven im gesamten Warmhausbereich, mit einer größeren Ansammlung auf einer Bonitурpflanze in der Nähe von Käfig 1. Im dritten Monat waren die Larven in der Nähe der beiden ehemaligen Netzkäfige, sowie auf einer Bonitурpflanze im Kalthausbereich zu finden. Auch bei den juvenilen *M. pygmaeus* zeigte sich eine vermehrte Verteilung über das gesamte Gewächshaus im vierten Monat.

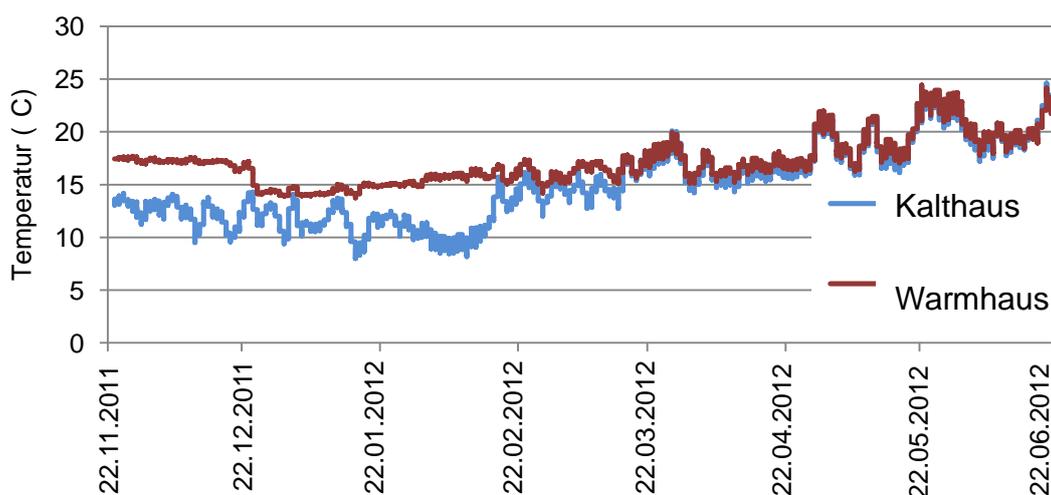


Abb. 56 Temperaturverlauf im Gewächshaus des Kräuterbetriebes 'Radicula' über den gesamten Versuchszeitraum vom 22.11.2011 bis 20.06.2012 (nach MATRAY 2012)

Legende

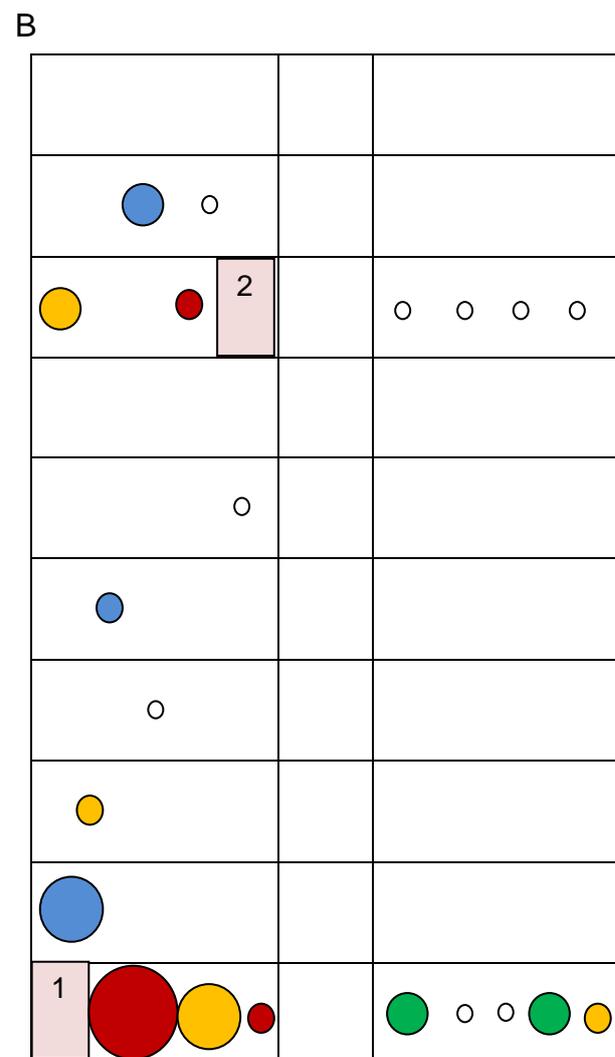
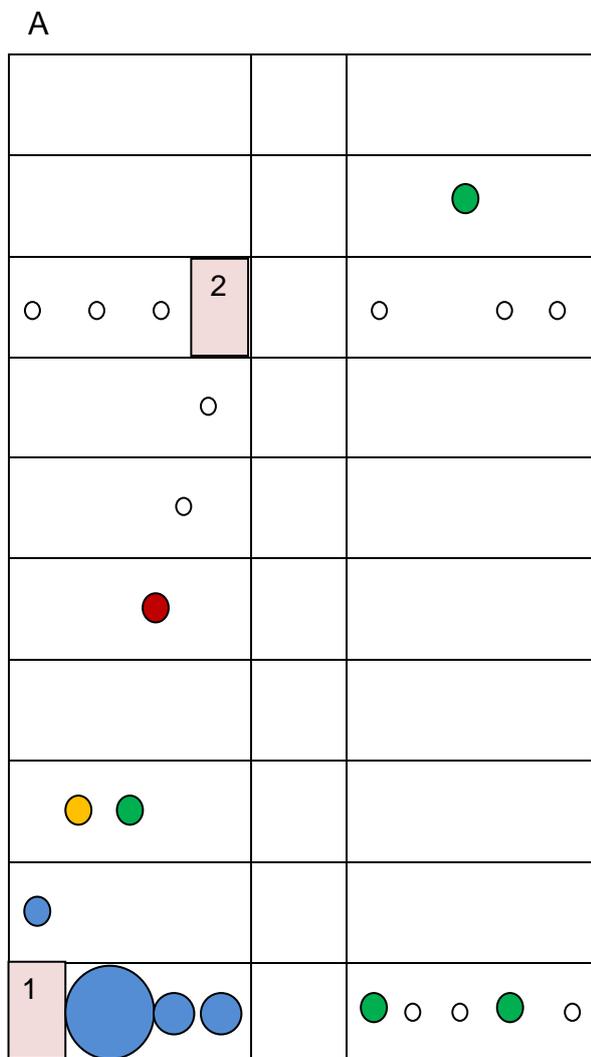
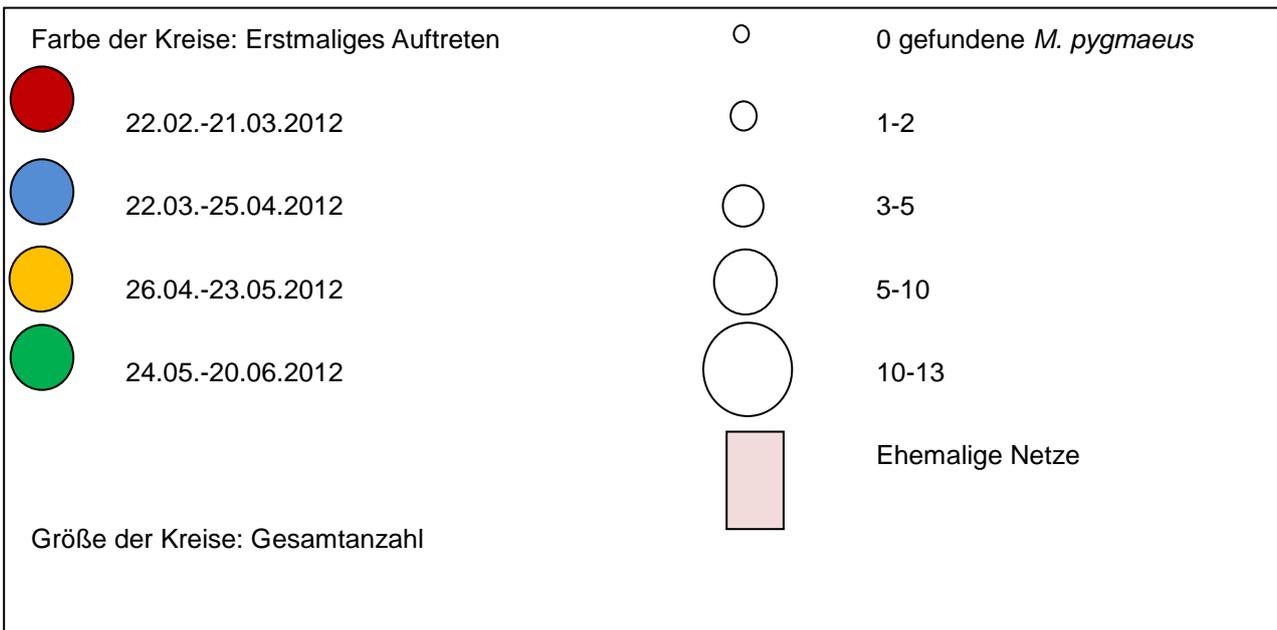


Abb. 57: Schematische Ausbreitung der adulten (A) und juvenilen (B) *M. pygmaeus* nach Öffnung der Netzkäfige (1 und 2) vom 22.02.2012 bis 20.06.2012 im Gewächshaus (nach MATRAY 2012)

## 5. Diskussion

Der Anbau von Topfkräutern unterscheidet sich in durch einige Besonderheiten von anderen Gewächshauskulturen. Durch den häufig ganzjährigen Anbau in Deutschland herrschen in Herbst und Winter geringe Temperaturen und verkürzte Tageslichtlängen. Dies beeinflusst Schädlinge, die sich in dieser Zeit zwar in der Regel schlechter vermehren, jedoch im Gewächshaus überdauern können. So überwintern sie an verbleibenden Pflanzen und führen bei steigenden Temperaturen im Frühjahr zu einem frühen und starken Befall. Insbesondere im ökologischen Anbau ist die Bekämpfung schwierig, da auch die Nützlinge von den suboptimalen abiotischen Bedingungen beeinflusst werden und bereits wenige im Gewächshaus verbleibende Schädlinge zu großen Schäden führen können. Darüber hinaus werden häufig verschiedene Topfkräuter gleichzeitig und unterschiedlich lange in einem Gewächshaus angebaut. So können Schädlingsrefugien auf präferierten Pflanzenarten entstehen. Küchenkräuter besitzen außerdem hohe Gehalte sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, die sowohl Schädlinge als auch Nützlinge mehr oder weniger stark beeinflussen können.

### Einfluss niedriger Temperaturen auf den Nützlichenseinsatz

Die Temperatur ist der vermutlich wichtigste Einflussfaktor auf Schädlinge und Nützlinge im Gewächshaus. Dieser Einfluss ergibt sich insbesondere aus der Tatsache, dass Insekten als ektothermische Organismen besonders stark dem Einfluss der Temperatur auf Stoffwechselprozesse ausgesetzt sind (IRLICH ET AL. 2009).

Verringerte Temperaturen (auf  $\leq 10$  °C) wie sie im Winter und Frühjahr in der Produktion von Topfkräutern im Gewächshaus vorkommen können (Abb. 56), zeigten einen eindeutigen negativen Einfluss auf die Entwicklung und Vermehrung des bedeutenden Schädlings *M. persicae* auf *P. crispum*. Obwohl es zu einer deutlichen Reduktion des Populationswachstums unter diesen klimatisch ungünstigeren Bedingungen kommen kann, kommt die Blattlausentwicklung nicht zum Erliegen. Eine Fortpflanzung von *M. persicae* ist sogar unter 5 °C noch möglich (BARLOW 1962). Dies bestätigt die These, dass Blattläuse in der Lage sind sich über den Winter im Gewächshaus zu etablieren. Sie sind darüber hinaus in der Lage sich im

Laufe weniger Generationen an veränderte Klimabedingungen anzupassen und verringertes Populationswachstum zu kompensieren. ALFORD ET AL. (2012b) zeigten, dass *M. persicae* bereits nach Anpassung über nur eine Generation in der Lage waren sich bei Temperaturen bis zu 0 °C zu bewegen, während die Bewegungsfähigkeit der Blattläuse ohne Akklimatisierung (von zunächst 20 °C bis 25 °C) bereits bei 12,5 °C endete. Ebenso ließ sich die minimale Temperatur, die zum Tode von 50 % der Versuchstiere ( $LLT_{50}$  = Low Lethal Temperature) der verwendeten *M. persicae* führt, durch eine Anpassung an 10 °C über eine Generation von -11,9 bis -12,9 °C (konstante Haltung der Tiere bei zuvor 20 °C) signifikant auf -13,3 bis -16,2 °C senken (ALFORD ET AL. 2012a).

Die in den Pflanzenversuchen in Klimakammern gezeigte Verdopplung der Generationsdauer  $T_d$  von *M. persicae* auf *P. crispum* bei einer Reduktion der Temperatur von 25 °C auf 15 °C stellt somit zwar den starken Einfluss der Temperatur auf die Populationsentwicklung der Blattläuse dar, allerdings reicht die metabolische Beeinträchtigung nicht aus, um den Blattlausbefall im Winter im Gewächshaus vollständig zu stoppen. Die absolute Anzahl der über die Generationsdauer abgesetzten Nymphen ( $M_d$ ) variierte zwischen den einzelnen Temperaturvarianten hierbei nicht sehr stark, was jedoch auf Grund der längeren Entwicklungszeit dennoch zu einer Reduzierung der intrinsischen Wachstumsrate ( $r_m$ ) führte. So ist auch unter kühleren Bedingungen im Gewächshaus mit einem Blattlausbefall zu rechnen. Ein effektiver Nützlingseinsatz muss demnach auch bei niedrigen Temperaturen möglich sein um einem explosiven Populationswachstum bei (rasch) ansteigenden Temperaturen, einhergehend mit hohem Schadpotential, entgegenzuwirken.

Bei Biotests mit Schlupfwespen als Antagonisten von *M. persicae* war die Parasitierungsrate (PR) bei 10 °C erwartungsgemäß geringer als bei 20 °C. CAMPBELL ET AL. zeigten bereits 1974 für mehrere Schlupfwespenarten eine verlängerte *handling time* (Beschäftigungszeit) der Tiere pro Blattlaus, eine verringerte Angriffsrate und eine insgesamt geringere Parasitierungsleistung bei Temperaturen unter dem Optimum, welches nach ZAMANI ET AL. (2006, 2007) für verschiedene Blattlausparasitoide bei ca. 25 °C liegt. Der minimale Grenzwert für eine erfolgreiche Parasitierung liegt für *Aphidius* spp. zwischen 6 °C und 7 °C (BYEON ET AL. 2011, berechnet aus BERNAL & GONZALES 1993 und ZAMANI 2007). Dies lässt

den Schluss zu, dass Temperaturen von  $\leq 10$  °C zu gering sind, um eine erfolgreiche Bekämpfung von Blattläusen sicherzustellen.

Hierbei zeigten verschiedene Schlupfwespenarten eine unterschiedlich starke Reaktion auf verringerte Temperaturen. In Versuch 2 lag der Median der Anzahl parasitierter Blattläuse von *E. cerasicola* in allen drei klimatisch suboptimalen Varianten mit reduzierter Temperatur bzw. Belichtung über den beiden *Aphidius* spp.. In Versuch 1 lag die Parasitierungsleistung von *E. cerasicola* bei 10 °C und 3.000 lx sogar signifikant höher als bei den anderen beiden Arten. Auch DASSONVILLE ET AL. (2011) bestätigten, dass *E. cerasicola* weniger stark von niedrigen Temperaturen beeinflusst wird als *A. colemani* und *A. matricariae*. Nach einer Kühlung der Mumien über 14 Tage bei 7 °C schlüpften in den dargestellten Versuchen 100 % der *E. cerasicola*, jedoch nur 72 % bzw. 73 % der beiden *Aphidius* spp..

In den durchgeführten Biotests dauerte die Mumifizierung der Blattläuse bei 10 °C wesentlich länger als bei 20 °C. Dies ist direkt auf die verringerte Entwicklungsgeschwindigkeit der Schlupfwespenlarve zurückzuführen (BYEON ET AL. 2011), die auch für die höhere Variation in der Entwicklungsgeschwindigkeit der Schlupfwespenlarven von Ei zur Puppe bei 10 °C verantwortlich ist. Zwischen den unterschiedlichen Belichtungsvarianten bei gleicher Temperatur ließ sich kein Unterschied im Zeitpunkt der Mumifizierung und damit der Entwicklungsgeschwindigkeit der Larve feststellen.

Bei dem räuberischen Gegenspieler von *M. persicae*, *C. carnea*, war der Einfluss niedrigerer Temperaturen weniger ausgeprägt. In den durchgeführten Versuchen zeigte sich, dass eine hohe Fraßleistung auch bei niedrigen Temperaturen gegeben ist. Dies deckt sich mit Untersuchungen von KAZEMI & MEHRJENAD (2011), bei denen ein erhöhter Fraß der als Futter angebotenen Blattflöhe *Agonoscena cyphonopistae* von *C. carnea* mit sinkender Temperatur beobachtet werden konnte. Der Nützlingsproduzent SAUTTER & STEPPER (2013) gibt eine kritische Nutzungstemperatur von 5 °C an. Andere Studien nennen als Entwicklungsminima Temperaturen von 8-10 °C (KAZEMI & MEHRJENAD 2011). Somit ist die räuberische Florfliegenlarve bereits früher, bzw. länger im Jahr im Gewächshaus anwendbar, wenn die Temperaturen nicht hoch und für andere Nützlinge sogar zu gering sind.

Beim Kalifornischen Blüenthrips, *F. occidentalis*, wurde in Biotests und auf Ganzpflanzen in Klimakammern ein signifikanter Einfluss der Temperatur auf die Populationsentwicklung gezeigt. Bei 10 °C konnten über die gesamte Versuchsdauer von vier Wochen sowohl auf *P. crispum*, als auch auf *O. basilicum* keine Nachkommen gezählt werden, so dass diese Temperaturvariante nicht weiter berücksichtigt wurde. Der Grund dafür ist die starke Verlangsamung der Individualentwicklung. Studien ergaben, dass bei 10 °C die Entwicklung der Thripse vom Ei bis zum Schlupf über 30 Tage dauert und damit mehr als dreimal so lang wie bei 15 °C (MCDONALD ET AL. 1998). Die minimale Temperatur, bei der die Entwicklung von *F. occidentalis* möglich ist liegt demnach zwischen 8 und 11 °C (VAN RIJN ET AL. 1995, KATAYAMA 1997, MCDONALD ET AL. 1998). Bei 15 °C war der Befall sowohl auf *P. crispum* als auch auf *O. basilicum* geringer als bei 25 °C. Dies deckt sich mit den Angaben weiterer Studien, die neben einer starken Temperaturabhängigkeit der Entwicklung von *F. occidentalis* eine optimale Temperatur für den Schädling zwischen 25 und 30 °C ermittelten (KATAYAMA 1997, MCDONALD ET AL. 1998, CHAISUEKUL & RILEY 2005, REITZ 2008). So kommt es neben einer rascheren Individualentwicklung auch zu einer höheren Ovipositionsrate bei höheren Temperaturen (CHAISUEKUL & RILEY 2005). Insgesamt zeigte sich auf *O. basilicum* ein stärkerer Befall als auf *P. crispum*. Auffällig ist die geringe Populationsentwicklung von *F. occidentalis* bei einer Wechseltemperatur von 25 °C tagsüber und 10 °C in der Nacht, bei einer Photoperiode von 16h:8h (L:D). Bereits wenige Stunden mit stark reduzierter Temperatur können zu einer stark verringerten Entwicklung der Thrips führen. Diese Entwicklungsverzögerung resultiert hierbei nicht aus einer reproduktiven Diapause, da *F. occidentalis* eine solche im Gegensatz zu anderen Thripidae nicht eingeht (MURAI 1988, NAKAO 1994, ISHIDA ET AL. 2003). Damit zeigt sich, dass die Tiere in ihrer Populationsentwicklung gehemmt werden. *F. occidentalis* stellt also bei niedrigen Temperaturen kein Problem im Gewächshaus dar. Bei steigenden Temperaturen kommt es jedoch zu einem explosionsartigen Populationsanstieg.

Die Raubmilbe *N. cucumeris* reagierte im Ganzpflanzenversuch ebenfalls stark auf verringerte Temperaturen. Bei Wechseltemperaturen von 10 °C in der Nacht und 25 °C während der Photophase, war *N. cucumeris* nicht in der Lage die geringe Zahl *F. occidentalis* weiter zu reduzieren. Auf *P. crispum* befanden sich nach 14 Tagen in der behandelten Variante sogar mehr Thrips als in der unbehandelten, statistisch jedoch nicht signifikant. Dies liegt zum Teil daran, dass sich *N. cucumeris* primär von

L<sub>1</sub>-Larven von *F. occidentalis* ernährt, diese aber auf Grund der durch die geringe Nachttemperatur verlangsamten Entwicklung der Thrips kaum zur Verfügung standen (SHIPP & WHITFIELD 1991). Dazu kommt eine mittlere Lebensdauer von 10 Tagen für *N. cucumeris* wenn ihnen kein Futter zur Verfügung steht, so dass davon auszugehen ist, dass zumindest einige Raubmilben während des Versuches verhungert sind (DE COURCY WILLIAMS ET AL. 2004). Der von den Raubmilben durchgeführte Kannibalismus ist langfristig nur eine unzureichende Nahrungsquelle (SCHAUSBERGER & CROFT 2000). Verringerte Temperaturen führen darüber hinaus zu einer verminderten Prädationsleistung. Dies ist bei Wechseltemperaturen besonders relevant, da *N. cucumeris* sowohl tagsüber als auch nachts jagen (ZILAHİ-BALOGH ET AL. 2007).

#### Kurzzusammenfassung:

Das Populationswachstum von *F. occidentalis* und *M. persicae* wird durch geringe Temperaturen ( $\leq 10$  °C) stark reduziert. Insbesondere die Thripse sind kaum zu einer Vergrößerung der Population in der Lage. Ein Überleben im Gewächshaus ist im Winter jedoch möglich. Schlupfwespen, die gegen Blattläuse im Gewächshaus eingesetzt werden benötigen Temperaturen über 10 °C für eine erfolgreiche Parasitierung und sind daher im Winter nicht geeignet. Der Räuber *C. carnea* hingegen ist auch bei Temperaturen bis 5 °C einsatzfähig. Die Raubmilbe *N. cucumeris* die gegen *F. occidentalis* eingesetzt wird ist ebenfalls sehr anfällig gegen niedrige Temperaturen.

### Einfluss verkürzter Tageslichtlängen auf den Nützlichseinsatz

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die Tageslichtlänge eine wichtige Größe bei der Entwicklung sowohl von Schädlingen als auch von Nützlingen darstellt. Insbesondere die teilweise differenzierte Beeinflussung verschiedener Arten ist hierbei bemerkenswert. Da im ökologischen Topfkräuteranbau keine chemischen Pflanzenschutzmittel zur Verfügung stehen, kann die Steuerung abiotischer Faktoren ein wichtiges Stellglied bei der Bekämpfung von Schadinsekten mit tierischen Gegenspielern darstellen.

Eine von 16 auf 11 Stunden reduzierte Tageslichtlänge zeigte unter kontrollierten Versuchsbedingungen keinen signifikanten Einfluss auf die Populationsentwicklung von *M. persicae* auf *P. crispum*-Pflanzen in Klimakammern. Erst bei einer weiteren Reduzierung auf lediglich sechs Stunden Belichtung pro Tag, bei ansonsten gleichbleibenden Klimabedingungen und einer Temperatur von 21 °C wurde eine signifikante Reduzierung der intrinsischen Wachstumsrate der Blattlauspopulation sichtbar. Dieses Ergebnis deckt sich mit anderen Versuchen, bei denen bei Temperaturen zwischen 18 °C und 24 °C ebenfalls nur geringe Unterschiede der Populationsentwicklung bei einer Reduzierung der Photoperiode bei verschiedenen Blattlausarten festgestellt konnten (WYATT & BROWN 1977, SHU-SHENG & HUGHES 1987, ALDYHIM & KHALIL 1993). KODET ET AL. (1982) wiesen für die Blattlaus *Acyrtosiphon kondoi* bei 20 °C und 25 °C keinen Einfluss einer Reduzierung der Tageslichtlänge von 16 auf 12 bzw. 8 Stunden nach. Bei geringeren Temperaturen von 10 bzw. 15 °C war die Entwicklung der Blattläuse bei reduzierter Photoperiode jedoch langsamer als bei 16-stündiger Beleuchtung. Dies geht zum Teil auf die Umstellung auf die Produktion alater Blattläuse zurück, die bei niedrigen Temperaturen und verkürzter Photoperiode und als Reaktion auf saisonale Klimaveränderungen vermehrt gebildet werden (AN ET AL. 2012, BRAENDLE ET AL. 2006).

Alle drei untersuchten Schlupfwespenarten, die als Gegenspieler gegen die Blattläuse eingesetzt wurden, zeigten in Petrischalenexperimenten in Klimakammern eine signifikante Reaktion auf die Belichtung während einer 4-stündigen Ovipositionszeit. Dunkelheit führte zu einer Abnahme der Parasitierungsrate, sowohl bei 20 °C als auch bei 10 °C im Vergleich zu einer Beleuchtung von 3.000 lx. Bei den

ebenfalls verwendeten *Aphidius* spp. *A. colemani* und *A. matricariae* lagen bei Dunkelheit keine signifikanten Unterschiede der Parasitierungsrate zwischen den beiden Temperaturen vor (6,0 bzw. 15,5 %). Die starke Reduktion der Parasitierungsrate, insbesondere bei 20 °C, zeigt, dass visuelle Reize bei der Wirtsfindung der Schlupfwespen eine große Rolle spielen. Dies deckt sich mit Versuchen von HE ET AL. (2004), bei denen die Parasitierungsleistung von *A. ervi* gegen die Blattlaus *A. pisum* von belichteter zu unbelichteter Variante um 60 % reduziert wurde. Es wird also deutlich, dass die Temperatur einen großen Einfluss auf die Bewegungsintensität der Insekten hat, das Licht auf die Orientierung und damit auch auf das Aufspüren von Beutetieren.

Der Einfluss der Belichtung und damit der visuellen Akzeptanz eines Wirtes auf die Parasitierungsleistung von Schlupfwespen ist jedoch von der Art abhängig. In einem Versuch mit drei verschiedenen Schlupfwespenarten von MICHAUD & MACKAUER (1994), bevorzugten *A. ervi*, *A. pisivorus* und *A. smithii* gelbe Klone der Blattlaus *Macrosiphum creeli* gegenüber pinken Klonen anhand der Farbe. Dass die Farbe des Wirtes ein wichtiges visuelles Merkmal zur Akzeptanz durch die Schlupfwespe ist, offenbarte auch ein Versuch von BATTAGLIA ET AL. (2000). Dabei wurden künstliche Farbpigmente, die dem reflektieren Farbspektrum ihres natürlichen Wirtes *A. pisum* entsprachen, von *A. ervi* als Wirt akzeptiert und lösten einen Ovipositionsversuch aus. Die Angriffsrate sank bei Reduzierung der Lichtstärke von 4.500 lx auf 3.000 lx, bzw. 1.000 lx dabei signifikant ab. Allerdings konnte eine Angriffsreaktion von *A. ervi* gegenüber künstlichen Blattläusen durch Exuvien und Siphonensekret als Kairomonquellen auch bei Dunkelheit nachgewiesen werden. Dies zeigt, dass die Wirtsfindung und -akzeptanz seitens der Schlupfwespen durch eine Kombination von semiochemischen und physikalischen Reizen ausgelöst wird und erklärt die hier gezeigte Reduktion der Parasitierungsleistung. Weitere Versuche sind jedoch notwendig um den genauen Einfluss der einzelnen Faktoren sowie ihre Schwellenwerte zu untersuchen.

In Versuch 1 parasitierte *E. cerasicola* bei 10 °C lediglich 4 % der angebotenen *M. persicae* bei 0 lx, jedoch 50 % bei 3.000 lx. Damit war dies die einzige Art, die in der geringen Temperaturvariante eine relativ hohe Parasitierungsleistung zeigte, die bei Dunkelheit jedoch signifikant reduziert wurde. In Versuch 2 parasitierte *E. cerasicola* in Dunkelheit bei 20 °C mehr Blattläuse als die beiden *Aphidius*-Arten,

allerdings waren die Unterschiede zwischen beiden Varianten statistisch nicht signifikant. Die Stärke der Reaktion der Schlupfwespenarten auf die abiotischen Faktoren Licht und Temperatur scheint also je nach Art zu variieren. Dies deckt sich mit Ergebnissen von MICHAUD & MACKAUER (1994), bei denen von drei Schlupfwespenarten lediglich *A. ervi* eine Reduktion der Parasitierungsleistung in Dunkelheit beobachten ließ, bei den anderen Arten waren die optischen Reizen demnach weniger bedeutsam zur Beutesuche.

In den Gewächshausversuchen wurden nach 14 Tagen signifikante Unterschiede in der Effektivität von *A. matricariae* gegen *M. persicae* auf *P. crispum*-Pflanzen bei unterschiedlichen Tageslängen sichtbar. In mit Schlupfwespen behandelten Parzellen mit künstlich auf 8h:16h L:D reduzierter Tageslänge zeigte sich zunächst kein signifikanter Unterschied der Blattlausanzahl zu den Parzellen mit 16h:8h. Eine signifikant schwächere Regulierung des Blattlausbefalls durch *A. matricariae* bei 8:16h L:D führte allerdings zu einer signifikant verstärkte Blattlausvermehrung unter der längeren Photoperiode in der unbehandelten Kontrollvariante. Dies ist ein Beweis dafür, dass Schlupfwespen auf Grund der besseren Parasitierungsleistung während der Photoperiode von verlängerten Tageslichtlängen profitieren können. Neben einer längeren Belichtung ist hier aber vor allem die Auswahl der passenden Schlupfwespenart ausschlaggebend. Hier konnte gezeigt werden, dass weniger anspruchsvolle Arten, wie etwa *E. cerasicola*, unter ungünstigeren Lichtbedingungen einen besseren Bekämpfungserfolg erzielen können.

In der Literatur liegen zum Einfluss der Tageslichtlänge auf die Parasitierungsleistung von Parasitoiden nur wenige Ergebnisse vor. ZILAHİ-BALOGH ET AL. (2006, 2009) zeigten eine Reduktion der Parasitierungsleistung der Schlupfwespe *Encarsia formosa* gegen die Gewächshaus-Weiße Fliege *Trialeurodes vaporariorum* bei um 8 Stunden reduzierter Photoperiode bei 24 °C in Laborversuchen. Der Effekt verstärkte sich bei reduzierter Lichtintensität während der Photoperiode, die verwendet wurde, um Winterbedingungen zu simulieren. MAEDA ET AL. (2000) diskutieren als Ursache, dass tagsüber, d.h. während der Photoperiode, vermehrt flüchtige Stoffe von den mit Blattläusen befallenen Pflanzen abgegeben werden, wodurch verstärkt Parasitoide angelockt werden (DU ET AL. 1998, POWELL ET AL. 1998). Zusätzlich zur verringerten Parasitierung beginnen bei kürzerer Photoperiode die Schlupfwespen damit in einen Zustand der Diapause überzugehen (CHRISTIANSEN-WENIGER & HARDIE 1999). Dieser

Dormanzzustand wird von Insekten zur Überdauerung des Winters eingenommen (TAUBER & TAUBER 1976). Ausschlaggebend dafür sind in erster Linie niedrige Temperaturen, in einem schwächeren Ausmaß auch verkürzte Tageslichtlängen (BRODEUR & McNEIL 1989).

Bei Larven der Räuberischen Florfliege *C. carnea* die in Biotests in Klimakammern mit *M. persicae* gefüttert wurden ergaben sich bei unterschiedlich langen Photoperioden durchgeführt wurden statistisch signifikante Unterschiede in der Fraßleistung. Dabei zeigte sich, dass die Anzahl gefressener Blattläuse pro Florfliegenlarve bei auf 8 Stunden verkürzter Tageslichtlänge signifikant reduziert wurde. Dies lässt sich durch die grundsätzliche Tag- bzw. Dämmerungsaktivität der Prädatoren erklären (HOFMANN ET AL. 1994). So konnte bei abnehmender Photoperiode eine längere Entwicklungszeit, sowie ein geringeres Larvengewicht während der Entwicklung von *C. carnea* beobachtet werden (FUJIWARA & NOMURA 1999, EL-TAHEIF ET AL. 2008).

Bei der Effektivität von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf Petersilie bei unterschiedlichen Tageslichtlängen im Gewächshaus wurden nach 14 Tagen signifikante Unterschiede sichtbar. In Versuchen bei denen die Tageslichtlänge künstlich durch Folien über den Pflanzen reduziert wurde, war in mit Florfliegenlarven behandelten Parzellen war zunächst kein Unterschied in der absoluten Blattlauszahl in den Varianten festzustellen, deren Photoperiode auf 8 Stunden reduziert wurde. Die bei kürzerer Belichtung signifikant reduzierte Blattlauszahl in der Kontrolle zeigte jedoch den großen Einfluss der Tageslichtlänge auf die Effektivität von *C. carnea*. Dieser Einfluss war nach 7 Tagen noch nicht evident, da *C. carnea* die höchste Fraßleistung erst im dritten und letzten Larvenstadium erreicht (ŞENONCA & GROOTERHORST 1985, BALASUBRAMANI & SWAMIAPPAN 1994), die Ausbringung in der Praxis aber im zweiten Larvenstadium erfolgt (SAUTTER & STEPPER 2014). Die dämmerungsaktiven Räuber profitieren also von verlängerten Tageslichtlängen und können einen guten Bekämpfungserfolg erzielen.

Im Gegensatz zur Blattlaus *M. persicae* war beim Kalifornische Blüenthrisp *F. occidentalis* im Populationswachstum keine Reaktion auf verkürzte Tageslichtlängen festzustellen. Dies deckt sich mit Untersuchungen von ISHIDA ET AL. (2003), bei denen für weibliche *F. occidentalis* zwar eine leicht verlängerte Lebenszeit

bei längerer Photoperiode, jedoch keine erhöhte Eiablage und somit kein stärkeres Populationswachstum festgestellt werden konnte. Das Populationswachstum war hier insbesondere von der Temperatur abhängig.

Die räuberische Milbe *N. cucumeris* zeigte im Gegensatz zu *F. occidentalis* eine Reaktion auf die verkürzte Photoperiode, sowohl auf *P. crispum* als auch auf *O. basilicum*. Eine Reduktion der Anzahl *F. occidentalis* pro Pflanze wurde durch die Ausbringung von *N. cucumeris* bei 25 °C sowohl bei 8- als auch bei 16-stündiger Beleuchtung erzielt. In Biotests war die Wirksamkeit des Nützlings bei kürzerer Photoperiode jedoch geringer. Nur wenige Studien sind bislang über den qualitativen oder quantitativen Einfluss der Belichtung auf die Reproduktion bzw. Aktivität von Raubmilben durchgeführt worden (EL-BANHAWY 1976, 1977). MOREWOOD & GILKESON (1991) stellten dar, dass *N. cucumeris* bei Nachttemperaturen über 21 °C auch bei langer Dunkelphase nicht in eine Diapause gehen, so dass dies als Grund für die schwächere Schädlingskontrolle nicht in Frage kommt. Allerdings konnte gezeigt werden, dass *N. cucumeris* ausschließlich während der Photoperiode Eier ablegt und es bei niedriger Lichtintensität und kurzer Tageslichtlänge (8h:16h L:D) zu einer Reduktion der Ovipositionsstärke kommt (ZILAHY-BALOGH ET AL. 2007). Dies könnte die reduzierte Wirksamkeit des Nützlings bei kürzerer Tageslichtlänge erklären und bedeutet für die Nutzung im Gewächshaus bei geringer Lichtintensität und Tageslichtlänge ein geringeres Populationswachstum und damit geringere *N. cucumeris*-Zahlen, d.h. eine geringere Bekämpfungsleistung.

#### Kurzzusammenfassung:

Die Blattlaus *M. persicae* wird nur sehr gering von verkürzten Tageslichtlängen beeinflusst, der Kalifornische Blütenthrips *F. occidentalis* praktisch gar nicht. Die eingesetzten Nützlinge sind je nach Art aber anspruchsvoller. Während die Räuber *N. cucumeris* und *C. carnea* geringfügig von einer Zusatzbeleuchtung im Gewächshaus profitieren, erhöht sich die Parasitierungsleistung von Schlupfwespen (insbesondere der *Aphidius* spp.) bei längeren Photoperioden teilweise stark. Auch hier gibt es jedoch Unterschiede. *E. cerasicola* scheint auch mit weniger Licht besser auszukommen und stellt sich daher als vorteilhaft für einen Einsatz unter sub-optimalen Lichtbedingungen dar.

### Einfluss der Ausbringmengen auf den Nützlingseinsatz

Die Menge der ausgebrachten Nützlinge ist außerordentlich wichtig. In Gewächshausversuchen konnte die Bedeutung einer ausreichend großen Ausbringmenge von *C. carnea* zur erfolgreichen Bekämpfung von *M. persicae* im Gewächshaus gezeigt werden. Kommerzielle Nützlingsproduzenten geben hierzu unterschiedliche Empfehlungen zwischen 5 und 50 Larven \* m<sup>-2</sup>, einmalig oder mit Wiederholung nach 14-21 Tagen an (KATZ BIOTECH AG 2014, KOPPERT 2014a, SAUTTER & STEPPER 2014). Die Nutzung von weniger als 5 *C. carnea*-Larven \* m<sup>-2</sup> war in beiden Versuchen nicht ausreichend und erlaubte den Blattläusen eine quasi unbeeinträchtigte Populationsentwicklung. Im ersten Versuch konnte die Variante mit 5 Larven \* m<sup>-2</sup> ebenfalls nicht überzeugen. Bereits nach 12 Tagen zeichnete sich eine unbefriedigende Bekämpfungsleistung ab, die sich von der Variante mit nur einer Larve kaum unterschied. Die Varianten mit 25 und 50 Larven \* m<sup>-2</sup> boten im ersten Durchgang bis 14 Tage nach Ausbringung eine gleichmäßig gute Bekämpfungsleistung. Nach 14 Tagen und einem starken Blattläuseinflug in das Gewächshaus konnte auch hier keine ausreichende Bekämpfung mehr gewährleistet werden. Der sehr starke Befall mit 10 Blattläusen pro Pflanze konnte mit fünf Larven in keinem Fall ausreichend bekämpft werden, sodass es zu einem extrem starken Populationswachstum der Schädlinge kam. Im zweiten Durchgang verzeichnete langfristig lediglich die Variante mit 50 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> einen ausreichenden Bekämpfungserfolg. Kurzfristig zeigte sich auch hier ab 7 Tage nach Ausbringung eine Aufteilung des Behandlungserfolges, mit der besten Reduktion durch 25-50 Larven \* m<sup>-2</sup>, die bei 25 Larven jedoch nach 14 Tagen rasch abnahm. Insgesamt muss eine Wiederholung der Pflanzenschutzmaßnahme bei akutem Befall häufiger als nach den empfohlenen 14-21 Tagen durchgeführt werden um eine ausreichende Leistung zu erreichen. Eine Etablierung der *C. carnea* im Gewächshaus ist nicht möglich, da *C. carnea* die zur vollständigen Entwicklung nötigen Beutemengen im Gewächshaus in der Regel nicht vorfinden (ALBERT ET AL. 2010). Auch die chemische Behandlung mit Pyrethrinen – die im Versuch zwar eine Direktwirkung zeigte, welche aber nicht sehr lange anhielt – muss häufiger als alle 14 Tage durchgeführt werden. Der klassische Ansatz mit 5 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup> ist nicht ausreichend, zumal eine präventive Ausbringung auf Grund des im Vergleich zu anderen Nützlingen begrenzten Suchverhaltens unnötig erscheint (WIETHOFF 2005).

Bei *F. occidentalis* ist, statt der Tageslichtlänge wie bei *M. persicae*, vor allem die Temperatur der entscheidende Faktor. Hier gilt es insbesondere im Frühjahr den Befallsdruck zu bonitieren und rechtzeitig einen starken Pflanzenschutz zu starten, da bereits wenige Exemplare im Gewächshaus durch ihr explosionsartiges Populationswachstum zu massiven Schäden führen können.

Gewächshausversuche mit verschiedenen Aufwandmengen der Raubmilben *N. cucumeris* und *A. limonicus* gegen unterschiedliche Befallsstärken von *F. occidentalis* auf *P. crispum* zeigten gute Bekämpfungserfolge. Gegen einen Ausgangsbefall von 35 Thrips \* m<sup>-2</sup> wurden zunächst die kurativen Nützlingsmengen von je 150 Raubmilben \* m<sup>-2</sup> eingesetzt, die den Thripsbefall signifikant einschränkten. Die gleiche Einsatzmenge war gegen eine doppelt so hohe Ausgangspopulation an *F. occidentalis*, die einen zu spät erkannten Thripsbefall simulierten, nicht ausreichend und keine der beiden Raubmilbenarten war in der Lage die Thripszahl signifikant zu reduzieren. Trotzdem stieg die Anzahl an Töpfen ohne, oder mit nur einer gefundenen *F. occidentalis* in den mit Raubmilben behandelten Varianten. Empfehlungen von Produzentenseite liegen bei Einsatzmengen zwischen 50 und 100 Tieren \* m<sup>-2</sup>, alle ein oder zwei Wochen (SYNGENTA 2014). Der Pflanzenschutzdienst Hamburg empfiehlt die Ausbringung von 50 alle zwei, bzw. 100 *N. cucumeris* \* m<sup>-2</sup> alle vier Wochen bei Befallsbeginn (GÖTTE 2012). DE COURCY WILLIAMS (2001) erreichte eine effektive Thripsreduktion in Alpenveilchen (*Cyclamen* spp.) durch eine biologische Bekämpfung mit 200 *N. cucumeris* \* m<sup>-2</sup> pro Woche. Eine signifikante Reduktion des frühzeitig festgestellten *F. occidentalis*-Befalls konnte mit der kurativen Ausbringmenge in den hier dargestellten Versuchen nach 22 Tagen festgestellt werden. Dies deckt sich zeitlich mit aus der Literatur zu entnehmenden Werten. ARTHURS ET AL. (2009) zeigte signifikante Reduktionen des Chilithrips *Scirtothrips dorsalis* durch den Einsatz der Raubmilben *N. cucumeris* und *Amblyseius swirskii* nach 28 Tagen. Ein Einsatz von *N. cucumeris* gegen *F. occidentalis* auf Tomaten führte bei SHIPP & WANG (2003) erst nach fünf Wochen zu einem Behandlungserfolg. In der dritten Variante mit hoher Ausbringmenge (250 Raubmilben pro m<sup>2</sup>) gegen einen reduzierten (frühzeitig entdeckten) Ausgangsbefall (20 *F. occidentalis* \* m<sup>2</sup>) war *N. cucumeris* in der Lage, den Schädlingsdruck trotz erhöhter Temperaturen auf dem gleichen Niveau wie in Durchgang 1 zu halten. Dies war möglich, obwohl in der Kontrollvariante ein 2,5-fach erhöhter Befall erreicht wurde. *A. limonicus* reduzierte den Thripsbefall ebenfalls signifikant, jedoch nicht so

stark wie *N. cucumeris*, obwohl in Vergleichsstudien zwischen den beiden Arten eine höhere Nahrungsaufnahme, sowie stärkere Oviposition von *A. limonicus* gegenüber *N. cucumeris* festgestellt wurde (VAN HOUTEN ET AL. 1995a, MESSELINK ET AL. 2006). Dies könnte an der niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit liegen, die im Laufe des Versuches mehrfach unter die Grenzwerte für beide Raubmilbenarten fiel. Dieser liegt bei *A. limonicus* mit 55 % allerdings niedriger als bei *N. cucumeris* mit 60 % (MCMURTRY & SCRIVEN 1965, SHIPP & VAN HOUTEN 1997). VAN DRIESCHE ET AL. (2005) zeigte bei Erhöhung der ausgebrachten Nützlingsmenge von 53 auf 190 *N. cucumeris* \* m<sup>-2</sup> pro Woche eine Reduktion der Larvenzahl von *F. occidentalis* von 50 bis 70 %.

#### Kurzzusammenfassung:

Eine Ausbringmenge von 5 bis 15 *C. carnea* \* m<sup>-2</sup>, wie sie teilweise propagiert wird, ist für einen kurativen Einsatz gegen *M. persicae* im Gewächshaus nicht ausreichend. Behandlungserfolge konnten mit 25 bis 50 Tieren \* m<sup>-2</sup> erreicht werden. Auch eine rechtzeitige Neubehandlung ist wichtig, alle 14 oder gar 21 Tage ist bei akutem Befall nicht ausreichend.

Bei der Bekämpfung von *F. occidentalis* ist die Ausbringmenge an Raubmilben auf Grund der hohen Entwicklungsgeschwindigkeit noch wichtiger. Hier sind spätestens bei Sichtung des ersten Schädling mindestens 150 *N. cucumeris* oder *A. limonicus* \* m<sup>-2</sup> notwendig. Beide Raubmilben sind in der Lage, die Anzahl an *F. occidentalis* zu reduzieren, solange sie frühzeitig und in entsprechend hoher Dosis ausgebracht werden. Da allerdings auch schon geringe Thripszahlen zu großen Schäden führen können, ist eine alleinige Raubmilbenausbringung nicht ausreichend, insbesondere, wenn keine optimalen Klimabedingungen vorliegen. Die in der Literatur als besser zur Thripsbekämpfung geeignet bezeichnete Raubmilbe *A. limonicus* erwies sich modernen *N. cucumeris*-Stämmen gegenüber nicht als vorteilhaft.

### Einfluss ätherischer Öle auf den Nützlingseinsatz

Neben den abiotischen Besonderheiten zeichnet sich der ökologische Topfkräuteranbau durch ein großes Spektrum gemeinsam im Gewächshaus angebauter Pflanzen aus. Diese werden unterschiedlich stark von Insekten befallen und können so z. B. als Schädlingsrefugium dienen. Dabei liegen verschiedene Blattmorphologien vor. Topfkräuter haben darüber hinaus häufig einen hohen Anteil sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe die repellent oder anziehend auf Insekten – Schädlinge wie Nützlinge – wirken können.

Die Blattmorphologie von *P. crispum* zeigte bei den durchgeführten Gewächshausversuchen keinen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung von *M. persicae*. Zwar konnte beobachtet werden, dass sich die Blattläuse auf krausen Blättern häufiger auf der Oberseite aufhielten als auf glatter Petersilie, allerdings führte dieses Verstecken in der Blattstruktur zu keiner signifikanten Änderung des  $r_m$ -Wertes. Dies deckt sich mit Untersuchungen, bei denen kein signifikanter Einfluss verschiedener Klone der Erbse *Pisum sativum* mit unterschiedlicher Blattmorphologie auf die Populationsentwicklung der Erbsenblattlaus *Acyrtosiphon pisum* festgestellt wurde (LEGRAND & BARBOSA 2000, BUCHMAN & CUDDINGTON 2009). Hierbei zeigten sich nur im Zusammenspiel mit weiteren Klimafaktoren wie der Temperatur Einflüsse auf den  $r_m$ -Wert der Blattläuse, insbesondere unter Stresssituationen. Somit scheint die Blattmorphologie alleine kein ausschlaggebender Faktor für die Populationsentwicklung von Blattläusen zu sein. Studien weisen jedoch darauf hin, dass das Verstecken der Blattläuse auf kompakteren Pflanzen den Erfolg eines Nützlingseinsatzes reduzieren kann (PRADO & FRANK 2013).

Bei Versuchen zur Wirtspflanzenpräferenz von *M. persicae* mit verschiedenen zur Verfügung gestellten Topfkräutern zeigte sich ein Unterschied in der Entwicklung der Blattlauspopulationen auf vier verschiedenen – häufig im Topfkräuteranbau vorkommenden – Arten. Auf Grund vorangegangener Ergebnisse wurde die grundsätzliche Blattmorphologie nicht weiter betrachtet und die Pflanzen bezüglich ihrer Blattbehaarung und des Gehaltes sekundärer Inhaltsstoffe ausgewählt. Zur freien Auswahl standen den Blattläusen Pflanzen der Arten *O. basilicum*, *P. crispum*, *M. spicata* und *B. officinalis*. Die gesamten, bzw. ausgewählte, ätherische Öle der Pflanzen *O. basilicum* und *Mentha* spp. sind in früheren Studien erfolgreich gegen

Schadarthropoden eingesetzt worden (KLINGAUF ET AL. 1983, CHOI ET AL. 2004, DIGILIO ET AL. 2008, EL-HOSARY 2011). *M. spicata* zeichnet sich darüber hinaus neben *B. officinalis* durch ihre relativ dichte Blattbehaarung aus. Der signifikant stärkste Befall mit Blattläusen zeigte sich auf den glattblättrigen Pflanzen der Art *P. crispum*, welche nur geringe Anteile ätherischer Öle enthält (WIEMER 2009). Bereits nach sieben Tagen ließ sich eine eindeutige Präferenz von *M. persicae* für diese Pflanzen erkennen. Bezüglich der qualitativen Einteilung des Befalls in die Klassen 0-3 (Tabelle 3), waren die Unterschiede zwischen den anderen drei Arten gering. In absoluten Zahlen offenbarten sich jedoch signifikante Unterschiede. Dies bedeutet ein größeres Infektionsrisiko für weitere Pflanzen im Gewächshaus und lässt darauf schließen, dass der Befall über mehrere Generationen auch auf weiteren Pflanzen höher sein wird. Gerade die polyphage *M. persicae* ist in der Lage sich in wenigen Generationen an verschiedenste Wirte anzupassen (RAMSEY ET AL. 2007). Die wenigsten Blattläuse waren über den gesamten Versuchszeitraum auf dem glattblättrigen *O. basilicum* zu finden, gefolgt von der haarigen *M. spicata*. Der zweithöchste Absolutbefall war im Versuch auf den haarigen Blättern der Pflanze *B. officinalis* zu beobachten. Wie erwartet besteht eine starke Abhängigkeit der Populationsentwicklung von der Wirtspflanzenart. Auf den Pflanzen mit höheren Anteilen ätherischer Öle (*O. basilicum* und *M. spicata*) war der Blattlausbefall am geringsten. Die beiden unbehaarten Pflanzen (*P. crispum* und *O. basilicum*) waren am stärksten bzw. schwächsten befallen. Die Haarigkeit als alleiniger Einflussfaktor auf die Blattlausentwicklung ist also zunächst auszuschließen. Dies zeigt den starken Einfluss der sekundären Inhaltsstoffe auf die Populationsentwicklung der Blattläuse.

*O. basilicum* gehört zum Wirtspflanzenspektrum der polyphagen Grüngefleckten Kartoffellaus (*A. solani*) und kommt in unterschiedlichen Sorten mit teilweise stark variabler Inhaltsstoffzusammensetzung vor. Diese lassen sich in zwei verschiedene Chemotypen einteilen: Zum einen den mittelländischen Typ mit Linalool als Hauptkomponente des ätherischen Öles, zum anderen der sogenannte Typ Reunion mit hohem Gehalt an Estragol (KRÜGER 2009). Daher wurden Untersuchungen mit verschiedenen Arten von *O. basilicum* mit unterschiedlicher Inhaltsstoffzusammensetzung bezüglich ihres Einflusses auf die Populationsentwicklung von *A. solani* durchgeführt. Die Ergebnisse des Versuches zur Entwicklung von *A. solani* auf Blättern der unterschiedlichen Basilikumsorten ‚Feronia‘, ‚Lhasa‘ und ‚Wild Magic‘ (Reunion) sowie ‚Ajaka‘, und ‚Dark Lady‘ (mittelländischer Typ) sowie ‚Wild Red‘ (Typ

unbekannt) zeigten signifikante Unterschiede in der Mortalitätsrate, sowie Unterschiede in der Anzahl der abgesetzten Nymphen (Zusammensetzung der ätherischen Öle siehe Abb. 9). Die Sorten ‚Wild Magic‘, ‚Feronia‘ und ‚Lhasa‘ mit den höchsten Gehalten an Estragol zeigten die höchsten Mortalitätsraten und dementsprechend die geringsten Nachkommenszahlen. Im Mittelfeld lagen die beiden Sorten ‚Ajaka‘ und ‚Dark Lady‘. Die signifikant geringste Mortalitätsrate von *A. solani* war auf der Sorte ‚Wild Red‘ zu beobachten, auf der auch die meisten Nachkommen abgesetzt wurden. Leider stand für die anschließende Untersuchung der Zusammensetzung des ätherischen Öles, sowie des Einflusses des reinen ätherischen Öles auf *A. solani* nicht genug Pflanzenmaterial dieser Sorte zur Verfügung. Auf Grund des Ergebnisses der anderen Öle lässt sich jedoch vermuten, dass es sich ebenfalls um den mittelländischen Typ handeln könnte.

HUIGNARD ET AL. (2008) zeigten eine neurotoxische Wirkung des ätherischen Öles von *O. basilicum* durch eine Verringerung der Rate und Stärke des Aktionspotentials, sowie einer verkürzten Nachhyperpolarisationsszeit der Neuronen, so dass in Folge die Schwelle die zur Auslösung eines Aktionspotentials erreicht werden muss nicht mehr erreicht wird. Dadurch können keine Signale mehr von Zelle zu Zelle übertragen werden. Die Autoren führen dies auf ein Zusammenspiel der beiden Stoffe Estragol und Linalool zurück. Darüber hinaus sind kaum Studien zur insektiziden Wirkung von reinem Estragol bekannt (MARCUS & LICHTENSTEIN 1979, OKUNADE & OLAIFA 1987). Linalool zeigte in einem Auswahlversuch einen abstoßenden Effekt auf *M. persicae*, nicht jedoch auf die Zwiebelblattlaus *Neotoxoptera formosana* (HORI 1998). In eigenen Versuchen mit 1 µl bzw. 2 µl extrahierten ätherischen Öles der zuvor als Ganzpflanze verwendeten Sorten von *O. basilicum* in Biotests konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede in der Mortalitätsrate der verwendeten *A. solani* festgestellt werden. Die Fruchtbarkeit unterschied sich zwischen den einzelnen Sorten jedoch signifikant. Die meisten Nachkommen wurden in der Variante mit 2 µl des Öles von ‚Dark Lady‘ abgesetzt, die wenigsten fanden sich bei ‚Feronia‘ und ‚Wild Magic‘, unerwartet jedoch in der 1 µl-Variante. Dies könnte an der geringen Konzentration der Öle mit hoher Flüchtigkeit gelegen haben. HORI (1998) zeigte bei den stark repellent wirkenden Ölen von *Thymus vulgaris* und *Rosmarinus officinalis* eine starke Konzentrationsabhängigkeit der Wirkung auf *M. persicae*, sowie bei der Nutzung des ätherischen Öles von *O. basilicum* (Sorte nicht angegeben) keine abstoßende

Wirkung auch bei der hohen Konzentration von 10 µl. Bei der Untersuchung der Einzelkomponenten konnte die Wirkung von Linalool erst bei hoher Konzentration festgestellt werden, so dass von einem Zusammenspiel der Komponenten des ätherischen Öles für die vollständige insektizide bzw. repellente Wirkung auszugehen ist. Versuche mit wiederholter Anwendung von Azadirachtin, dem Hauptbestandteil und primären insektiziden Wirkstoff des Neemöls aus dem Samen des Neembaumes *Azadirachta indica*, führten zu einer multiplen erworbenen Resistenz der Blattlaus *M. persicae* im Laufe mehrerer Generationen (STONE 1992). Bei der Verwendung des Öles mit einem Komponentenmix blieb diese Selektion aus (FENG & ISMAN 1995).

Insgesamt konnte ein insektizider und fruchtbarkeitshemmender Einfluss der ätherischen Öle von *O. basilicum* auf *A. solani* gezeigt werden, auch obwohl die Blattläuse zuvor auf der Sorte ‚Genoveser‘ dieser Art angezogen worden sind. Eine eindeutige Zuordnung der Wirkstoffe ließ sich hierbei nicht durchführen. Es ist davon auszugehen, dass eine Kombination der Einzelkomponenten für die Wirkung verantwortlich ist. Weitere Versuche mit Wirkstoffmischungen und weiteren (erhöhten) Wirkstoffkonzentrationen sind also erforderlich um genauere Aussagen zur chemischen Wirksamkeit treffen zu können. Neben der Entwicklung von Pflanzenschutzmitteln die auf ätherischen Ölen basieren, könnten weitergehende Untersuchungen darüber hinaus dazu verwendet werden Möglichkeiten der Nutzung des repellenten Einflusses verschiedener Pflanzenarten genauer zu erforschen. Dies könnte für eine weitreichende Pflanzenschutzstrategie im Gewächshaus genutzt werden um durch entsprechende Pflanzenmischungen den Schädlingsdruck zu reduzieren.

#### Kurzzusammenfassung:

Ätherische Öle können einen repellenten bis insektiziden Einfluss auf Blattläuse haben. Pflanzen mit erhöhtem Anteil ätherischer Öle werden zunächst gemieden, eine Anpassung bis hin zur Spezialisierung an diese Pflanzen ist jedoch möglich. Der genaue Wirkmechanismus ist bislang noch nicht ausreichend erforscht, jedoch ist von einer Kombinationswirkung verschiedener Bestandteile der ätherischen Öle auszugehen. Stärker estragolhaltige Basilikumsorten zeigten eine gesteigerte Abwehr gegen Blattläuse als stärker linaloolhaltige Sorten

### Der Einsatz von *M. pygmaeus* als Nützling im Topfkräuteranbau

Durch den ganzjährigen Anbau und die verschiedenen Schwierigkeiten die die unterschiedlichen Nützlinge insbesondere gegen sehr schnelles Populationswachstum zeigten, besteht der Bedarf polyphage Antagonisten zur Flankierung der üblichen Nützlingsstrategien ganzjährig im Gewächshaus anzusiedeln. Studien von KÖHLER & HANKE (2005, 2007) wiesen hierbei auf die Raubwanze *M. pygmaeus* als möglichen Kandidaten hin.

In Gewächshausversuchen wurden die Aktivität und der Aktionsradius von *M. pygmaeus*, sowie ihre Eignung als polyphager Räuber in warmen Sommermonaten im Gewächshaus untersucht. Als Wirtspflanzen waren *S. officinalis* und *B. officinalis* ausgewählt worden, auf deren haarigen Blättern sich die Raubwanze gut etablieren lässt und signifikant mehr Eier ablegt als an anderen Pflanzen, womit sie als potentielle Depotpflanzen im Gewächshaus geeignet sind (KÖHLER & HANKE 2005, 2007). Darüber hinaus kommen sie im Topfkräuteranbau häufig vor und müssen nicht extra angezogen und aufgestellt werden. Es ist bekannt, dass sich die Raubwanze in Abwesenheit von Beute auch phytophag ernähren kann und sich auch ganz ohne tierische Beute im Pflanzenbestand fortpflanzt. Insbesondere das Vorhandensein von Blütenpollen, wie ihn auch *B. officinalis* anbietet, ist vorteilhaft für eine dauerhafte Ansiedlung (PERDIKIS & LYKOURESSIS 2000).

Es lässt sich feststellen, dass der Fund der Raubwanzen auf den Pflanzen temperaturabhängig war. Bei niedrigeren Temperaturen sank die Aktivität der Tiere und sie waren auf den Pflanzen nicht mehr zu entdecken. Die Temperaturuntergrenzen liegen bei 10-15 °C, eine räuberische Aktivität beginnt bereits unter 15 °C. Höhere Temperaturen von 16-25 °C sind für die Aktivität der Tiere jedoch von Vorteil (WHEELER 2001, HILLERT ET AL. 2002). Insgesamt wurden auf Pflanzen, die mit sterilisierten *E. kuehniella*-Eiern belegt waren, mehr *M. pygmaeus* gefunden, als auf Pflanzen ohne Futter. Dies zeigt, dass die Raubwanzen bei ihrem Futter verweilen. INGEGUS ET AL. (2011) zeigten darüber hinaus, dass Futter auf den Wirtspflanzen essentiell für die Entwicklung von *M. pygmaeus* zum adulten Tier ist.

Im ersten Durchgang benötigte *M. pygmaeus* eine Etablierungszeit von 26 Tagen auf der Ausgangspflanze *S. officinalis* und 28 Tage auf *B. officinalis*. Dies entspricht einer

Ausbreitungszeit von zwei Tagen und bestätigt die von KÖHLER & HANKE (2005, 2007) beschriebene gute Eignung von *B. officinalis* als Depotpflanze. Ab dem ersten Tag, an dem F<sub>1</sub>-Larven von *M. pygmaeus* gefunden wurden ließ sich darüber hinaus ein sofortiger, rascher Anstieg der Wanzenzahlen im Gewächshaus feststellen, so dass man von einer erfolgreichen Etablierung sprechen kann.

Im zweiten Durchgang war die Etablierung durch die höheren Temperaturen um zehn Tage (38 %) beschleunigt. Zwar konnten nach zwei Tagen bei der Bonitur keine *M. pygmaeus* entdeckt werden, dies lag aber an den zu Versuchsbeginn sehr hohen Temperaturen von über 30 °C und starker Einstrahlung. PERDIKIS ET AL. (1999, 2004) zeigten, dass das Entwicklungsoptimum der Tiere bei 30 °C liegt. Darüber hinaus sind *M. pygmaeus* häufig nachtaktiv, so dass von reduzierter Aktivität bei starker Einstrahlung auszugehen ist. Bei Temperaturen über 30 °C konnte eine verkürzte Lebenserwartung der Raubwanzen, sowie verringerte Eiablagezahlen festgestellt werden (TER HORST 2000, PERDIKIS & LYKOURESSIS 2000, 2003).

Im zweiten Durchgang konnten über die gesamte Versuchslaufzeit keine F<sub>1</sub>-Larven auf den mit *E. kuehniella* belegten *B. officinalis*-Pflanzen gefunden werden. Auf den von *A. pisum* befallenen Pflanzen zeigte sich jedoch eine gegenüber der Ausgangspflanze um einen Tag verkürzte Etablierungszeit. Dementsprechend lässt sich schlussfolgern, dass sich *M. pygmaeus* auf Pflanzen mit lebender Beute schneller etabliert als bei künstlicher Zufütterung.

#### *M. pygmaeus* im Winter

In einem weiteren Versuch wurde die Eignung von *M. pygmaeus* zur ganzjährigen Etablierung auch in den Wintermonaten im laufenden Topfkräuterbetrieb untersucht. (Nov. 2011 bis Feb. 2012). Hier konnte eine erfolgreiche Ansiedlung festgestellt werden. Auffällig war eine verzögerte Entwicklung der Larvenzahlen in dem näher an der Außenwand des Gewächshauses stehenden Netzes. Dies lässt sich wahrscheinlich durch die thermisch ungünstigere Positionierung des Netzkäfigs erklären und zeigt die im vorherigen Versuch geschilderte Bedeutung der Temperatur für die Entwicklungsgeschwindigkeit der Raubmilben. Erste Larven konnten bei den verhältnismäßig geringen Temperaturen von 14-16 °C nach 40 Tagen aufgefunden werden. KÖHLER & HANKE (2007) maßen eine Etablierungszeit von *M. pygmaeus* von fünf Wochen und empfehlen daher eine rechtzeitige, präventive Ausbringung im

Gewächshaus. In den Netzkäfigen wurden die meisten Larven auf *O. basilicum*-Hochstämmen und *M. suaveolens* var. *Variegata* (Ananasminze) gefunden. Erstere stand in der Blüte und bot damit Pollen als zusätzliches Futterangebot, welches von den Raubmilben verwertet werden konnte (PERDIKIS & LYKOURESSIS 2000, WACHMANN ET AL. 2004, VANDEKERKHOVE & DE CLERCQ 2010). Jedoch war sie wesentlich voluminöser (ca. 5-mal), als die behaarte *M. suaveolens*, so dass die relative *M. pygmaeus*-Zahl im Verhältnis zur Größe geringer ausfällt. Dies bestätigt den erfolgreichen vorherigen Versuch und damit auch die Ergebnisse von KÖHLER & HANKE (2007), dass haarige Pflanzen von *M. pygmaeus* als Depotpflanzen bevorzugt werden, wenn ein ausreichendes Futterangebot besteht (LYKOURESSIS ET AL. 2001).

Nach Öffnung der Netze dauerte es erneut ca. 4 Wochen, bis Larven von *M. pygmaeus* auf den markierten *M. suaveolens*-Pflanzen zu finden waren, was die bisherigen gemessenen Etablierungszeiten stützt. Eine Ausbreitung erfolgte zunächst im beheizten Teil des Gewächshauses (Warmhaus) in der Nähe der Käfige und weitete sich anschließend auf das Kalthaus aus. Die komplette Verteilung im gesamten Gewächshaus (ca. 700 m<sup>2</sup>) dauerte von den beiden Ausgangspunkten etwa 3,5 Monate. Es zeigte sich, dass es wie auch im vorhergehenden Modellversuch zu einer relativ langsamen Ausbreitung auf Grund eines reichlichen Futterangebotes in der Nähe der Ausbringungspflanzen kam. Eine stärkere Verteilung der Raubmilben im Gewächshaus bereits bei Ausbringung, würde diese Etablierungszeit wahrscheinlich verringern. Mit speziellen Ausbringsystemen können bis zu doppelt so schnelle Etablierungszeiten erreicht werden (SCHOLZ-DÖBELIN 2011).

#### Kurzzusammenfassung:

In den Versuchen ließ sich zeigen, dass die räuberische Weichwanze *M. pygmaeus* sich rasch im Gewächshaus ausbreitet und ganzjährig in einem Topfkräuterbestand angesiedelt werden kann. Wenn entsprechende Depotpflanzen und eventuell eine Zusatzfütterung, etwa mit Blütenpollen, im Betrieb eingesetzt werden, kann dieser polyphage Nützling unterstützend etabliert werden.

## 6. Schlussfolgerung

Bei *M. persicae* zeigte sich ein starker Einfluss der Temperatur auf die Populationsentwicklung. Deutlich wurde jedoch, dass *M. persicae* auch bei niedrigen Temperaturen von unter 15 °C eine nicht zu vernachlässigende Gefahr im Gewächshaus darstellen kann. Zwar sank die individuelle Entwicklungsgeschwindigkeit der Blattläuse bei geringeren Temperaturen, die Nachkommenzahl wurde aber nur in einem geringeren Maße beeinflusst, sodass auch im Winter eine kleine, aber stabile Population erreicht werden kann. Ebenso konnte gezeigt werden, dass die Populationsentwicklung bei 16-stündiger Beleuchtung signifikant höher ist, als bei auf 11 Stunden reduzierter Photoperiode. Eine weitere Reduktion der Tageslichtlänge hatte jedoch keinen signifikanten Einfluss mehr, was bedeutet, dass *M. persicae* auch bei sehr kurzen Tagen im Winter ausreichend Licht für eine Ausbreitung im Gewächshaus erhält.

Ein Einfluss der Blattmorphologie von glatter bzw. krauser Petersilie (*P. crispum*) auf die individuelle Entwicklung der Blattläuse konnte nicht nachgewiesen werden. Eine schlechtere biologische Bekämpfbarkeit auf krauser Petersilie ist daher lediglich von der Suchleistung des Nützlings abhängig, der eventuell versteckt sitzende Blattläuse nicht erreicht.

Die zur Bekämpfung der Blattlaus *M. persicae* verwendeten Schlupfwespenarten reagierten unterschiedlich stark auf suboptimale Klimabedingungen. Einen sehr starken Einfluss hatte die Temperatur. Bei 10 °C wurden kaum Eier abgelegt und die Entwicklung der Tiere war stark verlangsamt. Eine Bekämpfung im Gewächshaus ist bei diesen Temperaturen nicht mehr möglich. Es war jedoch auffällig, dass die Schlupfwespenart *E. cerasicola* insgesamt eine inkonsistentere Ovipositionsleistung während der Versuche zeigte, jedoch bei verringerter Temperatur und Dunkelheit eine höhere Parasitierungsleistung hatte als *A. colemani* und *A. matricariae*. *E. cerasicola* zeichnete sich darüber hinaus dadurch aus, dass sich die von ihnen parasitierten Blattläuse vor Verpuppung der Schlupfwespenlarven verstecken. Dies bietet insbesondere im Topfkräuteranbau den Vorteil, dass die Pflanzen optisch frei von Mumien sind, die dem Konsumenten missfallen könnten. Bei Laboruntersuchungen legten alle drei Arten während einer 4-stündigen Ovipositionszeit bei Dunkelheit wesentlich weniger Eier als mit 3.000 lx Beleuchtung.

Dies deutete auf eine optische Komponente bei der Suche nach einem geeigneten Wirt hin. Unter Gewächshausbedingungen zeigte *A. matricariae* eine signifikant bessere Bekämpfungsleistung gegen *M. persicae* bei 16-stündiger als bei 8-stündiger Beleuchtung. Der Erfolg eines Schlupfwespeneinsatzes hängt also neben der Wirtsspezifizierung primär von der Temperatur ab. Eine zusätzliche Beleuchtung im Winter ist neben den pflanzenbaulichen Effekten, demnach nicht zu vernachlässigen, da sie den Nützlichseinsatz signifikant unterstützt. Bei der Wahl des Parasitoiden spielt seine Adaption an die Klimabedingungen eine große Rolle, da signifikante Unterschiede zwischen den Arten vorliegen. Hier könnte sich eine entsprechende Züchtung oder Suche nach weiteren möglichen Nützlingsarten als hilfreich erweisen.

Neben Parasitoiden wurden auch Prädatoren gegen Blattläuse eingesetzt. Hier sind insbesondere die Larven der Florfliege (*C. carnea*) zu nennen. Diese zeigten bei 16-stündiger Beleuchtung sowohl in Petrischalen in Laborversuchen als auch im Gewächshaus eine signifikant stärkere Blattlausbekämpfung als bei 8-stündiger Beleuchtung. Auch bei diesem Nützlich ist auf eine ausreichende Zusatzbeleuchtung im Winter zu achten, um ein effektives Schädlingsmanagement betreiben zu können. Niedrige Temperaturen von bis zu 10 °C hingegen hatten kaum Einfluss auf die Fraßleistung der Larven. Geringe Ausbringungsmengen unter 25 Tieren \* m<sup>-2</sup> konnten keine ausreichende Blattlausbekämpfung im Gewächshaus gewährleisten. Die Effekte großer Ausbringungsmengen an Nützlingen waren dabei langsamer als der Erfolg der Nutzung von Pyrethrinen (Spruzit) und ein starker Ausgangsbefall konnten nicht ausreichend schnell bekämpft werden. Dies offenbart die Wichtigkeit einer frühzeitigen Ausbringung. Es konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass eine vierzehntägige Ausbringung der Nützlinge nicht ausreichend ist und *C. carnea* in kürzeren Intervallen im Gewächshaus verteilt werden muss.

Bei kürzeren Photoperioden in der kalten Jahreszeit sollte ein entsprechender Pflanzenschutz gegen Blattläuse daher mit Arten betrieben werden die nur geringer auf das reduzierte Lichtangebot reagieren, etwa *C. carnea* und *E. cerasicola*. *E. cerasicola* reagierte tendenziell weniger stark auf eine negative Veränderung der Faktoren Licht und Temperatur. Insgesamt war die Parasitierungsleistung diese Schlupfwespe über die Versuche jedoch relativ inkonsistent. Dies liegt zum Teil daran, dass von *E. cerasicola* parasitierte Blattläuse dazu tendieren abzuwandern

und sich vor der Mumifizierung zu verstecken (THIELEMANS ET AL. 2012) und so in den Versuchen vermehrt auf dem feuchten Agar ertrunken sind. Auch KHUHR ET AL. (2013) zeigten, dass der Genotyp eines Parasitoiden einen Einfluss auf den Ort der Mumifikation des Wirtes hat. Im Topfkräuteranbau könnte diese Eigenschaft von *E. colemani* jedoch ein positives Merkmal darstellen, da eventuell auf der Pflanze vorhandene Mumien vom Konsumenten nicht gefunden werden und die Akzeptanz des Produktes nicht schmälern.

Insgesamt fiel während der Versuche eine hohe Variabilität der Anzahl parasitierter Blattläuse pro Schlupfwespe über alle drei untersuchten Arten auf. Dies liegt zum Teil daran, dass das Versuchsdesign sich an Praxisbedingungen orientierte, sodass Schalen in denen es nicht zu einer Parasitierung gekommen war nicht aus dem Versuch entfernt und voll verrechnet wurden. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass die Parasitierungsleistung einer Schlupfwespenart große Differenzen aufweisen kann. So kommt es in verschiedenen Studien zur Eiablageleistung der Schlupfwespe *A. asychis*, bei gleicher Temperatur und jeweils mit *A. gossypii* im zweiten Larvenstadium als potentiell Wirt, zu Unterschieden von über 100 % (BYEON ET AL. 2011). Trotz der verhältnismäßig hohen Variabilität ließ sich ein signifikanter Einfluss der abiotischen Faktoren Licht und Temperatur auf die Parasitierungsleistung aller drei getesteten Schlupfwespenarten ausmachen

Die Populationsentwicklung des Kalifornische Blütenthrips *F. occidentalis* war sowohl in Labor- als auch in Ganzpflanzenuntersuchungen sehr stark von der Umgebungstemperatur abhängig. Bei 25 °C wurden signifikant mehr Nachkommen gezählt als bei 15 °C. Bei 10 °C konnten über den kompletten Versuchszeitraum von 30 Tagen keine Nachkommen gezählt werden. Auch eine Abkühlung in der Nacht auf 10 °C bei einer Tagestemperatur von 25 °C hatte bereits eine sehr starke Reduktion der Nachkommenzahl zur Folge. In Gewächshausversuchen konnte gezeigt werden, dass *F. occidentalis* sehr schnell auf steigende Temperaturen reagiert und sich die Population rasch vergrößerte. Die Photoperiode hatte hingegen keinen Einfluss auf die Populationsentwicklung der Thripse.

Die Fraßleistung der zum Pflanzenschutz eingesetzten Raubmilben *N. cucumeris* reduzierte sich bei von 16 auf 8 Stunden reduzierter Tageslichtlänge maßgeblich. Somit ist für einen erfolgreichen Nützlingseinsatz eine entsprechende

Zusatzbeleuchtung im Winter bzw. Frühjahr sehr hilfreich, zumal *F. occidentalis* bereits früh im Jahr ein starkes Problem darstellen kann, wenn er im Gewächshaus überwintern konnte und sich mit den ersten erhöhten Temperaturen rasch vermehrt. In Gewächshausversuchen zeigte die erst kürzlich ins Nützlings Sortiment aufgenommene Raubmilbe *A. limonicus*, die in der Literatur als deutlich effektiver in der Bekämpfung von Thrips beschrieben wird als *N. cucumeris*, nicht als vorteilhaft. Beide Raubmilben waren in der Lage, die Thripspopulation zwischen Oktober und März signifikant zu reduzieren. Es wurde klar, dass eine frühzeitige Ausbringung in ausreichender Menge insbesondere bei wärmeren Temperaturen unabdingbar ist, um eine ausreichende Schädlingsbekämpfung sicherzustellen.

Verschiedene Basilikumsorten mit unterschiedlicher Zusammensetzung ihrer ätherischen Öle hatten einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Blattlaus *A. solani*. Auf Sorten des Chemotyps „Reunion“, der sich durch erhöhten Gehalt an Estragol auszeichnet, zeigten die Blattläuse eine höhere Mortalitätsrate als auf anderen Sorten. In Laboruntersuchungen mit den reinen ätherischen Ölen, konnten diese Ergebnisse nur teilweise bestätigt werden. Es ist daher von einer Kombinationswirkung der Bestandteile des ätherischen Öles auszugehen, deren genaue Wirkweise weiter untersucht werden muss.

Da sich Blattläuse und Thripse sehr schnell fortpflanzen und enorm große Populationen in kurzer Zeit aufbauen können, ist eine frühzeitige Bekämpfung außerordentlich wichtig. Insbesondere im biologischen Pflanzenschutz, muss frühzeitig eingegriffen werden. Um bereits erste in ein Gewächshaus eindringende Schädlinge zu bekämpfen, bietet sich eine dauerhafte Etablierung von polyphagen Nützlingen im Gewächshaus an. Bei Parasitoiden kann dies im Sommer etwa über eine offene Zucht, oder präventive Ausbringungen erfolgen. Eine Ansiedlung polyphager Prädatoren findet zurzeit in Gewächshäusern selten statt. Als geeigneter Antagonist kann die Raubwanze *M. pygmaeus* verwendet werden, die im Gegensatz zu *Orius laevigatus* keine Diapause unter Kurztagbedingungen eingeht. Zur Untersuchung, ob sich die Raubwanzen in Topfkräuterbetrieben ganzjährig etablieren lassen, wurde zunächst die Eignung von Borretsch (*B. officinalis*) als mögliche Depotpflanze untersucht. Eine Nutzung von definierten Depotpflanzen bietet den Vorteil, dass Tiere gezielt im Gewächshaus gehalten und vermehrt werden können, ohne im Rahmen des satzweisen Verkaufes der Pflanzen mit abgegeben zu werden.

Borretsch kommt häufig im Kräuterbetrieb vor und hat haarige Blätter, die von *M. pygmaeus* zur Eiablage bevorzugt werden. Versuche im Gewächshaus haben bestätigt, dass sich *B. officinalis* sehr gut als Depotpflanze eignet. Weitere Versuche in einem Topfkräuter-produzierenden Betrieb zeigten, dass sich *M. pygmaeus* in wenigen Wochen im Gewächshaus ansiedeln lässt und ganzjährig etabliert werden kann. Somit kann dieser Nützlichling einen hilfreichen Baustein eines ganzheitlichen Nützlichlingsmanagements darstellen.

Es konnte gezeigt werden, dass die verschiedenen Nützlichlinge und Schädlinge unterschiedlich auf verringerte Photoperioden und Temperaturen reagieren (Tabelle 23). Dieses Wissen ist notwendig um den Nützlichlingseinsatz im Topfkräuteranbau optimieren zu können.

Tabelle 23: Einfluss niedriger Temperaturen und reduzierter Tageslichtlängen auf die Populationsentwicklung verschiedener Schädlinge, sowie auf Parasitierungsaktivität (Parasitoide) bzw, Fraßleistung (Räuber) verschiedener Nützlichlinge

		Art	Niedrige Temperaturen	Kurze Tageslichtlänge
Schädlinge		<i>M. persicae</i>	-	--
		<i>F. occidentalis</i>	---	o
Nützlichlinge	Parasitoide	<i>A. colemani</i>	--	--
		<i>A. matricariae</i>	--	--
	Räuber	<i>E. cerasicola</i>	--	-
		<i>N. cucumeris</i>	--	-
		<i>C. carnea</i>	o	-

--- sehr starker negativer Einfluss, -- starker negativer Einfluss, - leichter negativer Einfluss, o kein negativer Einfluss

Es ist also notwendig die Auswahl der Nützlichlinge nicht nur auf die vorkommenden Schädlinge, sondern auch auf die Jahreszeit und die Klimabedingungen im Gewächshaus anzupassen. Von einer unterstützenden Beleuchtung profitieren vor allem Schlupfwespen, jedoch auch räuberische Nützlichlinge. Die tag- bzw. dämmerungsaktiven Insekten benötigen Licht zur Orientierung und damit auch zum Finden der Beute. Die Temperatur hat zeigt einen hohen Einfluss auf die Aktivität

sowie auf die Entwicklungsgeschwindigkeit, sowohl der Individuen als auch der Populationen.

## 7. Zusammenfassung

Der Nützlingseinsatz als zentrales Element des biologischen Pflanzenschutzes ist ein weit entwickeltes System in vielen gartenbaulichen Sparten, jedoch sind die Strategien nicht problemlos auf die Topfkräuterproduktion übertragbar. In einem zweijährigen Vorhaben wurden daher Grundlagen des Nützlingseinsatzes im ökologischen Topfkräuteranbau erarbeitet und deren Umsetzung unter praxisnahen Bedingungen geprüft.

Die meist polyphagen Problemschädlinge, die auf Topfkräutern vorkommen, sind die gleichen wie auch in anderen Kulturen unter Glas, dennoch funktionieren bereits etablierte Nützlingskonzepte im Topfkräuteranbau oftmals nicht zufriedenstellend. Gründe können in kulturspezifischen Anbauverfahren, ungünstigen Klimabedingungen während der Winterproduktion, dem hohen Artenspektrum oder den aromabildenden sekundären Pflanzeninhaltsstoffen liegen. Letztere dienen oft als chemische Signalstoffe auf Insekten und können von anlockend über repellent bis insektizid wirken. Dazu kommen teilweise extrem kurze wie auch extrem lange Kulturstandzeiten als spezielle Herausforderungen im Betriebsmanagement. Diese Besonderheiten betreffen sowohl die Schadinsekten als auch die Nützlinge sowie die durchgeführten Monitoringmaßnahmen im Betrieb.

Für die Topfkräuterproduktion liegen nicht ausreichend wissenschaftliche Grundlagen und praxisnahe Versuche vor, um effektive und effiziente Managementstrategien zu entwickeln und diese in der Praxis etablieren zu können. Der Fokus dieser Arbeit lag daher darin, den Einfluss der biotischen und abiotischen Besonderheiten der Topfkräuterproduktion auf Modellschädlinge unter kontrollierten Bedingungen zu untersuchen und damit wissenschaftlich fundierte Grundlagen zu schaffen.

In dieser Arbeit wurden für die durchgeführten Versuche mit der Grünen Pfirsichblattlaus (*M. persicae*) und dem Kalifornischen Blütenthrips (*F. occidentalis*) häufig vorkommende, hochpolyphage Modellschädlinge ausgewählt. Sie zeichnen sich durch ein großes Schadpotential in der Topfkräuterproduktion aus und stellen auf Grund hoher Reproduktionszahlen und multipler Resistenzen gegen chemische Pflanzenschutzmittel im ökologischen wie auch im integrierten Anbau wichtige Problemschädlinge dar. In einem ersten Schritt wurde in Laboruntersuchungen die

Entwicklung der Insekten unter niedrigen Temperaturen und künstlich verkürzter Photoperioden, sowie auf verschiedenen Wirtspflanzen mit unterschiedlicher Blattmorphologie und -behaarung sowie unterschiedlichem Gehalt sekundärer Inhaltsstoffe untersucht und diese Ergebnisse auf Versuche an ganzen Pflanzen und schließlich auf Gewächshausversuche unter semirealistischen Bedingungen übertragen.

Zur Bekämpfung der Schädlinge wurden ausschließlich kommerziell erhältliche Nützlinge verwendet, die in marktüblicher Weise direkt vom Produzenten bezogen wurden. Zunächst erfolgten für die Nützlinge Laboruntersuchungen zur Bekämpfungsleistung unter dem Einfluss spezieller abiotischen und biotischen Faktoren. Anschließend wurden Praxisuntersuchungen zum Nützlingseinsatz im Gewächshaus durchgeführt.

Es lässt sich festhalten, dass die untersuchten Schädlinge von niedrigen Temperaturen und verkürzter Tageslichtlänge, wie sie im Winter im Gewächshaus vorkommen können, in ihrer Populationsentwicklung beeinträchtigt werden. Dennoch findet auch unter widrigen klimatischen Bedingungen eine Vermehrung statt, dementsprechend muss eine passende Regulierungsstrategie ausgelegt werden. Da bereits wenige Blattläuse oder Thrips ausreichen, um bei besseren klimatischen Bedingungen rasch eine neue Population aufzubauen ist jedoch auch in der kühlen Jahreszeit eine Bekämpfung notwendig. Die Nützlinge haben meist höhere Ansprüche an das Klima als die Schädlinge, so dass hier optimierend eingegriffen werden sollte. Eine Zusatzbeleuchtung zur Verlängerung der Tageslichtlänge verstärkt sowohl die Wirkung von Schlupfwesen und *C. carnea*-Larven gegen Blattläuse, als auch die Fraßleistung der tagaktiven Raubmilben, die zur Bekämpfung des Kalifornischen Blütenthrips eingesetzt werden. Die tag- bzw. dämmerungsaktiven Nützlinge benötigen Licht zur Orientierung und damit auch zum Finden der Beute. Der Einfluss der Photoperiode auf die Schädlinge war hingegen gering. Von einer Zusatzbeleuchtung kann der Nützlingseinsatz im Gewächshaus in Herbst und Wintermonaten also sehr profitieren. Erhöhte Temperaturen beschleunigen die Individualentwicklung der Tiere, so dass insbesondere bei einem Schlupfwespeneinsatz unter kühleren Bedingungen eine Beheizung zur Unterstützung Individualentwicklung und hilfreich sein kann.

Der Einfluss ätherischer Öle im Topfkräuteranbau auf Insekten ist sehr hoch. Sie können anziehend, jedoch auch repellent oder gar insektizid wirken. Dabei scheint die genaue Zusammensetzung der komplexen Öle entscheidend zu sein. Bereits verschiedene Arten von *O. basilicum* hemmten die Blattlausentwicklung in den durchgeführten Versuchen signifikant unterschiedlich. Es zeigte sich, dass der von der Komponente Estragol dominierte Chemotyp ‚Reunion‘ stärker insektizid gegen Blattläuse wirkte als der von Linalool dominierte ‚mittelländische Typ‘. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um den Einfluss der einzelnen Inhaltsstoffkomponenten, insbesondere des Zusammenspiels von Estragol und Linalool genauer zu untersuchen und Strategien für den Topfkräuteranbau zu entwickeln.

In dem Vorhaben konnten durch zahlreiche Versuchsarbeiten und intensivem Kontakt mit Praxis und Beratung Impulse für eine Optimierung des Nützlingseinsatzes in der Topfkräuterproduktion geliefert werden.

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
♀	Venussymbol, hier: Weibchen
BBCH	Skala zur einheitlichen Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyle Pflanzen. ( <b>B</b> iologische Bundesanstalt, <b>B</b> undessortenamt und <b>C</b> hemische Industrie)
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CKA	Campus Klein-Altendorf, Außenlabore Agrar, Geodäsie, Ernährung (AGE) der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn in Meckenheim (50° 37' 51" N, 6° 59' 32" E)
D	Generation doubling time, Zeit die eine Population zu Verdopplung ihrer Individuenzahl benötigt
d	Tag (engl. day)
E	Osten (engl. east)
engl.	Englisch
Feb.	Februar
h	Stunde (engl. hour)
ha	Hektar = 10.000 m <sup>2</sup>
INRES	Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
JKI	Julius Kühn-Institut
kg	Kilogramm
L	Liter
L.	botanisches Autorenkürzel des Carl von Linné
L:D	Photoperiode, Verhältnis von Licht zu Dunkelheit in Stunden
lat.	lateinisch
lx	Lux
m	Meter
M <sub>d</sub>	Anzahl Nachkommen die ab Ende T <sub>d</sub> in Generationszeit $\triangleq$ T <sub>d</sub> geboren werden
N	Norden
n. Chr.	Jahr nach Christus Geburt
NL.	Niederlande
Nov.	November

---

PE	Polyethylen
pl.	Plural
$r_m$	Intrinsische Wachstumsrate einer Population
RP	Parasitierungsrate (Anzahl parasitierter Tiere * Größe der Ausgangspopulation <sup>-1</sup> )
t	Tonne = 1.000 kg
$T_d$	Präreproduktionszeit bis zur Geburt der ersten Nachkommen
TSWV	Tomato Spotted Wilt Virus, Tomatenbronzefleckenvirus
var.	Varietät (lat. Varietas)
W	Watt
WfbM	Werkstatt für behinderte Menschen

## Glossar

alat	geflügelt
Anholozyklus	„unvollständiger“ Entwicklungszyklus mit rein vegetativer Fortpflanzung
apter	ungeflügelt
ektothermisch	Lebewesen, deren Körpertemperatur vollständig von der Umwelt abhängig ist.
Holozyklus	„vollständiger“ Entwicklungszyklus inkl. sexueller Fortpflanzung
Imago	Bezeichnung für das erwachsene, geschlechtsreife Insekt nach der Verpuppung oder der letzten Häutung. (pl. Imagines).
Ovipar	eierlegend
Parthenogenese	„Jungfernzeugung“ – Nachkommen entstehen aus unbefruchteten Eizellen
Polystyrol	Poly(1-phenylethan-1,2-diyl)
Thelytokie	aus unbefruchteten Eiern entstehen nur Weibchen
viviovipar	vivipare Geburt mit dünner Eierschale, die sofort abgestreift wird
vivipar	lebendgebärend

## 7.1. Verwendete Schädlinge

Name	Deutsche Bezeichnung	Erstbeschreibung
<i>Acyrtosiphon pisum</i>	Erbsenblattlaus	Harris (1776)
<i>Aulacorthum solani</i>	Grüngefleckte Kartoffelblattlaus	Kaltenbach (1843)
<i>Frankliniella occidentalis</i>	Kalifornischer Blütenthrips	Pergande (1895)
<i>Myzus persicae</i>	Grüne Pfirsichblattlaus	Sulzer (1776)

## 7.2. Verwendete Nützlinge

Name	Deutsche Bezeichnung	Erstbeschreibung
<i>Amblydromalus limonicus</i>	Raubmilbe	Garman & McGregor (1956)
<i>Aphidius colemani</i>	Schlupfwespe	Viereck (1912)
<i>Aphidius matricariae</i>	Schlupfwespe	Haliday (1834)
<i>Chrysoperla carnea</i>	Florfliege	Stephens (1836)
<i>Ephedrus cerasicola</i>	Schlupfwespe	Starý (1962)
<i>Ephestia kuehniella</i>	Mehlmotte	Zeller (1879)
<i>Macrolophus pygmaeus</i>	Raubwanze	Rambur (1839)
<i>Neoseiulus (=Amblyseius) cucumeris</i>	Raubmilbe	Oudemans (1930)

### 7.3. Verwendete Pflanzen

Name	Deutsche Bezeichnung	Erstbeschreibung
<i>Borago officinalis</i>	Borretsch	Linné
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>sabellica</i>	Grünkohl	Linné
<i>Mentha arvensis</i>	Bananenminze	Linné
<i>Mentha spicata</i>	Grüne Minze	Linné
<i>Mentha suaveolens</i> var. <i>variegata</i>	Rundblättrige Minze	Ehrhart
<i>Ocimum basilicum</i>	Basilikum	Linné
<i>Petroselinum crispum</i>	Petersilie	Linné
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Buschbohne	Linné
<i>Salvia elegans</i>	Ananassalbei	Vahl
<i>Salvia officinalis</i>	Echter Salbei	Linné

## Bibliographie

- Albert R (2010) Erfahrungen mit biologischen Pflanzenschutzmaßnahmen im Gartenbau. Journal für Kulturpflanzen 62(3): 84-88.
- Albert R, Hassan SA, Stephan D, Jehle J (2010) Bekämpfung von Schädlingen unter Glas, im Wintergarten und am Blumenfenster. In: Biologischer Pflanzenschutz. aid Heft 1030/2010, 10. Auflage, aid Infodienst, Bonn, 43-79.
- Aldyhim YN und Khalil AF (1993) Influence of temperature and daylength on population development of *Aphis gossypii* on *Cucurbita pepo*. Entomol. Exp. Appl. 67: 167-172.
- Alford L, Blackburn TM, Bake JS (2012) Effect of latitude and acclimatization on the lethal temperatures of the peach-potato aphid *Myzus persicae*. Agr. Forest Entomol. 14:69-79.
- Alford L, Hughes GE, Blackburn TM, Bale JS (2012) Walking speed adaption ability of *Myzus persicae* to different temperature conditions. B. Entomol. Res. 102(3): 303-313.
- Amongero Noriega CM (2013) Evaluation of the use of *Neoseiulus cucumeris* and *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytoseiidae) as biological agents for the control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on *Petroselinum crispum* as a plant-model of potted herbs during wintertime. Diplomarbeit an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- An C, Fei X, Chen W, Zhao Z (2012) The integrative effects of population density, photoperiod, temperature, and host plant on the induction of alate aphids in *Schizaphis graminum*. Arch. Insect Biochem. 79: 198-206.
- Arthurs S, McKenzie CL, Chen J, Dogramaci M, Brennan M, Houben K, Osborne L (2009). Evaluation of *Neoseiulus cucumeris* and *Amblyseius swiskii* (Acari: Phytoseiidae) as biological control agents of chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on pepper. Biol. Control 49(1): 91-96.
- Atteyyat M, Abu-Romman S, Abu-Darwish M, Ghabeish I (2012) Impact of flavonoids against woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) and its sole parasitoid, *Aphelinus mali* (Hald.). J. Agr. Sci. 4(2): 227-236.
- Baez I, Reitz SR, Funderburk JE, Olson SM (2011) Variation within and between *Frankliniella* thrips species in host plant utilization. J. Insect Sci. 11: 41. Online unter: <http://www.insectscience.org/11.41>
- Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M (2008) Biological effects of essential oils – A review. Food Chem. Toxicol. 46: 446-475.
- Balasubramani V und Swamiappan M (1994) Development and feeding potential of the green lacewing *Chrysoperla carnea* Steph. (Neur. Chrysopidae) on different insect pests of cotton. Anz. Schadlingskde. Pfl. Umwelt. 67(8): 165-167.
- Bale JS, Harrington R, Clough MS (1988) Low-temperature mortality of the peach-potato aphid *Myzus persicae*. Ecol. Entomol. 13: 121-129.
- Barlow CA (1962) The influence of temperature on the growth of experimental populations of *Myzus persicae* (Sulzer) and *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Aphididae). Can. J. Zoolog. 40(2): 145-156.
- Bassolé IHN und Juliani HR (2012) Essential oils in combination and their antimicrobial properties. Molecules 17 Doi:10.3390/molecules17043989.

- Battaglia D, Poppy G, Powell W, Romano A, Tranfaglia A, Pennacchio F (2000) Physical and chemical cues influencing the oviposition behavior of *Aphidius ervi*. *Entomol. Exp. Appl.* 94: 219-277.
- Bennett RN und Wallsgrave RM (1994) Tansley Review No. 72. Secondary metabolites in plant defense mechanisms. *New. Phytol.* 127(4): 617-633.
- Bernal J and Gonzalez D (1993) Temperature requirements of four parasites of the russian wheat aphid *Diuraphis noxia*. *Entomol. Exp. Appl.* 69: 173-182.
- Birch LC (1948) The intrinsic rate of increase of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17: 15-26.
- Blackman RL und Eastop VF (2000) Aphids on the world's crops: an identification and information guide. 2. Auflage, John Wiley & Sons Inc, New York.
- BMELV (2011) Statistisches Jahrbuch über Ernährung Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster Hiltrup.
- BMELV (2013) Der Gartenbau in Deutschland – Daten und Fakten. Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn.
- Bolvin G, Hance T, Brodeur J (2012) Aphid parasitoids in biological control. *Can. J. Plant Sci.* 92(1): 1-12.
- BÖLW (2013) Zahlen – Daten – Fakten – Die Bio-Branche 2013. Hrsg.: Bund Ökologische Lebensmittelwirtschaft e.V. (BÖLW), Berlin.
- Braendle C, Davis KG, Briesson JA, Stern DL (2006) Wing dimorphism in aphids. *Heredity* 97:192-199.
- Brodeur J und McNeil JN (1989) Biotic and abiotic factors involved in diapause induction of the parasitoid, *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae). *J. Insect Physiol.* 35(12): 969-974.
- Brodsgaard H (1993) Cold Hardiness and Tolerance to Submergence in Water in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environ. Entomol.* 22(3): 647-653.
- Buchman N and Cuddington K (2009) Influences of pea morphology and interacting factors on pea aphid (Homoptera: Aphididae) reproduction. *Environ. Entomol.* 38(4): 962-970.
- Byeon YW, Tuda M, Takagi M, Kim JH, Choi MY (2011) Life history parameters and temperature requirements for development of an aphid parasitoid *Aphelinus asychis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Environ. Entomol.* 40(2): 431-440.
- Campbell A, Frazer BD, Gilbert N, Guitierrez AP, Mackauer M (1974) Temperature requirements of some aphids and their parasites. *J. Appl. Ecol.* 11(2): 431-438.
- Chaib I (2010) Saponins as insecticides: a review. *Tunis. J. Plant Prot.* 5(1): 39-50.
- Chaisuekul C und Riley DG (2005) Host plant, temperature, and photoperiod effects on ovipositional preference of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella fusca* (Thysanoptera: Thripidae). *J. Econ. Entomol.* 98(6): 2107-2113.
- Choi WI, Lee SG, Park HM, Ahn YJ (2004) Toxicity of plant essential oils to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *J. Econ. Entomol.* 97(2): 553-558.

- Christiansen-Weniger P und Hardie J (1999) Environmental and physiological factors for diapause induction and termination in the aphid parasitoid *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Aphidiidae). *J. Insect Physiol.* 45: 357-364.
- Danielson LL (1944) Effect of daylength on growth and reproduction of the cucumber. *Plant Physiol.* 19: 638-648.
- Dassonville N, Thielemans T, Ruisinger M, Rosemeyer V (2012) Preventive controls of aphids in ornamental plants with complementary parasitoids. *Comm. Appl. Biol. Sci. Ghent University* 77(4): 533-540.
- De Courcy Williams (2001) Biological control of thrips on ornamental crops: Interactions between the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae), on cyclamen. *Biocontrol Sci. Techn.* 11(1): 41-55.
- De Courcy Williams ME, Kravar-garde L, Fenlon JS, Sunderland KD (2004) Phytoseiid mites in protected crops: the effect of humidity and food availability on egg hatch and adult life span of *Iphiseius degenerans*, *Neoseiulus cucumeris*, *N. californicus* and *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acar.* 32(1): 1-13.
- DeLoach CJ (1974) Rate of increase of populations of cabbage, green peach, and turnip aphids at constant temperatures. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 67(3): 332-340.
- Devonshire AI, Field LM, Foster SP, Moores GD, Williamson MS, Blackman RL (1998) The evolution of insecticide resistance in the peach-potato aphid, *Myzus persicae*. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 353(1376): 1677-1684.
- Digilio MC, Mancini E, Voto E, De Feo, V (2008) Insecticide activity of mediterranean essential oils. *J. Plant Interact.* 3(1): 17-23.
- Döring TF und Chittka L (2007) Visual ecology of aphids – a critical review on the role of colours in host finding. *Arthropod. Plant Interact.* 1(1): 3-16.
- Du Y, Poppy GM, Powell W (1996) Relative importance of semiochemicals from first and second trophic levels in host foraging behavior of *Aphidius ervi*. *J. Chem. Ecol.* 22(9): 1591-1605.
- Du Y, Poppy GM, Powell W, Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM (1998) Identification of semiochemicals released during aphid feeding that attract parasitoid *Aphidius ervi*. *J. Chem. Ecol.* 24(8): 1355-1368.
- Eggleton P und Gaston KJ (1990) „Parasitoid” species and assemblages: convenient definitions or misleading compromises? *Oikos* 59(3): 417-421.
- EI-Banhawy EM (1976) Biology of the predacious mite *Amblyseius brazilli* (Phytoseiidae: Mesostigmata) under different photoperiod, light intensity and temperature regimes. *Anais Soc. Entomol. Brasil* 5(1): 86-94.
- EI-Banhawy EM (1977) Effect of photoperiod, light intensity and temperature on the development and reproduction of the predacious mite *Amblyseius brazilli* (Phytoseiidae: Mesostigmata). *Rev. Bras. Biol.* 37(3): 579-583.
- EI-Hosary RA (2011) Evaluation of some essential oils against *Sesamia cretica* Led. under field conditions. *J. Amer. Science* 7: 563-568.
- EI-Taeif HA, El-Ghariani IM, Bataw AA (2008) Some biological data on the predator Green Lacewing *Chrysoperla carnea* (Steph.) (Neuroptera: Chrysopidae). *Egypt. J. Biol. Pest Co.* 18(1): 243-248.

- Feng R und Isman MB (1995) Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Experientia* 51: 831-833.
- Francis F, Haubruge E, Gaspar C (2000) Influence of host plants on specialist/generalist aphids and on the development of *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Ciccinellidae). *Eur. J. Entomol.* 97(4): 481-485.
- Fujiwara C und Nomura M (1999) Effects of photoperiod and temperature on larval development of *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 43(4): 175-179.
- Gouinguéné SP, Turlings TCJ (2002) The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in cornplants. *Plant Physiol.* 129: 1296-1307.
- Groos U (2011) Kräutertag – Einführung und Situation. Vortrag: Kräutertag des Landesbetriebes Landwirtschaft Hessen (LLH), Geisenheim, 10.02.2011.
- Guerrieri E, Pennacchio F, Tremblay E (1993) Flight behavior of the aphid parasitoid *Aphidius ervi* (Hymenoptera, Braconidae) in response to plant and host volatiles. *Eur. J. Entomol.* 90(4): 415-421.
- Hack H, Bleiholder H, Buhr L, Meier U, Schnock-Fricke U, Weber E, Witzemberger A (1992) Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen – Erweiterte BBCH-Skala – Allgemein. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 44: 265-270.
- Harborne JB (1990) Role of secondary metabolites in chemical defense mechanisms in plants. In: Bioactive compounds from plants. Ciba Foundation Symposium 154, Wiley, Chichester, 126-139.
- Hassan SA, Albert R, Rost WM (1993) Pflanzenschutz mit Nützlingen: im Freiland und unter Glas. 1. Auflage, Eugen Ulmer GmbH und Co., Stuttgart.
- Hatano E, Kunert G, Michaud JP, Weisser WW (2008) Chemical cues mediating aphid location by natural enemies. *Eur. J. Entomol.* 105(5): 797-806.
- Hazell SP, Groutides C, Neve BP, Blackburn TM, Bale JS (2010) A comparison of low temperature tolerance traits between closely related aphids from the tropics, temperate zone, and Arctic. *J. Insect Physiol.* 56: 115-122.
- He XZ, Wang Q, Teulon DAJ (2004) Emergence, sexual maturation and oviposition of *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Aphidiidae). *N. Z. Plant Protect-SE.* 57: 214-220.
- Heijde M und Ulm R (2012) UV-B photoreceptor-mediated signaling in plants. *Trends Plant Sci.* 17(4): 230-237.
- Henry CS, Brooks SJ, Thierry D, Duelli P, Johnson JB (2001) The common green lacewing (*Chrysoperla carnea* s. lat.) and the sibling species problem. In: McEwen P, New T, Whittington A (Hrsg.) *Lacewings in the crop environment*, 1. Auflage, Cambridge University Press, Cambridge, 29-42.
- Heuvelink E, Bakker MJ, Hogendonk L, Janse J, Kaarsemaker R, Maaswinkel R (2006) Horticultural lighting in the Netherlands: new developments. *Acta Hort.* 711: 25-34.
- Hillert O, Jäckel B, Plate HP (2002) *Macrolophus pygmaeus* (Rambur 1839) (Heteroptera, Miridae) – ein interessanter Nützlichling im biologischen Pflanzenschutz. *Gesunde Pflanzen* 54(3-4): 66-73.
- Hoffmann GM, Nienhaus F, Poehling HM, Schönbeck F, Weltzien HC, Wilbert H (1994) *Lehrbuch der Phytomedizin*. 3. Auflage, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin.

- Hofsvang T und Hagvar EB (1986) Oviposition behavior of *Ephedrus cerasicola* (Hym.: Aphidiidae) parasitizing different instars of its aphid host. *Entomophaga* 31(3): 261-267.
- Hommel M und Ter Horst S (2002) Development and life-span of *Macrolophus pygmaeus* Rambur at different temperatures and influence of host plants and prey. *Bull. IOBC/wprs* 25(1): 103-106.
- Hoogerbrugge H, Van Houten Y, Knapp M, Bolckmans K (2011) Biological control of thrips and whiteflies on strawberries with *Amblydromalus limonicus* and *Amblyseius swirskii*. *Bull. IOBC/wprs*: 68:59-63.
- Hori M (1998) Repellency of rosemary oil against *Myzus persicae* in a laboratory and in a greenhouse. *J. Chem. Ecol.* 24(9): 1425-1432.
- Hori M (1999) The effect of rosemary and ginger oils on the alighting behavior of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on the incident of yellow spotted streak. *Appl. Entomol. Zool.* 34(3): 351-358.
- Huignard J, Lapied B, Dugravot S, Magnin-Robert M, Ketoh GK (2008) Modes d'action neurotoxiques des derives soufrés et de certaines huiles essentielles et risques lies à leur utilisation. In: Regnault-Roger C, Philogène BJR, Vincent C (Hrsg.) *Biopesticides d'Origine Végétale*. 2. Auflage, Lavoisier Tech & Doc, Paris 219-231.
- Ingeus BL, Pansa MG, Tavella L (2011) Plant preference in the zoitophagous generalist predator *Macrolophus pygmaeus* (Heteroptera: Miridae). *Biol. Control* 58(3): 174-181.
- Irlich UM, Terblanche JS, Blackburn TM, Chown SL (2009) Insect rate-temperature relationships: environmental variation and the metabolic theory of ecology. *Am. Nat.* 174(6): 819-835.
- Ishida H, Murai T, Sonoda S, Yoshida H, Izumi Y, Tsumuki H (2003) Effects of temperature and photoperiod on development and oviposition of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool* 38(1): 65-68.
- Isik M und Görür G (2009) Aphidicidal activity of seven essential oils against the cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. (Homoptera: Aphididae). *Mun. Ent. Zool.* 4(2): 424-431.
- Isman MB (2000) Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protect.* 19: 603-608.
- Izaguirre MM, Mazza CA, Biondini M, Baldwin IT, Ballar é CL (2006) Remote sensing of future competitors: impacts on plant defenses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103: 7170-7174.
- Jäckel B, Alt S, Balder H (2011) Untersuchungen zum Einfluss von Temperatur und Licht auf die Fraßleistung von *Macrolophus pygmaeus* (Rambur, 1839) (Heteroptera: Miridae) an verschiedenen Weiße Fliege-Arten. *Gesunde Pflanz.* 62(3-4): 133-138.
- Jandricic SE, Wraight SP, Bennett KC, Sanderson JP (2010) Developmental times and life table statistics of *Aulacorthum solani* (Homoptera: Aphididae) at six constant temperatures, with recommendations on the application of temperature-dependent development models. *Environ. Entomol.* 39(5): 1631-1642.
- Jansen MPT, Stamp NE (1997) Effects of light availability on host plant chemistry and the consequences for behavior and growth of an insect herbivore. *Entomol. Exp. Appl.* 82: 319-333.
- Jensen SE (2000) Insecticide resistance in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Integr. Pest Manage. Rev.* 5(2): 131-146.

- Johansen NS, Vänninen I, Pinto DM, Nissinen AI, Shipp L (2011) In the light of new greenhouse technologies: 2. Direct effects of artificial lighting on arthropods and integrated pest management in greenhouse crops. *Ann. Appl. Biol.* 159(1): 1-27.
- Katayama H (1997) Effect of temperature on development and oviposition of Western Flower Thrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 41: 225-231.
- Kazemi F und Mehrnejad MR (2011) Seasonal occurrence and biological parameters of the common green lacewing predators of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae* (Hemiptera: Psylloidea). *Eur. J. Entomol.* 108: 63-70.
- Kennedy JS, Eastop VS, Day MF (1962) A conspectus of aphids as vectors of plant viruses. 1. Auflage, Commonwealth Institute of Entomology, London.
- Khudr MS, Oldekop JA, Shuker DM, Preziosi RF (2013) Parasitoid wasps influence where aphids die via an interspecific indirect genetic effect. *Biol. Lett.* 9(3) DOI: 10.1098/rsbl.2012.1151.
- Kirk WDJ (1995) Feeding behavior and nutritional requirements. In: Parker BL, Skinner M, Lewis T (Hrsg.) Thrips biology and management. Plenum Press, New York, 21-30.
- Klingauf F, Bestmann HJ, Vostrowsky O, Michaelis K (1983) Wirkung von ätherischen Ölen auf Schadinsekten. *Mitt. Deutsch. Ges. Allg. Angew. Etn.* 4: 123-126.
- Knapp M, Van Houten Y, Hoogerbrugge H, Bockmans K (2013) *Amblydromalus limonicus* (Acari: Phytosiidae) as a biocontrol agent: literature review and new findings. *Acarologia* 53(2): 191-202.
- Kodet RT, Nielsen MW und Kuehl RO (1982) Effect of temperature and photoperiod on the biology of the blue alfalfa aphid, *Acyrtosiphon kondoi* Shinji. US Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, 1982.
- Koehler HH (1999) Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). *Agric. Ecosyst. Environ.* 74(1-3): 395-410.
- Köhler G und Hanke D (2005) Prüfung der Weichwanzenarten *Dicyphus errans* und *Macrolophus pygmaeus* zur biologischen Bekämpfung von schädigenden Minierfliegen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 6/2005, Dresden.
- Köhler G und Hanke D (2007) Entwicklung von Strategien zum biologischen Pflanzenschutz mit Weichwanzenarten im Anbau von frischen Kräutern im Gewächshaus. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 23/2007, Dresden.
- Krüger H (2009) Ätherische Öle – Variabilität in Arznei- und Gewürzpflanzen. *Julius-Kühn Archiv* 422: 70-76.
- Kuhlmann F, Müller C (2009) Development-dependent effects of UV radiation exposure on broccoli plants and interactions with herbivorous insects. *Environ. Exp. Bot.* 66: 61-68.
- 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.
- Kuoamé KL und Mackauer M (1991) Influence of aphid size, age and behavior on host choice by the parasitoid wasp *Ephedrus californicus*: a test of host size models. *Oecologia* 88(2): 197-203.
- Lamb RJ und Pointing PJ (1972) Sexual morph determination in the aphid, *Acyrtosiphon pisum*. *J. Insect Physiol.* 18(10): 2029-2042.

- Legrand A und Barbosa P (2000) Pea aphid (Homoptera: Aphididae) fecundity, rate of increase, and within-plant distribution unaffected by plant morphology. *Environ. Entomol.* 29(5): 987-993.
- Li C, Roitberg BD, Mackauer M (1992) The search pattern of a parasitoid wasp, *Aphelinus asychis*, for its host. *Oikos* 65(2): 207-212.
- Liu G (1939) Some extracts from the history of entomology in China. *Psyche* 46(1): 23-28.
- Lo Pinto M, Wajnberg E, Colazza S, Curty C, Fauvergue (2004) Olfactory response of two aphid parasitoids, *Lysiphlebus testaceipes* and *Aphidius colemani*, to aphid-infested plants from a distance. *Entomol. Exp. Appl.* 110(2): 159-164.
- Lykourissis DP, Perdikis DCH, Michalaki M (2001) Nymphal development and survival of *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae) on two eggplant varieties as affected by temperature and presence/absence of prey. *Biol. Control* 20(3): 222-227.
- Maeda T, Takabayashi J, Yano S, Takafuji A (2000) Effects of light on the tritrophic interaction between kidney bean plants, two-spotted spider mites and predatory mites, *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae). *Exp. Appl. Acarol.* 24(5): 415-425.
- Marcus C und Lichtenstein EP (1979) Biologically active components of anise: toxicity and interactions with insecticides in insects. *J. Agric. Food. Chem.* 27(6): 1217-1233.
- Mathews S (2006) Phytochrome-mediated development in land plants: red light sensing evolves to meet the challenges of changing light environments. *Mol Ecol.* 15(12): 3483-3503.
- Mátray S (2013) Kennzahlen zum Einsatz der Raubwanze *Macrolophus pygmaeus* im Topfkrautgartenbau – Untersuchungen zur Etablierung und Ausbreitung im Pflanzenbestand. Diplomarbeit an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- McDonald JR, Bale JS, Walters KFA (1998) Effect of temperature on development of the Western Flower Thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: thripidae). *Eur. J. Entomol.* 95: 301-306.
- McMurtry JA und Scriven GT (1965) Life-history studies of *Amblyseius limonicus* with comparative observations on *Amblyseius hibisci* (Acarina: Phytoseiidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 58(1): 106-111.
- Messelink GJ und von Holstein-Saj R (2008) Improving thrips control by the soil-dwelling predatory mite *Macrocheles robustulus* (Berlese). *Bull. IOBC/wprs* 32: 135-138.
- Messelink GJ, van Steenpaal SEF, Ramakers PMJ (2006) Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *Biocontrol* 51(6): 753-768.
- Meyer U, Blum H, Gärber U, Hommes M, Pude R, Gabler J (2010) Praxisleitfaden Krankheiten und Schädlinge im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau. DPG Selbstverlag, Braunschweig.
- Michaud JP und Mackauer M (1994) The use of visual cues in host evaluation by aphidiid wasps. I. Comparison between three *Aphidius* parasitoids of the pea aphid. *Entomol. Exp. Appl.* 70: 273-383.
- Michaud JP, Mackauer M (1995) The use of visual cues in host evaluation by aphidiid wasps. II. Comparison between *Ephedrus californicus*, *Monoctonus paulensis*, and *Praon pequodorum*. *Entomol. Exp. Appl.* 74: 267-275.
- Moe R, Grimstad SO, Gieslerod HR (2006) The use of artificial light in year round production of greenhouse crops in Norway. *Acta Hort.* 711: 35-42.

- Moreno JA, Tao Y, Chory J, Ballaré CL (2009) Ecological modulation of plant defense via phytochrome control of jasmonate sensitivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106: 4935-4940.
- Morewood WD und Gilkeson LA (1991) Diapause induction in the thrips predator *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae) under greenhouse conditions. *Entomophaga* 36(2): 253-263.
- Mound LA und Teulon DAJ (1995) Thysanoptera as phytophagous opportunists. In: Parker BL, Skinner M, Lewis T (Hrsg.) *Thrips biology and management*. Plenum Press, New York, 3-19.
- Murai T (1988) Studies on the ecology and control of flower thrips, *Frankliniella intonsa* (Trybom). *Bull. Shimane Agric. Exp. Stn.* 23: 1-73.
- Nadeem S, Hamed M, Nadeem MK, Hasnan M, Atta BM, Saeed NA, Ashfaq M (2012) Comparative study of the development and reproductive characteristics of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) at different rearing temperatures. *J. Anim. Plant Sci.* 22(2): 399-402.
- Nakao S (1993) Effects of temperature and photoperiod on wing form determination and reproduction of *Thrips nigropilosus* Uzel (Thysanoptera: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.* 28(4): 463-472.
- Nault LR, Edwards LJ, Styer WE (1973) Aphid alarm pheromones: secretion and reception. *Environ. Entomol.* 2(1): 101-105.
- Nishizawa T, Shishido Y, Sasaki B, Sato C, Hanawa Y, Matsumura K. (2010) Effects of specific UV-blocking on plant growth and insect control. *Acta Hort.* 927, 203-210
- Noble MD (1958) A simplified clip cage for aphid investigations. *Can. Entomol.* 90(12): 760.
- O'Doherty R (1985) *Studies on the cold hardiness of the peach-potato aphid Myzus persicae* (Sulzer). Dissertation an der University of Leeds.
- Okunade AL und Olaifa JI (1987) Estragole: An acute toxic principle from the volatile oil of the leaves of *Clausena anisata*. *J. Nat. Prod.* 50(5): 990-991.
- Pareja M, Morales MCB, Clark SJ, Birkett, MA, Powell W (2007) Response of the aphid parasitoid *Aphidius funebris* to volatiles from undamaged and aphid-infested *Centaurea nigra*. *J. Chem. Ecol.* 33(4): 695-710.
- Patterson R und Ramirez R (2012) Beneficials: Predatory mites. Fact Sheet Series: Beneficial Insects, ENT-164-12PR, Utah State University Extension and Utah Plant Pest Diagnostic Laboratory.
- Perdikis DCH und Lykouressis DP (2000) Effects of various items, host plants, and temperatures on the development and survival of *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Hemiptera: Miridae). *Biol. Control* 17(1): 55-60.
- Perdikis DCH und Lykouressis DP (2003) *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae) as a factor inhibiting the survival and population increase of the predator *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae) on cucumber. *Eur. J. Entomol.* 100(4): 501-508.
- Perdikis DCH, Lykouressis DP, Economou LP (1999) The influence of temperature, photoperiod and plant type on the predation rate of *Macrolophus pygmaeus* on *Myzus persicae*. *Biocontrol* 44(3): 281-289.
- Perdikis DCH, Lykouressis DP, Economou LP (2004) Influence of the light-dark phase, host plant, temperature, and their interactions on the predation rate in an insect predator. *Environ. Entomol.* 33(5): 1137-1144.

- Powell W, Pennacchio F, Poppy GM, Tremblay E (1998) Strategies involved in the location of hosts by the parasitoid *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae). *Biol. Control* 11(2): 104-112.
- Powell W, Zhang ZL (1983) The reaction of two cereal aphid parasitoids, *Aphidius uzbeckistanicus* and *A. ervi* to host aphids and their food plants. *Physiol. Entomol.* 8: 439-443.
- Prado SG und Frank SD (2013) Compact plants reduce biological control of *Myzus persicae* by *Aphidius colemani*. *Biol. Control* 65(2): 184-189.
- Preuss KL (2012) Einfluss ätherischer Öle aus Petersilie (*Petroselinum crispum* Mill.) und Basilikum (*Ocimum basilicum* L.) auf die Entwicklung relevanter Blattlausarten. Diplomarbeit an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Ramsey JS, Wilson ACC, de Vos M, Sun Q, Tamborindéguy C, Winfield A, Malloch G, Smith D, Fenton B, Gray SM, Jander G (2007) Genomic resources for *Myzus persicae*: EST sequencing, SNP identification and microarray design. *BMC Genomics* 8(1): 423.
- Regnault-Roger C (2013) Essential oils in insect control. In: Ramawaat KP, Mérillon JM (Hrsg.) *Natural Products – Phytochemistry, botany and metabolism of alkaloids, phenolics and terpenes*. Springer, Berlin-Heidelberg 4087-4107.
- Rehman A, Powell W (2010) Host selection behavior of aphid parasitoids (Aphidiidae: Hymenoptera). *J. Plant. Breed. Crop. Sci.* 2(10): 299-311.
- Reitz SR (2008) Comparative bionics of *Frankliniella occidentalis* and *Frankliniella tritici*. *Fla. Entomol.* 91(3): 474-476.
- Reitz SR (2009) Biology and ecology of the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae): the making of a pest. *Fla. Entomol.* 92(1): 7-13.
- Remaudière G und Remaudière M (1997) *Catalogue des Aphididae du monde*. 1. Auflage, INRA, Paris.
- Russel W und Duthie G (2011) Plant secondary metabolites and gut health: the case for phenolic acids. *P. Nutr. Soc.* 70(3): 389-396.
- Sabelis MW und Van Rijn PCJ (1997) Predation by insects and mites. In: Lewis T (1997) *Thrips as crop pests*. CAB International, London, 259-354.
- Satar S, Kersting U, Uygun N (2008) Effect of temperature on population parameters of *Aphis gossypii* Glover and *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on pepper. *J. Plant Dis. Protect.* 115(2): 69-74.
- Schausberger P und Croft AB (2000) Nutritionas benefits of intraguild predation and cannibalism among generalist and specialist phytoseiid mites. *Ecol. Entomol.* 25(4): 473-480.
- Schilcher H (2008) *Kleines Heilkräuter Lexikon*. 5. Auflage, Hädecke, Weil der Stadt.
- Scholz-Döbelin H (2009) Nützlingseinsatz bei Gewächshauskulturen. In: George E, Eghbal R (Hrsg.) *Ökologischer Gemüsebau – Handbuch für Beratung und Praxis*. 2. Auflage, Bioland Verlags GmbH, Mainz, 106-115.
- Scholz-Döbelin H (2011) *Macrolophus* in Tomaten: Verbesserte Entwicklung durch Mini-Airbug. Vortrag: 20. Arbeitstagung Biologische Schädlingsbekämpfung im Gartenbau, Forschungsanstalt Geisenheim, 30.11.2011 – 01.12.2011.

- Şengonca Ç und Grooterhorst A (1985) The feeding activity of *Chrysoperla carnea* (Stephens) on *Barathra brassicae* L. and *Spodoptera littoralis* (Boisd.). J. Appl. Entomol. 100(1):219-223.
- Sentis A, Hemptinne JL, Brodeur J (2013) Parsing handling time into its components: implications for responses to a temperature gradient. Ecol. 94(8): 1675-1680.
- Shaaya E, Ravid U, Paster N, Juven B, Zisman U, Pissarev V (1991) Fumigant toxicity of essential oils against four major stored product insects. J. Chem. Ecol. 17(3): 499-504.
- Shipp JL und Van Houten (1997) Influence of temperature and vapor pressure deficit on survival of the predatory mite *Neoseiulus cucumeris* (Acari: Phytoseiidae). Environ. Entomol. 26(1): 106-113.
- Shipp JL und Wang K (2003) Evaluation of *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) for control of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse tomatoes. Biol. Control 28(3): 271-281.
- Shipp JL und Whitfield GH (1991) Functional response of the predatory mite, *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). Environ. Entomol. 20(2): 694-699.
- Shu-Sheng L und Hughes RD (1987) The influence of temperature and photoperiod on the development, survival and reproduction of the sowthistle-aphid, *Hyperomyzus lactucae*. Entomol. Exp. Appl. 43(1): 31-38.
- Silva AX, Jander G, Samaniego H, Ramsey JS, Figueroa CC (2012) Insecticide resistance mechanisms in the green peach aphid *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) I: A transcriptomic survey. PloS One 7(6): e36366, doi:10.1371/journal.pone.0036366.
- Soliman KM, Badeaa RI (2002) Effect of oil extracted from some medicinal plants on different mycotoxigenic fungi. Food. Chem. Toxicol. 40(11): 1669-1675.
- Statistisches Bundesamt (2014) Land- und Forstwirtschaft, Fischerei – Landwirtschaftliche Bodennutzung und pflanzliche Erzeugung 2012. Fachserie 3 Reihe 3, Wiesbaden.
- Stavenga D (2002) Colour in the eyes of insects. J. Comp. Physiol. A 188(5): 337-348.
- Stoerck A, Poppy GM, Van Emden HF, Powell W (2000) The role of plant chemical cues in determining host preference in the generalist aphid parasitoid *Aphidius colemani*. Entomol. Exp. Appl. 97(1): 41-46.
- Stone R (1992) A biopesticidal tree begins to blossom: neem seed oil has insect toxicologists buzzing about its potential as a source of natural insecticides. Science 255(5048): 1071-1071.
- Suck HB, Seo MJ, Kang EJ, Yoon KS, Yu YM, Yasunaga-Aoki C, Youn YN (2012) Laboratory studies of *Aphelinus asychis*, as a potential biological control agent for *Myzus persicae*. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 57(2): 431-439.
- Sullivan JA und Deng XW (2003) From seed to seed: the role of photoreceptors in Arabidopsis development. Develop. Biol. 260: 289 – 297.
- Takabayashi J, Dicke M, Posthumus MA (1994) Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: variation caused by biotic and abiotic factors. J. Chem. Ecol. 20: 1329–1354.
- Tauber MJ und Tauber CA (1976) Insect seasonality: diapause maintenance, termination and postdiapause development. Annu. Rev. Entomol. 21: 81-107.
- Teixiera ML, Cardoso MG, Figueiredo ACS, Moraes JC, Assis FA, Andrade J, Nelson DL, Souza Gomes M, Souza JA, Albuquerque LRM (2014) Essential oils from *Lippia origanoides* Kunth.

- and *Mentha spicata* L.: Chemical composition, Insecticidal and Antioxidant Activities. Am. J. Plant Sci. 5(9) DOI: 10.4236/ajps.2014.59131.
- Ter Horst S (2000) Einfluss verschiedener Temperaturen, Wirtspflanzen und Beutetiere auf die Entwicklung von *Macrolophus pygmaeus* Rambur (Heteroptera: Miridae). Diplomarbeit an der Leibniz Universität Hannover.
- Thielemans T, Dassonville N, Gosset V, Rosemeyer V (2012) A mix of six parasitoids for aphid control below observation threshold. Book of Abstracts, ISHS Symposium on Horticulture in Europe, Angers, France, 1- 5 July 2012: 177.
- Tommasini MG und Maini S (1995) *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and ornamental crops in Europe. Wageningen Agric. Univ. Papers 95(1): 1-42.
- Torkey HM, Abou-Yousef HM, Abdel Azeiz AZ, Hoda EAF (2009) Insecticidal effect of cucurbitacin E glycoside isolate from *Citrullus colocynthis* against *Aphis craccivora*. Aust. J. Basic Appl. Sci. 3(4): 4060-4066.
- Tripathi AK, Upadhyay S, Bhuiyan M, Bhattacharya PR (2009) A review on prospects of essential oils as biopesticide in insectpest management. J. Pharmacognosy Phytotherapy 1: 52-63.
- Tsumuki H, Ishida H, Yoshida H, Sonoda S, Yohei I, Murai T (2007) Cold hardiness of adult western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). Appl. Entomol. Zool 42(2) 223-229.
- Van Driesche RG, Lyon S, Stanek EJ, Xu B, Nunn C (2005) Evaluation of efficacy of *Neoseiulus cucumeris* for control of western flower thrips in spring bedding crops. Biol. Control 36(2): 203-215.
- Van Houten YM, van Rijn PCJ, Tanigoshi LK, van Stratum P, Bruin J (1995) Preselection of predatory mites to improve year-round biological control of western flower thrips in greenhouse crops. Entomol. Exp. Appl. 74(3): 225-234.
- Van Houten YM, van Stratum P, Bruin J, Veerman A (1995) Selection for non-diapause in *Amblyseius cucumeris* and *Amplyseius barkeri* and exploration of the effectiveness of selected strains for thrips control. Entomol. Exp. Appl. 77(3): 289-295.
- Van Rijn PCJ, Mollema C, Steenhuis-Broers GM (1995) Comparative life history studies of *Frankliniella occidentalis* and *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber. Bull. Entomol. Res. 85(2): 285-297.
- Van Schelt J, Klapwijk J, Milder S, Douma J, Van der Pas R (1993): Cursus Entomologie, Koppert Biological Systems, 48-53.
- Van Steenis MJ (1993) Intrinsic rate of increase of *Aphidius colemani* Vier. (Hym., Braconidae), a parasitoid of *Aphis gossypii* Glov. (Hom., Aphididae), at different temperatures. J. Appl. Ent. 116(1-5): 192-198.
- Van Steenis MJ und El-Khawass K (1995) Life history of *Aphis gossypii* on cucumber: influence of temperature, host plant and parasitism. Entomol. Exp. Appl. 76(2): 121-131.
- Vandekerkhove B, De Clercq P (2010) Pollen as an alternative or supplementary food for the mired predator *Macrolophus pygmaeus*. Biol. Control 53(2): 238-242.
- Vänninen I, Pinto DM, Nissinen, Johansen NS, Shipp L (2010) In the light of new greenhouse technologies: 1. Plant-mediated effects of artificial lighting on arthropods and tritrophic interactions. Ann. Appl. Biol. 157: 393-414.

- Vet LEM und Dicke M (1992) Ecology of infochemical use by natural enemies in a tritrophic context. *Annu. Rev. Entomol.* 37(1): 141-172.
- Vinson SB (1976) Host selection by insect parasitoids. *Annu. Rev. Entomol.* 21(1): 109-133.
- Wachmann E, Melber A, Deckert J (2004), Wanzen Band 2: Cimicomorpha: Microphysidae (Flechtenwanzen), Miridae (Weichwanzen). 1. Auflage, Goecke & Evers, Keltern.
- Whalon ME und Smilowitz Z (1979) The interaction of temperature and biotype on development of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulz.). *Am. Potato J.* 56(12): 591-596.
- Whalon ME, Mota-Sanchez D, Hollingworth RM (2008) Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In: Whalon ME, Mota Sanchez D, Hollingworth RM (Hrsg.) *Global pesticide resistance in arthropods*. CAB, Cambridge, 5-31.
- Wheeler AG (2001) *Biology of the plant bugs (Hemiptera: Miridae) – Pests, predators, opportunists*. 1. Auflage, Comstock Publishing Associates, Ithaca.
- Wiemer J (2009) *Ätherische Öle in Kräutern und Gewürzen – Wirkung auf den menschlichen Organismus und Lebensmittel*. 1. Auflage, Diplomica Verlag GmbH, Hamburg.
- Wiethoff J (2005) *Einsatz von Nützlingskombinationen gegen Blattläuse und Thripse im Gemüsebau unter Glas*. Dissertation an der Universität Hannover.
- Wogiatzi E, Papachatzis A, Kalorizou H, Chouliara A, Chouliaras N (2011) Evaluation of essential oil yield and chemical components of selected basil cultivars. *Bitechnol. & biotechnol. Eq.* 25(3): 2525-2527.
- Wyatt IJ und Brown SJ (1977) The influence of light intensity, daylength and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *J. Appl. Ecol.* 14: 391-399.
- Wyatt IJ und White PF (1977) Simple estimation of intrinsic increase rates for aphids and tetranychid mites. *J. Appl. Ecol.* 14: 757-766.
- Zamani AA, Talebi A, Fathipoor Y, Baniameri V (2006) Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), on the cotton aphid. *J. Pest Sci.* 79: 183-188.
- Zamani AA, Talebi A, Fathipoor Y, Baniameri V (2007) Effect of temperature on life history of *Aphidius colemani* and *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), two parasitoids of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 36: 263-271.
- Zilahi-Balogh GMG, Shipp JL, Cloutier C, Brodeur J (2006) Influence of light intensity, photoperiod, and temperature on the efficacy of two Aphelinid parasitoids of the greenhouse whitefly. *Environ. Entomol.* 35: 581-589.
- Zilahi-Balogh GMG, Shipp JL, Cloutier C, Brodeur J (2007) Predation by *Neoseiulus cucumeris* on western flower thrips and its oviposition on greenhouse cucumber under winter vs. summer conditions in a temperate climate. *Biol. Control* 40(2): 160-167.
- Zilahi-Balogh GMG, Shipp JL, Cloutier C, Brodeur J (2009) Comparison of searching behavior of two aphelinid parasitoids of the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* under summer vs. winter conditions in a temperate climate. *J. Insect Behav.* 22(2): 134-147.
- Zimmermann G (2012) Wirkung und Anwendungsmöglichkeiten ätherischer Öle im Pflanzenschutz: Eine Übersicht. *J. Kulturpflanzen* 64(1): 1-19.

## Gesetze und Verordnungen

Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische / biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen / biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. In: Amtsblatt L 189/1 vom 20.07.2007.

## Internetquellen

AMI (2013) Analyse des GfK Haushaltspanels. <http://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/ami-gartenbau/ami-meldungen-gartenbau/meldungen-single-ansicht/article/umsatz-mit-frischen-kuechenkraeutern-legte-in-deutschland-2012-weiter-zu.html>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

AMI (2016) <http://www.ami-informiert.de/ami-maerkte/ami-einzelmeldung/article/umsatzwachstum-bei-topfkraeutern-ausgebremst.html>  
zuletzt aufgerufen: 23.10.2016

BMELV (2013) Ökobarometer 2013. Repräsentative Bevölkerungsumfrage im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn. [http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Oekobarometer\\_2013.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ernaehrung/Oekobarometer_2013.pdf?__blob=publicationFile)  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

BVL (2012) „Vi-Care“ darf nicht mehr als Pflanzenstärkungsmittel in Verkehr gebracht werden. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). [http://www.bvl.bund.de/DE/04\\_Pflanzenschutzmittel/05\\_Fachmeldungen/2012/Verbot\\_ViCare.html](http://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/05_Fachmeldungen/2012/Verbot_ViCare.html)  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

BVL (2016) Zugelassene Pflanzenschutzmittel - Auswahl für den ökologischen Landbau nach der Verordnung (EG) Nr. 834/2007. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL). [https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04\\_Pflanzenschutzmittel/psm\\_oekoliste-DE.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=32](https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/psm_oekoliste-DE.pdf?__blob=publicationFile&v=32)  
zuletzt aufgerufen: 23.10.2016

FH Weihenstephan (2013) Küchenkräuter frisch auf den Tisch. FH Weihenstephan Forschungsanstalt für Gartenbau, Freising. <http://www.infoblaetter.fagw.info/img/frischkraeuter.pdf>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

Götte E (2012) Thripsbekämpfung in Topfpflanzen. Hinweise für den Zierpflanzenanbau Nr. 5. Pflanzenschutzdienst Hamburg. <http://pflanzenschutz.hamburg.de/contentblob/3435050/data/hinweis-zieba-5-12.pdf> zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

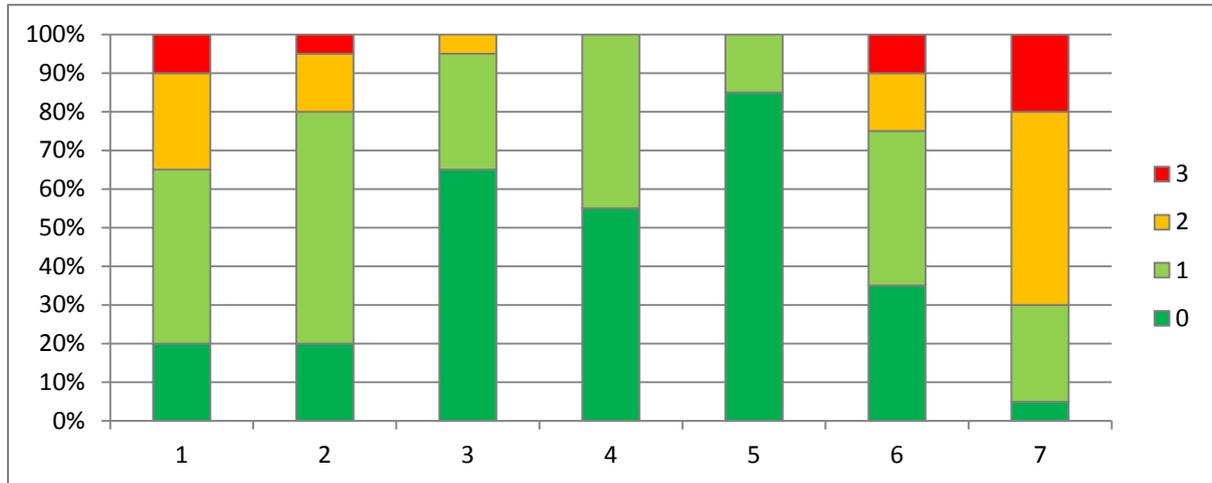
Katz Biotech AG (2014) Anwendungshinweise: Florfliege *Chrysoperla carnea* gegen Blattläuse. <http://www.katzbiotech.de/dokus/florfliegen.pdf>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

Koppert BV (2014) MIRICAL. <http://www.koppertbio.de/schaedlinge/raupe-schmetterling-und-motte/biologische-produkte-zur-bekaempfung-von-raupen/detail/mirical-3/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

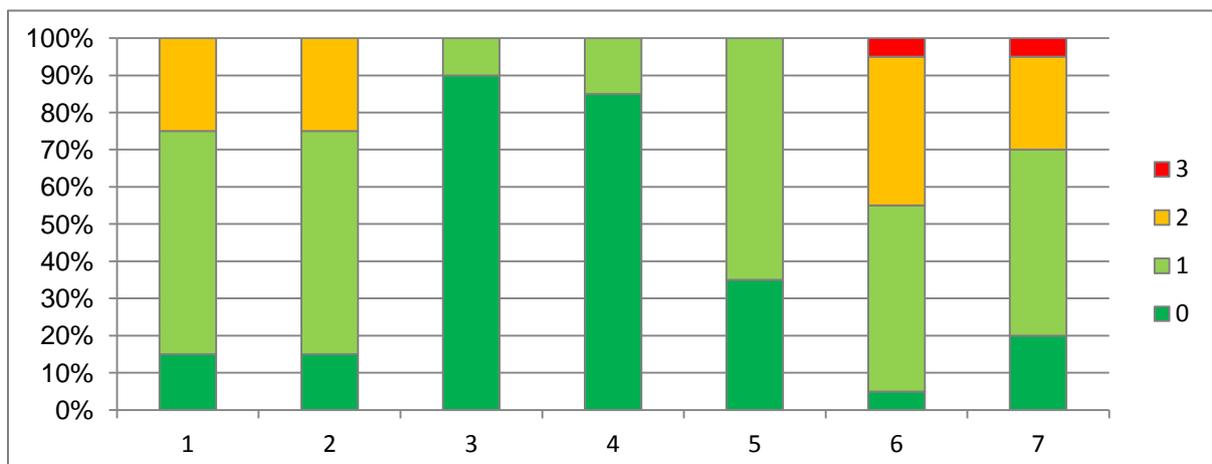
Koppert BV (2014) THRIPEX. <http://www.koppertbio.de/schaedlinge/thrips/thrips-de/detail/thripex-3/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

- Koppert BV (2014) LIMONICA. <http://www.koppertbio.de/schaedlinge/thrips/thrips-de/detail/limonica-2/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Koppert BV (2014) MACRO-Mite. <http://www.koppertbio.de/schaedlinge/thrips/thrips-de/detail/macro-mite-6/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Li T (1995) University of Florida book of insect records, Chapter 6, shortest generation time.  
[http://entnemdept.ifas.ufl.edu/walker/ufbir/files/pdf/UFBIR\\_Chapter06.pdf](http://entnemdept.ifas.ufl.edu/walker/ufbir/files/pdf/UFBIR_Chapter06.pdf)  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Pflanzenschutzdienst Hamburg (2013) Pflanzenschutzmaßnahmen in frischen Kräutern 2013.  
<http://pflanzenschutz.hamburg.de/contentblob/2865306/data/frische-kraeuter.pdf>  
zuletzt aufgerufen: 30.09.2013
- Sautter & Stepper GmbH (2014) *Chrysoperla carnea*.  
<http://www.nuetzlinge.de/produkte/freiland/chrysoperla-carnea/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Sautter & Stepper GmbH (2014) Der Einsatz von Nützlingen im Gartenbau.  
<http://www.youblisher.com/p/33512-Biologischer-Pflanzenschutz-mit-Nuetzlingen/>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Syngenta Bioline Ltd (2014) Amblyline cu - *Amblyseius (Neoseiulus) cucumeris* - Thrips control –  
Technical sheet.  
<http://www.syngenta.com/global/bioline/SiteCollectionDocuments/Products/B5%20-%20Amblyseius%20cucumeris.pdf>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014
- Viridaxis SA (2014) Praon und andere Schlupfwespen. <http://www.viridaxis.com/de/praoon-andere-schlupfwespen>  
zuletzt aufgerufen: 20.07.2014

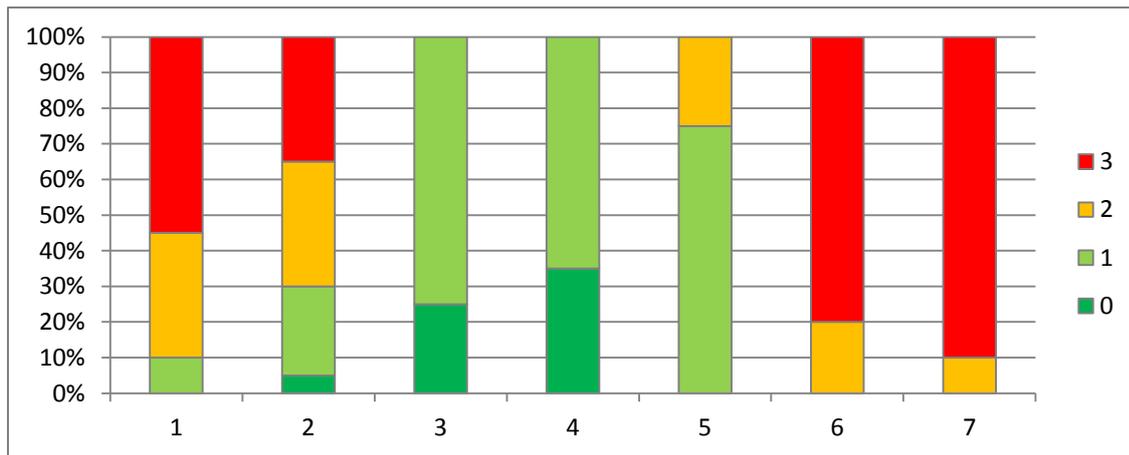
## Anhang



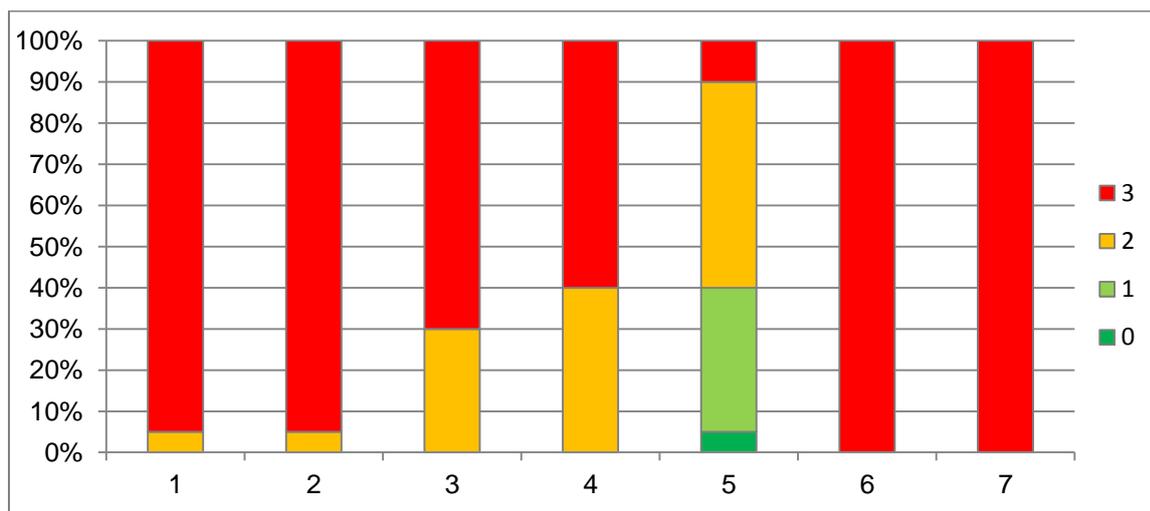
Anhang 1: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 6 Tagen, n = 20



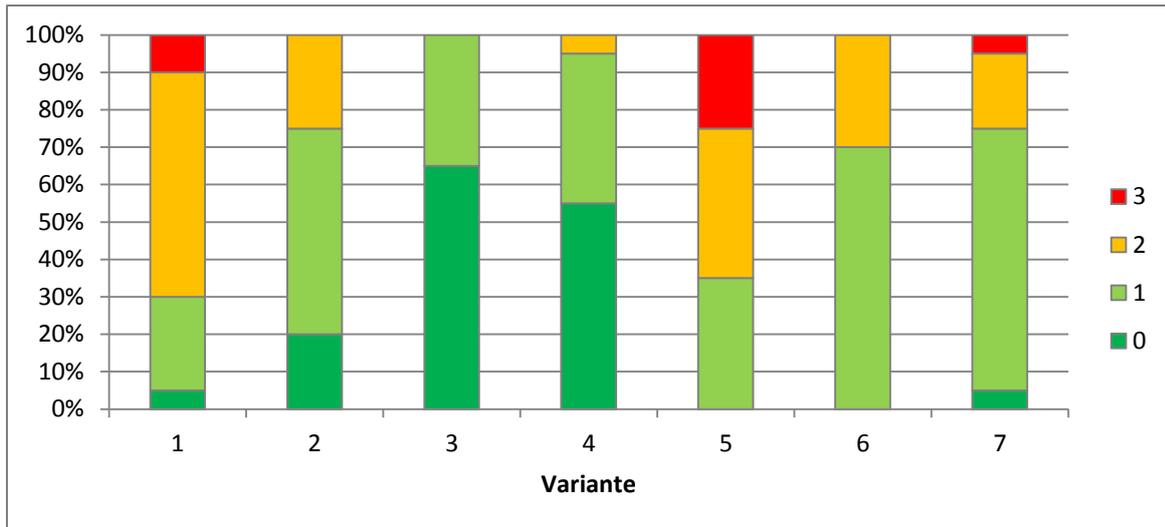
Anhang 2: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 9 Tagen, n = 20



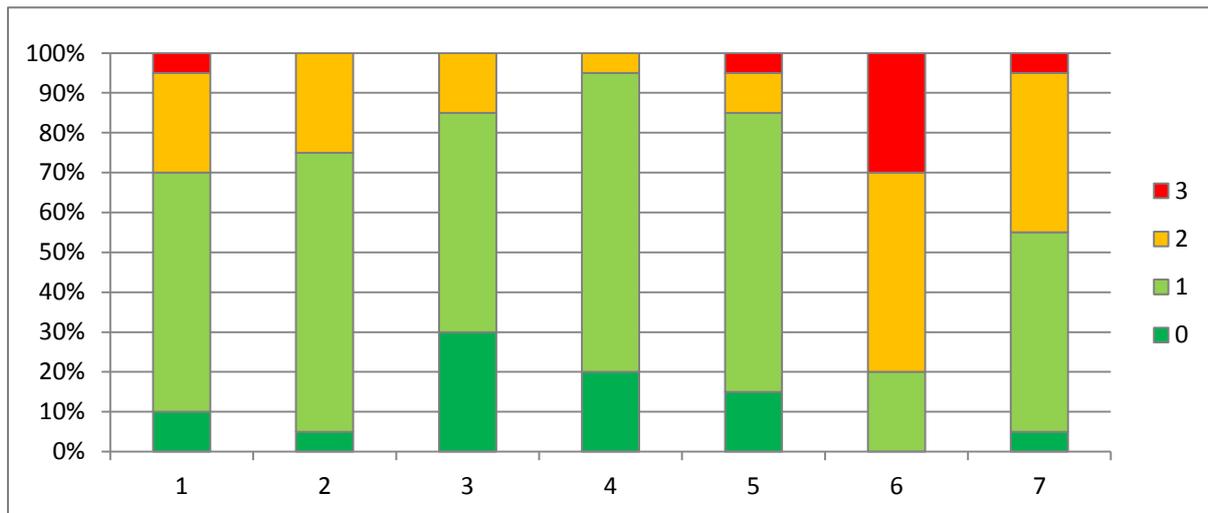
Anhang 3: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 12 Tagen, n = 20



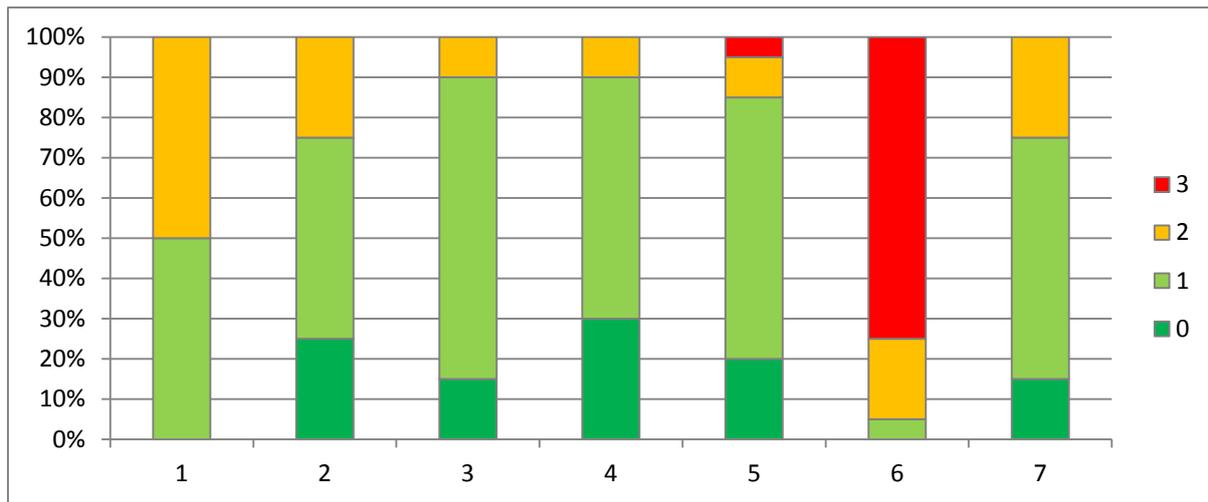
Anhang 4: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringungsmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 14 Tagen, n = 20



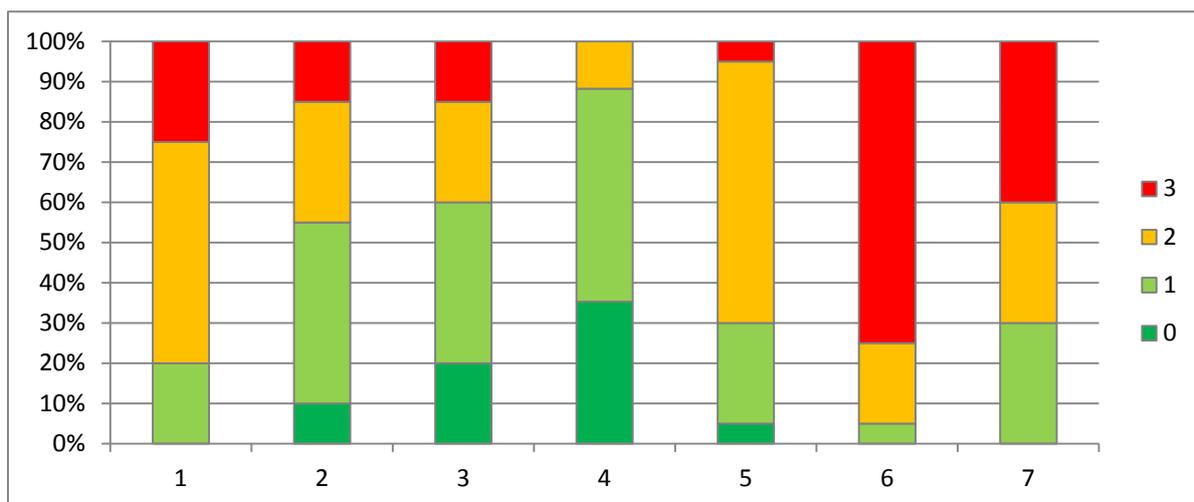
Anhang 5: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im ersten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 18 Tagen, n = 20



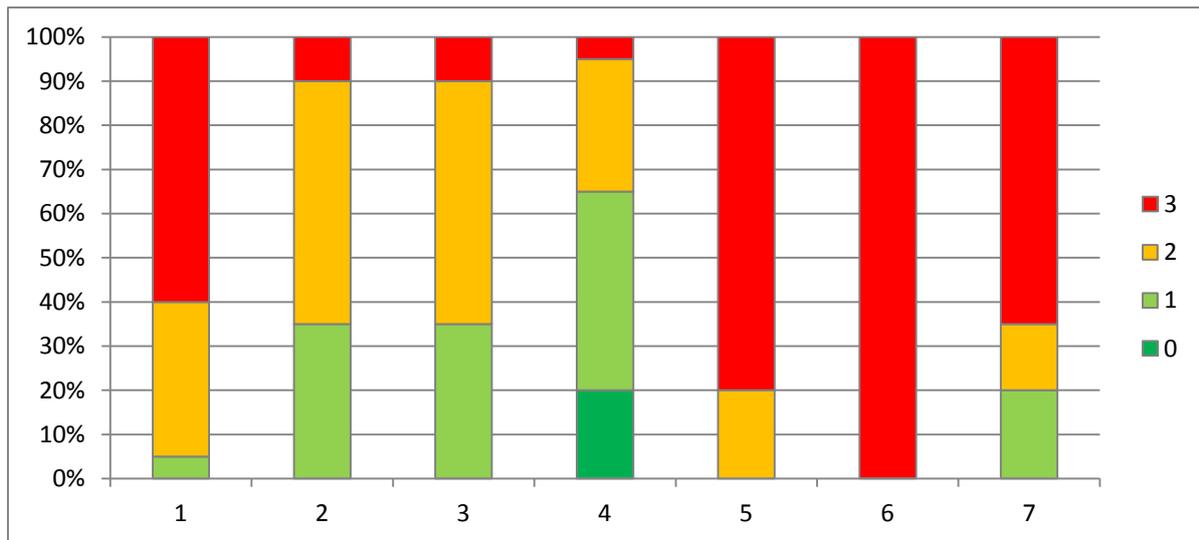
Anhang 6: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 4 Tagen, n = 20



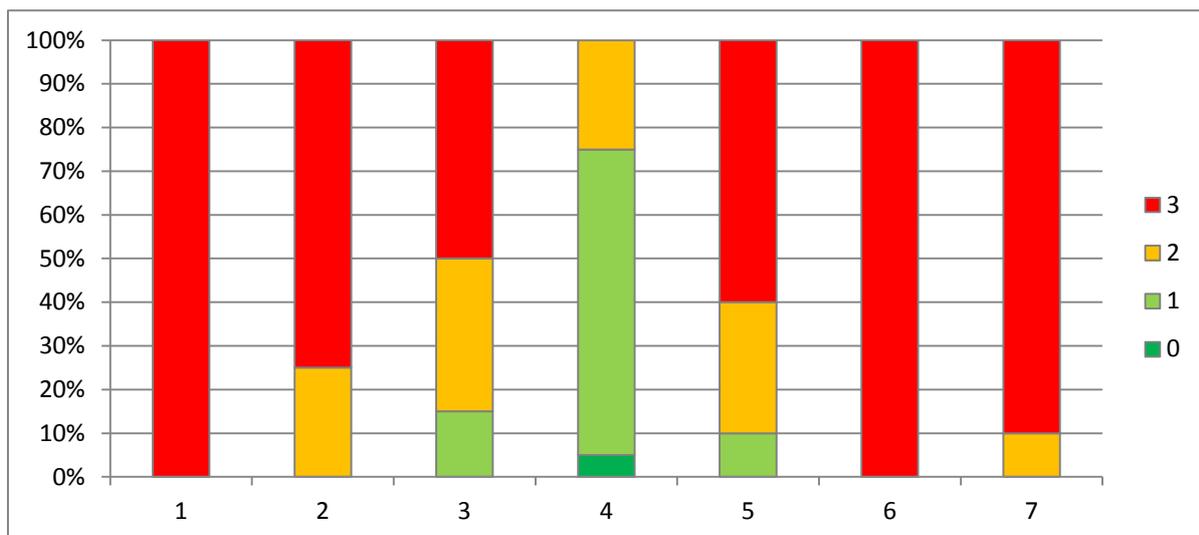
Anhang 7: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 7 Tagen, n = 20



Anhang 8: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 10 Tagen, n = 20



Anhang 9: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 14 Tagen, n = 20



Anhang 10: Befallsstärke der *Petroselinum crispum*-Pflanzen im zweiten Durchgang des Versuches zum Einfluss der Ausbringmenge von *Chrysoperla carnea* gegen *Myzus persicae* im Gewächshaus. Prozent der Töpfe mit Befall nach Boniturstufen 0-3 nach DASSONVILLE ET AL. (2012), Boniturtermin nach 18 Tagen, n = 20

## Danksagung

Meine Danksagung gilt zunächst dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und dem Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umwelt- und Standortgerechte Landwirtschaft“ der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn (USL), die das Projekt durch ihre finanzielle Förderung erst möglich gemacht haben.

Des Weiteren allen beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der INRES Abteilungen Nachwachsende Rohstoffe und Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz sowie des Campus Klein-Altendorf und allen Studenten und studentischen Hilfskräften die das Projekt tatkräftig unterstützt haben.

Besonderer Dank gilt der Bayer Crop Science AG (insbesondere Dr. Edgar Schliephake), Koppert BV (Doris Betz) sowie der Viridaxis SA (Viola Rosemeyer und Nicolas Dassonville) für die Bereitstellung der Insekten für die Untersuchungen, der Firmen Floragard Vertriebs-GmbH und Kleeschulte GmbH & Co KG für die Unterstützung mit speziellem Topfkräutersubstrat, der GHG Saaten GmbH für zertifiziertes Kräutersaatgut, dem Julius Kühn-Institut (Dr. Hans Krüger) für die Inhaltsstoffanalysen der ätherischen Öle, dem Versuchszentrum Gartenbau der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in Köln-Auweiler (Marion Ruisinger) für Expertise und Versuchsdurchführung sowie insbesondere dem von den INTEC-Betrieben der Caritas Werkstätten St. Elisabeth in Sinzig betriebenen Kräuterbetrieb Radicula für die Möglichkeit umfangreicher Versuchsdurchführung.

Für die fachliche und persönliche Betreuung in diesem umfangreichen Projekt bedanke ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Ralf Pude, Dr. Thorsten Kraska, Gisela und Carolin Sichtermann, Hanna Blum und Prof. Dr. Karl-Heinz Dehne,

Nicht möglich gewesen wäre das ganze Unterfangen ohne die unermüdliche Unterstützung durch meine Eltern, meinen Bruder und viele gute Freunde – Euch allen einen ganz besonderen Dank!