

**Einsatz von Nützlingskombinationen gegen Blattläuse  
und Thripse im Gemüsebau unter Glas**

Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades eines

**DOKTORS DER GARTENBAUWISSENSCHAFTEN**

- Dr. rer. hort. -

genehmigte Dissertation

von

**Dipl.-Ing. agr. Jürgen Wiethoff**

geboren am 31.08.1973, in Lennestadt

2005

Referent: Prof. Dr. Hans-Michael Poehling

Korreferent: Dr. Martin Hommes

Tag der Promotion: 27. April 2005

## Zusammenfassung

### Einsatz von Nützlingskombinationen gegen Blattläuse und Thripse im Gemüsebau unter Glas

Im Unterglasanbau von Gemüse werden häufig Kombinationen verschiedener Nützlinge eingesetzt. Die Kompatibilität der verschiedenen Antagonisten und der Gesamteffekt auf die Schaderregerentwicklung wurde bisher jedoch nur selten quantifiziert. Ziel dieser Arbeit war daher zu überprüfen (1) ob sich der Bekämpfungserfolg durch Parasitoid-Prädator-Kombinationen gegen *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) auf Paprika im Vergleich zum Einsatz von nur einer Nützlingsart verbessern lässt, (2) ob durch die Kombination einer pflanzenbewohnenden und einer bodenbürtigen Raubmilbenart gegen *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) auf Gurke im Vergleich zum Einsatz von nur einer Raubmilbenart eine höhere Effizienz erreicht werden kann und (3) inwieweit die in Parzellenversuchen gewonnenen Erkenntnisse zum kombinierten Nützlingseinsatz gegen *M. persicae* und *F. occidentalis* unter Praxisbedingungen in einem kommerziell betriebenen Gewächshaus verifiziert werden können.

In Parzellenversuchen mit *M. persicae* konnte durch die zeitgleiche Ausbringung des Parasitoiden *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) mit den Räubern *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) bzw. *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) und den alleinigen Einsatz von *A. colemani* die Populationsdichte von *M. persicae* signifikant verringert werden. Die Wirkungen der Gegenspielerkombinationen waren nicht-additiv, konnten aber im Vergleich zum alleinigen Einsatz der Schlupfwespe als tendenziell besser eingestuft werden. Der alleinige Einsatz einer Räuberart konnte die Populationsentwicklung der Blattlaus nur wenig beeinflussen. In beiden Kombinationsvarianten kam es allerdings zu Interaktionen (Intraguild Predation) zwischen den Antagonisten, wodurch die Bildung von Blattlausmumien in Anwesenheit des Räubers verringert wurde. Daraufhin wurden weitere Parzellenversuche zur Optimierung der Blattlausbekämpfung durch zeitversetztes Ausbringen der Antagonisten durchgeführt. Als besonders effizient erwies sich dabei die Ausbringung des Parasitoiden *A. colemani* einige Tage vor der Gallmücke *A. aphidimyza*. Die Kombination von *A. colemani* mit *C. carnea* erwies sich hingegen in allen Fällen als vergleichsweise weniger effizient. Die Effekte des zeitversetzten Nützlingseinsatzes auf die Mumienbildung konnten in den Versuchen nicht abschließend beurteilt werden.

In Untersuchungen zur Bekämpfung von *F. occidentalis* wurde die Kombinationswirkung der pflanzenbewohnenden Raubmilbe *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) in Kombination mit der Bodenraubmilbe *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspisidae) im Vergleich zur Einzelwirkung der Raubmilben in zwei Parzellenversuchen getestet. Die Antagonisten wurden zweimalig in einer Dichte von 45,83 *A. cucumeris*/m<sup>2</sup> und 208,33 *H. aculeifer*/m<sup>2</sup> (Versuch mit geringer Dichte) bzw. 520,83 *H. aculeifer*/m<sup>2</sup> (Versuch mit hoher Dichte) eingesetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass *H. aculeifer* die Population von *F. occidentalis* nur nach Einsatz in hohen Dichten signifikant reduzieren konnte. Die besten Bekämpfungserfolge wurden durch den alleinigen Einsatz von *A. cucumeris* und die Kombination beider Raubmilbenarten erzielt. Durch den gemeinsamen Einsatz der Antagonisten konnte keine verbesserte Wirkung im Vergleich zum Einsatz von *A. cucumeris* alleine erzielt werden (nicht-additiver Effekt). Dieses Phänomen lässt sich durch eine Nahrungskonkurrenz zwischen beiden Raubmilbenarten erklären. Im Boden unter den Versuchspflanzen konnten eine Reihe natürlich vorkommender Raubmilbenarten, sowie Alternativbeutearten (v.a. Collembolen) festgestellt werden. Insgesamt schien die Verfügbarkeit von Alternativbeute die Thripsprädatorenrate von *H. aculeifer* beeinflusst zu haben, während der Anteil der natürlich vorkommenden Bodenraubmilbenarten an der Thripsbekämpfung als gering einzuschätzen war.

Da ein spontaner Blattlausbefall auf Paprika im kommerziell betriebenen Gewächshaus nur in einem Versuchsjahr auftrat konnten die Erkenntnisse aus den Parzellenversuchen mit *M. persicae* nicht wie geplant unter Praxisbedingungen getestet werden. Allerdings konnte dieser Befall erfolgreich durch den Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* reduziert werden. Auf Gurke konnte ein jährlich geringer werdender Thripsbefall festgestellt werden. Ob dieser Effekt hauptsächlich auf dem kombinierten Einsatz von pflanzenbewohnenden und bodenbürtigen Raubmilbenarten beruhte kann nicht abschließend beurteilt werden.

Schlagnworte: Nützlingskombinationen, Biologische Bekämpfung, Interspezifische Interaktionen, Intraguild Predation, Nahrungskonkurrenz

## Summary

### **Combined use of natural enemies against aphids and thrips in greenhouse vegetables**

In greenhouses biological control efforts are often based on the combined use of different natural enemies. Nevertheless, the compatibility of specific antagonists as well as the overall efficiency has rarely been quantified. Therefore, the aim of this study was to investigate (1) whether efficiency can be enhanced by using two parasitoid-predator-combinations against *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on sweet pepper compared to the single release of the antagonists, (2) whether the combination of a plant-inhabiting and a soil-dwelling predatory mite species is more efficient to combat *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) on cucumber than single applications, and (3) how far the results of the plot trials on the combined use of natural enemies against *M. persicae* and *F. occidentalis* can be verified under commercial growing conditions.

In plot trials with *M. persicae* the use of the parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) in combination with the predators *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) and *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) respectively, as well as the single application of *A. colemani* reduced the population density of *M. persicae* significantly. The effects of the antagonist combinations were non-additive but the impact on the aphid mortality was slightly higher compared to the release of the parasitoid alone. Least efficient were treatments with single applications of a predator. In both parasitoid-predator-combinations interactions (intraguild predation) could be observed, which reduced the number of aphid mummies in the presence of the predator significantly. Therefore, additional plot trials were carried out to optimize the biological control of aphids by releasing the antagonists asynchronously. Releasing the parasitoid *A. colemani* a few days before the predator *A. aphidimyza* was the most efficient treatment against the aphid *M. persicae*. In contrast, the efficiency of the combined use of *A. colemani* and *C. carnea* was lower in all treatments compared to synchronous release. The impacts of the asynchronous release of the natural enemies on the development of aphid mummies (IGP) could not be assessed in these experiments.

In two plot trials on the biological control of *F. occidentalis* the efficacy of the combined use of the plant-inhabiting predatory mite *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae) in combination with the soil-dwelling predatory mite *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspidae) was compared to the impact of single release of the antagonist species. The predatory mites were released twice in a density of 45.83 *A. cucumeris*/m<sup>2</sup>, and 208.33 *H. aculeifer*/m<sup>2</sup> (low-density experiment) and 520.83 *H. aculeifer*/m<sup>2</sup> (high-density experiment). The results showed that *H. aculeifer* alone had a significant impact on thrips population development only when released at high densities, but competence was lower compared to the other antagonist treatments. The impact of *A. cucumeris* alone and *A. cucumeris* combined with *H. aculeifer* was similar. Thus, the combined use of natural enemies did not boost thrips control compared to the single species release of *A. cucumeris* (non-additive effect), which could be explained by resource competition between both predatory mite species. Additionally the biodiversity of soil dwelling arthropods was high in the experimental plots. Among others, predatory mite species as well as alternative prey species (mainly Collembola) were most important. Finally, the availability of alternative prey species seemed to affect the thrips predation rate of *H. aculeifer* while the impact of naturally occurring soil predatory mites on the control of *F. occidentalis* seemed to be low.

Unfortunately aphid infestation in the commercial greenhouse occurred only in a single year within the time frame of this investigation. Therefore, the results of the plot trials on the biological control of *M. persicae* could be verified only partially in commercial growing situations. Nevertheless, the aphids were successfully reduced by the combined application of *A. colemani* and *C. carnea*. On cucumber thrips infestation declined annually. However, it could not be concluded finally whether this effect was based on the combined use of plant-inhabiting and soil-dwelling predatory mite species or lower infestation rates with thrips over the years.

Key words: natural enemy combinations, biological control, interspecific interactions, intraguild predation, resource competition

---

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einsatz von Parasitoid-Prädator-Kombinationen zur Bekämpfung von <i>Myzus persicae</i> (Sulzer) (Homoptera: Aphididae)<sup>1</sup></b>	<b>8</b>
2.1	Einleitung	8
2.2	Material und Methoden	11
2.2.1	Versuchsaufbau und Anzucht der Versuchsorganismen	11
2.2.2	Versuchsdurchführungen zum zeitgleichen Einsatz von Parasitoid und Prädator (2000)	14
2.2.3	Versuchsdurchführungen zum zeitlich gestaffelten Einsatz von Parasitoid und Prädator (2001)	15
2.2.4	Statistische Auswertung	16
2.3	Ergebnisse	19
2.3.1	Zeitgleicher Einsatz von <i>A. colemani</i> und <i>A. aphidimyza</i> (2000)	19
2.3.2	Zeitgleicher Einsatz von <i>A. colemani</i> und <i>C. carnea</i> (2000)	23
2.3.3	Zeitlich versetzter Einsatz von <i>A. colemani</i> und <i>A. aphidimyza</i>	26
2.3.4	Zeitlich versetzter Einsatz von <i>A. colemani</i> und <i>C. carnea</i>	28
2.3.5	Populationswachstumsraten von <i>M. persicae</i>	30
2.3.6	Klimatische Bedingungen	32
2.4	Diskussion	36
<b>3</b>	<b>Kombinierter Einsatz von pflanzenbewohnenden Raubmilben und Bodenraubmilben zur Bekämpfung von <i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande (Thysanoptera: Thripidae)<sup>2</sup></b>	<b>46</b>
3.1	Einleitung	46
3.2	Material und Methoden	49
3.2.1	Anzucht von <i>F. occidentalis</i> und Vorbereitung der Raubmilben	49
3.2.2	Versuchsaufbau und -durchführung	50
3.2.3	Statistische Auswertung	54
3.3	Ergebnisse	55
3.3.1	Einsatz von <i>H. aculeifer</i> in einer geringen Dichte (2001)	55
3.3.2	Einsatz von <i>H. aculeifer</i> in einer hohen Dichte (2002)	61
3.3.3	Klimatische Bedingungen	66
3.4	Diskussion	69

<b>4</b>	<b>Monitoring von Thrips- und Blattlauspopulationen und Einsatz von Nützlingskombinationen im kommerziellen Unterglasanbau von Gemüse</b>	<b>78</b>
4.1	Einleitung	78
4.2	Material und Methoden	80
4.2.1	Kulturflächen unter Glas	80
4.2.2	Boniturschema	82
4.2.3	Biologische und chemische Pflanzenschutzmaßnahmen	83
4.2.4	Auswertungsmethoden	88
4.3	Ergebnisse	92
4.3.1	Monitoring von Thripsen im Gurkenbestand	92
4.3.2	Monitoring von Thripsen im Paprikabestand	103
4.3.3	Räumliche Verteilung von Thripsen	114
4.3.4	Notwendiger Stichprobenumfang zum Monitoring von Thripsen	124
4.3.5	Einsatz von Raubmilben gegen Thripse in Gurke und Paprika	125
4.3.6	Artenspektrum, Dominanzverteilung und Diversität von Bodenraubmilben (Gamasina)	126
4.3.7	Monitoring von Blattläusen im Paprikabestand	129
4.3.8	Räumliche Verteilung von Blattläusen und notwendiger Stichprobenumfang zum Monitoring von Blattläusen	130
4.4	Diskussion	132
4.4.1	Thripse	132
4.4.2	Blattläuse	148
4.4.3	Schlussfolgerungen	154
<b>5</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>156</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>163</b>
<b>7</b>	<b>Danksagung</b>	<b>186</b>

---

<sup>1</sup> nach: Wiethoff, J., Meyhöfer, R. & Poehling, H.-M. 2002. Einsatz von Nützlingskombinationen bei der biologischen Bekämpfung von *Myzus persicae* (Sulzer) (Hom.: Aphididae) an Paprika im Unterglasanbau. *Gesunde Pflanzen* 54, 126-137.

<sup>2</sup> nach: Wiethoff, J., Poehling, H.-M. & Meyhöfer, R. 2004. Combining plant- and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. *Experimental and Applied Acarology* 34, 239-261.

## 1 Einleitung

In der biologischen Schädlingsbekämpfung werden natürliche Gegenspieler eingesetzt um Schaderregerpopulationen einzugrenzen. Zu diesem Zweck können z.B. räuberische Insekten, räuberische Milben oder Schlupfwespen eingesetzt werden. Gegen eine Vielzahl von Schädlingen sind natürliche Gegenspieler kommerziell erhältlich und werden sowohl in Gewächshäusern als auch im Freiland verwendet. Häufiger wird biologischer Pflanzenschutz aber in Gewächshäusern betrieben, da sie im ökologischen Sinne verhältnismäßig geschlossene Lebensräume darstellen und somit gute Voraussetzungen für die biologische Kontrolle von Schaderregern bieten (Starý, 1993). Des Weiteren sind die ökonomischen Voraussetzungen für den biologischen Pflanzenschutz besser, da der Verbraucher verstärkt Produkte (insbesondere Gemüse) nachfragt, die nicht chemisch behandelt wurden. Außerdem treten beim chemischen Pflanzenschutz Probleme auf (z.B. Wartezeiten, phytotoxische Effekte), die bei biologischen Bekämpfungsstrategien nicht vorkommen. In Europa ist die Möglichkeit der biologischen Bekämpfung von Schadorganismen seit 1900 bekannt. Der kommerzielle Einsatz von natürlichen Gegenspielern erfolgt hier allerdings erst seit 1968 (van Lenteren et al., 1997). Vor allem durch den Wegfall von breitwirksamen Pflanzenschutzmitteln hat der Nützlingseinsatz in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen (Collier & van Stehenwyk, 2004). In Europa hat sich das kommerzielle Angebot von anfänglich 2 Nützlingsarten im Jahre 1970 bis heute auf annähernd 100 Arten erhöht (van Lenteren et al., 1997; van Lenteren, 2000). In Deutschland werden zur Zeit 73 Arten von natürlichen Gegenspielern kommerziell angeboten (Bathon, 2003). Dabei stehen zur Bekämpfung einiger Schaderregerarten in der Regel mehrere Antagonistenarten zur Auswahl.

Besonders ernstzunehmende Schädlinge im Unterglasanbau sind gegenwärtig Thripse (Lewis, 1997), Weiße Fliegen (*Bemisia* spp.) (Parrella et al., 1999) und einigen Blattlausarten (Rabasse & van Steenis, 1999).

Oft handelt es sich bei den Blattläusen um Arten, die sehr wirtsspezifisch sind und nur an wenigen, meist miteinander verwandten Pflanzenarten saugen. Allerdings treten in Gewächshäusern auch einige polyphage Aphidenarten auf, die schon in

geringen Dichten zu ernsthaften Problemen führen können (Vuong et al., 2001). Zu nennen ist hier vor allem die weltweit verbreitete Grüne Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae), die aufgrund ihres weiten Wirtsspektrums von großer ökonomischer Bedeutung ist (van Emden et al., 1969). Besonders an Paprika unter Glas (Jarošík et al., 1996; van de Veire & Tirry, 1998; van de Veire et al., 1999) schädigt sie, nicht nur durch ihre Saugtätigkeit, sondern vor allem als Vektor des *Cucumber mosaic virus*, des *Potato virus Y* und des *Alfalfa mosaic virus* (Jarošík et al., 1996). *M. persicae* kann, wie die meisten Blattlausarten, aufgrund eines hohen Vermehrungspotenzials (Heinz, 1998; Vuong et al., 2001; Goh et al., 2001) und der Neigung zur Resistenzbildung gegenüber Pflanzenschutzmitteln (Starý, 1993; Jarošík et al., 1996; Vuong et al., 2001; Goh et al., 2001) chemisch nur unzureichend bekämpft werden. Zur biologischen Bekämpfung von *M. persicae* stehen aber eine Reihe von kommerziell erhältlichen natürlichen Gegenspielern zur Verfügung. Die Blattlausantagonisten lassen sich dabei in Parasitoide und Prädatoren einteilen. Die Schlupfwespe *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae), ein solitärer Endoparasitoid von ca. 41 Blattlausarten (Starý, 1975), der auch *M. persicae* parasitiert (Starý, 1993; van Schelt 1994; Grasswitz, 1998; van de Veire & Tirry, 1998), wird bereits erfolgreich gegen diese Blattlausart eingesetzt (Grasswitz & Reese, 1998; Toussidou et al., 1999). Dennoch sind auch Probleme bei der Bekämpfung von *M. persicae* mit *A. colemani* nicht selten (Toussidou et al., 1999). Für eine effiziente Bekämpfung muss eine gute Synchronisation zwischen Schädling und Nützling erreicht werden. So wird empfohlen Schlupfwespen schon zu Saisonbeginn in kurzen zeitlichen Intervallen auszubringen, da eine parasitierte adulte Blattlaus noch für einige Tage Nachkommen produzieren kann, die Lebenserwartung von *A. colemani* aber verhältnismäßig kurz ist (van Schelt, 1994).

Als Prädatoren von Aphiden werden häufig die räuberischen Larven der Florfliege *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) und der Gallmücke *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) eingesetzt. Bei den Larven von *C. carnea* handelt es sich um polyphage Prädatoren, die neben Blattläusen beispielsweise auch Eier und Larven von Lepidopteren, Thripsen, Schildläusen und Milben erbeuten können (Bansod & Sarode, 2000). In Untersuchungen zum Einsatz von *C. carnea* gegen *M. persicae* auf Paprika unter Glas konnten bereits Tulisalo & Tuovinen (1975) und Tulisalo et al. (1977) durch die Aus-

bringung von Florfliegeneiern und Hassan (1977) durch den Einsatz von L<sub>2</sub>-Larven Bekämpfungserfolge erzielen. Die Effizienz von *C. carnea* ist allerdings abhängig vom eingesetzten Entwicklungsstadium. Beim Einsatz von Eiern beträgt der Zeitraum bis zum Erreichen des effektiven dritten Larvenstadiums, in Abhängigkeit von der Temperatur, etwa 10 bis 15 Tage, was im Vergleich zu einer schnell wachsenden Blattlauspopulation relativ lang ist (Quentin et al., 1995). Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass sich *C. carnea* im Gewächshaus zwar bis zur Imago entwickeln, aber nicht ausreichend vermehren kann (Tulisalo & Tuovinen, 1975). Auch suchen die Larvenstadien von *C. carnea* befallene Pflanzen nicht sehr gründlich nach Blattläusen ab, sondern wandern auf neue Pflanzen über, ohne das Beuteangebot der alten Pflanze aufgebraucht zu haben (eigene Beobachtungen).

Im Gegensatz zu *C. carnea* ernähren sich die räuberischen Larvenstadien von *A. aphidimyza* ausschließlich von Blattläusen (Harris, 1973). In Gewächshäusern hat sich dieser Räuber ebenso wie *C. carnea* schon seit einigen Jahren bewährt. Markkula & Tiittanen (1980) berichten beispielsweise von Bekämpfungserfolgen gegen Blattläuse in Gemüsekulturen unter Glas. Die Wirksamkeit von *A. aphidimyza* wird allerdings dadurch eingeschränkt, dass die Larven unter Kurztagbedingungen in eine Diapause eintreten (Hofsvang & Hagvar, 1982) und die Kopula, die Eiablage und die Eientwicklung von einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit (> 80%) abhängig sind (Quentin et al., 1995).

Ein gemeinsamer Einsatz von Parasitoid und Prädator könnte aufgrund der unterschiedlichen Verhaltensweisen bei der Wirts- bzw. Beutesuche zu einer Verbesserung des Bekämpfungserfolges gegen *M. persicae* führen. Zusätzlich kann durch den Einsatz von Prädatoren ein guter Soforteffekt erwartet werden, während sich Parasitoide beispielsweise durch eine längerfristige Etablierung im Gewächshaus auszeichnen. Die Kombination dieser Einzeleffekte kann sich positiv auf die Gesamteffizienz des gemeinsamen Einsatzes von Parasitoid und Prädator auswirken. In Kapitel 2 sind Ergebnisse des Einsatzes von Parasitoid-Prädator-Kombinationen zur Blattlausbekämpfung dargestellt und werden näher diskutiert.

In Europa galt bis in die frühen 80er Jahre der Zwiebelthrips *Thrips tabaci* Lind. (Thysanoptera: Thripidae) als die vorherrschende Thripsart, die gelegentlich zu

Problemen führte (van Lenteren & Loomans, 1998). Seit seinem ersten Erscheinen in Europa im Jahr 1983 entwickelte sich dann der Kalifornische Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) zu einem der wichtigsten Schadinsekten (Michelakis & Amri, 1997; van Lenteren & Loomans, 1998). Diese sehr polyphage Thripsart kommt in Europa hauptsächlich im Gewächshaus vor (Tommasini & Maini, 1995) und verursacht hier beachtenswerte Ertragseinbußen (Sampson, 1998). Vor allem schädigt *F. occidentalis* im geschützten Anbau von Paprika (Shipp & Whitefield, 1991; van Houten & van Stratum, 1993; Sanchez et al., 1997; van de Veire & Tirry, 1998; Shipp et al., 1999) und Gurke (Jacobson, 1995; van Houten, 1996; van Houten & van Lier, 1996; Mulder et al., 1999; Shipp et al., 1999; Jacobson et al., 2001). Durch Saugtätigkeit und Eiablage können an Früchten direkte Schäden entstehen (Tommasini & Maini, 1995; Shipp et al., 1996), während es durch Saugen an Blüten und Blättern (Steiner, 1990; Shipp et al., 1996) sowie durch die Übertragung des *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) (Mollema et al., 1995) zu indirekten Schäden kommen kann. Der Thripsbefall auf Blättern kann sich nachteilig auf die Blattgröße und die Photosyntheserate auswirken, was unter Umständen zu einer Verringerung des Ertrages führt (Welter et al., 1990; Shipp et al., 1998). Bei jungen Gurkenfrüchten können durch den Befall mit *F. occidentalis* nekrotische Flecken und Verformungen hervorgerufen werden, wodurch wiederum die Marktfähigkeit deutlich reduziert wird (Rosenheim et al., 1990). Die Bekämpfung von *F. occidentalis* durch chemische Pflanzenschutzmittel ist, aufgrund der Ausbildung von Insektizidresistenzen (Immaraju et al., 1992; Robb et al., 1995; Mollema et al., 1995; van Lenteren & Loomans, 1998), der versteckten Lebensweise (Robb & Parrella, 1995; Michelakis & Amri, 1997; Lewis, 1997) und der Präferenz von *F. occidentalis* zur Verpuppung den Boden aufzusuchen (Lewis, 1997; Wang & Shipp, 2001; Berndt et al., 2004a), problematisch.

Wie bei den Aphiden stehen auch zur biologischen Bekämpfung von Thripsen eine Reihe von kommerziell erhältlichen Nützlingen zur Verfügung. Zur Thripsbekämpfung im Gewächshaus scheinen sich dabei polyphage Prädatoren am besten zu eignen (de Courcy Williams, 2001). Daher werden besonders häufig Raubmilben (Phytoseiidae) der Gattung *Amblyseius* und Raubwanzen (Anthocoridae) der Gattung *Orius* (Riudavets, 1995; van Lenteren & Loomans, 1998) vor allem im Gurken- und Paprikaanbau eingesetzt (Jacobson, 1997; van Lenteren & Loomans,

1998). Am häufigsten wird *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) zur biologischen Thripsbekämpfung verwendet (Gillespie, 1989; de Courcy Williams, 2001; Bennison et al., 2002a). Diese pflanzenbewohnende, kosmopolitische Raubmilbenart (Karg, 1994; Riudavets, 1995) hat allerdings bisher sowohl zu Erfolgen als auch zu Fehlschlägen geführt (Riudavets, 1995). Misserfolge lassen sich unter anderem darauf zurückführen, dass adulte *A. cucumeris* nur in der Lage sind L<sub>1</sub>-Larven von Thripsen zu erbeuten, da ältere Entwicklungsstadien und adulte Tiere von *A. cucumeris* nicht überwältigt werden können (Bakker & Sabelis, 1989). Zusätzlich ist die Effizienz von *A. cucumeris* abhängig von der Verfügbarkeit von Pollen, der zur Reproduktion benötigt wird (Altena & Ravensberg, 1990). Daher konnten, durch die gute Pollenverfügbarkeit, in Paprika bisher bessere Bekämpfungserfolge gegen *F. occidentalis* erzielt werden als in Gurke (Riudavets, 1995). Insgesamt bleibt der Bekämpfungserfolg durch *A. cucumeris* häufig nur schwer kalkulierbar (van Houten, 1996). Neben dem Einsatz von *A. cucumeris* ist deshalb eine spezifischere Methode zur biologischen Bekämpfung von *F. occidentalis* notwendig (Ramakers, 1987; Altena & Ravensberg, 1990).

Eine Möglichkeit für eine effizientere Bekämpfung liegt im Einsatz von Bodenraubmilben. Seit jüngerer Zeit werden, zusätzlich zu den pflanzenbewohnenden Antagonisten, Bodenraubmilben der Gattung *Hypoaspis* als natürliche Gegenspieler von bodenbürtigen Thripsstadien empfohlen (van Lenteren & Loomans, 1998; Linnamäki et al., 1998). Bei den zur Verfügung stehenden Raubmilbenarten *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspididae) und *Hypoaspis miles* (Berlese) (Acarina: Hypoaspididae) handelt es sich um polyphage Prädatoren, die sowohl Insekten und Milben als auch Nematoden und Enchyträen in der oberen Bodenschicht erbeuten (Sardar & Murphy, 1987; Glockemann, 1992; Karg, 1994). In verschiedenen Untersuchungen konnte bereits eine Eignung der *Hypoaspis*-Raubmilben zur biologischen Bekämpfung von Trauermücken (Sciaridae) (Gillespie & Vernon, 1990; Chambers et al., 1993; Ydergaard et al., 1997) und von *H. aculeifer* zur Bekämpfung von Zwiebelmilben der Gattung *Rhizoglyphus* (Acari: Astigmata) (Zedan, 1988; Conijn et al., 1993; Lesna et al., 1995; Lesna et al., 1996) festgestellt werden. In zunehmenden Maße werden *H. aculeifer* und *H. miles* aber auch zur Unterstützung anderer Antagonisten von *F. occidentalis* in Gewächshäusern eingesetzt (Bennison et al., 2002b). Von bei-

den *Hypoaspis*-Arten ist bekannt, dass sie bodenbürtige Thripsentwicklungsstadien erbeuten können (Gillespie & Quiring, 1990; Glockemann, 1992; Brødsgaard et al., 1996; Berndt et al., 2004b). Allerdings besitzt *H. aculeifer* im Vergleich zu *H. miles* ein höheres Bekämpfungspotenzial gegenüber *F. occidentalis* (Glockemann, 1992; Klingebeitl, 2003; Berndt et al., 2004a). Bisher fehlen jedoch wesentliche Daten über die Thripsbekämpfungseffizienz von *H. aculeifer* allein und in Kombination mit *A. cucumeris* im Gewächshaus.

Im Gegensatz zu Nützlingen an oberirdischen Pflanzenteilen werden die Bodenraubmilben jedoch in ein komplexeres Nahrungsgefüge freigelassen. Dazu gehören andere Mikroarthropoden, wie Milben und Collembolen, die in den meisten Böden ständig präsent sind (Crossley Jr. et al., 1992). Da in der vorliegenden Untersuchung die Gewächshäuser direkt über ackerbaulich genutzten Boden errichtet wurden und es zwischenzeitlich zu keiner chemischen oder thermischen Bodenbehandlung gekommen war, wird die Bewertung der Effizienz der Bodenraubmilben durch die natürlich vorkommende Bodenfauna erschwert. Neben Collembolen, die eine Nahrungsressource für Bodenraubmilben darstellen (Crossley Jr. et al., 1992; Berg et al., 1998; Ferguson, 2001) und so als Alternativbeute das Fraßverhalten der eingesetzten Bodenraubmilben beeinflussen können, kommen in ackerbaulich genutzten Böden auch andere Raubmilbenarten vor, die ein relativ weites Nahrungsspektrum aufweisen (Koehler, 1999) und somit ein Reservoir an potenziellen Thripsantagonisten darstellen. Deshalb sollte die Effizienz der eingesetzten Bodenraubmilben gegenüber Thripsen nicht ohne Berücksichtigung der natürlich vorkommenden Bodenfauna beurteilt werden.

Insgesamt verspricht der gemeinsame Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* eine umfassendere Bekämpfung von *F. occidentalis*, bei der sowohl auf oberirdischen Pflanzenteilen als auch im Boden befindliche Entwicklungsstadien von Thripsen bekämpft werden können. Ergebnisse zum gemeinsamen Einsatz dieser Räuberarten werden in Kapitel 3 erläutert.

Sowohl bei der Bekämpfung von *F. occidentalis* als auch von *M. persicae* birgt der alleinige Einsatz von nur einer der oben vorgestellten Antagonistenarten Risiken und Nachteile hinsichtlich der Bekämpfungssicherheit. Aus diesem Grund werden in der Praxis häufig mehreren Nützlingsarten gleichzeitig eingesetzt. Um die Bekämpfungseffizienz von kombinierten Nützlingsarten im Vergleich zu nur einer

Nützlingsart zu erhöhen, müssen die verwendeten Arten hinsichtlich möglicher wechselseitiger Beeinflussungen miteinander kompatibel sein (Meyling et al., 2002). Einen Einfluss auf die Kompatibilität von Antagonistenkombinationen haben beispielsweise direkte interspezifische Interaktionen wie Intraguild Predation (IGP) oder indirekte interspezifische Interaktionen, wie z.B. die Konkurrenz um Nahrung. Als IGP werden interspezifische Wechselbeziehungen bezeichnet, bei denen verschiedene Antagonistenarten um die gleiche Beute konkurrieren und es gleichzeitig zu räuberischen Interaktionen zwischen den Antagonisten kommt (Polis et al., 1989; Rosenheim et al., 1995). Dabei wird der Aggressor als Intraguild-Räuber, das Opfer aus der selben trophischen Ebene als Intraguild-Beute und die gemeinsame Ressource als Extraguild-Beute bezeichnet (Lucas et al., 1998). Bisher wurden Effekte von interspezifischen Interaktionen hauptsächlich in Laborstudien überprüft. Daher sollte in dieser Arbeit die Kompatibilität von kombinierten Antagonisteneinsätzen unter praxisnahen Bedingungen untersucht werden. Im Folgenden werden die Einflüsse von IGP auf die Gesamteffizienz von kombinierten Antagonisteneinsätzen in Kapitel 2 erläutert, während in Kapitel 3 die Effekte von indirekten Interaktionen beim Einsatz von Nützlingskombinationen diskutiert werden.

Ziel dieser Arbeit war die Möglichkeit einer Optimierung der biologischen Bekämpfung von *F. occidentalis* bzw. *M. persicae* durch die Kombination von pflanzenbewohnenden Raubmilben und Bodenraubmilben bzw. von Prädator und Parasitoid zu untersuchen. Bei der Bekämpfung von *F. occidentalis* wurde dabei der natürlich vorkommenden Bodenfauna besondere Beachtung geschenkt. Zusätzlich zu Parzellenversuchen unter standardisierten Bedingungen wurde versucht, die Blattlaus- und Thripsbekämpfung unter Praxisbedingungen anhand der Erkenntnisse aus den Parzellenversuchen zu optimieren. Dazu wurde über einen Zeitraum von drei Anbaujahren ein Schaderreger- und Nützlingsmonitoring in kommerziell angebauten Paprika- und Gurkenkulturen durchgeführt (Kapitel 4).

## 2 Einsatz von Parasitoid-Prädator-Kombinationen zur Bekämpfung von *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae)<sup>1</sup>

### 2.1 Einleitung

Da gegen viele Schädlingsarten mehr als eine Gegenspielerart kommerziell erhältlich ist (Bathon, 2003), werden in der Praxis häufig Kombinationen aus verschiedenen Gegenspielerarten eingesetzt. Gegenüber dem Einsatz von einzelnen Antagonistenarten kann der Einsatz von Gegenspielerkombinationen zwei entscheidende Vorteile bieten: (1) eine erhöhte Bekämpfungseffizienz und/oder (2) eine erhöhte Wirkungssicherheit in der Bekämpfung. Viele Gärtner und Pflanzenschutzberater greifen bei der Auswahl geeigneter Kombinationen auf Erfahrungswerte zurück. Aufgrund der Vielzahl von Gegenspielerarten, den daraus resultierenden Kombinationsmöglichkeiten und der geringen Anzahl von wissenschaftlich gesicherten Ergebnissen, können zur Zeit aber noch keine allgemeingültigen Empfehlungen zum kombinierten Nützlingseinsatz ausgesprochen werden.

Generell kann sich allerdings ein kombinierter Einsatz von zwei Antagonisten unterschiedlich auf die Populationsentwicklung des Schaderregers auswirken. Der Erfolg der biologischen Bekämpfung kann verbessert werden, wenn sich beide Gegenspieler in einer synergistischen oder additiven Weise ergänzen. Allerdings kann auch ein nicht-additiver Effekt zur Verbesserung des Bekämpfungserfolges führen, falls die Mortalität der Schädlingspopulation höher ist als die Mortalität, die durch den alleinigen Einsatz eines einzelnen der beiden Antagonisten hervorgerufen wurde. Im Gegensatz dazu kann der gemeinsame Einsatz von natürlichen Gegenspielern auch zu einer Verschlechterung der biologischen Bekämpfung führen. Dies ist dann der Fall, wenn Interaktionen zwischen den Nützlingen auftreten, die zu einer geringeren Schaderregermortalität führen, als die Mortalität, die durch den Einsatz von nur einem Antagonisten hervorgerufen wird (nicht-additiver Effekt) (Ferguson & Stiling, 1996).

---

<sup>1</sup> nach: Wiethoff, J., Meyhöfer, R. & Poehling, H.-M. 2002. Einsatz von Nützlingskombinationen bei der biologischen Bekämpfung von *Myzus persicae* (Sulzer) (Hom.: Aphididae) an Paprika im Unter-glasanbau. *Gesunde Pflanzen* 54, 126-137.

Das Ergebnis einer gemeinsamen Freilassung von natürlichen Gegenspielern ist besonders abhängig von dem Fraßverhalten der verschiedenen Antagonisten. Der kombinierte Einsatz der Raubwanze *Orius majusculus* (Reuter) (Heteroptera: Anthocoridae) mit der Raubmilbe *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) führte beispielsweise zu einem verzögerten Bekämpfungserfolg gegenüber der Spinnmilbe *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). Als Grund hierfür wurde von Brødsgaard & Enkegaard (1995) das Vorkommen von Intraguild Predation (IGP) zwischen *O. majusculus* und *P. persimilis* angegeben. Im Gegensatz dazu konnte Chang (1996) nach synchronem Einsatz der Florfliege *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) (Neuroptera: Chrysopidae) mit dem Marienkäfer *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) einen additiven Effekt auf die Sterblichkeit der Schwarzen Bohnenlaus *Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae) feststellen.

Prinzipiell werden zwei Typen von IGP unterschieden. Bei einem gemeinsamen Einsatz von zwei Prädatoren kann es zu einer symmetrischen (beide Räuber können sich gegenseitig erbeuten) oder asymmetrischen (ein Räuber kann den anderen erbeuten, aber nicht umgekehrt) IGP kommen. Im Gegensatz dazu ist bei der Kombination von Parasitoid und Prädatoren nur eine asymmetrische IGP möglich, bei der der Parasitoid zur Beute des Räubers werden kann (Rosenheim et al., 1995). Dabei sind die Jugendstadien von Blattlausparasitoiden gefährdet, wenn der Prädatoren die Wirtsblattlaus angreift (Brodeur & Rosenheim, 2000; Colfer & Rosenheim, 2001). Beispielsweise konnten Colfer & Rosenheim (2001) feststellen, dass Mumien der Baumwollblattlaus *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae), in denen sich die Nachkommen des Parasitoiden *Lysiphlebus testaceipes* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae) entwickelten, von dem Marienkäfer *Hippodamia convergens* (Guerin) (Coleoptera: Coccinellidae) zu 98 – 100 % gefressen wurden. Dennoch konnte der beste Bekämpfungserfolg gegen *A. gossypii* durch den gemeinsamen Einsatz von *L. testaceipes* und *H. convergens*, im Vergleich zum alleinigen Einsatz des Parasitoiden oder des Prädatoren, erzielt werden. Die Autoren erklären dieses Phänomen damit, dass trotz des hohen Grades an IGP eine Verbesserung des Bekämpfungserfolges durch die Präferenz des Räubers für nichtparasitierte Blattläuse bei einer gleichzeitig hohen Prädationsrate der unparasitierten Blattläuse erzielt werden konnte. Im Gegensatz dazu führte der gemeinsame Einsatz der räuberischen Wanze

*Anthocoris nemoralis* (Fabricius) (Heteroptera: Anthocoridae) mit dem Parasitoiden *Psyllaephagus bliteus* Riek (Hymenoptera: Encyrtidae) gegen den Blattfloh *Glycaspis brimblecombei* Moore (Homoptera: Psylloidea), ein Schädling an Eukalyptusbäumen, zu einer schlechteren Effizienz im Vergleich zum alleinigen Einsatz von *P. bliteus*, da die Mortalität des Parasitoiden durch den Räuber zu stark erhöht wurde (Erbilgin et al., 2004). Die Effizienz einer Parasitoid-Prädator-Kombination auf eine Schaderregerpopulation kann daher insbesondere beim Vorkommen von IGP sehr unterschiedlich sein. Aus diesem Grund scheint es besonders wichtig, Räuber und Parasitoiden zu kombinieren, die sich in ihrer Bekämpfungsstrategie ergänzen und in der Gesamteffizienz verstärken.

In dem folgenden Kapitel soll der Einfluss verschiedener Kombinationen aus Parasitoid und Prädator auf den Bekämpfungserfolg der Grünen Pflirsichblattlaus *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) quantifiziert werden. *M. persicae* zählt wegen ihrer polyphagen Ernährungsweise zu den wichtigsten Schaderregern (Parrella et al., 1999) im Gewächshaus und kann sich dort, aufgrund ihrer hohen Mobilität (Kennedy et al., 1950) und des großen Vermehrungspotenzials (Heinz, 1998), sehr schnell ausbreiten. Gegen *M. persicae* werden zur Zeit vor allem der Parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae), die räuberische Florfliege *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae), die räuberische Gallmücke *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) und Raubwanzenarten kommerziell angeboten. Über den isolierten Einsatz der Antagonistenarten gibt es sowohl vielfältige wissenschaftliche Untersuchungen (Yuksel & Gocmen, 1992; Bay et al., 1993) als auch Erfahrungen aus der Praxis. Im Gegensatz dazu ist der kombinierte Einsatz der Blattlausgegenspieler bisher nur in Laborversuchen quantifiziert worden (Meyhöfer et al., unveröff.). Diese Laborergebnisse zeigen, dass es zwischen *A. colemani* und beiden Räuberarten durchaus zu Wechselbeziehung kommen kann, die unter Umständen den Bekämpfungserfolg beeinträchtigen. Ob diese Erkenntnisse in der Praxis relevant sind, sollten die vorliegenden Versuche unter praxisnahen Bedingungen zeigen. Zusätzlich sollte festgestellt werden, ob der Bekämpfungserfolg durch eine zeitversetzte Freilassung der Antagonisten optimiert werden kann.

## 2.2 Material und Methoden

### 2.2.1 Versuchsaufbau und Anzucht der Versuchsorganismen

Die Untersuchungen zum kombinierten Antagonisteneinsatz gegen *M. persicae* wurden in den Sommermonaten 2000 und 2001 durchgeführt. Als Versuchsdesign wurden Parzellenversuche gewählt, die in zwei unbeheizten Foliengewächshäusern eines Gemüsebaubetriebes in der Region Hannover stattfanden. In jedem Foliengewächshaus wurden 20 Parzellen mit 2,16 m<sup>2</sup> Grundfläche (Länge x Breite: 1,80 m x 1,20 m) durch insektendichte Gazezelte abgedeckt. Somit standen insgesamt 40 Parzellen für die Versuche zur Verfügung. Die ca. 2,50 m hohen Zelte waren an einer Längsseite durch einen mit Klettband wiederverschließbaren Eingang begehbar. In jedes Zelt wurden sechs Paprikapflanzen (*Capsicum annuum* L.) der Sorte 'Mazurka' in einer Doppelreihe in praxisüblichen Abständen gepflanzt (Abb. 2.1). Die Pflanzen wurden vier Wochen nach der Aussaat in 10 cm Töpfe pikiert und nach weiteren drei bis vier Wochen direkt in den Boden gepflanzt. Die Wasserversorgung wurde über eine Tröpfchenbewässerung sichergestellt. Die Kulturbedingungen entsprachen somit den praxisüblichen Anbaumethoden.

Die verwendeten *M. persicae*-Blattläuse stammten aus einer am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover etablierten Zucht. Die Zucht erfolgte auf Paprikapflanzen der in den Versuchen verwendeten Sorte 'Mazurka'. In den Parzellenversuchen wurden synchronisierte adulte *M. persicae* verwendet, bei denen der Altersunterschied maximal 48 h betrug. Mithilfe von Reaktionsgefäßen (2 ml), in die zuvor jeweils 15 Tiere überführt worden waren, wurden die Blattläuse in die Versuchsparzellen transportiert. Dort wurden drei der sechs Paprikapflanzen mit den Blattläusen bestückt (Abb. 2.1), indem die Gefäße geöffnet und in blattlausdichte Gazesäckchen (Größe ca. 10 cm x 20 cm) gelegt wurden. Die Säckchen waren vorher über ein Blatt gestülpt worden und wurden anschließend mit einem Drahtverschluss am Stängel verschlossen. Nach zwei Tagen wurden die Gazesäckchen entfernt. Die adulten Blattläuse und die von ihnen abgelegten Larven hatten einen Tag Zeit geeignete Saugorte zu finden, bevor ihre Anzahl als Ausgangspopulation erfasst wurde und der jeweilige Versuch mit der Freilassung der Antagonisten begann.

Eine Dauerzucht der Schlupfwespe *A. colemani* wurde einige Zeit vor den Versuchen in Klimakabinen des Instituts für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz etabliert. Die Dauerzucht der Schlupfwespen erfolgte in einer Klimakabine auf dem Wirt-Pflanze-Komplex *M. persicae* - Paprika ('Mazurka'). Um Schlupfwespen gleichen Alters für die Versuche zu erhalten, wurden 3 mit *M. persicae* infizierte Paprikapflanzen ('Mazurka') durch jeweils eine Plexiglasröhre ( $\varnothing$  15 cm, Höhe 40 cm) von der Umgebung isoliert. Die obere Öffnung und die seitlichen Belüftungslöcher der Zylinder waren durch eine Gazeabspannung abgedichtet. Die Paprikapflanzen befanden sich einzeln in 2-Liter-Pflanzcontainern mit einem Durchmesser von 15,5 cm am oberen Rand. Es wurden 5 adulte Schlupfwespen zu jeder Pflanze hinzugefügt, und der Übergang vom Container zur Röhre mit Knetmasse abgedichtet. *A. colemani* konnte dann für ca. 24 h die Blattläuse parasitieren. Danach wurden die Schlupfwespen mit einem Exhaustor abgesaugt. Dieses Verfahren wurde an 4 bzw. 3 aufeinanderfolgenden Tagen wiederholt, damit sichergestellt werden konnte, dass zum gewünschten Zeitpunkt gleichaltrige Schlupfwespen in ausreichender Anzahl zur Verfügung standen. Die sich bildenden Blattlausmumien wurden von den Pflanzen abgesammelt. Einen Tag vor Versuchsbeginn wurden Blattlausmumien, bei denen der Schlupf von *A. colemani* kurz bevorstand, in einen Käfig mit einer blattlausbesetzten Pflanze überführt. Dadurch hatten die geschlüpften adulten Schlupfwespen Zeit Erfahrungen mit dem Wirt-Pflanze-Komplex zu sammeln und sich zu paaren. Wenige Stunden vor Versuchsbeginn wurden diese „erfahrenen“ Schlupfwespen mit einem Exhaustor gefangen und unter CO<sub>2</sub>-Betäubung nach Geschlecht getrennt. Für die Versuche wurden betäubte Weibchen, (maximal 24 h alt) mit einem feinen Haarpinsel in ein Glasröhrchen (ca. 5 ml) überführt, das mit einem Wattestopfen verschlossen wurde. Die Glasröhrchen dienten zum Transport vom Institut in die Versuchspartellen.

Bei der Florfliege *C. carnea* kamen L<sub>1</sub>-Larven zum Einsatz. Diese wurden von einem Nützlingsproduzenten (Sautter & Stepper, Ammerbuch) bezogen und einen Tag vor Versuchsbeginn im Labor mit einem Haarpinsel einzeln in Petrischalen ( $\varnothing$  3,5 cm) überführt und mit Blattläusen (*M. persicae*), als Nahrungsquelle für den Transport in die Versuchspartellen, versorgt.

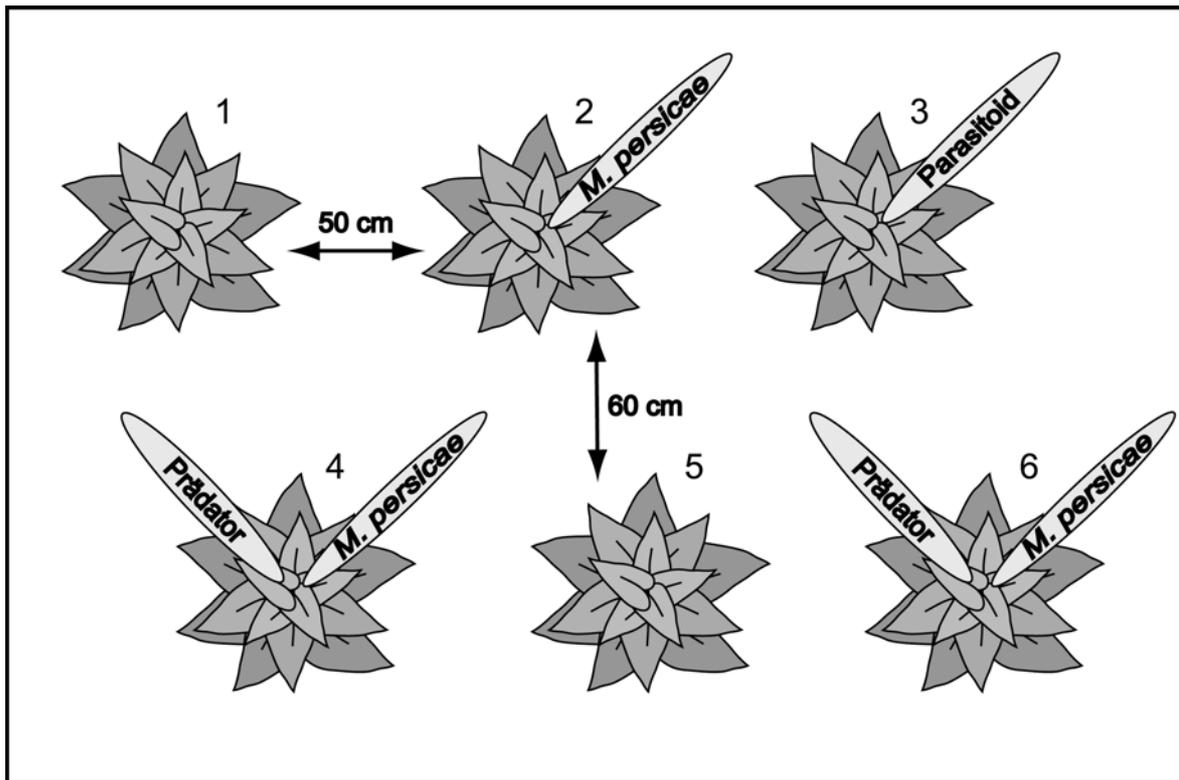


Abb. 2.1 Anordnung der Paprikapflanzen innerhalb eines Versuchszelt. Blattläuse (*M. persicae*) wurden an den Pflanzen 2, 4, 6 freigesetzt. Parasitoide (*A. colemani*) an der Pflanze 3 und Prädatoren (*C. carnea* bzw. *A. aphidimyza*) an den Pflanzen 4 und 6, entsprechend den jeweiligen Versuchsvarianten.

Die räuberische Gallmücke *A. aphidimyza* wurde im Puppenstadium vom selben Nützlingsproduzenten (Firma Sautter & Stepper, Ammerbuch) geliefert. Zum Schlupf kamen die Puppen in Käfige, in denen sich mit *M. persicae* besiedelte Paprikapflanzen ('Mazurka') befanden. Im Parzellenversuch zum zeitgleichen Nützlingseinsatz mit *A. aphidimyza* wurden Larvenstadien der Gallmücken eingesetzt. Am Tag des Versuchsbeginns wurden die jungen Larven für den Transport vorsichtig mit einem feinen Haarpinsel direkt von den Blättern unter einem Stereoauflichtmikroskop abgesammelt und in Petrischalen ( $\varnothing$  3,5 cm) überführt. Zusätzlich befanden sich *M. persicae*-Blattläuse als Futtermittel in den Schalen. Im Parzellenversuch zum zeitversetzten Nützlingseinsatz mit *A. aphidimyza* wurden adulte Gallmücken verwendet. Dazu befand sich im Käfig der schlüpfenden Puppen nur nasses Filterpapier und mit Honiglösung getränkte Watte als Nahrung. Wenige Stunden vor Versuchsbeginn wurden adulte Weibchen und Männchen im Verhältnis 1 : 1 mit einem Exhaustor in Rollrandgläser (25 ml) überführt und anschließend in die Parzellen gebracht.

### 2.2.2 Versuchsdurchführungen zum zeitgleichen Einsatz von Parasitoid und Prädator (2000)

In den Sommermonaten des Jahres 2000 wurde die Effizienz eines zeitgleichen Einsatzes der Kombinationen *A. colemani* zusammen mit *C. carnea* und *A. colemani* zusammen mit *A. aphidimyza* in den Varianten Parasitoid (alleine), Prädator (alleine), Kombination (Parasitoid & Prädator) und Kontrolle (ohne Antagonist) in zwei Versuchen untersucht. Jede Versuchsbehandlung wurde in zehnfacher Wiederholung getestet. Die Belegung der Pflanzen mit *M. persicae* erfolgte wie bereits beschrieben (Kap. 2.2.1). In beiden Versuchen wurden drei adulte Weibchen von *A. colemani* einmalig zu Versuchsbeginn unterhalb der dritten Pflanze freigelassen (Abb. 2.1). Im Versuch mit *C. carnea* wurde jeweils eine Larve an der vierten und sechsten Pflanze freigesetzt. Die Freilassung wurde nach ca. zwei Wochen gemäß den Anweisungen der Nützlingsproduzenten wiederholt, da es innerhalb dieses Zeitraumes bereits zu einer Verpuppung der Florfliegenlarven kommen kann. Die räuberischen Larven von *A. aphidimyza* wurden im zweiten Versuchsdurchgang auf den Pflanzen vier und sechs in einer Dichte von fünf Tieren ausgebracht. Aufgrund der relativ kurzen Entwicklungszeit der Larven wurde die Freilassung wöchentlich, d.h. im Versuchszeitraum insgesamt viermal, wiederholt. Die Prädatoren wurden auf den bereits mit Blattläusen befallenen Pflanzen eingesetzt (Abb. 2.1), um zu gewährleisten, dass sie direkt auf Beute trafen. Die wenig mobilen Larven von *A. aphidimyza* wurden in unmittelbare Nähe von Blattlauskolonien gesetzt wurden. Die sehr mobilen adulten Weibchen von *A. colemani* hingegen sollten nach der Freilassung selbst geeignete Pflanzen mit Blattläusen aussuchen.

Die Versuche begannen jeweils mit der zeitgleichen Ausbringung von Parasitoiden und Prädatoren. Zweimal pro Woche wurden larvale und adulte (aptere und alate) Blattlausstadien, intakte, geschlüpfte und zerstörte Blattlausmumien, adulte Schlupfwespen sowie larvale und adulte Prädatorstadien am gesamten Spross der Versuchspflanzen gezählt. Zunächst wurde die Dichte der Individuen pro Blatt ermittelt. Mit zunehmendem Sprosswachstum und größeren Blattlausdichten wurde die Blattlauszahl erst pro Blatt, später pro Pflanze geschätzt. Die Versuchszeiträume betragen 31 und 32 Tage und umfassten jeweils zwei Schlupfwespengenerationen.

### 2.2.3 Versuchsdurchführungen zum zeitlich gestaffelten Einsatz von Parasitoid und Prädator (2001)

In den Versuchen zur biologischen Blattlausbekämpfung im Jahre 2001 wurden die gleichen Parasitoid-Prädator-Kombinationen wie im Jahr 2000 untersucht. Allerdings wurden die Einsätze der Antagonisten diesmal zeitlich versetzt voneinander durchgeführt, da es dadurch möglicherweise zu einer Förderung des Parasitoiden kommen konnte. Beispielsweise könnte ein Einsatz des Parasitoiden einige Tage vor dem Prädator dazu führen, dass sich parasitierte Blattläuse bereits mumifiziert haben und sie dadurch von dem Prädator nicht mehr als Beute angenommen werden. Es wurden wieder zwei Parzellenversuche mit den folgenden Behandlungen in zehnfacher Wiederholung durchgeführt: Parasitoid vor Prädator, Parasitoid zeitgleich mit Prädator, Parasitoid nach Prädator und Kontrolle (ohne Antagonist). In einem der beiden Versuche wurde als Prädator *C. carnea*, in dem anderen *A. aphidimyza* eingesetzt, während in beiden Versuchen als Parasitoid die Schlupfwespe *A. colemani* verwendet wurde. Die Ausbringung von *M. persicae* und die Verteilung der Nützlinge im Zelt unterschieden sich nicht von dem schon beschriebenen Verfahren (Abb. 2.1). Die Zeitspanne zwischen den Ausbringungsterminen betrug sieben Tage. Die Gesamteinsatzdichten der Antagonisten je Parzelle waren in allen Varianten, mit Ausnahme der Kontrolle, in beiden Versuchen gleich. So wurden beim zeitversetzten Einsatz am ersten Termin vier Tiere des einen und am zweiten Termin vier Individuen des anderen Antagonisten eingesetzt. Beim zeitgleichen Einsatz kamen an beiden Terminen jeweils zwei Individuen von beiden Antagonistenarten zum Einsatz. Bis zum jeweiligen Versuchsende wurden somit insgesamt acht Gegenspieler in den entsprechenden Parzellen ausgebracht. Im Versuch mit der Gallmücke *A. aphidimyza* wurden diesmal adulte Weibchen dem System hinzugefügt, da sich die eingesetzte Larvenzahl im Versuch des Jahres 2000 als zu gering herausgestellt hat. Um eine erfolgreiche Paarung sicherzustellen, wurden Männchen und Weibchen im Geschlechterverhältnis von 1 : 1 in den Parzellen freigelassen. Im Hinblick auf die ausgeglichene Bilanz der Anzahl eingesetzter Antagonisten in den verschiedenen Behandlungen, gingen bei *A. aphidimyza* nur die eierlegenden Weibchen in die Berechnung ein. Da sich nur die Larven von *A. aphidimyza* räuberisch ernähren, können provozierte Inter-

aktionen, als wichtiger Faktor für unsere Untersuchungen, auch nur zwischen Gallmückenlarven und den adulten Schlupfwespen auftreten. Aus diesem Grund wurden die adulten Gallmücken an beiden Ausbringungsterminen vier Tage vor den Schlupfwespen eingesetzt. Nach vier Tagen war unter den gegebenen Versuchsbedingungen eine erfolgreiche Eiablage und ein Schlupf der ersten Gallmückenlarven zu erwarten.

Das Boniturschema entsprach dem im Jahr 2000. Der jeweilige Versuchszeitraum betrug 28 bzw. 25 Tage.

Zur Erfassung von Luftfeuchte, Lufttemperatur und Bodentemperatur wurden in den Versuchen von 2000 und 2001 jeweils acht Tinytag- und acht Tinytalk II-Datalogger (Gemini Dataloggers (UK) Ltd, West Sussex) gleichmäßig über die Versuchspartzellen verteilt eingesetzt.

#### **2.2.4 Statistische Auswertung**

In die statistische Auswertung wurden in den Varianten mit *A. colemani* nur die Zelte einbezogen, in denen sowohl Schlupfwespen als auch Blattlausmumien gefunden wurden. Im Versuch zum zeitlich versetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* wurden außerdem zwei Wiederholungen der Kontrollvariante verworfen, da direkt nach Versuchsbeginn ein unerklärlicher Rückgang der Blattlauspopulation zu verzeichnen war. Insgesamt wurde auf ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  getestet.

##### Populationsverläufe von *M. persicae*

Zur statistischen Auswertung der Populationsverläufe der Blattläuse in allen Versuchen und der Gallmücken im Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani* wurde die Fläche unter der Befallskurve berechnet und für die Blattlauspopulationen eine einfaktorielle ANOVA mit anschließendem paarweisen Vergleich (Tukey-Test) durchgeführt (SPSS Inc., 2001). Die Entwicklungen der Populationsverläufe von *A. aphidimyza* in den Varianten *A. aphidimyza* (alleine) und Kombination mit *A. colemani* wurden mit einem t-Test verglichen (SPSS Inc., 2001). Da die Daten nicht normalverteilt waren, wurden zunächst aus den Daten Ränge gebildet, die für die weitere Auswertung verwendet wurden. Ausgehend vom letzten Boniturtermin konnte der Zeitpunkt bestimmt werden, an

dem zum erstenmal ein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen festgestellt werden konnte.

### Blattlausmumienbildung

Bei den mittleren Anzahlen von Blattlausmumien wurden in den Versuchen zum zeitgleichen Einsatz der Antagonisten die Unterschiede zwischen den relevanten Versuchsbehandlungen Parasitoid (alleine) und Parasitoid & Prädator jeweils am Ende einer Parasitoidengeneration untersucht. In die Berechnung gingen jeweils nur die Blattlausmumien ein, aus denen noch kein Parasitoid geschlüpft war. Da weder Varianzhomogenität noch Normalverteilung der Daten gegeben waren, wurden die Daten mit dem nichtparametrischen Mann-Whitney-Test verglichen (SPSS Inc., 2001). In den Versuchen zum zeitversetzten Antagonisteneinsatz wurden die Entwicklungen der Mumiendichten nicht mit einem statistischen Test überprüft, da bis zum Ende der Versuchszeiträume die erste Parasitoidengeneration noch nicht in allen relevanten Versuchsbehandlungen abgeschlossen war.

### Verteilung der Blattlausmumien

Die Verteilung noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien auf den Pflanzen 2, 4 und 6, im Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani*, wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA untersucht. Für die anschließenden paarweisen Vergleiche wurde der Tukey-Test verwendet (SPSS Inc., 2001).

### Wachstumsraten von *M. persicae* in den Kontrollvarianten

In den Kontrollvarianten aller Parzellenversuche basierte der Vergleich des Populationswachstums von *M. persicae* auf Pflanzen, die zuvor mit Blattläusen infiziert wurden, mit zunächst unbesiedelten Pflanzen auf der Annahme eines exponentiellen Wachstums, das durch folgende Gleichung ausgedrückt wird:

$$N_t = N_0 * e^{rt}$$

mit  $N_0$  als Ausgangsdichte zum Zeitpunkt  $t_0$ ,  $N_t$  als Dichte zum Zeitpunkt  $t$  und  $r$  als Proportionalitätsfaktor, der die Wachstumsrate der Population in einem

infinitesimal kleinen Zeitabschnitt beschreibt (Vehrs et al., 1992; Jarošík et al., 1996; Southwood & Henderson, 2000).

Durch logarithmische Transformation der mittleren Blattlauszahlen konnte jede Wachstumskurve in eine Gerade verwandelt werden und somit die Wachstumsraten mithilfe einer lineare Regression miteinander verglichen werden (Jarošík et al., 1996):

$$\ln N_t = \ln N_0 + r * t$$

Bei der logarithmischen Transformation konnten die Ausgangspopulationsdichten von 0 auf den Pflanzen 1, 3, 5 nicht berücksichtigt werden, da der natürliche Logarithmus von 0 nicht definiert ist.

Die Wachstumsraten  $r$  von jeweils zwei verschiedenen Regressionsgeraden eines Parzellenversuches wurden mit einem zweiseitigen t-Test unter Verwendung folgender Teststatistik verglichen (Zar, 1999):

$$t = \frac{r_1 - r_2}{s_{r_1 - r_2}}$$

Zusätzlich wurde der Schnittpunkt  $T$  hinsichtlich der Zeitachse (Versuchstage) zweier Regressionslinien eines Versuches nach folgender Formel berechnet (Zar, 1999):

$$T = \frac{\ln N_{02} - \ln N_{01}}{r_1 - r_2}$$

Die Berechnung der linearen Regressionen wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 11.0 (SPSS Inc., 2001) durchgeführt.

## 2.3 Ergebnisse

### 2.3.1 Zeitgleicher Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* (2000)

Im Parzellenversuch zur zeitgleichen Kombination von *A. colemani* und *A. aphidimyza* wurde die größte Blattlauspopulationsdichte mit  $2.702,20 \pm 985,07$  (Mittelwert  $\pm$  SE) Individuen pro Zelt am letzten Boniturtag (Tag 32) in der Kontrollvariante ermittelt (Abb. 2.2).

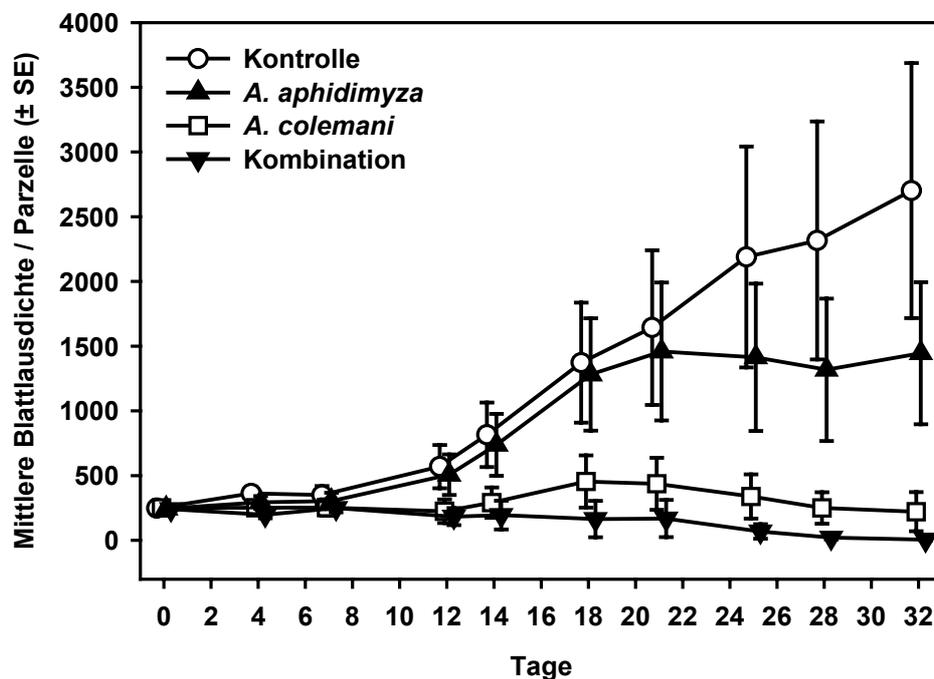


Abb. 2.2 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *M. persicae* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. colemani* alleine, *A. aphidimyza* alleine und Kombination (*A. colemani* & *A. aphidimyza*) (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2000).

Die mittlere Blattlausdichte in der *A. aphidimyza* (alleine)-Behandlung war zu diesem Zeitpunkt nur etwa halb so groß. Am stärksten wurde die Blattlausentwicklung in den Varianten *A. colemani* (alleine) und Kombination beeinträchtigt. Am letzten Versuchstag wurden in der Behandlung *A. colemani* (alleine) etwa 92 % und in der Kombination ca. 99,8 % weniger Blattläuse als in der Kontrolle festgestellt (Abb. 2.2). Diese Unterschiede waren jedoch bis zum letzten Versuchstag nicht signifikant (ANOVA:  $F = 2,33$ ,  $df_a = 3$ ,  $df_b = 31$ ,  $P = 0,094$ ).

Zunächst verlief die Befallskurve der mittleren Blattlausdichte in der Variante *A. aphidimyza* (alleine) nahezu identisch mit der Kurve der Kontrollvariante. Ab Versuchstag 21 konnte im Vergleich zur Kontrolle eine Reduktion in der Populationsentwicklung von *M. persicae* festgestellt werden (Abb. 2.2). Dies lässt sich durch die starke zahlenmäßige Zunahme der räuberischen Larvenstadien von *A. aphidimyza* ab diesem Zeitpunkt erklären (Abb. 2.3).

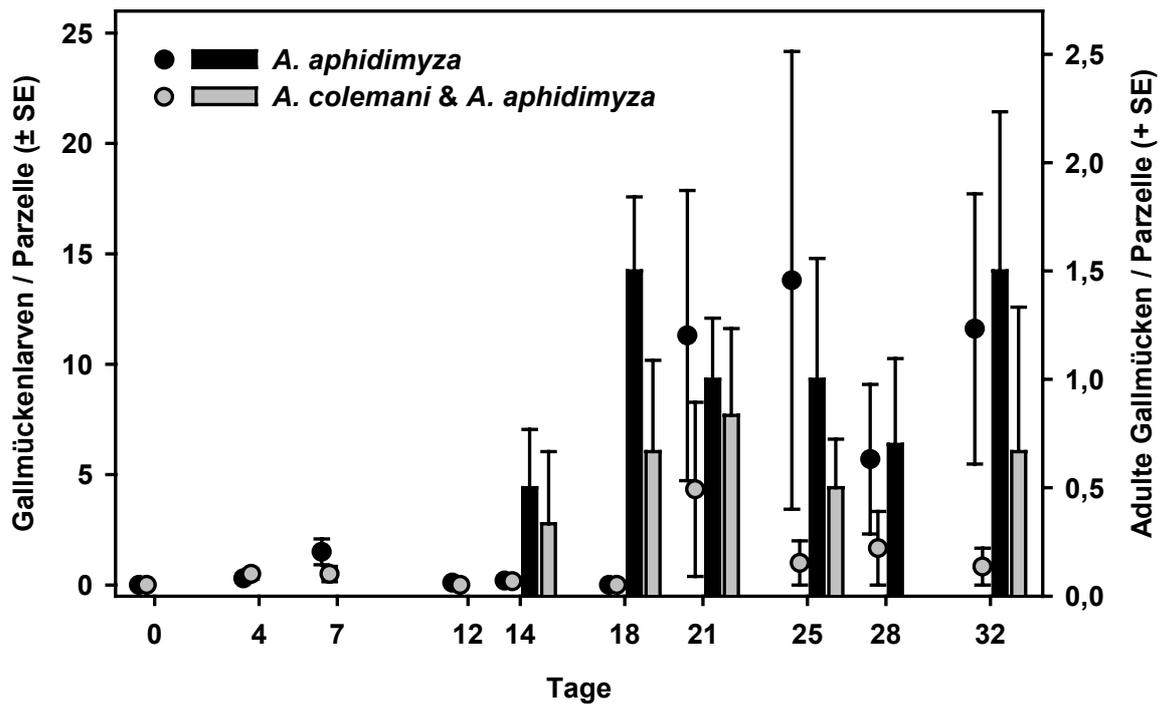


Abb. 2.3 Mittlere Anzahlen ( $\pm$ SE) von Gallmückenlarven (Kreise) und mittlere Anzahlen (+SE) von adulten Gallmücken (Balken) in den Varianten *A. aphidimyza* alleine und *A. colemani* & *A. aphidimyza* (Kombination) (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2000).

Dieser plötzliche Anstieg in der Population der Gallmückenlarven beruht darauf, dass sich die eingesetzten *A. aphidimyza*-Larven der ersten Ausbringungstermine im Laufe der Versuchszeit zu adulten Tieren entwickeln konnten, welche wiederum verstärkt für Nachkommen gesorgt hatten. Die ersten adulten Gallmücken wurden innerhalb der Parzellen beider Behandlungen am Versuchstag 14 festgestellt (Abb. 2.3). Im Vergleich zur Variante *A. colemani* & *A. aphidimyza* wurden besonders viele Gallmückenlarven auf den Pflanzen der *A. aphidimyza* (alleine)-Behandlung gefunden. Durchschnittlich wurden ab dem 14. Versuchstag etwa doppelt so viele adulte Gallmücken in der Variante

*A. aphidimyza* (alleine) im Vergleich zur Kombinationsbehandlung festgestellt. Dieser Unterschied zwischen den beiden Behandlungen konnte bis zum Versuchsende allerdings nicht statistisch abgesichert werden (t-Test:  $t = 1,245$ ;  $df = 14$ ;  $P = 0,233$ ).

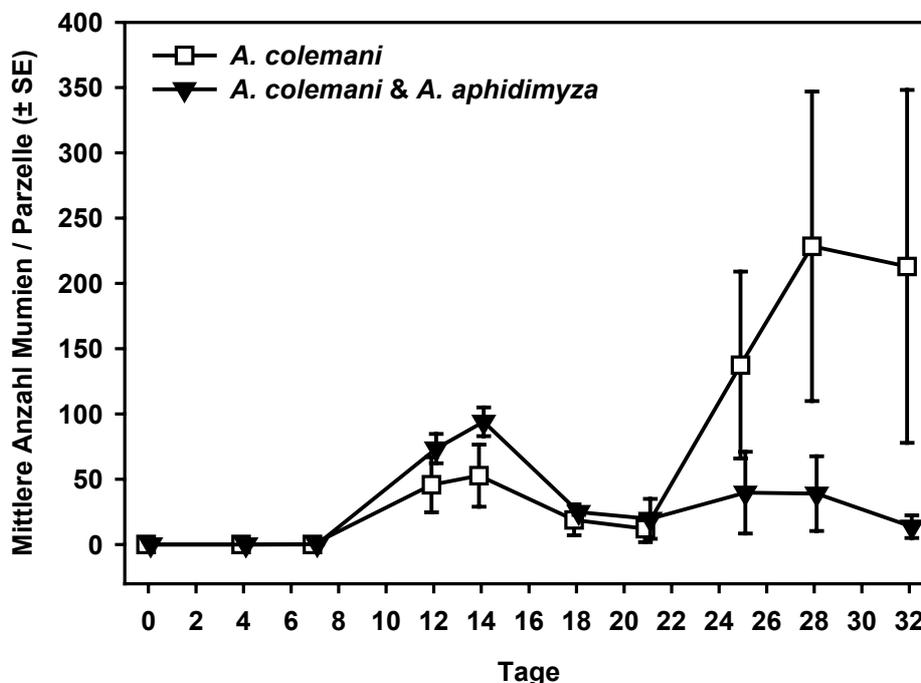


Abb. 2.4 Mittlere Anzahlen ( $\pm$ SE) noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien (*M. persicae*) in den Varianten *A. colemani* (alleine) und *A. colemani* & *A. aphidimyza* (Kombination) (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2000).

Die Mumien der ersten Schlupfwespengeneration hatten sich bis zum 14. Versuchstag gebildet (Abb. 2.4). In der *A. colemani* (alleine)-Variante wurden an diesem Tag  $52,78 \pm 23,82$  Mumien pro Zelt gezählt. In der Kombinationsvariante war zu diesem Zeitpunkt mit  $94,0 \pm 10,99$  Mumien pro Parzelle die mittlere Anzahl an Mumien größer. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant (Mann-Whitney-Test:  $U = 45,0$ ,  $P = 1,00$ ). Zur zweiten Parasitoidengeneration nahmen die mittleren Mumienzahlen in der Parasitoid (alleine)-Variante bis zum 28. Versuchstag mit  $228,44 \pm 118,57$  Mumien pro Parzelle stark zu. Damit war sie im Vergleich zur mittleren Mumienzahl in der Kombinationsvariante an diesem Versuchstag ungefähr sechsmal größer. Dieser Unterschied an Versuchstag 28 war ebenfalls nicht signifikant (Mann-Whitney-Test:  $U = 26,0$ ,  $P = 0,93$ ).

In Abb. 2.5 sind die mittleren Anzahlen von Blattlausmumien dargestellt, die am 14. Versuchstag auf den Pflanzen 2, 4 und 6 der Behandlungen *A. colemani* und *A. colemani* & *A. aphidimyza* festgestellt wurden. Auf diesen drei der insgesamt sechs Paprikapflanzen wurden vor Versuchsbeginn die Blattläuse aufgekäfigt, während die Gallmückenlarven in der Kombinationsbehandlung nur auf Pflanze 4 und Pflanze 6 gesetzt worden waren (Abb. 2.1). Das bedeutet, dass die Schlupfwespen potenzielle Wirte zunächst nur auf den Pflanzen 2, 4 und 6 vorfinden konnten. Dabei bestand auf den Pflanzen 4 und 6 für die Nachkommen der Parasitoiden in den parasitierten Blattläusen das Risiko, durch die Larven der räuberischen Gallmücke erbeutet zu werden. Bis zum Ende der Mumienbildung der ersten Parasitoidengeneration am Tag 14 konnten Larven von *A. aphidimyza* ausschließlich auf den Pflanzen 4 und 6 festgestellt werden. Eine Vermehrung und damit eine Ausbreitung innerhalb der Parzellen durch adulte Gallmücken hatte bis dato noch nicht stattgefunden (Abb. 2.3).

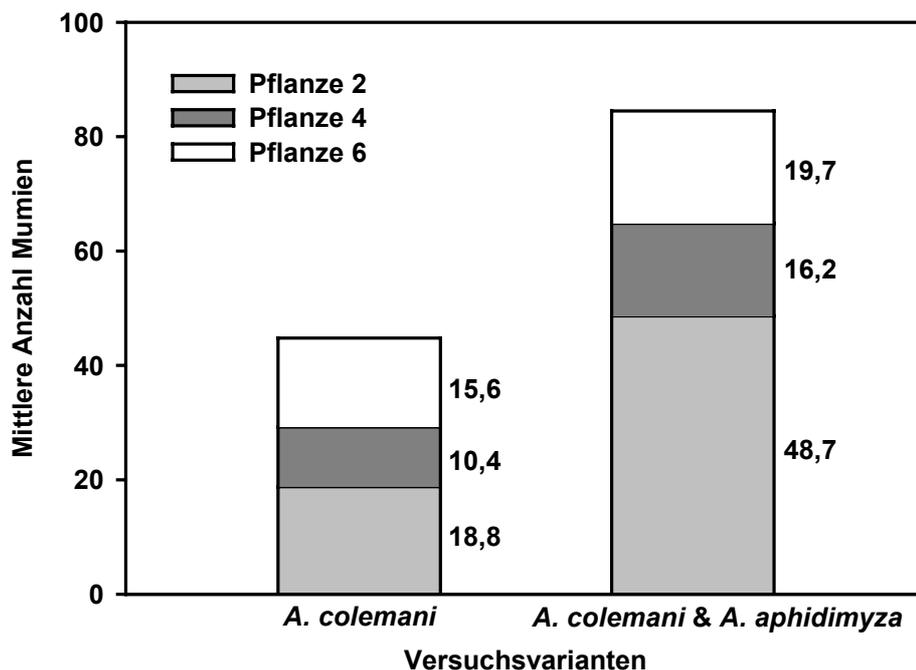


Abb. 2.5 Mittlere Anzahlen noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien (*M. persicae*) in den Varianten *A. colemani* (alleine) und *A. colemani* & *A. aphidimyza* (Kombination) am 14. Versuchstag auf den Pflanzen 2, 4 und 6 (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2000).

In der Behandlung *A. colemani* (alleine) konnten bei Beendigung der Mumienbildung der ersten Parasitidengeneration (Versuchstag 14) keine signifikanten Unterschiede in den Dichten der Blattlausmumien auf den Pflanzen 2, 4 und 6 festgestellt werden (ANOVA:  $F = 0,26$ ;  $df_a = 2$ ;  $df_b = 24$ ;  $P = 0,773$ ) (Abb. 2.5). Im Gegensatz dazu gab es bei der Verteilung der Blattlausmumien auf diesen Pflanzen in der Kombinationsvariante signifikante Unterschiede (ANOVA:  $F = 11,646$ ;  $df_a = 2$ ;  $df_b = 15$ ;  $P = 0,001$ ). Es wurden auf Pflanze 2, auf der sich noch kein Räuber befand, im Vergleich zu Pflanze 4 ( $P = 0,001$ ) und Pflanze 6 ( $P = 0,004$ ) signifikant höhere mittlere Mumiendichten festgestellt. Die Anwesenheit von *A. aphidimyza* scheint daher einen negativen Einfluss auf die Parasitierung und/oder Mumienentwicklung gehabt zu haben.

### 2.3.2 Zeitgleicher Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* (2000)

Im Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* führten alle Nützlingsbehandlungen zu einer Reduktion der Befallsstärke von *M. persicae* (Abb. 2.6).

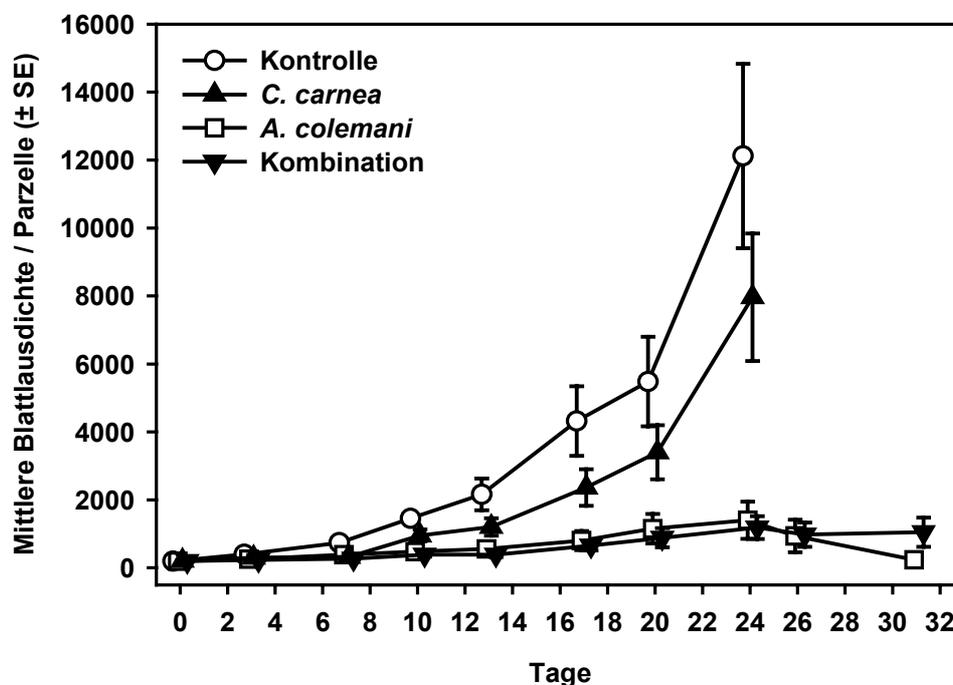


Abb. 2.6 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *M. persicae* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. colemani* alleine, *C. carnea* alleine und Kombination (*A. colemani* & *C. carnea*) (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea*, 2000).

Daher war der Populationszuwachs in der Kontrollvariante ohne Antagonisten mit einer maximalen Dichte von  $12.120,80 \pm 2.712,50$  Blattläusen/Parzelle am 24. Tag nach Versuchsbeginn am stärksten (Abb. 2.6). In den Parzellen mit *C. carnea* (alleine) war zu diesem Zeitpunkt die Befallsstärke etwa um ein Drittel niedriger. In diesen beiden Behandlungen wurde die Auszählung nach dem 24. Versuchstag aufgrund massiver Pflanzenschäden, hervorgerufen durch den hohen Aphidenbefall in einigen Wiederholungen, abgebrochen. In den Varianten mit *A. colemani* (alleine) und Kombination wurde noch bis zum 31. Versuchstag bonitiert, da die Mumienbildung der zweiten Schlupfwespengeneration noch nicht abgeschlossen war. Die Befallsstärke der Blattläuse in beiden Behandlungen mit *A. colemani* war über den gesamten Versuchszeitraum deutlich geringer als in den anderen Varianten. Die größte mittlere Befallsstärke war am 24. Tag in der Variante *A. colemani* (alleine) etwa um 88 % und in der Kombinationsbehandlung etwa um 90 % geringer als in der Kontrolle (Abb. 2.6). Die Unterschiede in den Befallsentwicklungen der verschiedenen Behandlungen waren schon ab dem dritten Tag signifikant (ANOVA:  $F = 4,6$ ,  $df_a = 3$ ,  $df_b = 35$ ,  $P = 0,008$ ). Die Behandlungen *A. colemani* (alleine) ( $P = 0,029$ ) und *A. colemani* & *C. carnea* ( $P = 0,01$ ) unterschieden sich bereits an diesem Boniturtermin signifikant von der Kontrolle. Zwischen der Kontrolle und *C. carnea* (alleine) gab es bis zum Versuchstag 24 keinen signifikanten Unterschied ( $P = 0,767$ ). Ebenso unterschieden sich die Behandlungen *A. colemani* (alleine) und Kombination bis zum Versuchsende nicht voneinander ( $P = 1,00$ ).

In Abb. 2.7 sind die Entwicklungen der Blattlausmumien in den Varianten *A. colemani* (alleine) und *A. colemani* & *C. carnea* dargestellt.

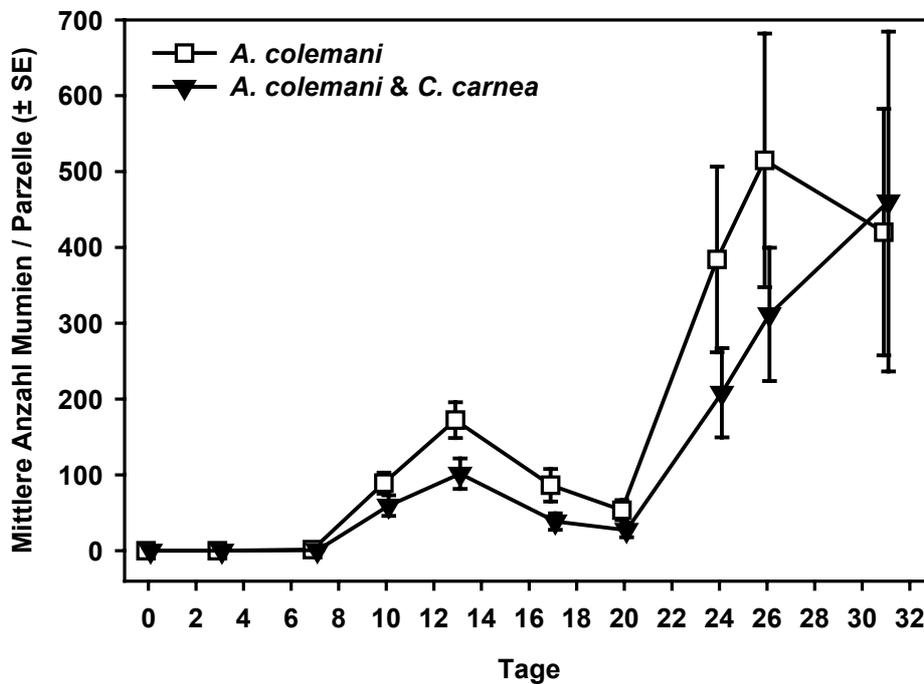


Abb. 2.7 Mittlere Anzahlen ( $\pm$ SE) noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien (*M. persicae*) in den Varianten *A. colemani* (alleine) und *A. colemani* & *C. carnea* (Kombination) (Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea*, 2000).

Bis zum Versuchstag 13 nahmen die mittleren Dichten der Blattlausmumien in beiden Behandlungen stetig zu. Danach gingen die Anzahlen zunächst wieder zurück. Dies verdeutlicht, dass sich bis zum 13. Tag bereits alle Mumien der ersten Parasitoidengeneration gebildet hatten. Zu diesem Zeitpunkt wurden in der *A. colemani* (alleine)-Behandlung  $172,30 \pm 23,58$  Blattlausmumien pro Parzelle festgestellt, d.h. ungefähr 35 % mehr Blattlausmumien als in der Kombinationsvariante (Abb. 2.7). Dieser Unterschied war signifikant (Mann-Whitney-Test:  $U = 17,0$ ,  $P = 0,041$ ). Während in der *A. colemani* (alleine)-Variante die meisten intakten Mumien am 26. Versuchstag mit  $514,90 \pm 167,14$  Mumien pro Parzelle gezählt wurden, schien die Entwicklung der zweiten Parasitoidengeneration in der Kombinationsbehandlung zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen zu sein (Abb. 2.7). Mit  $460,56 \pm 224,17$  Mumien pro Parzelle wurde am 31. Tag in der Variante Kombination die größte Mumiendichte festgestellt. Unter der Annahme, dass sich zu diesem Zeitpunkt in dieser Versuchsvariante alle Blattlausmumien

der zweiten Parasitoidengeneration gebildet hatten, wurden diese mittleren Mumienzahlen mit denen des 26. Versuchstages aus der Behandlung *A. colemani* (alleine) verglichen. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen festgestellt werden (Mann-Whitney-Test:  $U = 34,0$ ,  $P = 0,594$ ).

### 2.3.3 Zeitlich versetzter Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*

Im Versuch zum zeitlich gestaffelten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* entwickelte sich in der Kontrollvariante der Blattlausbefall am stärksten (Abb. 2.8).

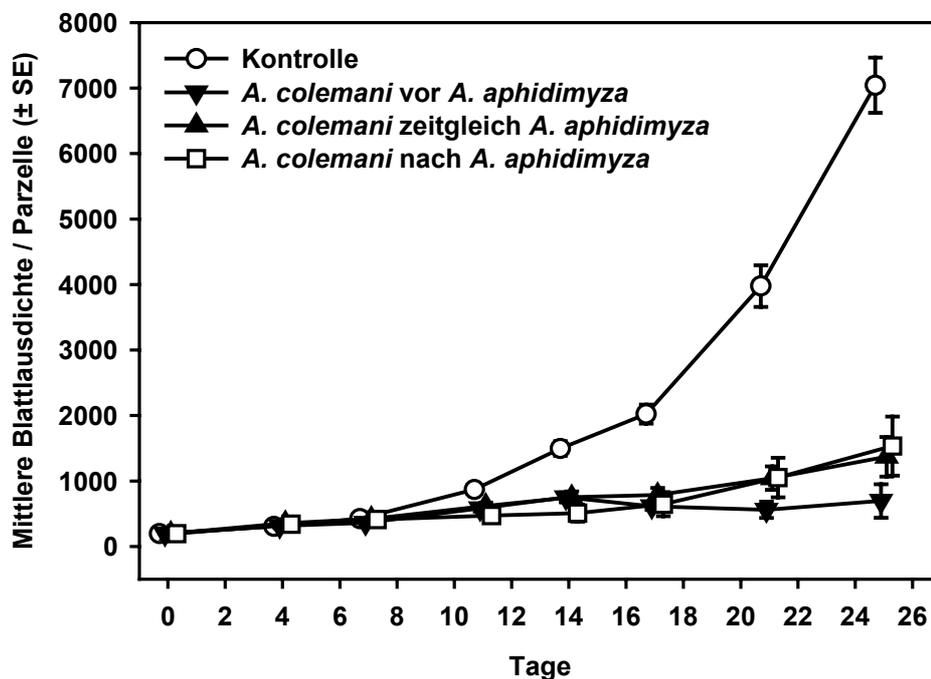


Abb. 2.8 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *M. persicae* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. colemani* vor *A. aphidimyza*, *A. colemani* zeitgleich mit *A. aphidimyza* und *A. colemani* nach *A. aphidimyza* (Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2001).

Am letzten Versuchstag (Tag 25) betrug die mittlere Dichte von *M. persicae* in der Kontrolle  $7.042,10 \pm 421,51$  Blattläuse pro Parzelle. Im Vergleich dazu waren die Populationszuwächse der Blattläuse in den Antagonistenvarianten mit ungefähr 90 % weniger Blattläusen in der Behandlung *A. colemani* vor *A. aphidimyza*, etwa 80 % weniger Tieren nach der zeitgleichen Antagonistenausbringung und ca. 78 % weniger Individuen in der Parasitoid nach Prädator-Variante deutlich geringer. Bereits nach 14 Tagen konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den

Varianten festgestellt werden (ANOVA:  $F = 6,096$ ,  $df_a = 3$ ,  $df_b = 35$ ,  $P = 0,002$ ). Ab diesem Versuchstag war der Blattlausbefall in allen drei Antagonistenbehandlungen im Vergleich zur Kontrolle signifikant geringer ( $P = 0,011$ ,  $P = 0,036$ ,  $P = 0,002$ ). Zwischen den Antagonistenvarianten gab es bis zum Versuchsende keine signifikanten Unterschiede ( $P = 0,391$ ,  $P = 0,985$ ,  $P = 0,624$ ).

In den Varianten *A. colemani* vor *A. aphidimyza* und *A. colemani* zeitgleich mit *A. aphidimyza* begann die Ausbildung von Mumien ab dem 14. Versuchstag (Abb. 2.9).

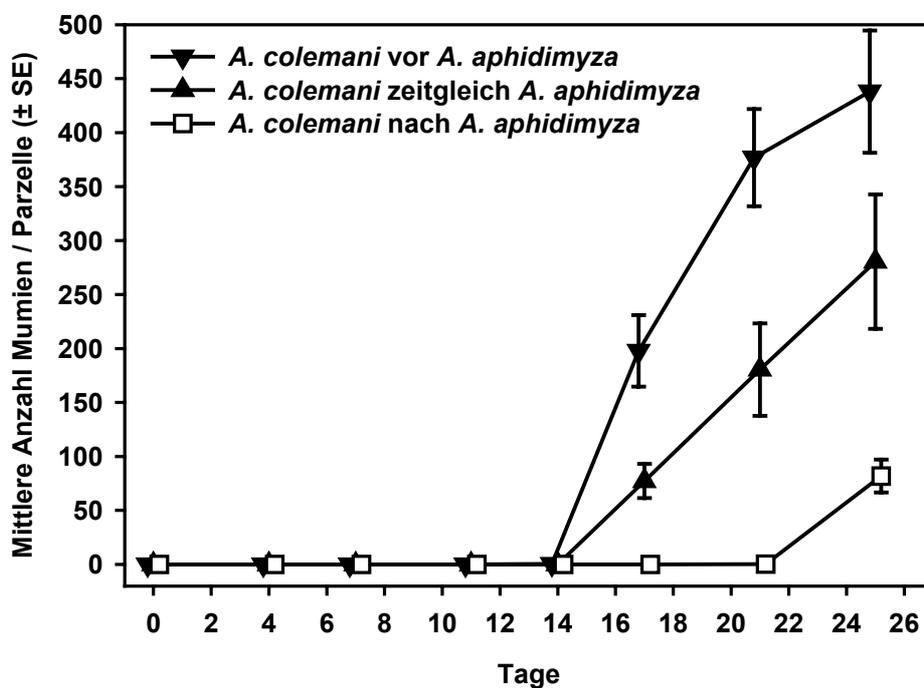


Abb. 2.9 Mittlere Anzahlen ( $\pm$ SE) noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien (*M. persicae*) in den Varianten *A. colemani* vor *A. aphidimyza*, *A. colemani* zeitgleich mit *A. aphidimyza* und *A. colemani* nach *A. aphidimyza* (Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*, 2001).

Der spätere Einsatz der Schlupfwespe führte in der *A. colemani* nach *A. aphidimyza*-Variante zu einer später beginnenden Mumienbildung (Tag 21). In der Variante Parasitoid vor Prädator nahm die mittlere Mumienzahl mit  $437,90 \pm 56,61$  Mumien pro Parzelle zu Versuchsende (Tag 25) am stärksten zu. Im Vergleich dazu wurden in der zeitgleichen Variante etwa 36 % und in der Parasitoid nach Prädator-Behandlung ca. 81 % weniger Mumien pro Parzelle

festgestellt. Da die Kurvenverläufe darauf schließen lassen, dass die Mumienbildung in zwei Varianten (*A. colemani* zeitgleich *A. aphidimyza*, *A. colemani* nach *A. aphidimyza*) noch nicht abgeschlossen war, wurde hier auf die Anwendung statistischer Testverfahren verzichtet.

### 2.3.4 Zeitlich versetzter Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea*

Im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* waren die Unterschiede zwischen der Kontrollvariante und den Antagonistenbehandlungen, wahrscheinlich aufgrund ungünstiger klimatischer Bedingungen (Abb. 2.16), nicht so deutlich (Abb. 2.10) wie im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*.

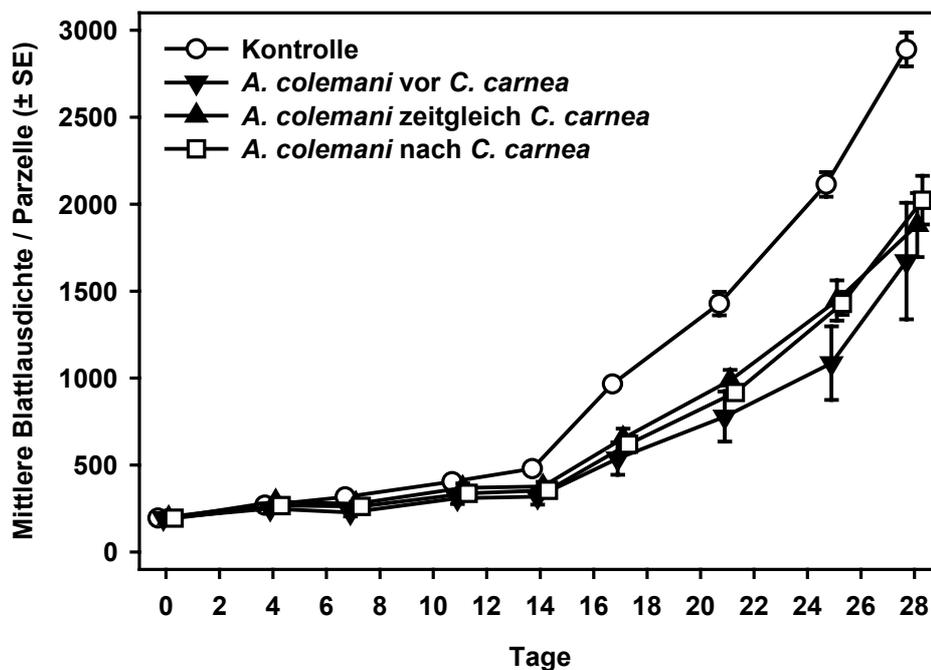


Abb. 2.10 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *M. persicae* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. colemani* vor *C. carnea*, *A. colemani* zeitgleich mit *C. carnea* und *A. colemani* nach *C. carnea* (Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea*, 2001).

In der Kontrolle ohne Antagonisteneinsatz nahm die Blattlauspopulation am stärksten zu. Hier wurden am letzten Versuchstag (Tag 28)  $2.889,23 \pm 96,98$  Blattläuse pro Parzelle gezählt. An diesem Versuchstag wurden in der Behandlung *A. colemani* vor *C. carnea* etwa 42 %, in der zeitgleichen Behandlung ungefähr 35 % und in der Variante Parasitoid nach Prädator ca. 30 % weniger Blattläuse im

Vergleich zur Kontrolle festgestellt. Signifikante Unterschiede traten erstmals am 17. Tag auf (ANOVA:  $F = 5,227$ ,  $df_a = 3$ ;  $df_b = 28$ ,  $P = 0,005$ ). An diesem Versuchstag unterschieden sich die Behandlungen *A. colemani* vor *C. carnea* und *A. colemani* nach *C. carnea* mit  $P = 0,007$  und  $P = 0,016$  signifikant von der Kontrolle. Die Variante zum zeitgleichen Antagonisteneinsatz zeigte ab Tag 21 im Vergleich zur Kontrolle eine signifikante Befallsreduktion ( $P = 0,015$ ). Bis zum Versuchsende gab es zwischen den Antagonistenbehandlungen keine signifikanten Unterschiede ( $P = 0,897$ ,  $P = 0,996$ ,  $P = 0,971$ ).

In den Varianten, in denen die Schlupfwespen zum ersten Freilassungstermin eingesetzt wurden, konnten die ersten Mumien ab dem 14. Versuchstag festgestellt werden (Abb. 2.11).

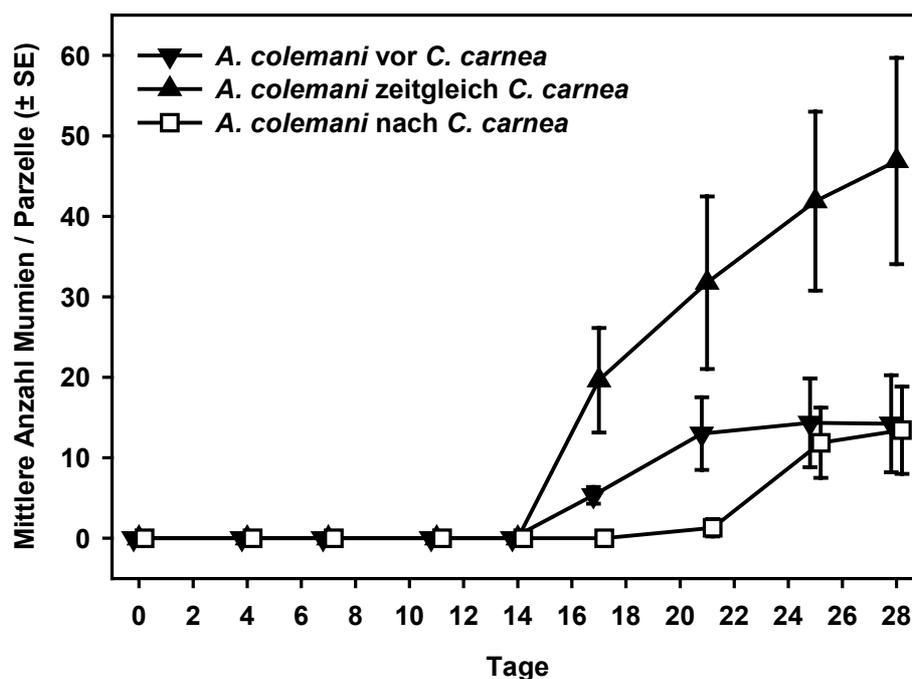


Abb. 2.11 Mittlere Anzahlen noch nicht geschlüpfter Blattlausmumien (*M. persicae*) in den Varianten *A. colemani* vor *C. carnea*, *A. colemani* zeitgleich mit *C. carnea* und *A. colemani* nach *C. carnea* (Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea*, 2001).

In der Variante, in der der Parasitoid nach dem Prädator eingesetzt worden war, waren die ersten Mumien am 21. Tag nach Versuchsbeginn feststellbar. Bis zum Versuchsende wurden mit  $46,88 \pm 12,82$  Mumien pro Parzelle die meisten Mumien in der Behandlung mit zeitgleichem Antagonisteneinsatz gebildet. In den

Varianten Parasitoid vor Prädator und Parasitoid nach Prädator entwickelten sich im Vergleich dazu ungefähr 70 % weniger Mumien. Auf eine statistische Auswertung wurde verzichtet, da in der Behandlung *A. colemani* zeitgleich mit *C. carnea* die Mumienbildung bis zum Versuchsende noch nicht abgeschlossen zu sein schien.

### 2.3.5 Populationswachstumsraten von *M. persicae*

Im Folgenden wurde die Besiedlung der Paprikapflanzen durch *M. persicae* ausgehend von befallenen und unbefallenen Pflanzen in den Kontrollvarianten der unterschiedlichen Versuche zum zeitgleichen und zeitversetzten Einsatz der Antagonisten untersucht (Abb. 2.12). Die Steigungen der Regressionsgeraden verdeutlichen die Wachstumsraten der jeweiligen Blattlauspopulation innerhalb des jeweiligen Versuchszeitraumes. In den Kontrollvarianten aller vier Parzellenversuche wurde ein schwächeres Wachstum der Blattlauspopulationen auf den Pflanzen, auf denen zuvor eine definierte Anzahl an Blattläusen angesiedelt wurde, im Vergleich zu den Pflanzen, die erst nach Versuchsstart von *M. persicae* besiedelt werden konnten, festgestellt. In allen Fällen waren die Wachstumsraten auf den Pflanzen, auf denen vor Versuchsbeginn keine Blattläuse aufgekäfigt waren (Pflanzen 1, 3, 5) signifikant höher ( $P < 0,001$ ), als auf den Pflanzen auf denen *M. persicae* aufgekäfigt worden waren (Pflanzen 2, 4, 6) (Abb. 2.12).

Als Schnittpunkte der Regressionsgeraden bezüglich der zeitlichen Entwicklung der Blattlauspopulationen konnte in den Versuchen zum zeitgleichen Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani* der Tag 31,19 (Abb. 2.12A), zum zeitgleichen Einsatz von *C. carnea* und *A. colemani* der Tag 27,69 (Abb. 2.12B), zum zeitversetzten Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani* der Tag 22,09 (Abb. 2.12C) und zum zeitversetzten Einsatz von *C. carnea* und *A. colemani* der Tag 27,97 (Abb. 2.12D) berechnet werden.

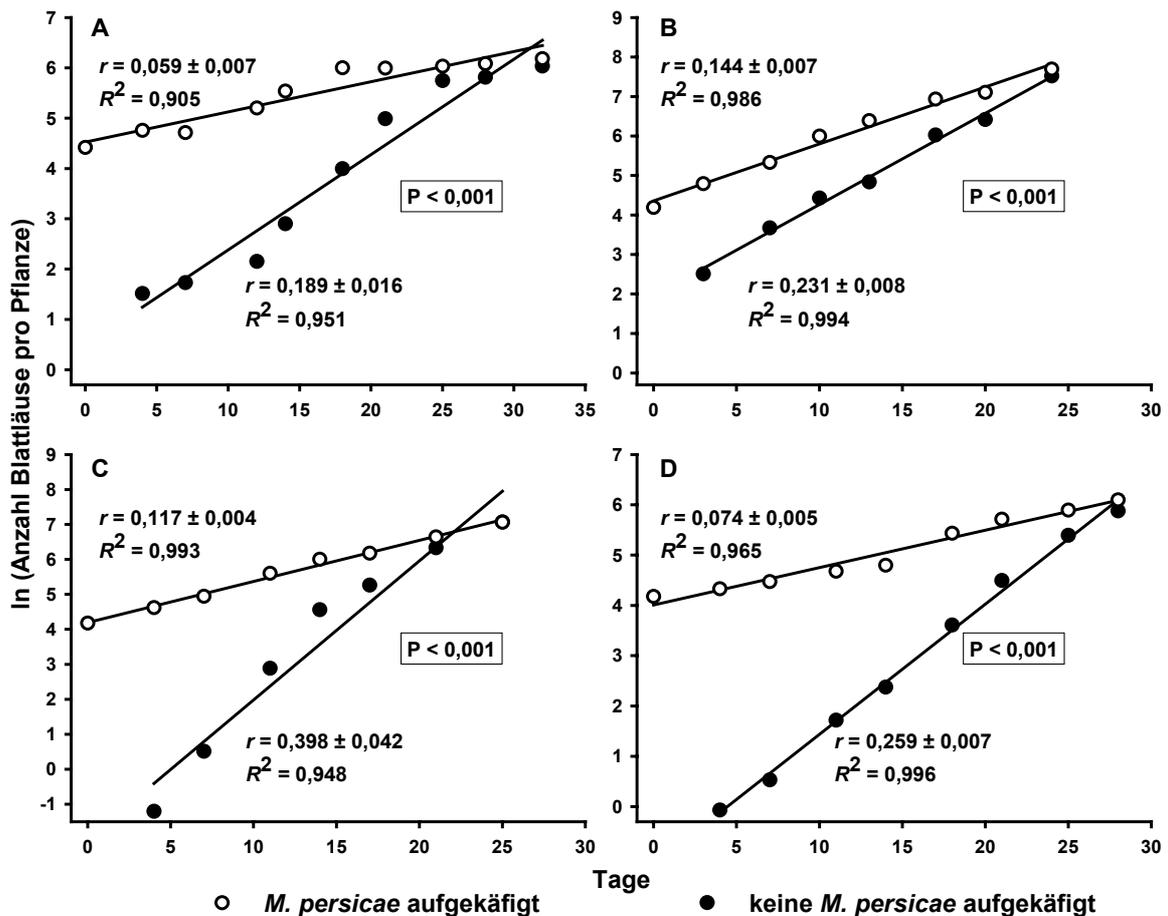


Abb. 2.12 Logarithmierte Wachstumskurven von *M. persicae* auf Paprikapflanzen, auf denen zu Versuchsbeginn Blattläuse aufgekäfigt (Pflanze 2, 4, 6) bzw. nicht aufgekäfigt (Pflanze 1, 3, 5) wurden, in den Kontrollvarianten der Versuche zum zeitgleichen Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani* (A), zeitgleichen Einsatz von *C. carnea* und *A. colemani* (B) sowie zum zeitversetzten Einsatz von *A. aphidimyza* und *A. colemani* (C) und zeitversetzten Einsatz von *C. carnea* und *A. colemani* (D). Die P-Werte resultieren aus dem Vergleich (t-Test) der Wachstumsraten  $r$  ( $\pm$  SE) der Blattlauspopulationen innerhalb eines Parzellenversuches.

### 2.3.6 Klimatische Bedingungen

Die in Abb. 2.13 dargestellten Klimadaten während des Versuches zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* zeigen, dass die Bedingungen in beiden Foliengewächshäusern ähnlich waren.

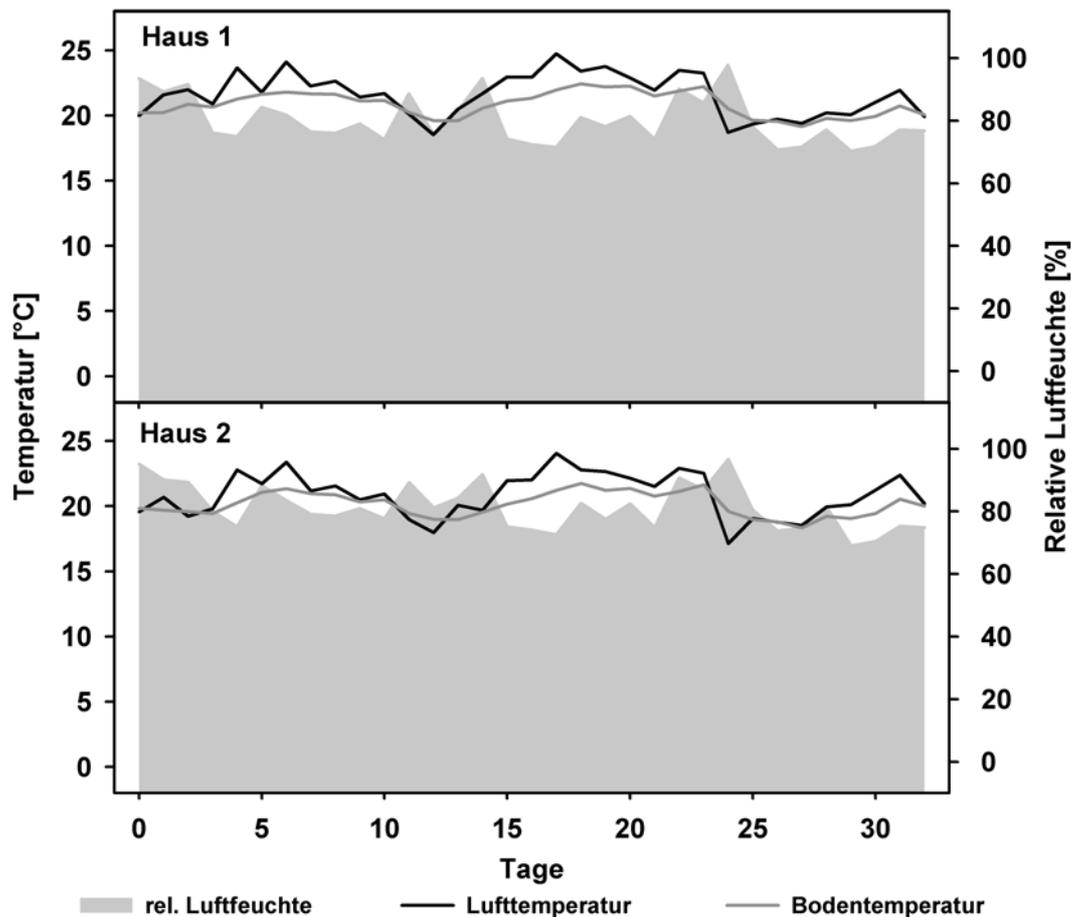


Abb. 2.13 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) im Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* (2000).

Während des gesamten Versuchszeitraumes zeigten die gemessenen Luft- und Bodentemperaturen sowie die relative Luftfeuchtigkeiten in beiden Gewächshäusern nur geringe Schwankungen. Dabei betragen die durchschnittliche Lufttemperatur  $21,12 \pm 0,28$  °C, die durchschnittliche Bodentemperatur  $20,5 \pm 0,15$  °C und die mittlere relative Luftfeuchte  $80,14 \pm 1,43$  %.

In Abb. 2.14 sind die mittleren Temperaturen im Boden und in der Luft sowie die erfassten mittleren Werte für die relative Luftfeuchte für den Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* im Jahr 2000 dargestellt.

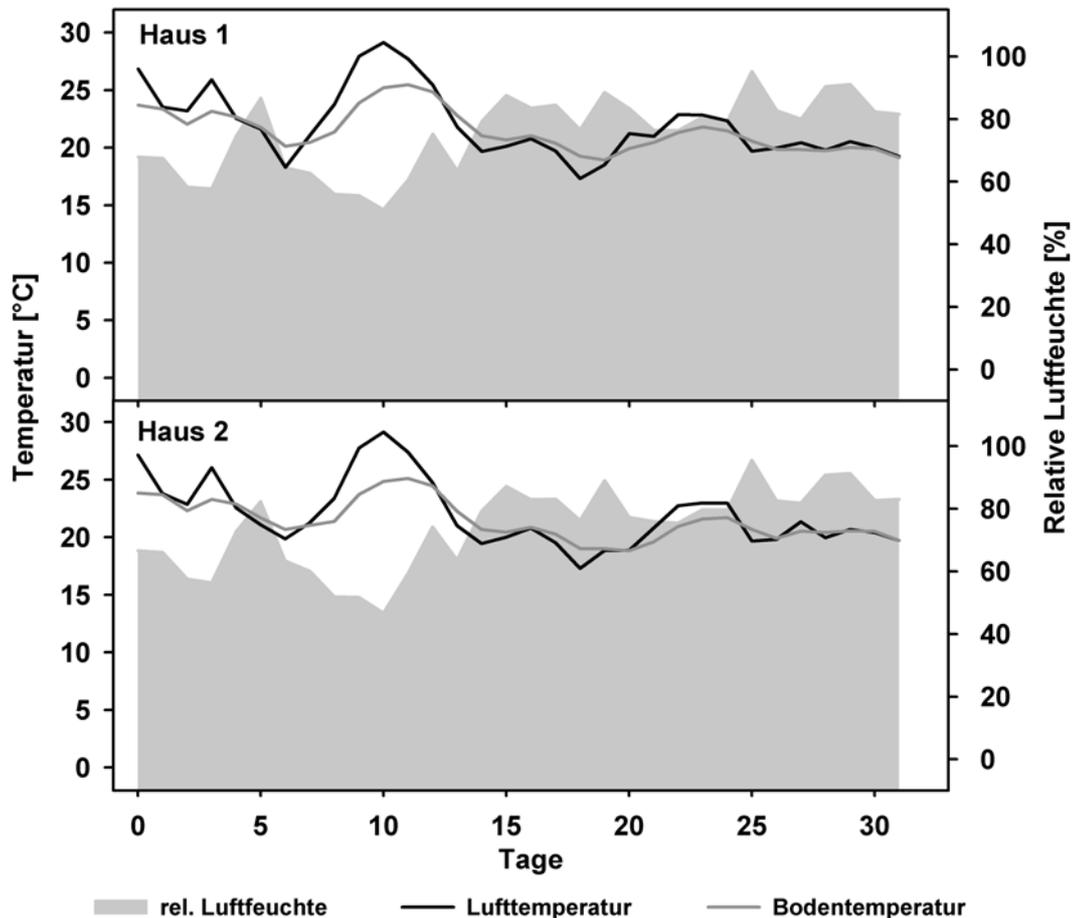


Abb. 2.14 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) im Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* (2000).

In beiden Foliengewächshäusern herrschten vergleichbare Temperatur- und Luftfeuchtebedingungen (Abb. 2.14). Während des ersten Drittels des Versuchszeitraumes konnten höhere Schwankungen, mit relativ hohen Luft- (Maximum: ca. 29 °C) und Bodentemperaturen (Maximum: ca. 25 °C) und niedrigen Werten für die relative Luftfeuchtigkeit (Minimum: ca. 47 %) festgestellt werden. Bis zum Versuchsende pendelten sich die Luft- und Bodentemperaturen bei einer konstant hohen relativen Luftfeuchtigkeit von ungefähr 80 % auf etwa 20 °C ein. Während der gesamten Versuchszeit betragen die mittlere Lufttemperatur  $22,18 \pm 0,54$  °C,

die mittlere Bodentemperatur  $21,49 \pm 0,31$  °C und die mittlere relative Luftfeuchtigkeit  $73,23 \pm 2,26$  %. Insgesamt unterschieden sich die klimatischen Bedingungen kaum von denen aus dem Versuch zum zeitgleichen Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza*.

Im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* wurden erneut ähnliche Klimabedingungen in beiden Foliengewächshäusern festgestellt (Abb. 2.15).

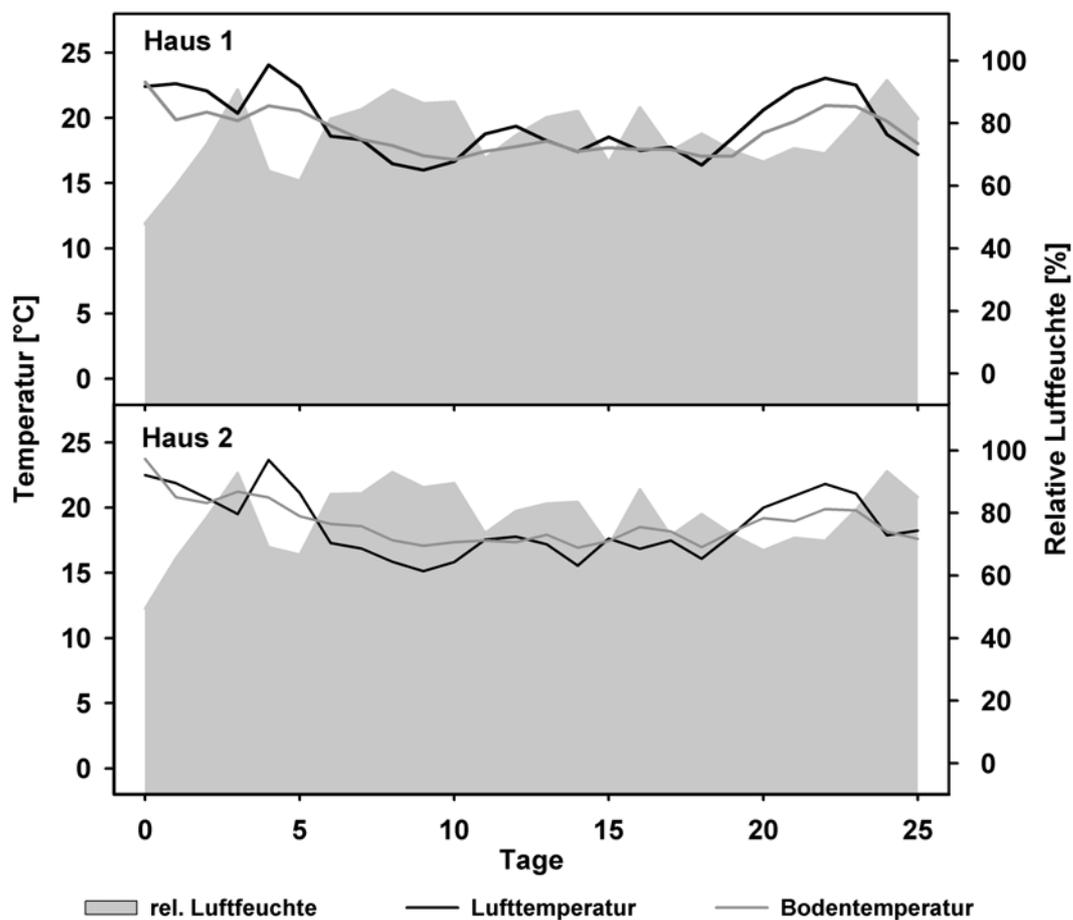


Abb. 2.15 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *A. aphidimyza* (2001).

Im Vergleich zum Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* waren die mittlere Luft- und Bodentemperaturen über den gesamten

Versuchszeitraum mit  $19,09 \pm 0,45$  °C und  $18,83 \pm 0,3$  °C höher, während die mittlere relative Luftfeuchte mit  $77,34 \pm 2,02$  % niedriger war (Abb. 2.16).

Die gemessenen klimatischen Bedingungen während des Versuches zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* sind in Abb. 2.16 dargestellt.

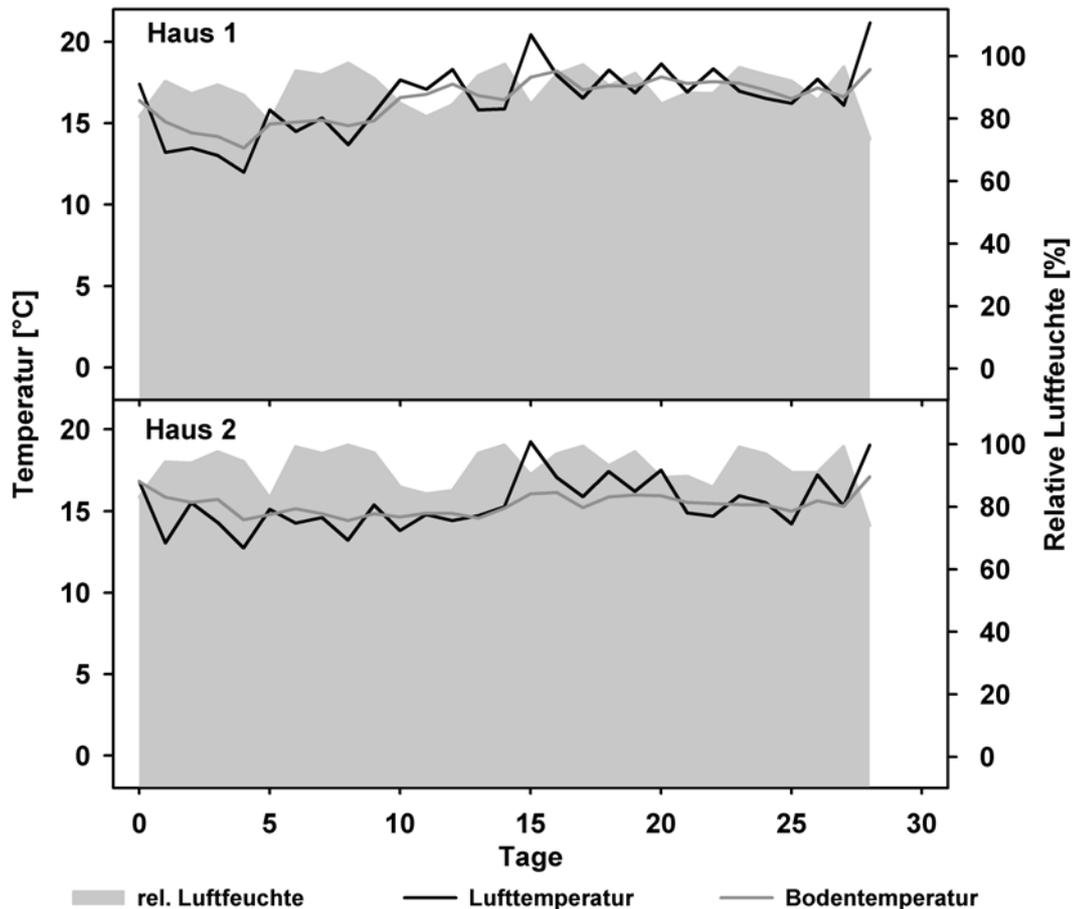


Abb. 2.16 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* (2001).

Auch in Abb. 2.16 ist zu erkennen, dass zwischen den beiden Foliengewächshäusern kaum Unterschiede in den Verläufen von Luft- und Bodentemperatur sowie der relativen Luftfeuchte feststellbar waren. Insgesamt waren die Luft- und Bodentemperaturen während des Versuches allerdings relativ niedrig. Über den gesamten Versuchszeitraum gesehen konnte eine mittlere Lufttemperatur von nur  $15,97 \pm 0,33$  °C, eine mittlere Bodentemperatur von nur  $15,92 \pm 0,16$  °C und eine durchschnittliche relative Luftfeuchte von  $91,34 \pm 1,18$  % berechnet werden.

Im Hinblick auf die klimatischen Bedingungen lässt sich somit zusammenfassend feststellen, dass zwischen den beiden Foliengewächshäusern, innerhalb der einzelnen Versuche, keine nennenswerten Unterschiede feststellbar waren. Klimatische Unterschiede traten eher zwischen den Versuchen auf. Dabei waren die niedrigen Luft- und Bodentemperaturen im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* (2001) besonders auffällig.

## 2.4 Diskussion

In der biologischen Schädlingsbekämpfung kommen häufig Kombinationen von verschiedenen Nützlingsarten zum Einsatz, vor allem wenn Schaderregerpopulationen bereits stark zugenommen haben und daher ein dringender Handlungsbedarf besteht. Ob aber Nützlingskombinationen gegenüber der Einzelausbringung wirklich einen Vorteil hinsichtlich der Bekämpfungseffizienz bieten, ist kaum untersucht. Aus der Vielzahl der kommerziell erhältlichen Gegenspieler müssen diejenigen Kombinationen zusammengestellt werden, die miteinander kompatibel sind, das heißt möglichst geringe negative Wechselwirkungen aufeinander haben und sich in ihrer Gesamteffizienz möglichst ergänzen. Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Untersuchung die Eignung von zwei Parasitoid-Prädator-Kombinationen für die biologische Bekämpfung von *M. persicae* geprüft. Darüber hinaus wurde der Frage nachgegangen, ob die Kombinationswirkung durch eine gestaffelte Ausbringung der Nützlinge verbessert werden kann.

Des Weiteren wurden das Populationswachstum und die Ausbreitung von *M. persicae*, ausgehend von befallenen und zunächst unbefallenen Paprikapflanzen, untersucht, um Rückschlüsse für eine Optimierung von Bekämpfungsstrategien ziehen zu können.

### Auswirkungen des zeitgleichen Nützlingseinsatzes

Im Versuch mit *A. aphidimyza* wurden viermal jeweils fünf Larven pro m<sup>2</sup> ausgebracht. Jede Gallmückenlarve kann im Laufe ihrer Entwicklungszeit 20 bis 80 Blattläuse fressen (Kulp et al., 1989). Alleine konnte *A. aphidimyza* den Befallsdruck von *M. persicae*, zumindest in der ersten Versuchshälfte, jedoch nur wenig verringern, da die Dichte der ausgebrachten *A. aphidimyza*-Larven zu gering war. In der zweiten Versuchshälfte wurde die Beeinträchtigung der Blattlauspopulation

durch die Gallmücken deutlicher, da zwischenzeitlich geschlüpfte Gallmückenweibchen der zweiten Generation für eine wesentlich höhere Räuberichte in den Zelten gesorgt hatten. In der Kombination blieb der Einfluss von *A. aphidimyza* auf die Blattläuse im Vergleich zur Schlupfwespe während des ganzen Versuches gering. Es konnten in diesem Zeitraum in der Kombinationsbehandlung allerdings auch tendenziell weniger larvale und adulte Gallmücken im Vergleich zur Variante *A. aphidimyza* (alleine) festgestellt werden. Offensichtlich beruht dieser Effekt darauf, dass der Parasitoid die Entwicklung der Blattlauspopulation so stark beeinträchtigt hat, dass für die wenig mobilen Gallmückenlarven nicht genügend Beutetiere in erreichbarer Nähe vorhanden waren. Zwischen dem kombinierten Einsatz und dem alleinigen Einsatz der Schlupfwespe gab es keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der Populationsentwicklungen von *M. persicae*. Das Verhältnis von 0,3 Parasitoiden pro Räuber zur ersten Freilassung von *A. aphidimyza* verschob sich nach dem Schlupf der zweiten Parasitoidengeneration in der Kombination mit *A. aphidimyza* auf etwa zwei Parasitoide pro räuberische Gallmückenlarve. Dennoch wurden in der Kombinationsvariante mit *A. colemani* und *A. aphidimyza* tendenziell weniger Mumien gebildet und damit die Chance einer langfristigen Etablierung dieses Nützlings im System geschmälert. Deutlich wurde dies vor allem beim Vergleich der Mumienbildung innerhalb der Versuchspartellen auf Pflanzebene, wo sich zeigte, dass in der Kombinationsvariante signifikant mehr Mumien auf den Pflanzen vorhanden waren, auf denen sich keine Gallmückenlarven befanden. Ob allein die Anwesenheit der Gallmücken die Parasitierung durch *A. colemani* behinderte oder ob die räuberischen Gallmückenlarven direkt parasitierte Blattläuse erbeuteten, kann anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht beurteilt werden. Beide Möglichkeiten sind angesichts von Beispielen aus der Literatur denkbar. Bekannt ist beispielsweise, dass die Anwesenheit eines Räubers in einer Blattlauskolonie dazu führen kann, dass Parasitoide eine geringere Eiablageaktivität zeigen (Taylor et al., 1998; Raymond et al., 2000). Nachgewiesen wurde aber auch, dass aphidophage Räuber in der Lage sind, sowohl adulte Parasitoide zu erbeuten (Heimpel et al., 1997; Meyhöfer & Klug, 2002) als auch Blattlausmumien zu zerstören (Wheeler et al., 1968; Al-Rawy et al., 1969; Colfer & Rosenheim, 1995; Meyhöfer & Hindayana, 2000). Bei Gallmückenlarven kann allerdings nicht von einer direkten Gefährdung der adulten *A. colemani* ausgegangen werden. Der Fraß von *A. aphidimyza*-Larven an

Blattlausmumien konnte in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit nicht beobachtet werden.

Der zweimal durchgeführte alleinige Einsatz von jeweils einer räuberischen *C. carnea*-Larve pro m<sup>2</sup> im Vergleich zur einmaligen Freilassung von ca. 1,5 *A. colemani*-Weibchen pro m<sup>2</sup> hatte in der untersuchten Paprikakultur die Populationsentwicklung des Schaderregers *M. persicae* sehr viel weniger beeinträchtigt. Die unterschiedliche Wirkung der Antagonisten auf die Populationsentwicklung der Blattlaus ist auf die Prädations- bzw. Parasitierungsleistung zurückzuführen. Während Florfliegenlarven 200 bis 500 Blattläuse vertilgen können (Canard & Duelli, 1984; Bay et al., 1993), gehen die Aussagen über die Parasitierungsrate von *A. colemani* in der Literatur weit auseinander. Die Angaben über die Anzahl Nachkommen pro Weibchen variieren zwischen 302 Eier (van Steenis, 1993), 11 bis 67 parasitierte Blattläuse (Fernández & Nentwig, 1997), 46 Mumien (Hofsvang & Hagvar, 1975) bzw. ca. 200 Mumien (van Schelt, 1993). In der vorliegenden Untersuchung war der Einfluss des Parasitoiden auf die Populationsentwicklung von *M. persicae* in jedem Fall deutlich höher, als der Einfluss des Prädators. Dieser Unterschied ist dadurch zu erklären, dass *C. carnea* erst im dritten Larvenstadium den höchsten Nahrungsbedarf hat und eine große Anzahl Beutetiere tötet. Das dritte Larvenstadium wurde in den vorliegenden Versuchen aber erst ab dem neunten Versuchstag erreicht, zu einem Zeitpunkt, an dem das Populationswachstum der Blattläuse nicht mehr durch die ausgebrachte Anzahl an Räubern zu beeinflussen war. Im Gegensatz dazu wurden bereits zu Versuchsbeginn Blattläuse von den ausgebrachten Parasitoiden angegriffen. Parasitierte adulte Blattläuse können sich zwar noch für einige Tage fortpflanzen (van Schelt, 1994), dennoch hatten die eingesetzten Parasitoide das Potenzial das Blattlauspopulationswachstum bereits zu einem frühen Zeitpunkt einzudämmen. Der geringe Effekt von *C. carnea* auf *M. persicae* zeigte sich auch in dem nur geringfügigen Unterschied im Bekämpfungserfolg zwischen alleinigem Einsatz von *A. colemani* und der Kombination mit *C. carnea*. Der starke Einfluss von *A. colemani* wurde vor allem ab der zweiten Schlupfwespengeneration deutlich, da sich in der jeweils zweiten Versuchshälfte das Verhältnis von Parasitoid zu Prädator, durch den Schlupf adulter Parasitoide, von anfangs 1,5 auf ungefähr 22 bis 30 Parasitoide pro Räuber verschob. Angesichts dieser hohen Schlupfraten ist die Beein-

trächtigung der Mumienbildung durch Fraßaktivitäten der räuberischen Florfliege offenbar als gering einzustufen, obwohl in der ersten Parasitoidengeneration signifikant mehr Blattlausmumien nach dem alleinigen Einsatz von *A. colemani* im Vergleich zur Kombination festgestellt wurden. Die Feststellung von Fraßstellen an Blattlausmumien könnte an dieser Stelle aufschlussreich sein. Dazu ist eine genauere Untersuchung der Mumien notwendig, um die Eindringöffnungen, die durch die Mandibeln von *C. carnea* entstanden sind, feststellen zu können. Diese Überprüfung der Mumien war jedoch in den Parzellenversuchen nicht möglich. Das Ergebnis aus dem Parzellenversuch steht im Gegensatz zu den Laboruntersuchungen von Meyhöfer et al. (unveröff.) im gleichen System. Hier unterdrückte *C. carnea* bei einer insgesamt geringeren Wirtsdichte die Mumienbildung fast vollständig. Ausschlaggebend für diese unterschiedliche Entwicklung sind offensichtlich die unterschiedlich hohen Einsatzdichten von *C. carnea*. Während in den Parzellenversuchen zwei Florfliegenlarven in einer Parzelle mit sechs Pflanzen eingesetzt wurden, so lagen die Einsatzdichten in den Laborversuchen mit einer *C. carnea*-Larve pro Pflanze deutlich höher. Des Weiteren war der Aktionsradius und damit auch das Gefährdungspotenzial, durch z.B. Bodenräuber beim Wechsel von einer Pflanze zur anderen selbst erbeutet zu werden, für *C. carnea* in den Parzellenversuchen im Vergleich zu den Laborversuchen deutlich höher (siehe auch Kapitel 4.4.2).

In beiden Untersuchungen zum zeitgleichen Nützlingleinsatz konnte festgestellt werden, dass der alleinige Einsatz des Prädators weniger effizient war als die alleinige Freilassung des Parasitoiden. Durch den Einsatz einer Nützlingskombination aus Parasitoid und Prädator konnte die Bekämpfungseffizienz geringfügig erhöht werden. Dieser Effekt könnte sich unter Praxisbedingungen noch verstärken, wenn sich *A. aphidimyza* über einen längeren Zeitraum weiter vermehrt und somit der Anteil durch die Gallmücke eliminiertes Blattläuse, in Relation zum Effekt des Parasitoiden, zunimmt.

Insgesamt ist also eine Kombination von *A. colemani* und *A. aphidimyza* zur Bekämpfung der Pfirsichblattlaus an Paprika tendenziell besser geeignet, als der Einsatz einzelner Antagonisten, auch wenn der Effekt nicht unbedingt doppelt so hoch, d.h. additiv ist. Ob eine Erhöhung der Dichte der einzelnen Antagonisten

den gleichen Gesamteffekt erzielen würde wie in der Kombinationsvariante, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. Die Kombination der beiden Nützlinge bringt jedenfalls den Vorteil, zwei Arten mit unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen einzusetzen. So sucht *A. aphidimyza* zur Eiablage z.B. gezielt Kolonien von Blattläusen auf, während die Schlupfwespe *A. colemani* auch in der Lage ist, einzelne Blattläuse zu lokalisieren. Der kombinierte Einsatz dieser verschiedenen Nützlinge verspricht daher nicht nur die Gesamteffizienz zu steigern, sondern auch maßgeblich die Wirkungssicherheit zu erhöhen.

#### Auswirkungen des zeitversetzten Nützingseinsatzes

Durch die zeitversetzte Ausbringung von Parasitoid und Prädator konnte die Wirkung der Kombination, im Vergleich zur zeitgleichen Ausbringung, verbessert werden. Die Versuche zeigten, dass die Ausbringung von zwei *A. colemani*-Weibchen pro m<sup>2</sup> eine Woche vor Ausbringung von je zwei *C. carnea*-Larven pro m<sup>2</sup> bzw. vier Tage vor der Ausbringung von je zwei Gallmückenweibchen pro m<sup>2</sup> tendenziell den Bekämpfungserfolg verbesserten. Die Unterschiede zwischen den Varianten im Versuch zum zeitversetzten Einsatz von *A. colemani* und *C. carnea* waren im Vergleich mit den anderen Versuchen vergleichsweise gering. Der geringe Anstieg der Schaderregerpopulation in der Kontrolle mit knapp 3.000 Blattläusen pro Zelt am Versuchsende spiegelt die ungünstigen klimatischen Versuchsbedingungen wider (Abb. 2.16). Eine durchschnittliche Lufttemperatur von 16 °C war für ein rasches Populationswachstum von *M. persicae* zu niedrig. Laut Dubnik (1991) sind 24 °C für die Entwicklung von *M. persicae* optimal. Für *M. persicae* auf Chrysanthemenblättern konnten Wyatt & Brown (1977) beispielsweise unter Langtagbedingungen eine wöchentliche Wachstumsrate von nur 0,6 bei 18 °C feststellen, während sie bei 24 °C mit 9,0 deutlich höher war. Aber auch für die eingesetzten Gegenspieler war die mittlere Lufttemperatur des Versuchs suboptimal. In einer Untersuchung von Sundby (1966) zeigten *C. carnea*-Larven z.B. bei einer Temperatur von 16 °C im Vergleich zu 21 °C sowohl eine Verlängerung der Entwicklungsdauer als auch eine Verringerung der Anzahl verzehrter Blattläuse. Der Bekämpfungserfolg von *A. colemani* wurde durch die vorherrschende Lufttemperatur ebenfalls nicht begünstigt, da für die Lebensdauer der adulten Tiere, die Entwicklungszeit der larvalen Stadien und die Fortpflanzung eine Temperatur von 25 °C als optimale Temperatur angenommen wird

(Toussidou et al., 1999). Unter standardisierten klimatischen Bedingungen mit mittleren Temperaturen von 20,3 °C tagsüber und 18,2 °C nachts zeigten Laborversuche, dass mit der zeitgleichen Ausbringung von *A. colemani* und *C. carnea* die besten Erfolge erzielt wurden (Meyhöfer et al. unveröff.). Weitaus günstiger waren die Temperaturen bei der Untersuchung der zeitversetzten Ausbringung von *A. colemani* und *A. aphidimyza*. Die mittlere Lufttemperatur betrug im Versuchszeitraum ca. 19 °C und die Blattlauspopulation stieg in der Kontrollvariante bis zum Versuchsende auf über 7.000 Individuen pro Parzelle. Hier erwies sich der Einsatz der Schlupfwespe vor der Gallmücke gegenüber dem zeitgleichen Einsatz unter praxisnahen Bedingungen zu Versuchsende als tendenziell effizienter.

Der Einfluss der zeitversetzten Freisetzung der Antagonisten auf die mittel- bzw. langfristige Populationsetablierung des Parasitoiden kann in beiden Untersuchungen nicht abschließend beurteilt werden, da die Mumienbildung zu Versuchsende noch nicht in allen Varianten abgeschlossen war. In der Kombinationsvariante *A. colemani* vor *A. aphidimyza* bildeten sich jedoch, im Vergleich zu den anderen Kombinationsvarianten, innerhalb des Versuchszeitraumes mehr Mumien. Das war zu erwarten, da bei dieser Behandlung zu Versuchsbeginn mit vier Schlupfwespenweibchen doppelt so viele Parasitoide eingesetzt worden sind, als beim zeitgleichen Nützlingseinsatz. In der Variante *A. colemani* vor *A. aphidimyza* hat allerdings auch der Einsatz von *A. aphidimyza* zu einem späteren Zeitpunkt die Anzahl mumifizierter Blattläuse nicht negativ beeinflusst. Außerdem wurde im Vergleich zu den anderen Versuchsvarianten die Populationsentwicklung der Blattläuse in der Behandlung *A. colemani* vor *A. aphidimyza* am stärksten beeinträchtigt. Die große Anzahl gefundener Blattlausmumien könnte darauf zurückzuführen sein, dass *A. aphidimyza* mumifizierte Blattläuse nicht als Nahrung erkennt oder nicht in der Lage ist, diese zu fressen. Ein ähnliches Phänomen konnten Heinz & Nelson (1996) im Verhalten von *Delphastus pusillus* (Le Conte) (Coleoptera: Coccinellidae) gegenüber parasitierten *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring (Homoptera: Aleyrodidae) beobachten. Der Marienkäfer nahm sowohl parasitierte als auch unparasitierte Weiße Fliegen als Nahrung an, vermied es aber, parasitierte Nymphen zu fressen.

Beim Einsatz von *C. carnea* in Kombination mit *A. colemani* wurden die meisten Mumien in der Variante mit zeitgleicher Freisetzung von Parasitoid und Räuber gebildet. In diesem Fall haben sich nach der Freisetzung von zwei Parasitoidenweibchen signifikant mehr Mumien gebildet, als beim Einsatz von vier Parasitoidenweibchen. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Ergebnissen der Versuche, in denen *A. aphidimyza* mit *A. colemani* kombiniert wurde (s.o.). Ob diese Diskrepanz durch die Anwesenheit von *C. carnea* hervorgerufen wurde oder auf die klimatischen Bedingungen im Versuch zurückzuführen ist, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht klären. Im Gegensatz dazu erwies sich in allen Laborexperimenten der Einsatz des Parasitoiden vor dem Prädator für die Mumienbildung als günstiger (Meyhöfer et al. unveröff.).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der zeitversetzte Einsatz von Parasitoid und Räuber ein Potenzial zur Verbesserung der Bekämpfungseffizienz und der Mumifizierungsrate im Vergleich zum zeitgleichen Einsatz besitzt. In beiden untersuchten Fällen erwies sich der Einsatz der Schlupfwespe vor dem Räuber als vorteilhafter für die Bekämpfungseffizienz.

#### Populationswachstumsraten von *M. persicae* in den Kontrollvarianten

In den Kontrollvarianten ohne Antagonisteneinsatz lagen die Wachstumsraten  $r$  von *M. persicae* auf den Paprikapflanzen, auf denen sich zu Versuchsbeginn ca. 65 – 82 larvale und adulte Blattläuse befanden, im Bereich von 0,06 – 0,14. Im Vergleich dazu waren die Populationswachstumsraten  $r$  mit ca. 0,19 – 0,4 auf den zunächst unbesiedelten Pflanzen deutlich höher. Diese höheren Wachstumsraten führten dazu, dass nach einem Zeitraum von 3 bis 4 Wochen auf allen Pflanzen innerhalb der Parzellen gleich hohe Blattlausdichten gefunden bzw. berechnet werden konnten. Die Ursachen hierfür können mannigfaltig sein. So können z.B. die Temperatur, die Tageslänge und die Lichtintensität (Wyatt & Brown, 1977), der Stickstoffgehalt der Pflanzen (Petitt et al., 1994), die Wirtspflanzen-sorten (Guldemon et al., 1998), die Eigenschaften der Wirtspflanzen (z.B. Blatt-seneszenz) (Vehrs et al., 1992) oder das Wachstumsstadium der Wirtspflanzen (Guldemon et al., 1998) einzeln oder durch Interaktionen mehrerer Faktoren das Populationswachstum von *M. persicae* beeinflussen. Vor allem aber sind ein unbegrenztes Platzangebot und eine stabile Alterstruktur der Population Voraus-

setzungen für eine konstante Populationswachstumsrate (Southwood & Henderson, 2000). In anderen Studien, in denen zur Berechnung der Wachstumsrate die gleiche Regressionsmethode verwendet wurde, wie in der vorliegenden Untersuchung konnte für *M. persicae* auf Paprika ein  $r = 0,226 (\pm 0,012)$  (Mittelwert  $\pm$  SE) (Jarošík et al., 1996) und auf Chrysanthenen ein  $r = 0,16 (\pm 0,014)$  (Vehrs et al., 1992) festgestellt werden. In einer Untersuchung von Heinz (1998) wurden die Wachstumsraten von *M. persicae* auf Chrysanthenen für drei unterschiedlich hohe Ausgangspopulationen ( $N_0 = 1, 10$  und  $100$  gleichgroße aptere Blattläuse) berechnet. Dabei stellte sich ähnlich wie in den Parzellenversuchen der vorliegenden Untersuchung heraus, dass mit steigender Ausgangspopulation die Wachstumsrate der Blattlauspopulationen sank ( $N_0 = 1$ :  $r = 0,253 \pm 0,015$ ;  $N_0 = 10$ :  $r = 0,196 \pm 0,007$ ;  $N_0 = 100$ :  $r = 0,154 \pm 0,011$ ). Das gleiche Phänomen konnten Agrawal et al. (2004) bei Studien mit der Oleanderblattlaus *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe (Homoptera: Aphididae) auf der Seidenpflanze *Asclepias syriaca* L. feststellen, bei der eine negative Beziehung zwischen der Ausgangspopulationsdichte und der Pro-Kopf-Wachstumsrate der Blattläuse festgestellt werden konnte. In verschiedenen Studien wurde bereits über diese negative Korrelation zwischen Populationsgröße und Populationswachstumsrate berichtet (z.B. Way & Cammell, 1970; Kidd, 1982). Sowohl Way & Banks (1967) als auch Kareiva (1985) stellen dies als Resultat einer sinkenden Wirtspflanzenqualität bei steigender Blattlausdichte dar. Im Gegensatz zur Untersuchung von Heinz (1998), in der alle Versuchspflanzen einzeln in Versuchskäfigen gehalten wurden, gab es in den Parzellenversuchen der vorliegenden Untersuchung für die Blattläuse die Möglichkeit von drei befallenen Paprikapflanzen auf drei unbefallene Pflanzen überzusiedeln. Daher scheinen auch die hohe Mobilität von *M. persicae* (Kennedy et al., 1950; Rabasse & Wyatt, 1985; Vehrs et al., 1992) und die Alterstruktur innerhalb der Blattlauspopulationen auf die Wachstumsraten einen Einfluss gehabt zu haben. Auf den Pflanzen, auf denen keine *M. persicae* aufgekäfigt worden waren, konnten in den ersten Boniturtagen mehr adulte Blattläuse im Verhältnis zu den Larven festgestellt werden. Dies deutet auf eine Zuwanderung adulter Blattläuse von den zu Versuchsbeginn befallenen Pflanzen hin. Da eine Ausbreitung von *M. persicae* hauptsächlich durch das letzte Larvenstadium sowie adulte Tiere erfolgt (Hodgson, 1991), liegt die Vermutung nahe, dass durch dieses Verhalten reproduktionsfähige Weibchen von den anfänglich besiedelten Pflanzen auf die

neu besiedelten Pflanzen übergewechselt sind und dort verstärkt für Nachkommen gesorgt haben. Dagegen führte auf den anfänglich befallenen Paprikapflanzen diese Abwanderung zu einer verringerten Reproduktion.

Schlussfolgernd lässt sich daher sagen, dass aufgrund der hohen Mobilität und der hohen Wachstumsraten, ausgehend von geringen Ausgangspopulationen, eine frühzeitige Bekämpfung von *M. persicae* nötig ist. Da es bei dieser Blattlausart im Gewächshaus oftmals zur Ausbreitung und Reproduktion kommt, ohne dass dies zunächst erkannt wird (Vehrs et al., 1992; Jarošík et al., 1996), scheint eine biologische Bekämpfung mit Antagonisten, die an dieses Verhalten der Blattläuse angepasst sind, sinnvoll (Heinz, 1998). Deshalb scheinen Nützlingskombinationen zur Blattlausbekämpfung besonders prädestiniert zu sein, da sich bei einem gemeinsamen Einsatz von kompatiblen Nützlingsarten (z.B. *A. colemani* und *A. aphidimyza*) beispielsweise die Beute- bzw. Wirtsfindungsstrategien der unterschiedlichen Antagonisten ergänzen können, was wiederum zu einer höheren Wirkungssicherheit führen kann.

#### Schlussfolgerung

Die vorliegenden Untersuchungen zum kombinierten Nützlingseinsatz zur Bekämpfung der Blattlaus *M. persicae* an Paprikapflanzen haben gezeigt, dass Kombinationen aus Parasitoid und Prädator den Bekämpfungserfolg gegenüber dem Einsatz eines einzelnen Antagonisten durchaus steigern können. Allerdings sind nicht unbedingt synergistische oder additive Effekte auf die Blattlausmortalität zu erwarten. Die Kombination von *A. colemani* mit *A. aphidimyza* war für die biologische Bekämpfung von *M. persicae* besser geeignet, als die Kombination mit *C. carnea*. Weiterhin erwies sich der Einsatz der Schlupfwespe vor der Gallmücke vorteilhafter als der zeitgleiche Einsatz. Zusätzlich kann die Kombination aus *A. aphidimyza* und *A. colemani* bei relativ geringen Nützlingsdichten den Wirkungsgrad erhöhen.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass ein besseres Verständnis der Interaktionen zwischen Antagonisten und ihrer Wirkung im biologischen Pflanzenschutz notwendig ist, um gegenwärtige und zukünftige Pflanzenschutzprogramme zu entwickeln (Heinz & Nelson, 1996). Durch den Einsatz von Nützlingskombinationen ergeben sich eine Vielzahl neuer Möglichkeiten zur Optimierung des biologischen Pflanzenschutzes. Aufgrund der unterschiedlichen Speziali-

sierung der einzelnen Antagonistenarten ist es allerdings schwierig, die Ergebnisse zu verallgemeinern. Stattdessen unterstreicht die vorliegende Untersuchung die Tatsache, dass es notwendig ist, jeweils kulturspezifische Strategien zu entwickeln, welche die Charakterisierung kompatibler Nützlingsarten sowie die Ermittlung der optimalen Einsatzzeitpunkte und Ausbringungsdichten beinhalten.

### **3 Kombiniertes Einsatz von pflanzenbewohnenden Raubmilben und Bodenraubmilben zur Bekämpfung von *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae)<sup>2</sup>**

#### **3.1 Einleitung**

Im Lebenszyklus des Kalifornischen Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) spielt der Boden als Verpuppungsort eine wichtige Rolle (Lewis, 1997). Daher scheint für eine erfolgreiche Bekämpfungsstrategie ein holistischer Ansatz, der die Bodenpassage mit einbezieht, notwendig zu sein. Für die biologische Thripsbekämpfung werden bisher Gegenspieler angeboten, die entweder auf oberirdischen Pflanzenteilen leben und fressen oder ihren Lebensraum im Boden haben (Berndt et al., 2004a). Dies ermöglicht einen kombinierten Einsatz von pflanzenbewohnenden mit bodenbürtigen Prädatoren als einen erfolgversprechenden Ansatz für eine verbesserte Bekämpfungsstrategie gegen *F. occidentalis*. Im Gegensatz zu den in Kapitel 2 beschriebenen Interaktionen zwischen Parasitoid und Räuber sind hier, aufgrund der unterschiedlichen Lebensräume der Antagonisten, keine direkten Interaktionen (Intraguild Predation) zu erwarten.

Generell sollten durch den kombinierten Einsatz von Nützlingen möglichst synergistische oder additive Effekte erzielt werden. Nicht-additive Effekte sind ebenfalls tolerierbar, solange die Kombinationswirkung die Wirkung einer Einzelausbringung übersteigt. Zur Thripsbekämpfung werden vor allem Prädatoren (z.B. *Orius*-, *Amblyseius*- oder *Hypoaspis*-Arten) verwendet. Bei einem kombinierten Einsatz von Prädatoren ist der gewünschte synergistische Effekt auf die Mortalität einer Schaderregerpopulation dann zu erwarten, wenn: (1) Prädatoren gleichzeitig in einem bestimmten Bereich vorkommen, (2) Prädatoren eine Fluchtreaktion der Beute induzieren, die zu einem Habitatwechsel führen und somit die Beute anderen Prädatoren verfügbar machen und (3) Prädatoren nicht negativ miteinander interagieren (Losey & Denno, 1999). Ein synergistischer

---

<sup>2</sup> nach: Wiethoff, J., Poehling, H.-M. & Meyhöfer, R. 2004. Combining plant- and soil-dwelling predatory mites to optimise biological control of thrips. *Experimental and Applied Acarology* 34, 239-261.

Effekt konnte z.B. in Laborexperimenten zur Bekämpfung der Grünen Erbsenlaus *Acyrtosiphon pisum* Harris (Homoptera: Aphididae) nach gleichzeitigem Einsatz des auf dem Boden lebenden Carabiden *Harpalus pennsylvanicus* DeGeer (Coleoptera: Carabidae) zusammen mit dem blattbewohnenden Marienkäfer *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) festgestellt werden. Durch Angriffe des blattbewohnenden Prädators *C. septempunctata* auf Blattläuse an oberirdischen Pflanzenteilen wurde die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass der Prädator *H. pennsylvanicus* Aphiden auf dem Boden erbeuten konnte, da sich die Aphiden als Fluchtreaktion infolge des Angriffs von *C. septempunctata* von den Pflanzen fallen ließen (Losey & Denno, 1998a). Dieses durch eine Räuberart induziertes Fluchtverhalten führte zu einer Risikoerhöhung der Beute von einer anderen Räuberart gefressen zu werden (Sih et al., 1998).

Untersuchungen zur Effizienz von natürlichen Gegenspielern gegenüber Thripsen beschränken sich meistens auf die Bekämpfung von pflanzenbewohnenden Thripsstadien. Dabei werden häufig *Orius*-Raubwanzen in Kombination mit der Raubmilbe *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) eingesetzt. Ramakers & van den Meiracker (1991) konnten mit dieser Räuberkombination einen guten Bekämpfungserfolg gegen Thripse erzielen. In einigen anderen Untersuchungen wurde die Effizienz dieser Kombination allerdings als gering bewertet, da *Orius*-Raubwanzen nicht nur Thripse, sondern auch *A. cucumeris* erbeutet hatten und es somit zu Intraguild Predation (IGP) zwischen den beiden Räuberarten kommen konnte (Gillespie & Quiring, 1992; Ramakers, 1993; Wittmann & Leather, 1997). Im Gegensatz dazu findet der gemeinsame Einsatz von blatt- und bodenbewohnenden Raubmilben zur Bekämpfung von Thripsentwicklungsstadien auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden bisher wenig Beachtung (z.B. Linnamäki et al., 1998).

In dem folgenden Kapitel steht der kombinierte Nützlingseinsatz zur Verbesserung der biologischen Thripsbekämpfung im Vordergrund. Dazu wird der Einfluss der gemeinsamen Ausbringung der Bodenraubmilbe *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspidae) mit der pflanzenbewohnenden Raubmilbe *A. cucumeris* auf den Bekämpfungserfolg gegenüber *F. occidentalis* untersucht. Da in den Versuchen als Pflanzensubstrat gewachsener Boden verwendet wurde, wurden nicht nur die artifizell eingesetzten Arthropoden, sondern auch natürlich vorkommende Räuber- und Beutetierarten bei der Auswertung der Ergebnisse

berücksichtigt. Die möglichen direkten und indirekten Interaktionen zwischen den Arthropoden sind in Abb. 3.1 dargestellt und werden in der Diskussion der Ergebnisse näher erläutert.

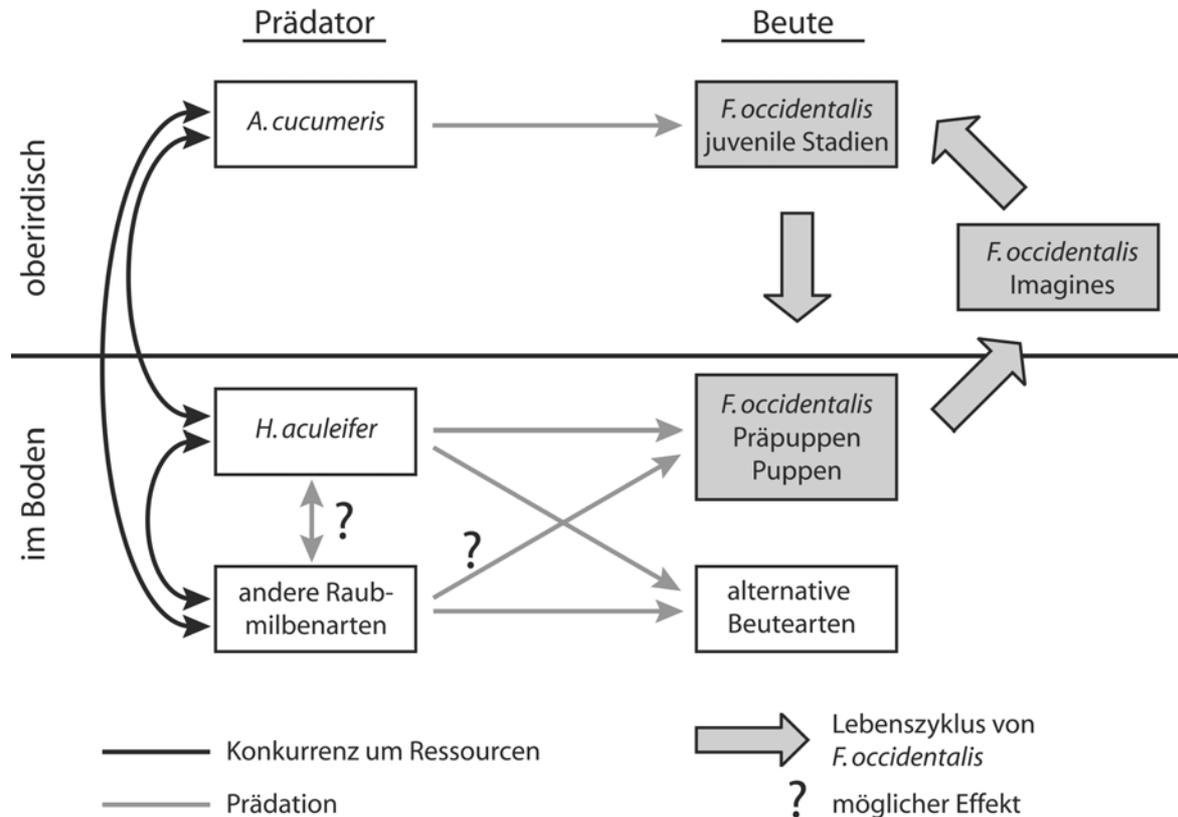


Abb. 3.1 Hypothetische interspezifische Interaktionen zwischen Prädator- und Beutearten im Versuchssystem. Eine Konkurrenz um Ressourcen ist möglich zwischen den pflanzenbewohnenden (*A. cucumeris*) und den bodenbürtigen Raubmilben (*H. aculeifer*, andere Raubmilbenarten), die um eine gemeinsame Beuteart (*F. occidentalis*) konkurrieren. Konkurrenz um Ressourcen und/oder Prädation könnte ferner auftreten bei Prädatoren, die im gleichen Habitat vorkommen (*H. aculeifer*, andere Raubmilbenarten). Pflanzenbewohnende Prädatoren (z.B. *A. cucumeris*) können Entwicklungsstadien von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen erbeuten, während Thrips-Präpuppen und -Puppen von *H. aculeifer* und möglicherweise von anderen Raubmilbenarten im Boden gefressen werden können. Andere Arthropodenarten (z.B. Collembola) können ebenso als Beute (Alternativbeute) für polyphage Bodenräuber dienen. Dies könnte einen Einfluss auf die Thripsbekämpfung mit bodenbürtigen Prädatoren haben.

Im Hinblick auf die Wirkung des kombinierten Einsatzes von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* wurden folgende Hypothesen aufgestellt: (1) Der kombinierte Einsatz führt zu einem additiven oder synergistischen Effekt in der biologischen

Thripsbekämpfung und (2) steigende Einsatzdichten von Bodenraubmilben erhöhen den Gesamtbekämpfungserfolg der Antagonisten.

## 3.2 Material und Methoden

### 3.2.1 Anzucht von *F. occidentalis* und Vorbereitung der Raubmilben

Für die im Folgenden beschriebenen Versuche wurden Thripse aus einer Erhaltungszucht von *F. occidentalis*, die seit 1995 im Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover auf Bohnenpflanzen (*Phaseolus vulgaris* L. cv. 'Marona') etabliert war, verwendet. Um für die Experimente gleichaltrige larvale Entwicklungsstadien erhalten zu können, wurden die Thripse auf Bohnenhülsen in Einkochgläsern (Leifheit, Nassau) gezüchtet. Dabei wurden die Einkochgläser, die ein Volumen von 750 ml aufwiesen, mit Deckeln und Schraubringen verschlossen. In den Deckeln befand sich jeweils ein Belüftungsloch ( $\varnothing$  5 cm), welches mit thripsdichter Gaze (Maschenweite 63  $\mu$ m, Sefar, Schweiz) abgedeckt wurde. Die adulten *F. occidentalis* wurden zuvor als L<sub>2</sub>-Larven, die in der oben beschriebenen Weise auf Bohnenhülsen gezüchtet wurden, in Zuchtkäfige (Länge x Breite x Höhe: 75 cm x 56 cm x 55 cm) überführt. In den Käfigen befanden sich Gurkenpflanzen (*Cucumis sativus* L. cv. 'Travito'), die in mit Erde (Fruhstorfer Erde Typ P) gefüllte Saatschalen (Länge x Breite x Höhe: 60 cm x 40 cm x 6 cm) gepflanzt worden waren. Die L<sub>2</sub>-Larven konnten in den Zuchtkäfigen ihre Entwicklung auf den Gurkenpflanzen vollenden und hatten die Möglichkeit, zur Verpuppung den Boden aufzusuchen. Da allerdings im ersten Versuch mit dieser Methode eine zu geringe Anzahl an gleichaltrigen Thripsweibchen gezüchtet werden konnte, wurden zusätzlich Weibchen aus der Erhaltungszucht entnommen. Bei dem Einsatz dieser Tiere in den Versuchseinheiten wurde darauf geachtet, dass in jede Parzelle Thripsweibchen aus der zeitlich synchronisierten Zucht und aus der Erhaltungszucht im gleichen Verhältnis eingesetzt wurden. Im zweiten Experiment wurden ausreichend hohe Anzahlen gleichaltriger *F. occidentalis*-Weibchen durch die Zucht auf Bohnenpflanzen unter Acrylglaszylindern ( $\varnothing$  10 cm, Höhe 30 cm) erreicht. Alle Zuchteinheiten wurden bei einer Lufttemperatur von  $24 \pm 1$  °C, einer relativen Luftfeuchte von  $60 \pm 10$  % und bei einem Tag-Nacht-Rhythmus von 16:8 (L:D) gehalten.

Die Raubmilben *A. cucumeris* (Katz Biotech Services, Welzheim) und *H. aculeifer* (Sautter & Stepper, Ammerbuch) wurden von kommerziellen Nützlingsanbietern bezogen. Adulte Raubmilben beider Arten wurden von Substrat (Vermiculite-Torf-Gemisch) und Modermilben (*Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae)), die als zwischenzeitliche Nahrungsquelle für die Raubmilben dienten, mit Pasteur-Pipetten getrennt. Dazu wurden die Raubmilben über einen Schlauch in die Pasteur-Pipetten eingesaugt. Das obere Ende der Pasteur-Pipetten, an dem der Schlauch fixiert wurde, wurde dazu mit thripsdichter Gaze abgedeckt, während das untere Ende, nachdem die gewünschte Anzahl Raubmilben in die Pipette eingesogen war, mit Knetmasse verschlossen wurde. Die auf diese Weise präparierten Pasteur-Pipetten dienten anschließend dem Transport der Raubmilben in die Versuchseinheiten.

### 3.2.2 Versuchsaufbau und -durchführung

In zwei Experimenten wurden folgende Behandlungen untersucht: *A. cucumeris* (alleine), *H. aculeifer* (alleine), *A. cucumeris* & *H. aculeifer* (kombinierter Einsatz) sowie eine Kontrolle (ohne Antagonisten). Im ersten Versuch wurde *H. aculeifer* in einer relativ geringen Einsatzdichte ausgebracht (= Versuch mit geringer Dichte), während sie im zweiten Experiment 2,5-fach höher war (= Versuch mit hoher Dichte). Beide Experimente wurden als Parzellenversuche in Zusammenarbeit mit einem Gemüsebaubetrieb in der Region Hannover durchgeführt. Die Größe und Verteilung der Parzellen auf zwei Foliengewächshäuser entsprachen der Beschreibung in Kapitel 2.2.1. Die Versuche wurden in den Sommermonaten der Jahre 2001 und 2002 durchgeführt. Insgesamt 10 Wiederholungen pro Versuchsvariante wurden gleichmäßig auf beide Foliengewächshäuser aufgeteilt, wobei die Verteilung innerhalb eines Hauses randomisiert erfolgte.

In beiden Experimenten wurden jeweils 3 Gurkenpflanzen (*Cucumis sativus* L. cv. 'Travito') je Parzelle direkt im Gewächshausboden kultiviert. Die Pflanzung erfolgte 18 bzw. 21 Tage nach der Aussaat. Die Wasserversorgung erfolgte über Tröpfchenbewässerung. Die Abstände zwischen den Pflanzen betragen 60 cm bzw. 100 cm (Abb. 3.2).

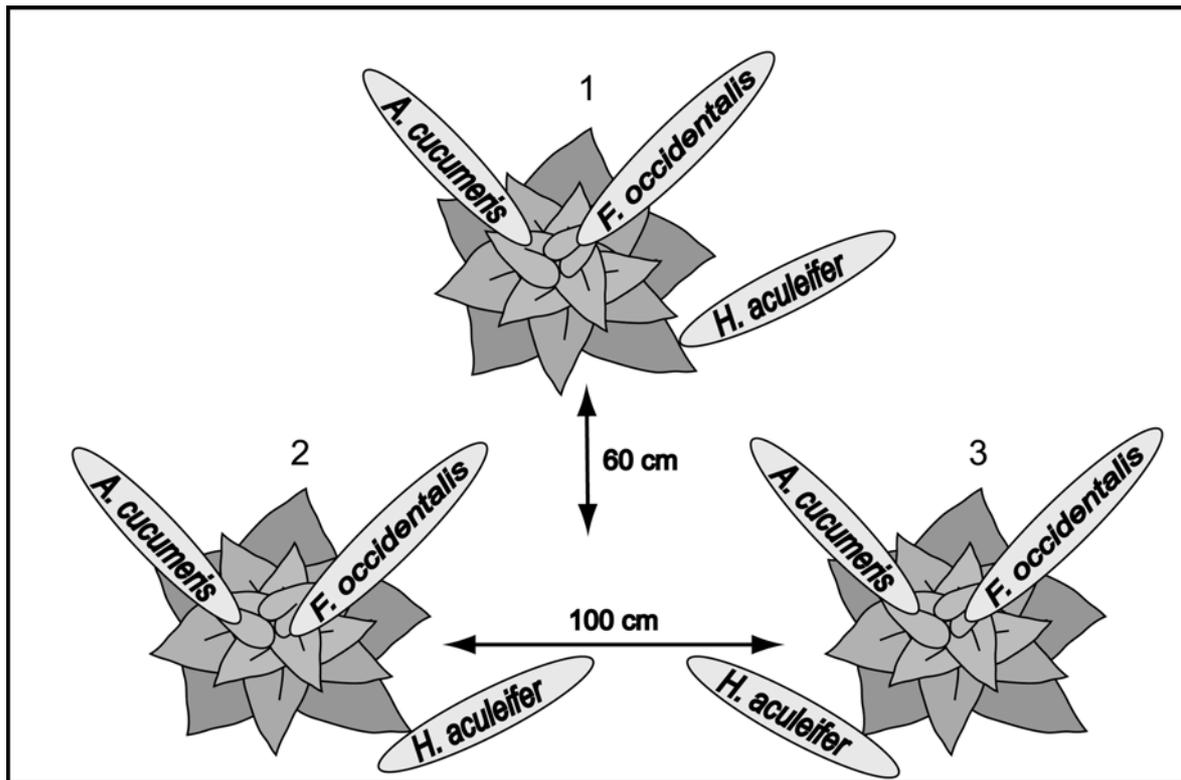


Abb. 3.2 Anordnung der Gurkenpflanzen innerhalb eines Versuchszeltes. Thripse (*F. occidentalis*) und Raubmilben (*A. cucumeris*) wurden auf jeder Pflanze, Bodenraubmilben (*H. aculeifer*) wurden unter jeder Pflanze, entsprechend den jeweiligen Versuchsvarianten, freigesetzt.

Die Pflanzen wurden wie praxisüblich an Fäden aufgeleitet, um den Kontakt der Blätter mit der Bodenoberfläche zu vermeiden. An jedem Boniturtermin wurden die Blütenknospen ausgebrochen, da sich eine Bonitur von Blüten als zu zeitintensiv gestaltet hätte. Jede der drei Pflanzen pro Parzelle wurde mit 60 L<sub>1</sub>-Larven und 40 (Versuch mit geringer Dichte) bzw. 45 (Versuch mit hoher Dichte) adulten Weibchen von *F. occidentalis* belegt. Die Thripsweibchen wurden zuvor im Labor in definierten Mengen mithilfe eines Exhaustors in Rollrandgläser (50 ml) gesaugt. Die Rollrandgläser wurden später in den Versuchszelten geöffnet und unter die Gurkenpflanzen gestellt. Die L<sub>1</sub>-Larven von *F. occidentalis* wurden hingegen vorsichtig mit einem feinen Haarpinsel auf die Pflanzen gesetzt. In den Versuchsbehandlungen mit pflanzenbewohnenden Raubmilben wurde *A. cucumeris* zweimal in einer Dichte von 99 adulten Tieren pro Parzelle eingesetzt. Die Raubmilbe *H. aculeifer* wurde in einer Dichte von 450 adulten Tieren pro Parzelle im Jahr 2001 (Versuch mit geringer Dichte) und in einer Dichte von 1.125 adulten Tieren pro Parzelle im Jahr 2002 (Versuch mit hoher Dichte) jeweils zweimal ausge-

bracht. In beiden Experimenten erfolgte der erste Einsatz von *A. cucumeris* am 5. Tag und von *H. aculeifer* am 6. Tag nach der Belegung der Gurkenpflanzen mit *F. occidentalis*. Der zweite Einsatz von *A. cucumeris* wurde 20 (Versuch mit geringer Dichte) bzw. 22 (Versuch mit hoher Dichte) Tage und der von *H. aculeifer* wurde 19 (Versuch mit geringer Dichte) bzw. 21 (Versuch mit hoher Dichte) Tage nach der Ausbringung der Thripse durchgeführt. Einmal pro Woche wurden alle pflanzenbewohnenden Thripsstadien, mit Ausnahme der Eier sowie die Raubmilben auf den oberirdischen Pflanzenteilen gezählt.

Zusätzlich zur Erfassung der Thripspopulationen auf den oberirdischen Pflanzenteilen wurden Populationsdichten von Thripsen und Milben im Boden bonitiert. Dazu wurden Bodenproben mithilfe eines Bodenausstechers bis zu einer Tiefe von 10 cm ( $\varnothing$  5,7 cm, erfasste Bodenoberfläche: 25,52 cm<sup>2</sup>) entnommen. Daraus ergibt sich ein Bodenvolumen von etwa 255 cm<sup>3</sup> je Probe. Die ausgestochenen Bodenproben wurden einzeln in Polyethylen-Beutel gefüllt und zur Untersuchung ins Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover transportiert. Die zylinderförmigen Bodenproben wurden im Labor in eine modifizierte Kombination aus Photoelektrode und Berlese-Apparatur überführt (Abb. 3.3). Mithilfe dieser Apparatur wurden positiv phototaktisch reagierende Arthropoden (z.B. Thripse) von einer Lichtquelle über der Falle angezogen und im Insektenleim gefangen. Gleichzeitig wurden andere Bodenarthropoden (z.B. Milben und Collembolen) durch die von oben fortschreitende Erwärmung und Austrocknung der Bodenprobe nach unten ausgetrieben und in einer Schale mit Fangflüssigkeit (50 % Ethylenglykol) abgetötet. Nachdem die Bodenproben in die Apparaturen überführt worden waren, wurden die Arthropoden in einer Klimakammer bei einer Temperatur von 27 °C und kontinuierlicher Beleuchtung für etwa zwei Wochen bis zur völligen Austrocknung der Bodenproben extrahiert. Danach wurden unter dem Stereoauflichtmikroskop die im Leim gefangenen Tiere (positiv phototaktisch reagierend) gezählt und entfernt.

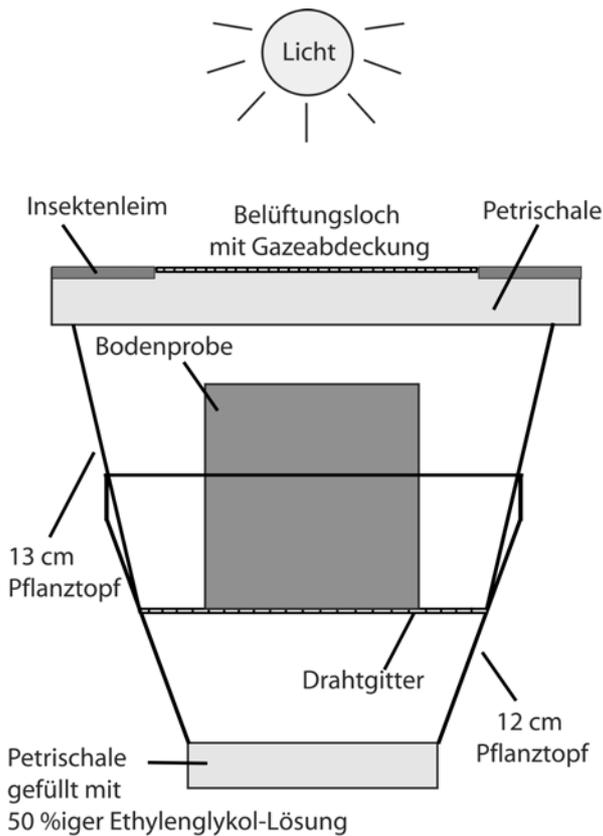


Abb. 3.3 Photoelektor und modifizierte Berleseapparatur. Positiv phototaktisch reagierende Arthropoden (z.B. *F. occidentalis*) werden vom Licht angezogen und im Insektenleim über der Bodenprobe gefangen. Die Gaze dichtet ein Belüftungsloch im Deckel ab. Durch das Drahtgitter am Boden des Topfes fallen durch Hitze ausgetriebene Tiere (z.B. Bodenmilben) in die mit 50 % Ethylenglykol gefüllte Petrischale und werden getötet.

Zusätzlich zur Untersuchung der Fangflüssigkeit wurde jede Apparatur über einer zweiten Petrischale mit reichlich Wasser ausgespült, um sicherzustellen, dass keine Tiere in der Apparatur zurückblieben. Der Inhalt beider Schalen wurde anschließend unter dem Stereoauflichtmikroskop ausgezählt. Die extrahierten Arthropoden wurden dabei quantifiziert und der jeweiligen Arthropodengruppe zugeordnet. Vorhergehende Laboruntersuchungen ergaben eine Effizienz der Extraktionsmethode von  $76,3 \pm 0,05$  % (Mittelwert  $\pm$  SE) für Thripse und  $82,4 \pm 0,04$  % für Bodenmilben. Aus jeder Bodenprobe wurden Exemplare von Bodenraubmilben herausgesucht, die bis zur Artebene bestimmt wurden. Im Durchschnitt wurden im ersten Experiment  $18,31 \pm 1,11$  % der Milben je Bodenprobe und im zweiten Experiment  $6,97 \pm 0,73$  % der Milben je Bodenprobe als Raubmilben taxonomisch untersucht. Zur Erleichterung der Artbestimmung wurden alle gut ausgebildeten Nymphen und Imagines von Raubmilben von den übrigen Bodenmilben separiert und determiniert. Da alle Bodenproben auf diese Weise gleich behandelt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die bestimmten Exemplare der Bodenraubmilben die Biodiversität im Boden repräsentieren. Während des ersten Versuches wurden insgesamt 1.289 Raubmilben und im

zweiten Versuch 321 Raubmilben aus den Bodenproben bis zur Art bestimmt. Dieser große Unterschied zwischen den beiden Experimenten basiert auf den im Vergleich zum zweiten Versuch deutlich höheren Bodenmilbendichten im ersten Versuch. Die Individuenzahlen wurden auf eine Fläche von einem Quadratmeter Boden bezogen und auf eine Bodentiefe von 10 cm ( $\hat{=} 0,1 \text{ m}^3$ ) umgerechnet, um die Ergebnisse vergleichbarer zu machen. Dazu musste die Anzahl der Bodenmilben je Probe mit dem Faktor 391,89 multipliziert werden.

Die Bodenproben wurden 3 Tage vor, 18 und 35 Tage nach (Versuch mit hoher Dichte) bzw. 1 Tag vor, 13 und 32 Tage nach (Versuch mit geringer Dichte) Beginn der Versuche entnommen. Jedes Experiment begann mit der ersten Freisetzung von Arthropoden. In beiden Fällen war dies der Einsatz von *F. occidentalis*. Die Bodenproben, die vor dem Versuchsstart entnommen wurden, stellen daher den Status quo der Abundanzen der bodenbürtigen Arthropoden, vor einer künstlichen Ausbringung von weiteren Arthropoden, dar. Dagegen sollen die Bodenproben, die nach den Einsätzen von Thripsen und Raubmilben entnommen wurden, Auskunft geben über die Populationsentwicklung dieser Tiere im Boden. Die Dauer der Versuche betrug 35 (Versuch mit geringer Dichte) bzw. 32 (Versuch mit hoher Dichte) Tage.

Zur Erfassung von relativer Luftfeuchte, Lufttemperatur und Bodentemperatur standen jeweils acht Tinytag- und acht Tinytalk II-Datalogger (Gemini Dataloggers (UK) Ltd, West Sussex) zur Verfügung.

### 3.2.3 Statistische Auswertung

Vor der statistischen Analyse wurden die Daten der oberirdischen Thripspopulationsdichten log-transformiert, um Normalverteilung und Varianzhomogenität zu erreichen. Zur Überprüfung auf signifikante Unterschiede zwischen allen Behandlungen an jedem Boniturtermin wurde in beiden Versuchen eine Varianzanalyse mit Messwertwiederholung (PROC MIXED, SAS Institute, 1999) auf Basis der Maximum Likelihood Schätzung durchgeführt. Für paarweise Vergleiche zwischen den Behandlungen und zur Überprüfung, ob sich durch den kombinierten Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* ein additiver Effekt erzielen ließ, wurde der Tukey-Test verwendet. Konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Thripspopulationsdichten in der *A. cucumeris* & *H. acu-*

*leifer*-Behandlung im Vergleich zu der Summe der mittleren Thripspopulationsdichten von *H. aculeifer* (alleine) und *A. cucumeris* (alleine) festgestellt werden, so bedeutete dies, dass ein additiver Effekt vorhanden war.

Zur Überprüfung von Unterschieden zwischen den Dichten der Bodenarthropoden innerhalb eines Boniturtermins und zwischen allen Behandlungen sowie zwischen allen Boniturterminen und innerhalb einer Behandlung wurde der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Wurden durch den Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt ( $P < 0,05$ ), wurde anschließend der Wilcoxon-Test für paarweise Vergleiche verwendet (SAS Institute, 1999).

### 3.3 Ergebnisse

#### 3.3.1 Einsatz von *H. aculeifer* in einer geringen Dichte (2001)

##### *F. occidentalis* auf oberirdischen Pflanzenteilen

In den ersten Tagen nach der Freisetzung von *F. occidentalis* nahm die Thripspopulationsdichte rapide ab (Abb. 3.4).

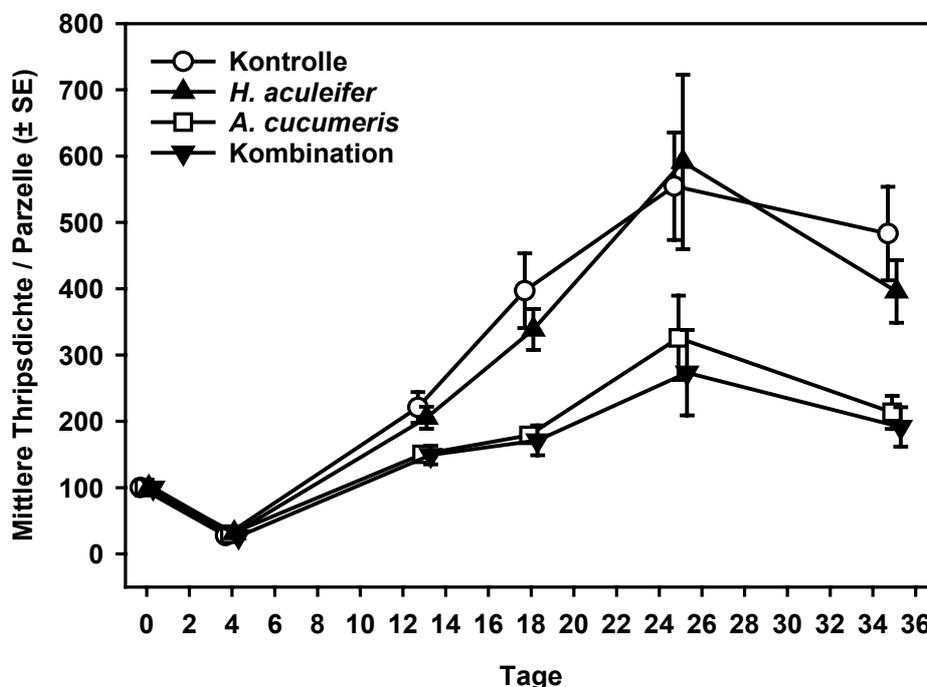


Abb. 3.4 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *F. occidentalis* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. cucumeris* (alleine), *H. aculeifer* (alleine) und Kombination (*A. cucumeris* & *H. aculeifer*). Die Einsatzdichte von *H. aculeifer* betrug zweimal 450 Individuen pro Parzelle (Versuch mit geringer Dichte).

Insgesamt wurde die Populationsdichte von *F. occidentalis* signifikant durch die verschiedenen Varianten und durch den Faktor Zeit beeinflusst (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Analyse von Zeit- und Behandlungseffekten auf die Populationsdichte von *F. occidentalis* auf oberirdischen Pflanzenteilen durch ANOVA mit Messwertwiederholung (SAS, Proc Mixed). Als Behandlungen wurden der Einsatz einer Prädatorenart (*H. aculeifer* oder *A. cucumeris*), der kombinierte Prädatoreneinsatz und die Kontrolle ohne Prädatoreinsatz berücksichtigt (Versuch mit geringer Dichte).

Quelle	df <sub>num</sub>	df <sub>denum</sub>	F-Wert	P-Wert
Zeit	4	36	439,82	<0,0001
Behandlung	3	36	10,16	<0,0001
Zeit x Behandlung	12	36	6,07	<0,0001

Die Thripspopulationsdichten in der Kontrolle (ohne natürliche Gegenspieler) und in der Behandlung mit der Raubmilbe *H. aculeifer* (alleine) unterschieden sich bis zum Versuchsende nicht voneinander ( $P = 0,954$ ) (Abb. 3.4). Im Gegensatz dazu wurde die Entwicklung der Thripspopulation in den Varianten mit der Raubmilbe *A. cucumeris*, im alleinigen Einsatz und kombiniert mit *H. aculeifer*, ab dem 13. Versuchstag signifikant reduziert ( $P = 0,026$  bzw.  $P = 0,013$ ). Beide Behandlungen mit den pflanzenbewohnenden Raubmilben unterdrückten die Thripspopulationsentwicklungen in gleichem Maße ( $P = 0,713$ ). Dabei waren auch die festgestellten Populationsdichten von *A. cucumeris* auf den oberirdischen Pflanzenteilen mit  $4,5 \pm 1,01$  bis  $11,3 \pm 2,39$  (Mittelwert  $\pm$  SE) Milben/Parzelle (*A. cucumeris* alleine) und mit  $5,1 \pm 1,35$  bis  $12,7 \pm 3,12$  Milben/Parzelle (*A. cucumeris* & *H. aculeifer*) während der gesamten Versuchsdauer nahezu gleich hoch. Bis zum Versuchsende waren die Thripspopulationsdichten in den Behandlungen *A. cucumeris* und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* im Vergleich zur Kontrolle um 56 % bzw. 60 % reduziert. Im Gegensatz dazu konnte in der Variante *H. aculeifer* nur eine Reduktion um 18 % am Ende des Experimentes festgestellt werden (Abb. 3.4). Diese, durch *H. aculeifer* hervorgerufene, geringe und nicht signifikante Verringerung führte zu einem statistisch abgesicherten additiven Effekt auf die Populationsentwicklung der Thripse in der Behandlung *A. cucumeris* & *H. aculeifer* ( $P = 0,706$ ).

Bodenarthropoden

Bei der Analyse von Bodenproben konnten einige Arthropodengruppen in allen Versuchspartzen nachgewiesen werden. Thripse waren bereits im Boden etabliert, bevor das Experiment mit der Freisetzung von Thripsen gestartet wurde (Abb. 3.5A, Boniturtermin -3).

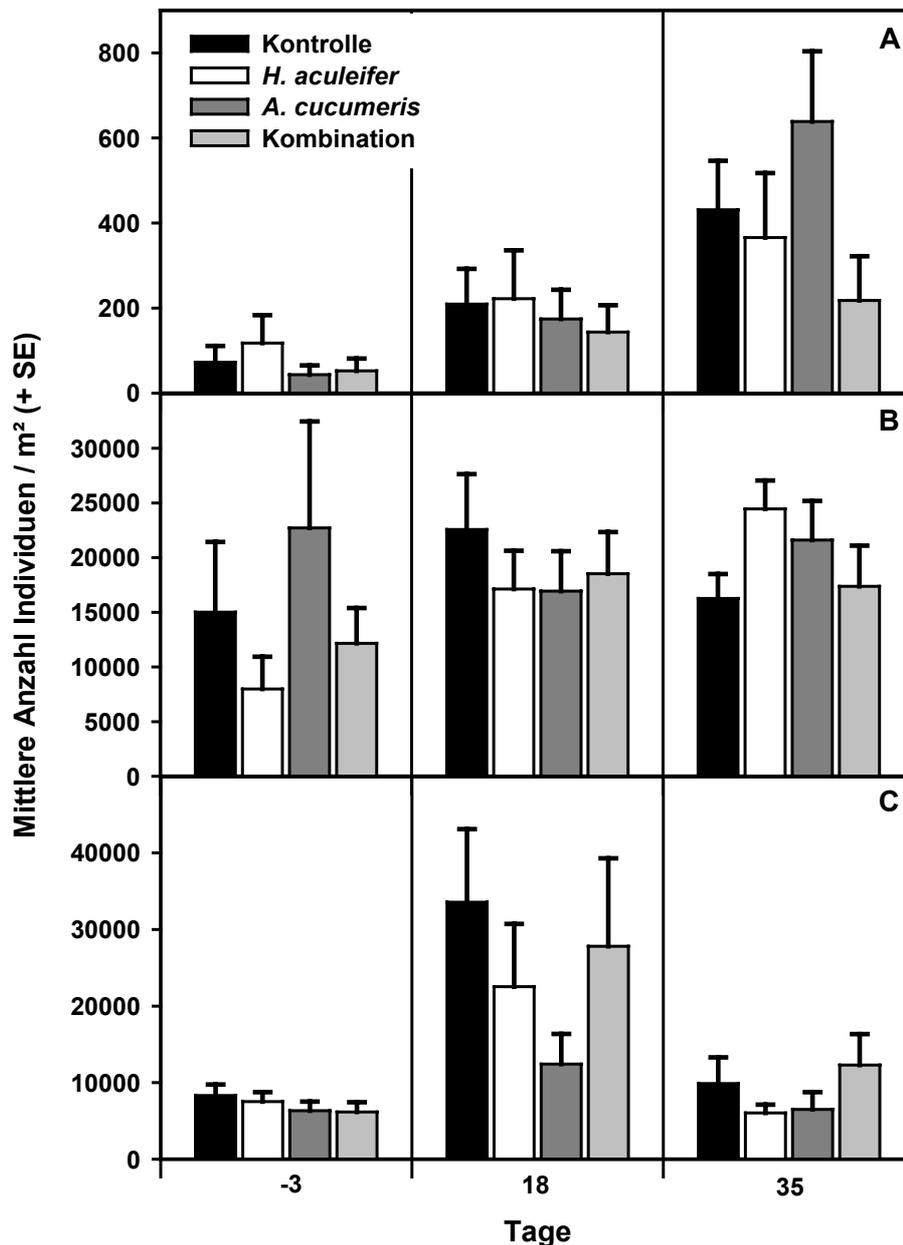


Abb. 3.5 Mittlere Populationsdichten (+SE) von Thripsen (A), Bodenmilben (B) und Collembolen (C) pro m<sup>2</sup> Boden, erfasst 3 Tage vor bzw. 18 und 35 Tage nach Versuchsbeginn. *H. aculeifer* wurde zweimal in einer Dichte von 208 Individuen/m<sup>2</sup> ausgebracht (Versuch mit geringer Dichte).

An diesem Boniturtermin unterschieden sich die Thripspopulationsdichten in den Behandlungen nicht voneinander ( $\chi^2 = 0,49$ ,  $df = 3$ ;  $P = 0,92$ ). Auch an den folgenden Boniturterminen, an denen Bodenproben entnommen wurden, gab es keine Unterschiede in der Dichte der Thripspopulationen (Tag 18:  $\chi^2 = 0,29$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,962$ ; Tag 35:  $\chi^2 = 6,26$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,099$ ) (Abb. 3.5A). Bis zum Versuchsende nahmen die mittleren Thripszahlen im Boden in allen Behandlungen zu. In der *A. cucumeris*-Variante nahm die mittlere Thripspopulationsdichte vom ersten (Tag -3) bis zum letzten Boniturtermin (Tag 35) von  $43,54 \pm 21,77$  bis auf  $638,63 \pm 165,01$  Individuen/m<sup>2</sup> signifikant ( $P = 0,002$ ) um etwa 1.350 % zu. Im Gegensatz dazu war der mittlere Populationsanstieg der bodenbürtigen Thripse in der Kontrolle mit einer Steigerung von  $72,57 \pm 38,40$  auf  $431,08 \pm 115,29$  Individuen/m<sup>2</sup> ( $P = 0,009$ ) mit ungefähr 500 % im gleichen Zeitraum geringer. Die geringsten Anstiege in den Thripspopulationsdichten konnten in dieser Zeit in den Behandlungen mit *H. aculeifer* (von  $117,57 \pm 65,89$  auf  $365,76 \pm 151,84$  Individuen/m<sup>2</sup>, d.h. 211 %) und *H. aculeifer* in Kombination mit *A. cucumeris* (von  $52,25 \pm 28,88$  auf  $217,72 \pm 104,41$  Individuen/m<sup>2</sup>, d.h. 317 %) festgestellt werden (Abb. 3.5A). Die Zunahmen der Thripsdichten im Boden waren in diesen beiden Behandlungen im Vergleich der drei Boniturtermine nicht signifikant (*H. aculeifer*:  $\chi^2 = 3,42$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,181$ ; *A. cucumeris* & *H. aculeifer*:  $\chi^2 = 2,88$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,238$ ).

Die Dichten aller festgestellten Bodenmilben (räuberische und nicht-räuberische) unterschieden sich zwischen den Varianten an den jeweiligen Boniturterminen nicht voneinander (Tag -3:  $\chi^2 = 3,35$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,341$ ; Tag 18:  $\chi^2 = 4,11$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,25$ ; Tag 35:  $\chi^2 = 2,23$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,527$ ) (Abb. 3.5B). Die höchste Bodenmilbendichte an Tag -3 wurde in der Behandlung *A. cucumeris* gefunden ( $21.597,31 \pm 3.580,47$  Individuen/m<sup>2</sup>). Sie blieb in dieser Variante bis zum Versuchsende konstant ( $\chi^2 = 0,86$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,14$ ). An Tag 18 wurden die höchsten Bodenmilbendichten in der Kontrollvariante ( $22.559,61 \pm 5.069,57$  Individuen/m<sup>2</sup>) und in der Behandlung *A. cucumeris* & *H. aculeifer* ( $18.523,17 \pm 3.800,52$  Individuen/m<sup>2</sup>) festgestellt. Das Populationswachstum während der gesamten Versuchszeit war in diesen Varianten nicht signifikant (Kontrolle:  $\chi^2 = 3,94$ ,  $df = 2$ ;  $P = 0,14$ ; *A. cucumeris* & *H. aculeifer*:  $\chi^2 = 1,63$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,444$ ). Im Gegensatz dazu war bis zum

Versuchsende der Anstieg der Bodenmilbendichte auf  $24.440,66 \pm 2.600,03$  Individuen/m<sup>2</sup> in der Behandlung *H. aculeifer* signifikant ( $\chi^2 = 12,09$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,002$ ). Myriapoden, Enchyträen und vor allem Collembolen waren neben Milben und Thripsen im Boden häufig vertreten. Auffällig waren die hohen Populationsdichten von Springschwänzen in den Parzellenversuchen. Die Collembolendichten waren in allen Behandlungen über die gesamte Versuchszeit vergleichbar hoch (Tag -3:  $\chi^2 = 2,05$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,562$ ; Tag 18:  $\chi^2 = 2,15$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,541$ ; Tag 35:  $\chi^2 = 1,75$ ,  $df = 3$ ,  $P = 0,626$ ). Die höchsten Anzahlen von Springschwänzen wurden an Tag 18 gefunden (Abb. 3.5C). Besonders hohe Collembolendichten wurden an diesem Boniturtermin in der Kontrolle ( $33.584,68 \pm 9.528,44$  Individuen/m<sup>2</sup>) und in der Kombination von *A. cucumeris* mit *H. aculeifer* ( $27.810,89 \pm 11.489,84$  Individuen/m<sup>2</sup>) festgestellt. Der Populationsanstieg während des Versuchszeitraumes war allerdings nur in der Behandlung *A. cucumeris* & *H. aculeifer* ( $\chi^2 = 9,03$ ,  $df = 2$ ,  $P = 0,011$ ) signifikant.

Die genaue taxonomische Bestimmung von 1.289 Bodenraubmilben (Gamasina) ergab 12 verschiedene Arten (Tab. 3.2). Vor dem Einsatz von Antagonisten waren Raubmilben der *Macrocheles glaber*-Gruppe<sup>3</sup>, *Parasitus hyalinus* (Willmann) und *H. aculeifer* die am häufigsten vertretenen Bodenraubmilben. Bei weiteren häufig vorgefundenen Arten handelte es sich um *Lysigamasus lapponicus* Trägårdh, *Parasitus fimetorum* (Berlese) und *P. insignis* (Holzmann). Unter Verwendung der Dominanzklassifizierung nach Engelmann (1978) (s. Kapitel 4.2.4) waren *Amblyseius agrestis* (Karg) (Ausnahme Tag 35: subdominant (3,20 - 9,99 % Häufigkeit)), *Arctoseius cetratus* (Sellnik), *Hypoaspis praesternalis* Willmann, *Macrocheles robustulus* (Berlese), *Parasitus consanguineus* Oudemans et Voigts und *Rhodacarellus silesiacus* Willmann subrezedente (0,32 - 0,99 % Häufigkeit) und rezedente (1,00 - 3,19 % Häufigkeit) Arten (Tab. 3.2). In allen Behandlungen nahm die Dominanz von *H. aculeifer* bis zum Ende des Versuchs zu und lag am Tag 35 in einem Bereich von 29,5 % bis 35,6 %.

---

<sup>3</sup> Aufgrund der starken Variabilität der Charakteristika ist die taxonomische Situation innerhalb dieser Gruppe bis dato noch nicht geklärt. In der vorliegenden Untersuchung gehören die identifizierten Individuen wahrscheinlich zwei verschiedenen Arten an (Ruf, pers. Mitteilung).

Tab. 3.2 Relative Häufigkeiten (%) von Raubmilbenarten (Gamasina) in Bodenproben an verschiedenen Boniturterminen (-3 d, 18 d, 35 d) in den verschiedenen Behandlungen (*A. cucumeris*, *H. aculeifer*, *A. cucumeris* & *H. aculeifer*, Kontrolle). Die Einsatzdichte von *H. aculeifer* betrug zweimal 450 Individuen pro Parzelle. Einige juvenile Entwicklungsstadien konnten nicht bis zur Artebene bestimmt werden (Versuch mit geringer Dichte).

Familie Gattung - Art	<i>A. cucumeris</i>			<i>H. aculeifer</i>			<i>A. cucumeris</i> & <i>H. aculeifer</i>			Kontrolle		
	-3 d	18 d	35 d	-3 d	18 d	35 d	-3 d	18 d	35 d	-3 d	18 d	35 d
Phytoseiidae												
<i>Amblyseius agrestis</i>	0	0	6,3	0	0,8	0	0	0	0,8	0	0,8	2,2
Ascidae												
<i>Arctoseius cetratus</i>	0	1,5	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0
Hypoaspidae												
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	11,5	19,1	30,5	21	23,6	29,5	9,3	23,6	33,1	12,4	23	35,6
<i>Hypoaspis praesternalis</i>	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0	0,8	0
Macrochelidae												
<i>Macrocheles glaber</i> -Gruppe	25	42,6	14,7	23,5	40,9	48,8	33,1	36,6	37,8	37,2	50	31,1
<i>Macrocheles robustulus</i>	1	1,5	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0,8	0
Parasitidae												
<i>Parasitus con-sanguineus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0,8	0	0	0	0
<i>Parasitus fimetorum</i>	9,4	2,9	6,3	7,4	7,1	1,6	2,5	10,6	4,7	10,6	4,1	1,1
<i>Parasitus hyalinus</i>	27,1	5,9	9,5	22,2	10,2	8,5	33,9	8,9	3,9	11,5	4,9	13,3
<i>Parasitus insignis</i>	6,3	11,8	15,8	3,7	8,7	4,7	2,5	5,7	5,5	8,8	3,3	3,3
<i>Lysigamasus lapponicus</i>	7,3	11,8	10,5	2,5	3,9	2,3	7,6	8,9	11	9,7	4,9	11,1
Rhodacaridae												
<i>Rhodacarellus silesiacus</i>	0	0	0	0	0	1,6	0	0	0	0	2,5	0
Nicht bestimmt	11,4	3	5,4	19,8	4	1,6	10,9	4,8	3,2	9,8	4,1	2,2
Gesamtzahl Individuen	96	68	95	81	127	129	118	123	127	113	122	90

### 3.3.2 Einsatz von *H. aculeifer* in einer hohen Dichte (2002)

#### *F. occidentalis* auf oberirdischen Pflanzenteilen

Analog zum ersten Experiment nahmen die Thripsdichten auf den oberirdischen Pflanzenteilen zu Beginn des zweiten Versuchs in allen Behandlungen ab. Bis zum Versuchsende kam es insgesamt nur zu einem moderaten Populationsanstieg (Abb. 3.6).

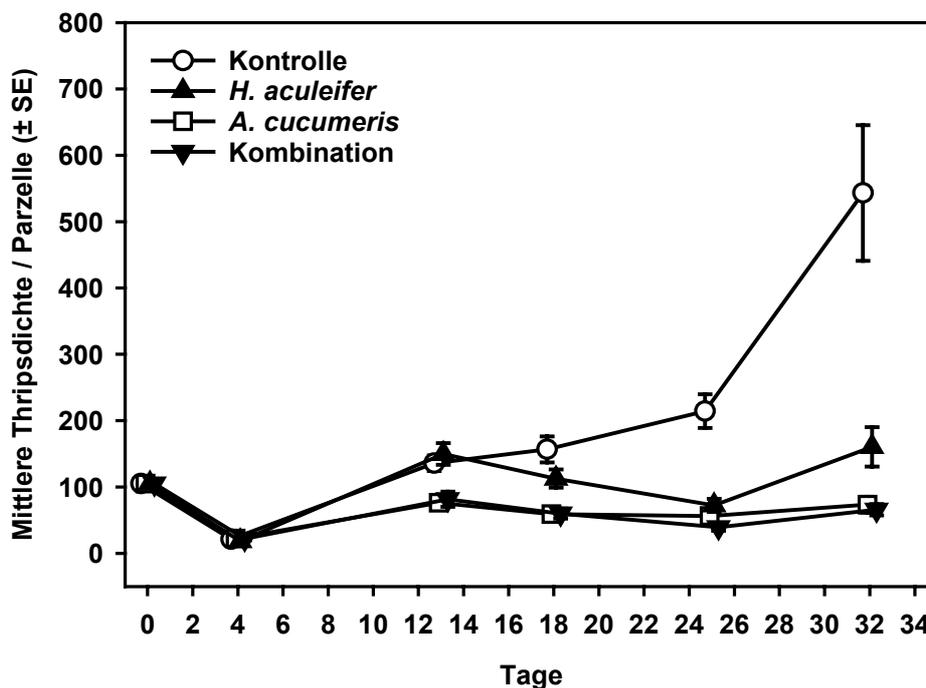


Abb. 3.6 Mittlere Populationsdichten ( $\pm$ SE) von *F. occidentalis* in den Varianten Kontrolle (ohne Antagonist), *A. cucumeris* (alleine), *H. aculeifer* (alleine) und Kombination (*A. cucumeris* & *H. aculeifer*). Die Einsatzdichte von *H. aculeifer* betrug zweimal 1.125 Individuen pro Parzelle (Versuch mit hoher Dichte).

Dennoch hatten die Faktoren Behandlung und Zeit einen signifikanten Effekt auf die Thripspopulationsdichte (Tab. 3.3).

Tab. 3.3 Analyse von Zeit- und Behandlungseffekten auf die Populationsdichte von *F. occidentalis* auf oberirdischen Pflanzenteilen durch ANOVA mit Messwertwiederholung (SAS, Proc Mixed). Als Behandlungen wurden der Einsatz einer Pradatorenart (*H. aculeifer* oder *A. cucumeris*), der kombinierte Pradatoreinsatz und die Kontrolle ohne Pradatoreinsatz berücksichtigt (Versuch mit hoher Dichte).

Quelle	df <sub>num</sub>	df <sub>denum</sub>	F-Wert	P-Wert
Zeit	4	36	221,43	<0,0001
Behandlung	3	36	30,12	<0,0001
Zeit x Behandlung	12	36	13,51	<0,0001

In den Behandlungen mit *A. cucumeris* und *A. cucumeris* in Kombination mit *H. aculeifer* konnte der erste signifikante Einfluss der natürlichen Gegenspieler an Tag 13 bzw. Tag 18 ( $P = 0,007$ ,  $P < 0,0001$ ) festgestellt werden. Ein Einfluss von *H. aculeifer* auf die oberirdische Thripspopulation wurde erst ab Tag 25 nach der Thripsfreisetzung erkennbar ( $P < 0,0001$ ). Die Reduktion in der Thripsdichte durch den alleinigen Einsatz von *H. aculeifer* war im Vergleich zu den anderen Antagonistenbehandlungen, d.h. *A. cucumeris* alleine ( $P = 0,003$ ) und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* ( $P = 0,0006$ ), deutlich geringer. In den Behandlungen *A. cucumeris* (alleine) und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* war die Effizienz der Gegenspieler gleich hoch ( $P = 0,968$ ). Die Populationsentwicklungen der Raubmilbe *A. cucumeris* auf den oberirdischen Pflanzenteilen waren in den beiden Behandlungen, in denen sie eingesetzt wurde, ähnlich. In der Variante *A. cucumeris* nahm die Populationsdichte durchschnittlich von  $2,3 \pm 0,54$  auf  $7,3 \pm 0,92$  Milben/Parzelle zu, während es in der Behandlung *A. cucumeris* & *H. aculeifer* zu einem Anstieg der Raubmilbenpopulation von im Mittel  $3,3 \pm 0,7$  auf  $6,5 \pm 1,44$  Milben/Parzelle kam. Durch den alleinigen Einsatz von *H. aculeifer* konnte die oberirdische Thripspopulation um etwa 70 % reduziert werden, während *A. cucumeris* (alleine) die Thripsdichte um 86 % und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* die Thripsdichte um 88 % im Vergleich zur Kontrolle unterdrücken konnten. Der gemeinsame Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* führte somit nur zu einer geringen Effizienzsteigerung gegenüber den Einsätzen von nur einer Antagonistenart (Abb. 3.6). Die statistische Analyse ergab, dass der kombinierte Effekt von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* als nicht-additiv anzusehen ist ( $P = 0,012$ ).

Bodenarthropoden

Ebenso wie im Experiment des Jahres 2001 konnten bereits Thripse im Boden festgestellt werden, bevor es zu einem Einsatz von *F. occidentalis* gekommen war (Abb. 3.7A).

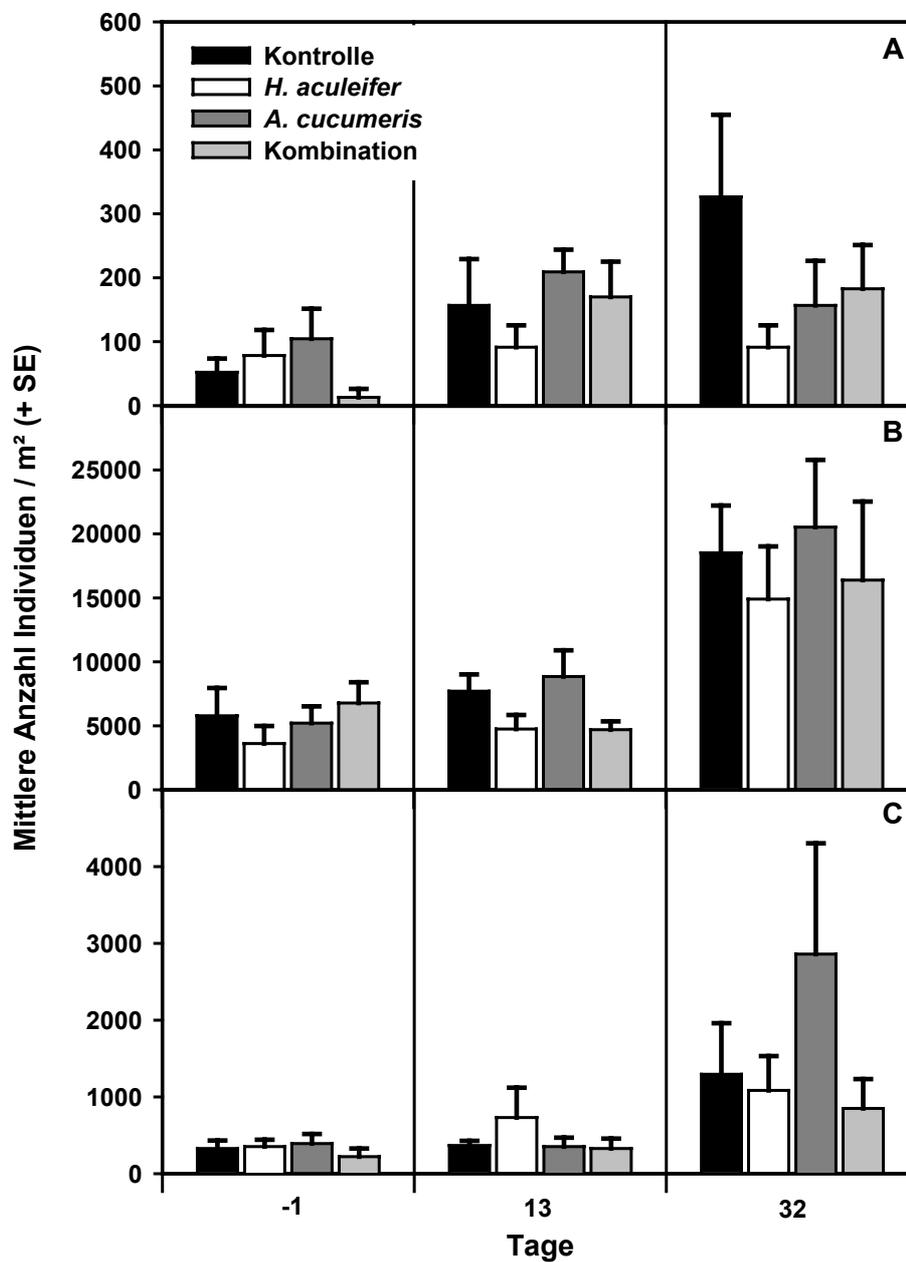


Abb. 3.7 Mittlere Populationsdichten (+SE) von Thripsen (A), Bodenmilben (B) und Collembolen (C) pro m<sup>2</sup> Boden, erfasst 1 Tag vor bzw. 13 und 32 Tage nach Versuchsbeginn. *H. aculeifer* wurde zweimal in einer Dichte von 521 Individuen/m<sup>2</sup> ausgebracht (Versuch mit hoher Dichte).

Die größte Anzahl an Thripsen konnte am Tag 32 in der Kontrollbehandlung festgestellt werden ( $326,57 \pm 128,06$  Individuen/m<sup>2</sup>). Am gleichen Tag betrug die

mittlere Thripsdichte in der *H. aculeifer*-Behandlung nur  $91,44 \pm 34,01$  Individuen/m<sup>2</sup>. In der Variante, in der *A. cucumeris* alleine eingesetzt wurde, konnte die höchste Thripsdichte mit  $209,01 \pm 34,83$  Individuen/m<sup>2</sup> an Tag 13 gefunden werden. An keinem Boniturtermin konnten zwischen den Thripsdichten der verschiedenen Behandlungen signifikante Unterschiede (Tag -1:  $\chi^2 = 3,35$ , df = 3, P = 0,341; Tag 13:  $\chi^2 = 4,11$ , df = 3, P = 0,25; Tag 32:  $\chi^2 = 2,23$ , df = 3, P = 0,527) festgestellt werden. Des Weiteren waren die Unterschiede in den Populationsentwicklungen der bodenbürtigen Thripsstadien innerhalb der Behandlungen Kontrolle ( $\chi^2 = 3,88$ , df = 2, P = 0,144), *H. aculeifer* ( $\chi^2 = 0,29$ , df = 2, P = 0,867) und *A. cucumeris* ( $\chi^2 = 3,35$ , df = 2, P = 0,187) nicht signifikant. In der Variante *A. cucumeris* & *H. aculeifer* konnte hingegen ein signifikanter Populationsanstieg von  $13,06 \pm 13,06$  Individuen/m<sup>2</sup> (Tag -1) auf  $182,88 \pm 68,02$  Individuen/m<sup>2</sup> (Tag 32) festgestellt werden (P = 0,045) (Abb. 3.7A).

Einen Tag vor dem Start des Experimentes mit der Freisetzung von *F. occidentalis* (Tag -1) waren die mittleren Bodenmilbendichten in allen Behandlungen vergleichbar hoch, mit einer Spannweite von  $3.618,42 \pm 1.372,82$  Individuen/m<sup>2</sup> in der *H. aculeifer*-Behandlung bis zu  $6.779,64 \pm 1.619,13$  Individuen/m<sup>2</sup> in der *A. cucumeris* & *H. aculeifer*-Behandlung ( $\chi^2 = 4,52$ , df = 3, P = 0,211) (Abb. 3.7B). Auch nach den Antagonisteneinsätzen gab es in der Bodenmilbendichte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten (Tag 13:  $\chi^2 = 4,57$ , df = 3, P = 0,206; Tag 32:  $\chi^2 = 2,12$ , df = 3, P = 0,548). Ein signifikanter Populationsanstieg (P = 0,009) konnte über den gesamten Versuchszeitraum mit  $5.212,09 \pm 1.313,45$  Individuen/m<sup>2</sup> an Tag -1 und  $20.534,86 \pm 5.243,91$  Individuen/m<sup>2</sup> an Tag 32 nur in der Behandlung *A. cucumeris* festgestellt werden. Zusätzlich konnten signifikante Zuwächse in den Bodenmilbendichten der Behandlungen Kontrolle (von  $7.707,10 \pm 1.313,24$  auf  $18.523,17 \pm 3.702,32$  Individuen/m<sup>2</sup>; P = 0,011) und *H. aculeifer* (von  $4.754,89 \pm 1.089,83$  auf  $14.904,75 \pm 4.119,93$  Individuen/m<sup>2</sup>; P = 0,006) von Tag 13 bis Tag 32 ermittelt werden (Abb. 3.7B).

Wie schon im Versuch von 2001 konnten auch im Jahr 2002 verschiedene Arthropodengruppen innerhalb der Bodenfauna entdeckt werden. Wieder traten Collembolen als die am stärksten vertretene Gruppe auf. In allen Behandlungen waren die Collembolendichten an Tag -1 und Tag 13 gleich (Tag -1:  $\chi^2 = 2,09$ , df = 3, P = 0,554; Tag 13:  $\chi^2 = 2,36$ , df = 3, P = 0,501) (Abb. 3.7C). Bis zum

Versuchsende kam es zu einer drei- bis vierfachen Zunahme der mittleren Collembolendichten in den Behandlungen Kontrolle ( $1.293,23 \pm 667,63$  Individuen/m<sup>2</sup>), *H. aculeifer* ( $1.084,22 \pm 448,75$  Individuen/m<sup>2</sup>) und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* ( $849,09 \pm 382,21$  Individuen/m<sup>2</sup>). In der Variante *A. cucumeris* (alleine) nahmen die mittleren Collembolenzahlen im gleichen Zeitraum um das siebenfache auf  $2.860,77 \pm 1.441,85$  Individuen/m<sup>2</sup> zu (Abb. 3.7C). Allerdings waren weder die Unterschiede zwischen den Behandlungen an Tag 32 ( $\chi^2 = 1,90$ , df = 3; P = 0,593), noch die Unterschiede innerhalb der Behandlungen an den verschiedenen Boniturterminen signifikant (Kontrolle:  $\chi^2 = 2,80$ , df = 2, P = 0,246; *A. cucumeris*:  $\chi^2 = 4,36$ , df = 2, P = 0,113; *H. aculeifer*:  $\chi^2 = 4,03$ , df = 2, P = 0,133; *A. cucumeris* & *H. aculeifer*:  $\chi^2 = 1,95$ , df = 2, P = 0,377).

Durch die Bestimmung von 321 Individuen von Bodenraubmilben konnten 10 verschiedene Arten im Boden identifiziert werden (Tab. 3.4). Unabhängig von der Behandlung war *H. aculeifer* die dominierende Art während des gesamten Versuchszeitraumes. Vor dem Einsatz der Antagonisten war *H. aculeifer* bereits dominant in den Varianten *A. cucumeris* (58,8 %) und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* (61,5 %). In den Behandlungen, in denen *H. aculeifer* eingesetzt wurde, nahm die Dominanz von *H. aculeifer* bis zum Versuchsende auf 79,5 % (*H. aculeifer*) und 70,4 % (*A. cucumeris* & *H. aculeifer*) zu, während in den Behandlungen *A. cucumeris* und Kontrolle die Dominanz auf 27,5 % bzw. 24,5 % zurückging. Die Entwicklung der Dominanzwerte der anderen Bodenraubmilben zeigte eine hohe Variabilität zwischen den Boniturterminen und den Behandlungen (Tab. 3.4). Zu den identifizierten Arten zählten wieder Angehörige der *Macrocheles glaber*-Gruppe und juvenile Stadien der Gattung *Leioseius*, die nicht bis zur Artebene bestimmt werden konnten. Im Vergleich zum Versuch von 2001 konnten *A. agrestis*, *M. robustulus*, *L. lapponicus* und *P. consanguineus* im Jahr 2002 nicht gefunden werden, während *Protogamasellus mica* (Karg) und *Leioseius* spp. nur 2002 und nicht im Jahr 2001 präsent waren.

Tab. 3.4 Relative Häufigkeiten (%) von Raubmilbenarten (Gamasina) in Bodenproben an verschiedenen Boniturterminen (-1 d, 13 d, 32 d) in den verschiedenen Behandlungen (*A. cucumeris*, *H. aculeifer*, *A. cucumeris* & *H. aculeifer*, Kontrolle). Einsatzdichte von *H. aculeifer* betrug zweimal 1.125 Individuen pro Parzelle. Einige juvenile Entwicklungsstadien konnten nicht bis zur Artebene bestimmt werden (Versuch mit hoher Dichte).

Familie Gattung - Art	<i>A. cucumeris</i>			<i>H. aculeifer</i>			<i>A. cucumeris</i> & <i>H. aculeifer</i>			Kontrolle		
	-1 d	13 d	32 d	-1 d	13 d	32 d	-1 d	13 d	32 d	-1 d	13 d	32 d
Ascidae												
<i>Arctoseius cetratus</i>	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leioseius</i> spp.	0	0	0	0	0	0	15,4	0	0	0	0	0
Hypoaspidae												
<i>Hypoaspis aculeifer</i>	58,8	43,8	27,5	33,3	56	79,5	61,5	55	70,4	28,6	60	24,5
<i>Hypoaspis praesternalis</i>	5,9	0	10	0	0	2,3	0	5	3,7	14,3	5,7	3,8
Macrochelidae												
<i>Macrocheles glaber</i> -Gruppe	5,9	0	25	45,8	16	9,1	0	10	7,4	0	8,6	20,8
Parasitidae												
<i>Parasitus fimetorum</i>	0	12,5	22,5	0	4	0	0	0	7,4	0	2,9	15,1
<i>Parasitus hyalinus</i>	0	0	0	4,2	0	0	0	0	0	14,3	2,9	0
<i>Parasitus insignis</i>	5,9	0	5	0	0	0	0	0	3,7	14,3	2,9	3,8
Rhodacaridae												
<i>Rhodacarellus silesiacus</i>	5,9	18,8	2,5	16,7	4	6,8	23,1	15	0	28,6	5,7	15,1
<i>Protogamsellus mica</i>	0	0	0	0	8	0	0	5	7,4	0	2,9	17
Nicht bestimmt	11,8	25,2	7,5	0	12	2,3	0	10	0	0	8,7	0
Gesamtzahl Individuen	17	16	40	24	25	44	13	20	27	7	35	53

### 3.3.3 Klimatische Bedingungen

In Abb. 3.8 sind die mittleren Temperaturen im Boden und in der Luft und die erfassten mittleren Werte für die relative Luftfeuchte für den Versuch mit geringer Einsatzdichte von *H. aculeifer* im Jahr 2001 dargestellt. Die zeitlichen Verläufe der klimatischen Bedingungen sind bei einem Vergleich beider Foliengewächshäuser,

in denen das Experiment durchgeführt wurde, nahezu identisch. Über den gesamten Versuchszeitraum betragen die mittleren Lufttemperaturen (Mittelwert  $\pm$  SE)  $22,04 \pm 0,45$  °C (Haus 1) und  $21,57 \pm 0,45$  °C (Haus 2), die mittleren Bodentemperaturen  $21,20 \pm 0,26$  °C (Haus 1) und  $21,03 \pm 0,25$  (Haus 2) sowie die mittlere relative Luftfeuchte  $76,37 \pm 1,38$  % (Haus 1) und  $77,48 \pm 1,28$  % (Haus 2).

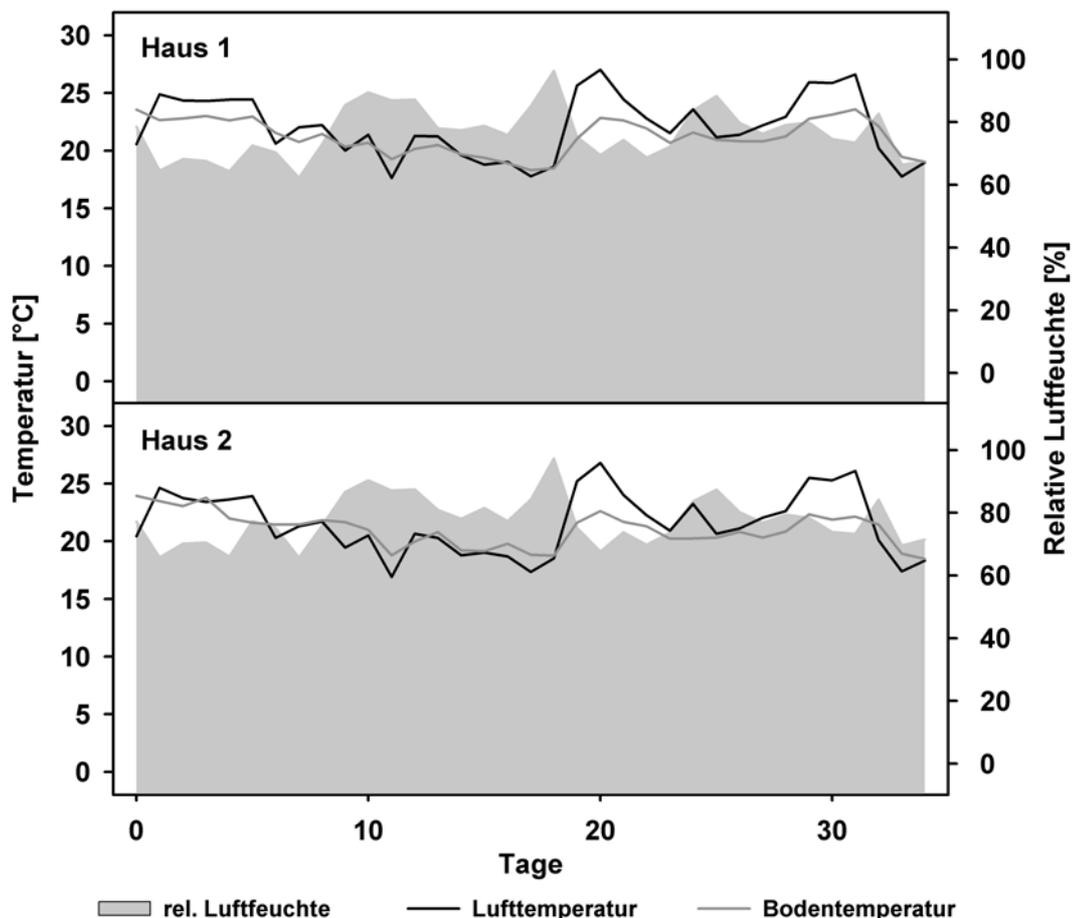


Abb. 3.8 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) (Versuch mit geringer Dichte).

Wie in 2001 zeigten auch die mittleren Luft- und Bodentemperaturen sowie die relative Luftfeuchte im Versuch mit hoher Einsatzdichte von *H. aculeifer* im Vergleich beider Foliengewächshäuser im Jahr 2002 ähnliche Kurvenverläufe (Abb. 3.9). Bezogen auf die gesamte Dauer des Experimentes betragen im Mittel die Lufttemperaturen  $23,72 \pm 0,4$  °C (Haus 1) und  $22,31 \pm 0,38$  °C (Haus 2), die

Bodentemperaturen  $22,68 \pm 0,26$  °C und  $21,70 \pm 0,26$  °C (Haus 2) und die relativen Luftfeuchten  $77,80 \pm 1,3$  % (Haus 1) und  $82,38 \pm 1,12$  % (Haus 2).

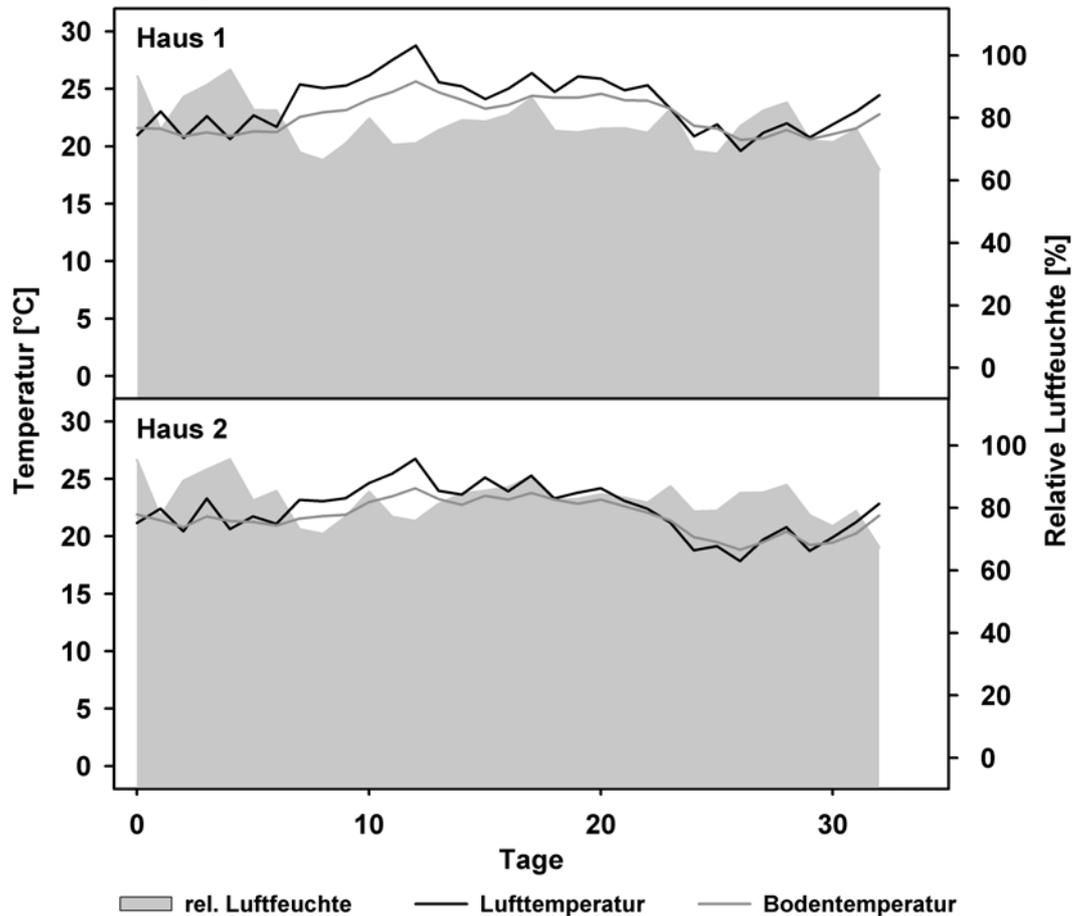


Abb. 3.9 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen sowie mittlere relative Luftfeuchte in den Versuchspartellen beider Foliengewächshäuser (Haus 1, Haus 2) (Versuch mit hoher Dichte).

Insgesamt waren keine gravierenden Unterschiede bei den Klimabedingungen der beiden Versuche feststellbar. In beiden Experimenten konnten keine außergewöhnlichen Extrema in den Klimadaten festgestellt werden. Daher scheinen die Einflüsse von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Ergebnisse beider Versuche ähnlich gewesen zu sein.

### 3.4 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass der Einsatz von Raubmilben (*H. aculeifer* oder *A. cucumeris*) generell eine erfolgreiche Strategie für die biologische Bekämpfung von *F. occidentalis* in Gurke sein kann. Während die Effizienz der pflanzenbewohnenden Raubmilbe *A. cucumeris* in allen Behandlungen vergleichbar war, zeigte die Bodenraubmilbe *H. aculeifer* eine hohe Variabilität im Erfolg der Thripsbekämpfung. Bei einer alleinigen Betrachtung der Entwicklung der Thripspopulation könnte *H. aculeifer* zunächst als ein sehr unzuverlässiger Nützling klassifiziert werden. Allerdings zeigte eine umfangreichere Betrachtung der Populationsentwicklungen und Biodiversitäten von Bodenarthropoden, dass die Effizienz von Bodenraubmilben im Vergleich zu *A. cucumeris* in einer weit komplexeren Art und Weise beeinflusst wurde. Daher soll zunächst der Einfluss von Einzel- und Kombinationseinsätzen der Antagonisten auf die Thripspopulation und anschließend die Verfügbarkeit von Alternativbeute im Boden diskutiert werden. Abschließend soll versucht werden, den Einfluss von Konkurrenz zwischen Bodenraubmilben einzuschätzen, um daraus einige allgemeine und praktische Schlussfolgerungen zum kombinierten Einsatz von Raubmilben zur biologischen Bekämpfung von Thripsen ziehen zu können.

#### Einfluss von Antagonisten auf die Populationsentwicklung von Thripsen: direkte und indirekte Interaktionen

Die Bonitur der Thripspopulationsdichte auf oberirdischen Pflanzenteilen zeigte, dass der zweimalige Einsatz von 208 *H. aculeifer* pro m<sup>2</sup> unzureichend war, um das Populationswachstum der Thripse beeinflussen zu können. Durch eine 2,5-fach höhere Einsatzdichte (521 *H. aculeifer* pro m<sup>2</sup>) konnte die Thripspopulationsdichte um ca. 70 % verringert werden. In der Literatur findet sich eine Reihe veröffentlichter Laboruntersuchungen oder Gewächshausstudien, welche die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unterstützen. Zum Beispiel berichten Gillespie & Quiring (1990), dass *H. aculeifer* eine 30 %-ige Reduktion der Populationsdichte von *F. occidentalis* in Gewächshausgurke auf Sägemehl-Substrat erzielen konnte. Berndt et al. (2004a) fanden auf Bohnenpflanzen (*Phaseolus vulgaris* L.) bei *F. occidentalis* Reduktionsraten von 57,6 % bzw. 80,5 %, die durch Einsatzdichten von 700 bzw. 2.800 *H. aculeifer* pro m<sup>2</sup> erzielt werden konnten. Im

Gegensatz dazu konnte bei einer Einsatzdichte von 500 Individuen pro m<sup>2</sup> kein Effekt von *H. aculeifer* auf die Populationsdichte von *F. occidentalis* auf Schnittrosen, die in Steinwolle oder in Torfbeeten kultiviert wurden, festgestellt werden (Vänninen, pers. Mitt.). Dennoch belegen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, dass *H. aculeifer* einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung der Thripspopulation auf direkt im Boden kultivierten Gurkenpflanzen, haben kann. Im Gegensatz dazu konnten durch den Einsatz der pflanzenbewohnenden Raubmilbe *A. cucumeris*, in einer Dichte von 46 Individuen/m<sup>2</sup>, kontinuierlich höhere Reduktionsraten in der Thripspopulation im Vergleich zu *H. aculeifer* erzielt werden. Die Thripsbekämpfungserfolge durch die Behandlungen *A. cucumeris* und *A. cucumeris* & *H. aculeifer* waren mit 56 % und 60 % bzw. 86 % und 88 % im ersten bzw. zweiten Experiment vergleichbar hoch. In der Literatur gibt es eine Reihe unterschiedlicher Aussagen über die Effektivität von *A. cucumeris* gegenüber Thripsen. Beispielsweise bezeichnet Gillespie (1989) *A. cucumeris* als einen brauchbaren Antagonisten in der biologischen Kontrolle von *F. occidentalis*, während die Ergebnisse von van Houten (1996) zeigen, dass *A. cucumeris* nicht in der Lage war, *F. occidentalis* auf Gurke zu bekämpfen. Des Weiteren berichtet de Courcy Williams (2001), dass mit *A. cucumeris* in einer Dichte von 50 Individuen/m<sup>2</sup> keine befriedigenden Bekämpfungserfolge in Cyclamen erzielt werden konnten. Grundsätzlich sollte allerdings bei dem Vergleich von Ergebnissen aus der Literatur, im Hinblick auf die Effizienz von natürlichen Gegenspielern, beachtet werden, dass unterschiedliche Ergebnisse auch auf unterschiedlichen Einsatzdichten, Versuchsdauern und/oder Toleranzen gegenüber Pflanzenschädigungen beruhen können. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen jedenfalls, dass *A. cucumeris* auf Gurke als ein zuverlässiger Gegenspieler gegen *F. occidentalis* angesehen werden kann.

Die Ergebnisse aus dem kombinierten Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* unterstützen nicht die eingangs formulierte Hypothese zum synergistischen Effekt in der Thripsbekämpfung. Durch den Einsatz von *H. aculeifer* in einer geringen Dichte (208 Individuen/m<sup>2</sup>) in Kombination mit *A. cucumeris* konnte zwar ein additiver Effekt festgestellt werden, der jedoch darauf beruhte, dass der alleinige Einsatz von *H. aculeifer* nur einen unbedeutenden Einfluss auf die Populationsentwicklung der Thripse hatte. Nach Sih et al. (1998) kann dies daher nur formal als ein additiver Effekt angesehen werden, da im Grunde nur ein effektiver Räuber

(*A. cucumeris*) anwesend war, der die Reduktion in der Thripspopulationsdichte hervorgerufen hat. Im Gegensatz dazu gab es in dem Versuch, in dem ein Einfluss von *H. aculeifer* (521 Individuen/m<sup>2</sup>) auf die Thripspopulation festgestellt wurde, keinen additiven Effekt durch den kombinierten Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer*. Die Bekämpfungserfolge in der Kombinationsbehandlung und in der *A. cucumeris* (alleine)-Behandlung waren nahezu gleich, während durch den alleinigen Einsatz von *H. aculeifer* ein geringerer Bekämpfungserfolg erzielt werden konnte. Deshalb weisen diese Ergebnisse zunächst darauf hin, dass der alleinige Einsatz von *A. cucumeris* eine ausreichende Strategie zur Bekämpfung von *F. occidentalis* auf Gurke darstellt. Die biologische Kontrolle von bodenbürtigen Thripsentwicklungsstadien durch eine zusätzliche Ausbringung der Bodenraubmilbe *H. aculeifer* führte weder zu einem additiven, noch zu einem synergistischen Effekt. Folgende, sich gegenseitig nicht ausschließende, Faktoren können zur Erklärung dieses unerwarteten Ergebnisses herangezogen werden: (1) Verhalten der Beute, (2) Verhalten der Räuber, (3) Verfügbarkeit von alternativer Beute im Boden und (4) Anwesenheit von Konkurrenten im Boden.

Im Allgemeinen können synergistische Effekte erwartet werden, wenn beispielsweise ein pflanzenbewohnender Räuber ein Fluchtverhalten der Beute induziert, wodurch diese einem bodenbürtigen Räuber zugänglich gemacht wird (Losey & Denno, 1999). Beispielsweise zeigten Untersuchungen mit *A. pisum*, dass sich die Aphiden als Reaktion auf Alarmpheromone von den Pflanzen auf den Boden fallen ließen, wo sie auf Bodenräuber treffen konnten. Dieser Habitatwechsel führte zu einem synergistischen Effekt, wenn gleichzeitig bodenlebende Räuber anwesend waren (Losey & Denno, 1998a; Losey & Denno, 1998b). Alarmpheromone wurden auch bereits bei *F. occidentalis* festgestellt. Allerdings ist die Reaktion der Thripse auf diese Alarmpheromone, im Vergleich zu vielen Blattlausarten, eher schwach (Teerling et al., 1993). Nur ein geringer Prozentsatz der Thripse wechselt das Habitat und lässt sich, induziert durch Alarmpheromone, auf den Boden fallen. Dieses Verhalten lässt sich, neben der Gefahr durch Bodenräuber erbeutet zu werden, auch dadurch begründen, dass für Larven nach dem Verlassen einer geeigneten Futterquelle das Risiko groß ist, keine geeignete Wirtspflanze wiederzufinden (Teerling et al., 1993; Teerling, 1995). In Abhängigkeit von der Komplexität der Blütenstruktur (Broadbent et al., 2003) wandert allerdings ein Großteil von *F. occidentalis*, im Gegensatz zum Lebenszyklus der

Blattläuse, zur Verpuppung in den Boden (Bennison et al., 2002b; Berndt et al., 2004a). Aus diesem Grund könnte das Fehlen von synergistischen Effekten in der vorliegenden Untersuchung auf den natürlichen Habitatswechsel, der einen Teil des Lebenszyklus' von *F. occidentalis* darstellt, zurückzuführen sein. Ein Wechsel des Habitats induziert durch Antagonisten spielt daher nur eine untergeordnete Rolle.

Vielmehr scheint in diesem Zusammenhang zwischen *A. cucumeris* und *H. aculeifer* die Nahrungskonkurrenz, die auftreten kann, wenn zwei Räuber um eine gemeinsame Beute konkurrieren (Janssen et al. 1998), von Bedeutung zu sein (Abb. 3.1). Die Raubmilbe *A. cucumeris* kann nur L<sub>1</sub>-Larvenstadien von Thripsen erbeuten, da L<sub>2</sub>-Larven in der Lage sind, sich auf eine effektivere Art und Weise gegen die Raubmilben zur Wehr zu setzen (Bakker & Sabelis, 1987). Durch die Verringerung der Anzahl von L<sub>1</sub>-Thripslarven auf den oberirdischen Pflanzenteilen können auch weniger L<sub>2</sub>-Larven zur Verpuppung in den Boden wandern. Daher kann die für bodenbürtige Thripsräuber verfügbare Beutedichte durch die Prädation von *A. cucumeris* verringert werden. Andererseits führt jedes bodenbürtige Entwicklungsstadium von *F. occidentalis*, das durch den bodenlebenden Räuber *H. aculeifer* erbeutet wurde, zu einer Verringerung der Dichte von L<sub>1</sub>-Thripslarven auf oberirdischen Pflanzenteilen, da weniger adulte *F. occidentalis* den Boden verlassen. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung fanden Linnamäki et al. (1998) heraus, dass mit einem gemeinsamen Einsatz von *Hypoaspis miles* (Berlese) (Acarina: Hypoaspididae), einer weiteren Bodenraubmilbenart, die ebenfalls zur Thripsbekämpfung eingesetzt wird, zusammen mit *A. cucumeris* gegen *F. occidentalis* ein besserer Bekämpfungserfolg im Vergleich zu einem alleinigen Einsatz von *H. miles* erzielt werden konnte. Der alleinige Einsatz von *A. cucumeris* wurde leider nicht untersucht, dennoch schreiben die Autoren den größten Anteil am Bekämpfungserfolg des kombinierten Einsatzes von *A. cucumeris* und *H. miles* der Raubmilbe *A. cucumeris* zu. Basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung ist, unter Berücksichtigung der Möglichkeit zur Nahrungskonkurrenz, zu vermuten, dass sowohl die pflanzenbewohnenden als auch die bodenbürtigen Räuber in ähnlichen Teilen am Bekämpfungserfolg gegen *F. occidentalis* beteiligt waren. Daher scheint der simultane Einsatz der Antagonisten zur Erhöhung der Wirkungssicherheit in der biologischen Thripsbekämpfung beizutragen.

### Verfügbarkeit von alternativer Beute und mögliche Einflüsse auf die Effizienz von *H. aculeifer*

Die Quantifizierung der Bodenarthropoden ergab, dass Thripse, unabhängig von der Versuchsbehandlung, in hohen Dichten im Boden vorhanden waren. Das bedeutet, dass das Angebot an Thripsen für *A. cucumeris* oder *H. aculeifer* zu groß war, um vollkommen ausgeschöpft werden zu können. Des Weiteren waren auch Collembolen eine häufig vorkommende Arthropodengruppe in den Bodenproben. Da sie zu dem Beutespektrum der polyphagen Raubmilbe *H. aculeifer* zählen (Karg, 1994), liegt die Vermutung nahe, dass die Verfügbarkeit dieser alternativen Beute die Kontrolle des Zielorganismus' *F. occidentalis* beeinflusst hat. Auffällig war in der vorliegenden Untersuchung die Veränderung des Räuber-Beute-Verhältnisses zwischen Bodenmilben und Collembolen. Das Verhältnis von Bodenmilben (inklusive *H. aculeifer*) zu Collembolen war im ersten Versuch geringer ( $1,86 \pm 0,52$ ) als im zweiten Versuch ( $16,12 \pm 1,29$ ). Daher scheint die Effizienz von *H. aculeifer* in den Versuchen nicht nur von der Einsatzdichte von *H. aculeifer*, sondern auch von der Dichte der Alternativbeute abhängig gewesen zu sein.

Die Bedeutung von Collembolen als Beute für *Hypoaspis*-Raubmilben wird auch in der Literatur diskutiert. Die Prädationsleistung von *H. aculeifer* an Collembolen und *F. occidentalis* ist abhängig vom Entwicklungsstadium, dem Geschlecht des Räubers und der Art der Beute. Hamers & Krogh (1997) berechneten eine mittlere tägliche Prädationsrate von 8,0 juvenilen Collembolen der Art *Folsomia fimetaria* (Linné) (Collembola: Isotomidae) pro Juvenilstadium von *H. aculeifer*. Im Vergleich dazu konnten Usher & Davis (1983) in Versuchen mit Springschwänzen beobachten, dass *H. aculeifer*-Weibchen in der Lage waren pro Tag 0,1 bis 0,8 *Sinella coeca* (Schött) (Collembola: Entomobryidae) bzw. 0,1 bis 1,3 *Hypogastrura denticulata* (Bagnall) (Collembola: Hypogastruridae) zu erbeuten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen unterstreichen die Annahme, dass Collembolen als Beute für *H. aculeifer* eine Rolle spielen können. Allerdings scheinen auch die bodenbürtigen Entwicklungsstadien von *F. occidentalis* eine geeignete Beute für *H. aculeifer* zu sein. Bennison et al. (2002b) konnten bei Weibchen von *H. aculeifer* beispielsweise Prädationsraten von 0,7 Puppen und 1,3 L<sub>2</sub>-Larven von *F. occidentalis* in Kompost und 1,3 *F. occidentalis*-Puppen in Substraten mit Kapillarbewässerung feststellen. Im Vergleich dazu konnten Berndt et al. (2003) bei *H. aculeifer*-

Weibchen durchschnittliche tägliche Prädationsraten von 3 bis 4 L<sub>2</sub>-Larven, Präpuppen und Puppen von *F. occidentalis* feststellen, während *H. aculeifer*-Männchen im gleichen Zeitraum nur 0,4 bis 0,8 Individuen der gleichen Entwicklungsstadien erbeutet hatten. Über die Beutepräferenz von *H. aculeifer* bei einem gleichzeitigen Angebot von Thripsen und Collembolen ist wenig bekannt. Grundsätzlich scheint die Nahrungspräferenz von *H. aculeifer* nicht nur von einer Arthropodengruppe, sondern auch von den Arten innerhalb der Arthropodengruppe abhängig zu sein. Beispielsweise konnten Kevan & Sharma (1964) beobachten, dass *H. aculeifer* die Modermilbe *T. putrescentiae* dem Springschwanz *Isotoma notabilis* Schäffer (Collembola: Isotomidae) als Beutetier vorzog. Das Gegenteilige konnte jedoch Karg (1961) hinsichtlich der Prädation von *H. aculeifer* an *Tyrophagus* sp. (Acari: Acaridae) und *F. fimetaria* feststellen. Selbst im Vergleich verschiedener Arten von Beutetieren, die zu einer Familie gehören, zeigte *H. aculeifer* große Unterschiede im Hinblick auf die Prädationsrate. Innerhalb der Milbenfamilie Acaridae wurden von adulten *H. aculeifer* maximal 10 adulte *T. putrescentiae* pro Tag erbeutet (Kevan & Sharma, 1964), während von *Rhizoglyphus echinopus* (Fumouze und Robin) (Acari: Acaridae) täglich nur 3,8 bis 5,2 Individuen durch Weibchen (Ragusa & Zedan, 1988) und 0,2 bis 0,4 Individuen durch Männchen (Zedan, 1988) von *H. aculeifer* gefressen wurden. Die hohe Variabilität von *H. aculeifer* hinsichtlich der Aufnahmeraten von Nahrung und der Beutepräferenz, selbst auf Gattungsebene von Beutetieren, erschwert die Einschätzung des Einflusses von Alternativbeute auf die biologische Bekämpfung von *F. occidentalis* in Kulturen, die direkt im gewachsenen Boden kultiviert werden. Beispielsweise liegt die Artenzahl von Collembolen im Boden ackerbaulich genutzter Flächen in Niedersachsen bei 28 bis 39 Arten (Röske & Larink, 1990), wobei jede Art eine mehr oder weniger attraktive Beute für *H. aculeifer* darstellen kann.

#### Effizienz von *H. aculeifer* und Biodiversität von Bodenarthropoden

Auf einer höheren trophischen Ebene könnte die Anwesenheit von anderen Prädatorarten im Boden durch interspezifische Nahrungskonkurrenz und Intraguild Predation (IGP), bei der *H. aculeifer* selbst erbeutet werden kann, die Effizienz von *H. aculeifer* beeinflusst haben. Im ersten Versuch (208 *H. aculeifer*/m<sup>2</sup>) waren bereits Raubmilben im Boden vorhanden, bevor *H. aculeifer* eingesetzt wurde. Des Weiteren war *H. aculeifer* eine der dominierenden Raubmilbenarten im

Boden, unabhängig davon, ob Raubmilben dieser Art ausgebracht worden sind oder nicht. Demnach hatte der artifizielle Einsatz von *H. aculeifer* keinen Effekt auf die Biodiversität der Raubmilbengemeinschaft im Boden, da eine Etablierung der ausgebrachten *H. aculeifer* nicht festgestellt werden konnte. Aus diesem Grund wurden die Einsatzdichten von *H. aculeifer* im zweiten Versuch erhöht.

Im Gegensatz zum ersten Experiment konnte mit einer 2,5-fach höheren Einsatzdichte von *H. aculeifer* ( $521 \text{ H. aculeifer/m}^2$ ) im zweiten Versuch eine signifikante Reduktion der Thripspopulation auf oberirdischen Pflanzenteilen festgestellt werden. Da allerdings die Dichte der Alternativbeute (d.h. Collembolen) im Vergleich zum ersten Versuch fast um das 9-fache geringer war, ist es schwierig zu beurteilen, ob der erzielte Bekämpfungserfolg auf der höheren Ausbringungsdichte von *H. aculeifer* und/oder auf der geringeren Verfügbarkeit von Alternativbeute beruht. Die Bestimmung der Bodenraubmilbenarten zeigte jedoch deutlich, dass in den Behandlungen mit *H. aculeifer*, im Vergleich zu den Versuchsvarianten ohne *H. aculeifer*, der Anteil von *H. aculeifer* an der Dominanzstruktur etwa dreimal höher war. Gleichzeitig nahm die Abundanz der Bodenmilben signifikant zu, was die Vermutung unterstützt, dass *H. aculeifer* für den Effekt auf die Population von *F. occidentalis* verantwortlich war. Die Entwicklungen der Thripspopulationen in den Behandlungen mit dem alleinigen Einsatz von *A. cucumeris* und dem kombinierten Einsatz von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* waren vergleichbar. Im Gegensatz zur eingangs formulierten Hypothese war die Bekämpfungseffizienz hervorgerufen durch die Nützlingskombination nicht-additiv, obwohl der Anteil von *H. aculeifer* an der Dominanz im Boden der Kombinationsbehandlung ebenso hoch war, wie in der Variante mit der alleinigen Ausbringung von *H. aculeifer*. Ob *A. cucumeris* oder *H. aculeifer* stärker an der Gesamteffizienz der Kombinationsvariante beteiligt war, kann anhand der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. Da jedoch beide Prädatoren um dieselbe Ressource konkurrieren, ist es möglich, dass sich die Anteile beider Räuber am Bekämpfungserfolg nicht sehr unterscheiden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass in der Kontrollbehandlung die Abundanz und Dominanz von Bodenraubmilbenarten (d.h. Hypoaspidae, Parasitidae und Macrochelidae) generell hoch waren. Allerdings waren die häufig vertretenen Arten nicht in der Lage, vergleichbare Reduktionen in der Thripspopulation zu erzielen, wie *H. aculeifer* in den entsprechenden Behand-

lungen. Dieser geringe Einfluss lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass trotz des breiten Beutespektrums der Bodenraubmilben die Ansprüche an die Habitate doch sehr unterschiedlich sind (Tab. 3.5). Als einzige der identifizierten, sehr häufig vorgekommenen Bodenraubmilbenarten präferiert *H. aculeifer* die obere Bodenschicht als Habitat (Koehler, 1999). Als Verpuppungsort bevorzugen die Präpuppen und Puppen von *F. occidentalis* ebenfalls die obere Bodenschicht, bis in eine Bodentiefe von 2 cm (Arzone et al., 1989; Deligeorgidis & Ipsilandis, 2004). Dies unterstreicht die Annahme, dass die höhere Einsatzdichte von *H. aculeifer* zu dem festgestellten Bekämpfungserfolg gegen *F. occidentalis* geführt hat. Dementsprechend haben die anderen Bodenraubmilbenarten, die nicht die obere Bodenschicht besiedeln, aufgrund des selteneren Aufeinandertreffens mit der Beute wahrscheinlich nur im begrenzten Maße zur biologischen Kontrolle der Thripse beitragen können. Zur Untermauerung dieser Schlussfolgerungen müssten im Boden die vertikalen Verteilungsmuster der Prädatoren und Beutetiere genauer untersucht werden.

Tab. 3.5 Präferierte Nahrung und Lebensräume von ausgewählten Raubmilbenfamilien. Nur in den Bodenproben identifizierte Familien wurden berücksichtigt.

Familie	Präferierte Nahrung*	Präferiertes Stratum*
Phytoseiidae	Acari (z.B. Spinnmilben), Thysanoptera, Pollen, Pilzsporen	Streu und Krautschicht
Ascidae	Nematoda, Collembola, Acari, Thysanoptera, Insektenlarven	Boden (1 bis 15 cm Tiefe)
Hypoaspidae	Nematoda, Collembola, Acari, Larven	Boden (1 bis 15 cm Tiefe)
Macrochelidae	Nematoda, Insektenlarven und -eier, Enchytraeidae, Collembola	Bodenoberfläche, größere Bodenporen, verrottendes organisches Material
Parasitidae	Nematoda, Collembola, Acari, Insektenlarven	Bodenoberfläche, große Boden- poren, verrottendes organisches Material
Rhodacaridae	Nematoda, Collembola, Insektenlarven	Boden (1 bis 15 cm Tiefe)

\*Quellen: Karg (1993); Koehler (1999).

### Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die bodenbürtige Raubmilbe *H. aculeifer* einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung von Thripspopulationen hat, wenn sie in ausreichend hohen Dichten (nicht weniger als 500 Tiere/m<sup>2</sup>) ausgebracht wird und die Verfügbarkeit von alternativer Beute gering ist. Innerhalb von vier Wochen nach der ersten Freisetzung in hoher Dichte konnte sich *H. aculeifer* im Boden erfolgreich etablieren und war schließlich die dominierende Raubmilbenart im Boden. Das Vorkommen anderer Bodenraubmilbenarten hatte offensichtlich nur einen geringen Effekt auf die Entwicklung von Thripspopulationen. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass zwischen den Bodenraubmilben interspezifischen Interaktionen (z.B. IGP) vorhanden waren. Die Gesamteffizienz der biologischen Thripsbekämpfung konnte im Vergleich zum alleinigen Einsatz von *H. aculeifer* durch den gemeinsamen Einsatz von *H. aculeifer* zusammen mit der pflanzenbewohnenden Raubmilbe *A. cucumeris* erhöht werden. Allerdings konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Ergebnis der Kombinationsbehandlung und dem Resultat der alleinigen Ausbringung von *A. cucumeris* festgestellt werden. Ferner schien der Erfolg des kombinierten Einsatzes von *A. cucumeris* und *H. aculeifer* zur Bekämpfung von Thripsen durch Nahrungskonkurrenz beeinträchtigt worden zu sein. Dennoch ist die Fähigkeit von *H. aculeifer*, auch unter ungünstigen Bedingungen überleben zu können (Berndt et al., 2003), ein wichtiger Vorteil, der diese Raubmilbenart zu einem idealen Kandidaten für eine präventive Bekämpfungsstrategie macht. Des Weiteren könnte der gemeinsame Einsatz mit pflanzenbewohnenden Antagonisten die Wirkungssicherheit in der Thripsbekämpfung erhöhen, obwohl dadurch nicht unbedingt eine Effizienzsteigerung erzielt werden kann.

## **4 Monitoring von Thrips- und Blattlauspopulationen und Einsatz von Nützlingskombinationen im kommerziellen Unterglasanbau von Gemüse**

### **4.1 Einleitung**

Die biologische Bekämpfung von Gewächshausschädlingen durch natürliche Gegenspieler hat in Europa seit 1970 erheblich zugenommen (van Lenteren et al., 1997; van Lenteren, 2000). Dabei gibt es für Produzenten von pflanzlichen Erzeugnissen verschiedene Gründe, sich für biologische Kontrollstrategien und gegen den chemischen Pflanzenschutz zu entscheiden. Als wichtigste Argumente für den Einsatz von natürlichen Gegenspielern nennt van Lenteren (2000) das Fehlen von phytotoxischen Effekten, anwenderfreundliche Einsatzmethoden, fehlende Resistenzbildung, keine Wartezeiten zwischen Applikation und Ernte, dauerhafte Wirkung sowie Befürwortung durch die breite Öffentlichkeit.

Zur Umsetzung der biologischen Bekämpfung sind allerdings wirksame Antagonisten notwendig. Der Nützlingseinsatz scheint jedoch im Vergleich zur Applikation von chemischen Pflanzenschutzmitteln oftmals noch weniger effizient zu sein (Collier & Steenwyk, 2004). Beispielsweise sind gegen Thripse effektive biologische Kontrollprogramme bisher selten (van Lenteren, 2000). Auch das Potenzial für eine Anpassung an die hohen Reproduktionsraten und schnellen Entwicklungszyklen von Blattläusen im Gewächshaus scheint bisher nur bei wenigen Nützlingsarten vorhanden zu sein (van Steenis, 1995). Eine Verbesserung des Bekämpfungserfolges verspricht der Einsatz von Nützlingskombinationen (Collier & Steenwyk, 2004). Dabei darf aber nicht unberücksichtigt bleiben, dass sich Kombinationen von natürlichen Gegenspielern einerseits negativ auf den Bekämpfungserfolg selbst auswirken können und es andererseits zu direkten und indirekten Effekten (z.B. IGP) auf Nichtzielarten kommen kann (Denoth et al., 2002).

In der vorliegenden Untersuchung wurden zur Verbesserung der biologischen Bekämpfung von *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) (Kapitel 2) und *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) (Kapitel 3) zunächst Nützlingskombinationen in Parzellenversuchen getestet. Die unter den standardisierten Bedingungen der Parzellenversuche erzielten Erkenntnisse

sollten anschließend unter Praxisbedingungen überprüft werden. Dazu war es notwendig den Schaderregerbefall durch eine kontinuierliche Stichprobenerhebung (Monitoring) festzustellen. Die Populationsentwicklungen von Blattläusen und Thripsen wurden in einem kommerziellen Gewächshaus in den Jahren 2000 bis 2002 überwacht. Im Jahr 2000 wurden alle Bekämpfungsmaßnahmen vom Betriebsleiter durchgeführt. In den folgenden zwei Jahren sollte die Bekämpfungsstrategie gegen Thripse und Blattläuse anhand der Ergebnisse aus den Parzellenversuchen optimiert werden. Bei der Umsetzung in die Praxis traten verschiedene Probleme auf, die sich in einem kommerziellen Gewächshaus nicht oder kaum vermeiden ließen. Die Bewertung der Ergebnisse unter Praxisbedingungen wurde vor allem durch das Fehlen von Kontrollvarianten und die Abhängigkeit von einer Spontanbesiedlung durch Blattläuse bzw. Thripse erschwert. Ferner konnten die Ausgangspopulationsdichten nicht in jedem Jahr auf ein gleiches Niveau eingestellt werden. Fehlende Wiederholungszahlen ließen keine definitiven Schlussfolgerungen zu, sondern lediglich Trends erkennen. Des Weiteren konnte ein natürlicher Blattlausbefall nur in einer Anbausaison festgestellt werden, wodurch für die Überprüfung der Versuchsergebnisse zur Blattlausbekämpfung nur ein Jahr zur Verfügung stand. Chemische Pflanzenschutzmaßnahmen konnten vor allem aufgrund des enormen Befallsdrucks durch die Weiße Fliege nicht verhindert werden, wodurch die Bewertung der Bekämpfungserfolge der kombinierten Nützlingseinsätze erschwert wurde. Die eingesetzte Schlupfwespe *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) war in den Jahren 2001 und 2002 nicht in der Lage, die Weiße Fliege-Populationen in ausreichendem Maße zu unterdrücken. Als weitere, nicht standardisierte Einflussfaktoren könnten z.B. auch andere Schädlinge oder Antagonisten und abiotische Faktoren, wie beispielsweise die Lufttemperatur, die Ergebnisse der Untersuchungen beeinflusst haben. Da diese Einflussfaktoren auch zwischen den verschiedenen Beobachtungsjahren stark unterschiedlich sein konnten, können Jahreseffekte nicht ausgeschlossen werden.

Während des Monitorings wurden die Wirkungen gezielter Einsätze von Nützlingskombinationen gegen Thripse und Blattläuse sowohl auf oberirdischen Pflanzenteilen als auch im Boden überwacht. Bei der Untersuchung von Bodenproben sollten wie schon in den Parzellenversuchen zur Thripsbekämpfung (Kapitel 3) sowohl die Dichten von bodenbürtigen Thripsstadien als auch die

Populationsentwicklungen von Bodenraubmilbenarten und von potenziellen Alternativbeutearten überprüft werden.

Als Ziel der Untersuchungen galt es daher folgende Fragestellungen zu beantworten: Sind die in Kapitel 2 und Kapitel 3 durch den Einsatz von Nützlingskombinationen hervorgerufenen Effekte (z.B. IGP zwischen Parasitoid und Räuber oder indirekte Interaktionen zwischen Bodenraubmilben und pflanzenbewohnenden Raubmilben) auch unter Praxisbedingungen in einem kommerziellen Gewächshaus erkennbar? Welche Rolle spielen Alternativbeute und natürlich vorkommende Raubmilben bei der Bekämpfung von bodenbürtigen Thripsstadien in einem kommerziell bewirtschafteten Gewächshaus?

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden zusätzlich die räumlichen Verteilungsmuster von Thripsen und Blattläusen näher untersucht, da bei Kenntnis der räumlichen Verteilung der Schaderreger Schlussfolgerungen für effizientere biologische Bekämpfungsstrategien gezogen werden können. Außerdem wurden der gewählte Stichprobenumfang und die Eignung der gewählten Boniturmethode überprüft.

Die Untersuchungen dieses Kapitels wurden im Zuge eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes in kommerziell angebauten Unterglaskulturen eines Gemüsebaubetriebes durchgeführt. Die vorgegebene Zielsetzung dieses Projektteils war weniger die Herausarbeitung wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse, als vielmehr die Implementierung von biologischen Verfahren zur Schädlingsbekämpfung in die Praxis. Durch diese Vorgabe konnten betriebliche Abläufe (z.B. Pflanzenschutzmitteleinsätze und Auswahl der Kulturflächen) nicht angepasst werden, wodurch eine wissenschaftliche Versuchsanstellung und dadurch auch die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse deutlich erschwert wurden.

## **4.2 Material und Methoden**

### **4.2.1 Kulturflächen unter Glas**

In einem 5.000 m<sup>2</sup> großen Glasgewächshaus eines kommerziellen Gemüsebaubetriebes in Pattensen, in der Region Hannover, wurde in den Jahren 2000, 2001 und 2002 auf Teilflächen (Häuser), auf denen Paprika und Gurke kultiviert wurden,

das Auftreten und die biologische Bekämpfbarkeit von Thripsen und Blattläusen untersucht. Die Teilflächen umfassten in jedem Jahr ca. 500 m<sup>2</sup> je Kultur. Eine Ausnahme bildete der Paprikabestand im Jahr 2002. Hier wurde nur eine Fläche von ca. 400 m<sup>2</sup> untersucht. Insgesamt ließ sich das Gewächshaus in zehn gleichgroße Häuser unterteilen (Abb. 4.1). Durch Flächenrotation im Gewächshaus wurden beide Kulturen jährlich auf anderen Flächen angebaut. Dabei war die Vorjahreskultur sowohl für Paprika als auch für Gurke in allen Jahren dieselbe, da jeweils eine Hälfte des gesamten Gewächshausbereiches mit Tomaten bepflanzt wurde. Das bedeutet, dass z.B. im Jahr 2000 Haus 1 bis Haus 5 und im Jahr 2001 Haus 6 bis Haus 10 mit Tomaten und die übrige Fläche mit Gurken und Paprika belegt war.

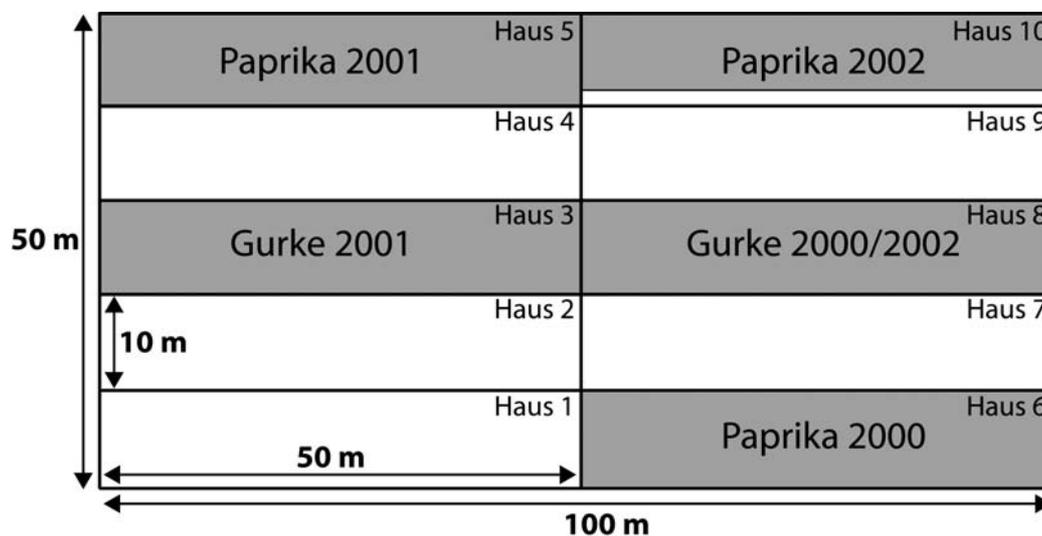


Abb. 4.1 Verteilung der bonitierten Anbauflächen (grau hinterlegt) von Paprika und Gurke in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

Im gesamten Gewächshausbereich wurde direkt im gewachsenen Boden kultiviert. Als Mulchabdeckung wurde im Jahr 2000 Stroh, in den Jahren 2001 und 2002 Fertigkompost (Rottegrad IV – V, Abfallwirtschaftsbetrieb Hannover) verwendet. Innerhalb der Kulturflächen befanden sich durchschnittlich 100 Paprika- bzw. 90 Gurkenpflanzen in einer Pflanzreihe. Auf der Monitoringfläche wurden in den Paprikakulturen (*Capsicum annuum* L.) in jedem Jahr drei verschiedene Sorten angebaut. In den Jahren 2000 und 2002 waren dies die Sorten 'Mazurka' (rote Früchte), 'Bossanova' (gelbe Früchte) und 'Nassau' (orangefarbene Früchte). Im Gegensatz dazu wurden im Jahr 2001 neben der bereits erwähnten Sorte

'Bossanova' die Sorten 'Mandy' (rote Früchte) und 'Emily' (orangefarbene Früchte) kultiviert.

Bei den Gurken (*Cucumis sativus* L.) wurde fast ausschließlich die Sorte 'Deltastar' in zwei Sätzen pro Jahr angebaut. Eine Ausnahme bildet der erste Satz im Jahr 2000, bei dem vier von fünf Doppelreihen (1 Doppelreihe = 2 direkt gegenüberliegende Pflanzreihen) aus der Sorte '22-90' bestand. Die Gurken wurden in der Regel aus Samen gezogen, mit Ausnahme des ersten Satzes im Jahr 2001, bei dem die Jungpflanzen auf einer Feigenblattkürbis-Unterlage (*Curcubita ficifolia* Bouche) veredelt worden waren.

#### **4.2.2 Boniturschema**

##### Bonitur an oberirdischen Pflanzenteilen

Zur Bonitur von Schaderregern und Antagonisten wurden jährlich sowohl innerhalb des Paprika- als auch des Gurkenbestandes fünf Doppelreihen ausgewählt. Als Ausnahme ist das Jahr 2002 anzusehen, da in diesem Jahr aufgrund der reduzierten Anbaufläche von Paprika nur vier Doppelreihen im Paprikabestand bonitiert werden konnten. An jedem Boniturtermin wurden zehn Pflanzen pro Doppelreihe bzw. fünf Pflanzen pro Reihe zufällig ausgewählt. An jeder Bonitурpflanze wurden insgesamt zehn Blätter (Paprika) bzw. zehn Blatthälften (Gurke) und alle vorhandenen Blüten (Paprika und Gurke) untersucht. Entsprechend ihrem physiologischen Alter wurden drei Proben an der Pflanzenbasis (alte Blätter), drei Proben in der Pflanzenmitte (mittelalte Blätter) und vier Proben an der Pflanzenspitze (junge Blätter) ausgewertet. Die Blätter bzw. Blatthälften und Blüten wurden bei der Zählung an den Pflanzen belassen. Das Monitoring der Pflanzenteile wurde wöchentlich durchgeführt. Erfasst wurden jeweils die larvalen und adulten Thrips- bzw. Blattlausstadien und, soweit möglich, die Entwicklungsstadien der eingesetzten Antagonisten.

Im Jahr 2002 wurden zusätzlich Blautafeln (12 x 5 cm, Sautter & Stepper, Ammerbuch) in die Bestände gehängt, um die Befallsentwicklung von adulten Thripsen zu erfassen. Insgesamt wurden jeweils neun Blautafeln dicht über den Vegetationsspitzen von Paprika bzw. Gurke an Fäden, die zum Aufleiten der Pflanzen angebracht waren, befestigt. Wöchentlich wurden adulte Thripse auf den Blautafeln ausgezählt und diese Blautafeln entsprechend dem Pflanzenwachstum

weiter in die Höhe geschoben. Die Blautafeln wurden nicht wöchentlich gewechselt, so dass, in dem Zeitraum in dem sie nicht ausgetauscht wurden, die Anzahl gefangener adulter Thripse kumulativ erfasst wurde. Innerhalb eines Bestandes wurden drei benachbarte Doppelreihen mit jeweils drei Blautafeln bestückt. Der Abstand zwischen den Blautafeln innerhalb einer Doppelreihe betrug ca. 15 m. Die Blautafeln wurden zwischen den Doppelreihen versetzt angeordnet.

### Bodenanalyse

Zusätzlich zur Bonitur der Schaderreger an oberirdischen Pflanzenteilen wurden die Populationsdichten der Bodenarthropoden untersucht. Das besondere Interesse galt hier der Erfassung der Biodiversität und der Populationsdynamik von Bodenraubmilben, die als potenzielle Gegenspieler bodenbürtiger Entwicklungsstadien von Thripsen eine Rolle spielen können. Dazu wurden in beiden Kulturen innerhalb der fünf Doppelreihen, in denen auch die Pflanzenteile bonitiert wurden, stichprobenartig Bodenproben entnommen. Es wurden jeweils zweiwöchentlich fünf Bodenproben pro Doppelreihe untersucht. Die Proben wurden gleichmäßig verteilt unter den Pflanzen entnommen. Der Abstand zwischen den Entnahmestellen betrug ca. 10 m. Zur Bodenentnahme wurde derselbe Bodenausstecher benutzt, der schon in Kapitel 3.2.2 beschrieben wurde. Das Verfahren der Bodenprobennahme, die Extraktionsmethode und Quantifizierung, der aus den Bodenproben ausgetriebenen Arthropoden, entspricht ebenfalls der in Kapitel 3.2.2 beschriebenen Vorgehensweise. Nach der Extraktion der Arthropoden wurden zunächst die Individuenzahlen der jeweiligen Tierordnung quantifiziert. Später wurden, gleichmäßig verteilt über alle Bodenproben der Jahre 2000 und 2001, stichprobenartig einzelne Individuen von räuberischen Bodenmilben (Gamasina) bis zur Art bestimmt. Für das Jahr 2002 konnten diese Bestimmungsarbeiten nicht mehr durchgeführt werden.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erleichtern, wurden die Individuenzahlen auf eine Fläche von 1 m<sup>2</sup> extrapoliert.

### **4.2.3 Biologische und chemische Pflanzenschutzmaßnahmen**

Die biologische Thrips- und Blattlausbekämpfung erfolgte durch den Einsatz von Nützlingen. Im Jahr 2000 wurden die natürlichen Gegenspieler vom Betriebsleiter selbst ausgebracht, um einen Status quo des Bekämpfungserfolges durch die

bisher praktizierten Einsatzstrategien von Antagonisten feststellen zu können. In den Jahren 2001 und 2002 erfolgte der Nützlingseinsatz nicht mehr durch den Betriebsleiter. In diesen Jahren kamen Nützlingskombinationen zum Einsatz, deren Effizienz bereits in Parzellenversuchen untersucht worden war (s. Kapitel 2 und 3). Eine Blattlausbekämpfung war nur im Jahr 2001 notwendig.

Zusätzlich zum Nützlingseinsatz wurden durch den Betriebsleiter Insektizide und Akarizide appliziert. Auslöser für eine chemische Bekämpfungsmaßnahme an Paprika und Gurke war primär nicht der Thrips- bzw. Blattlausbefall, sondern starke Pflanzenschädigungen durch Weiße Fliege. Der Einsatz von Fungiziden war während des gesamten Beobachtungszeitraumes nicht notwendig.

Im Jahr 2000 wurden vom Betriebsleiter insgesamt 150 *Amblyseius*-Raubmilben pro m<sup>2</sup> und 1 Raubwanze pro m<sup>2</sup> der Art *Orius majusculus* (Reuter) (Heteroptera: Anthocoridae) in Gurke und Paprika eingesetzt (Tab. 4.1). Im folgenden Jahr (2001) wurde der Einsatz von Raubmilben gegen Thripse forciert. Es wurden je Kultur insgesamt 257 Individuen pro m<sup>2</sup> von *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) und 332 Individuen pro m<sup>2</sup> der Bodenraubmilbe *Hypoaspis miles* (Berlese) (Acarina: Hypoaspidae) eingesetzt. Diese Antagonistenkombination erschien erfolgversprechend, da dadurch nicht nur die Larvenstadien von Thripsen auf der Pflanze, sondern auch die Bodenstadien (Präpuppen, Puppen) in die Bekämpfung einbezogen wurden. Die Ergebnisse aus Kapitel 3 lagen zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor. Daher waren die Einsatzdichten der Bodenraubmilben nicht entsprechend erhöht worden. Der erste Einsatz der Bodenraubmilben erfolgte frühzeitig zu Saisonbeginn (16.03.2001), noch bevor ein Thripsbefall festgestellt werden konnte. Dadurch sollten die Bodenraubmilben Gelegenheit haben, sich zu etablieren, bevor auf den oberirdischen Pflanzenteilen die Raubmilbe *A. cucumeris* zur Bekämpfung der Thripse eingesetzt wurde. Zum ersten Mal konnte *H. miles* in der Anbausaison 2001 in Paprika am 22.03. und in Gurke am 03.05. nachgewiesen werden. Ob diese Exemplare den eingesetzten Milben oder einer natürlich vorkommenden *H. miles*-Population entstammen, kann allerdings nicht beurteilt werden. Ein zweiter Einsatz von *H. miles* erfolgte zu Beginn des zweiten Gurkensatzes (04.07.2001). *A. cucumeris* wurde 2001 in Paprika erstmalig auch in Tüten eingesetzt, allerdings erst nachdem die Pflanzen eine Größe erreicht hatten, bei der sie sich gegenseitig berührten. In Gurke wurde

von einem Einsatz von *Amblyseius*-Raubmilben in Tüten aufgrund der relativ kurzen Kulturdauer abgesehen.

Tab. 4.1 Einsatztermine und –dichten von Thripsräubern in Gurke und Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

Jahr	Antagonist	Einsatztermin	Einsatzdichte (Ind./m <sup>2</sup> )	
			Gurke	Paprika
2000	<i>Amblyseius</i> spp. (Streuware)	19.04.2000	25	25
		03.05.2000	25	25
		17.05.2000	50	50
		07.06.2000		50
		12.07.2000	50	
		<b>Σ</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
	<i>Orius majusculus</i>	17.05.2000	1	1
		07.06.2000		1
		12.07.2000	1	
		<b>Σ</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
2001	<i>Hypoaspis miles</i>	16.03.2001	166	166
		04.07.2001	166	166
		<b>Σ</b>	<b>332</b>	<b>332</b>
	<i>Amblyseius cucumeris</i> (Streuware)	10.04.2001	50	50
		24.04.2001	60	60
		07.06.2001	47	47
		04.07.2001	50	
		10.08.2001	50	
	<b>Σ</b>	<b>257</b>	<b>157</b>	
		<i>A. cucumeris</i> (Tüten)	04.07.2001	
	<i>Hypoaspis aculeifer</i>	07.03.2002	<b>100</b>	<b>100</b>
2002	<i>A. cucumeris</i> (Streuware)	10.04.2002	40	40
		08.05.2002	50	50
		07.06.2002	50	
		04.07.2002	60	
		<b>Σ</b>	<b>200</b>	<b>90</b>
		<i>A. cucumeris</i> (Tüten)	04.07.2002	
	<i>H. miles</i>	04.07.2002	<b>250</b>	

Im Jahr 2002 wurden insgesamt weniger *A. cucumeris*-Raubmilben eingesetzt als in den Vorjahren. Es wurden in Gurke 200 Tiere pro m<sup>2</sup> und in Paprika 90 Tiere pro m<sup>2</sup> als Streuware ausgebracht. Zusätzlich kamen in Paprika wieder Tüten mit *A. cucumeris* in einer Dichte von umgerechnet 53 Tieren pro m<sup>2</sup> zum Einsatz. Statt der Bodenraubmilbenart *H. miles* wurde in 2002 erstmalig *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspididae) (100 Tiere pro m<sup>2</sup>) schon vor einem Thripsbefall ausgebracht. Dieser Raubmilbenart wurde der Vorzug gegenüber *H. miles* gegeben, da sie in Laborversuchen eine höhere Prädationsleistung aufwies (Berndt et al., 2004b) und auch in den Parzellenversuchen der vorliegenden Arbeit (Kapitel 3) verwendet wurde. Mit Beginn des zweiten Gurkensatzes sollte *H. aculeifer* erneut eingesetzt werden, da es jedoch zu einem Missverständnis mit dem Nützlingsproduzenten kam, wurden *H. miles*-Raubmilben geliefert und ausgebracht. Der Thripsbefall in Gurke war zu diesem Zeitpunkt relativ gering, so dass eine Einsatzdichte von 250 *Hypoaspis*-Milben pro m<sup>2</sup> gewählt wurde. Aufgrund des noch geringeren Thripsbefalls in Paprika im Jahr 2002 wurde in dieser Kultur von einem zweiten *Hypoaspis*-Einsatz abgesehen. Unter der Annahme, dass sich die *Hypoaspis*-Raubmilben gut im Gewächshaus etablieren konnten, wurden 2001 und 2002 nur zwei Einsätze durchgeführt (Tab. 4.1).

Zusätzlich zum Nützlingseinsatz wurden vom Betriebsleiter chemische Pflanzenschutzmaßnahmen zur Bekämpfung der Weißen Fliege durchgeführt (Tab. 4.2). Zum Einsatz kamen dabei Pflanzenschutzmittel mit akarizider und/oder insektizider Wirkung. Die Behandlungen mit den chemischen Pflanzenschutzmitteln erfolgten jeweils über der gesamten Kulturfläche von Gurke bzw. Paprika. Die einzige Ausnahme stellt die Herdbehandlung mit den Wirkstoffen Pymetrozin und Abamectin im Jahr 2001 in Paprika dar. Die möglichen Wirkungen der eingesetzten Insektizide und Akarizide gegenüber Nicht-Zielorganismen sind dabei je nach Pflanzenschutzmittel und Nützling unterschiedlich zu bewerten (Tab. 4.3). Für die oberirdisch aktiven Nützlinge (*A. cucumeris*, *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) und *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae)) sind vor allem die Wirkstoffe Abamectin und Sulfotep, unter Umständen auch Kali-Seife, als stark schädigend einzustufen. Die Nebenwirkungen auf die Bodenraubmilben (*H. miles* und *H. aculeifer*) sind hingegen weniger dramatisch bzw. noch unbekannt, was sicherlich auch daran liegt, dass diese

Tiere bei einer korrekten Pflanzenschutzmittelapplikation kaum mit den Wirkstoffen in Berührung kommen.

Tab. 4.2 Pflanzenschutzmittel und deren Einsatztermine in Gurke und Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

Jahr	Handelsname	Wirkstoff	Wirkung*	Einsatztermin	Gurke	Paprika
2000	Vertimec®	Abamectin	A / I	15.06.2000	X	
	Neudosan®	Kali-Seife	A / I	05.07.2000	X	
				24.08.2000	X	
Plenum®	Pymetrozin	I	05.09.2000	X		
2001	Bladafum®	Sulfotep	A / I	26.06.2001	X	X
	Plenum®- Vertimec®-Mix	Pymetrozin, Abamectin	A / I	25.07.2001		X**
2002	Plenum®	Pymetrozin	I	02.08.2002	X	
				30.08.2002	X	
	Applaud®	Buprofezin	I	09.08.2002	X	
	Vertimec®	Abamectin	A / I	23.08.2002	X	X
				30.08.2002		X

X = Pflanzenschutzmitteleinsatz

\* = Akarizid: A bzw. Insektizid: I

\*\* = Herdbehandlung

Die Termine der Nützlingseinsätze und der Insektizid- bzw. Akarizideinsätze sind ebenfalls zur Veranschaulichung in den Grafiken zur Populationsentwicklung von Thripsen auf Gurke (Abb. 4.2) und Paprika (Abb. 4.7) dargestellt.

Tab. 4.3 Nebenwirkung von Insektiziden und/oder Akariziden gegenüber Nutzarthropoden (nach Landesanstalt für Pflanzenschutz (LFP), 2002; Biobest, 2003; Koppert, 2003).

Wirkstoff	<i>Amblyseius cucumeris</i>	<i>Aphidius colemani</i>	<i>Chrysoperla carnea</i>	<i>Hypoaspis aculeifer</i>	<i>Hypoaspis miles</i>	<i>Orius majusculus</i>
Abamectin	4	4	4	2	2	4
Buprofezin	1	1	1	1	1	1
Kali-Seife	2 - 4	2 - 4	4	?	?	?
Pymetrozin	1	1 - 3	1	1 - ?	1 - ?	1
Sulfotep	4	4	4	2	2	?

Klassifizierung der Wirkstoffe für Nützlinge:

- 1: nützlingsschonend (< 25 % der Nützlinge werden abgetötet)
- 2: leicht schädigend (25 – 50 % der Nützlinge werden abgetötet)
- 3: stärker schädigend (50 – 75 % der Nützlinge werden abgetötet)
- 4: stark schädigend (> 75 % der Nützlinge werden abgetötet)
- ?: Effekt unbekannt

#### 4.2.4 Auswertungsmethoden

Bei der Auswertung der Daten des Monitorings wurden die Entwicklungen der Populationsdichten von Schädlingen und Antagonisten im Boden und an oberirdischen Pflanzenteilen betrachtet. Zusätzlich wurde das räumliche Verteilungsmuster von Thripsen und Blattläusen auf den Pflanzen untersucht und der gewählte Stichprobenumfang hinsichtlich der Bonitur an oberirdischen Pflanzenteilen überprüft. Zur Auswertung der extrahierten Bodenraubmilbenarten wurden Dominanz, Diversität und Evenness berechnet.

##### Verteilungsform

Als Maß zur Charakterisierung der räumlichen Verteilung von larvalen und adulten Thripsen und Blattläusen auf Blättern des Gurken- und Paprikabestandes wurde ein Aggregationsindex nach Taylor's Power Law (Taylor, 1961) berechnet. Danach stehen die Varianz  $s^2$  und der Mittelwert  $\bar{x}$  von Populationsdichten in folgender Beziehung zueinander:

$$s^2 = a\bar{x}^{-b}$$

Durch eine logarithmische Transformation dieses Verhältnisses entsteht eine lineare Regression:

$$\log s^2 = \log a + b \log \bar{x}$$

Dabei beschreibt die Steigung der Regressionslinie  $b$  den Index für eine gleichmäßige ( $b < 1$ ), zufällige ( $b = 1$ ) oder geklumpfte ( $b > 1$ ) Verteilung, wobei  $a$  eine von der Probenahme abhängige Konstante darstellt (Taylor, 1961). Die Varianz und die mittlere Anzahl von Larven und adulten Tieren auf Blättern wurden je Blatttage (basal, mittel, apikal) an jedem Boniturtermin berechnet. Die Aggregationsindizes wurden, getrennt nach Entwicklungsstadium, für jede Anbausaison in Gurke und Paprika aus den Varianz-Mittelwert-Paaren eines Jahres ermittelt. Jährliche Unterschiede zwischen den Aggregationsindizes von Thripslarven und adulten Thripsen innerhalb der Gurken- und Paprikakultur wurden mit einem t-Test überprüft.

#### Stichprobenumfang

Zur Schätzung des erforderlichen Stichprobenumfangs für ein gegebenes Präzisionsniveau (precision level) wurde folgende Gleichung verwendet (Ruesink & Kogan, 1994):

$$n = \left( \frac{z_{\alpha/2}}{D} \right)^2 A \bar{x}^{-(b-2)}$$

$n$  = Anzahl Stichproben,

$D$  = Präzisionsniveau,

$z_{\alpha/2}$  = Wert der z-Verteilung für das Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ , zweiseitig,

$A$  = Antilogarithmus von  $\log a$  aus Taylor's Power Law,

$b$  = Aggregationskoeffizient aus Taylor's Power Law,

$\bar{x}$  = Mittelwert der Populationsdichte.

Als Präzisionsniveau wurde  $D = 0,20$  (entspricht 20 %) gewählt. Dieses Präzisionsniveau wird als ausreichend für das Monitoring von Schaderregern angesehen (Southwood & Henderson, 2000).

### Dominanz

Im Zuge der Bodenanalyse wurden einzelne Bodenraubmilben aus den Jahren 2000 und 2001 von Frau Dr. Ruf an der Universität Bremen bis zur Artebene bestimmt. Die Dominanzen  $D$  der determinierten Arten wurden nach folgender Formel berechnet (Mühlenberg, 1993):

$$D = \frac{100 * n_i}{N}$$

$D$  = Dominanz (%),

$n_i$  = Abundanz der Art,

$N$  = Gesamtabundanz.

Die Dominanzklassifizierung erfolgte nach (Engelmann, 1978):

eudominant:	32,00 - 100,00 %	rezendent:	1,00 - 3,19 %
dominant:	10,00 - 31,99 %	subrezendent:	0,32 - 0,99 %
subdominant:	3,20 - 9,99 %	sporadisch:	0,01 - 0,31 %

Diversität und Evenness (Mühlenberg, 1993):

Neben den Dominanzen wurde auch die Diversität und Evenness der Bodenraubmilbenarten berücksichtigt. Die Diversität ist eine Funktion der Artenzahl in einer definierten Fläche und der Verteilung der Individuen innerhalb der Arten. Zur Berechnung der Diversität wurde der Shannon-Index  $H_S$  verwendet:

$$H_S = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad p_i = \frac{n_i}{N}$$

$H_S$  = Diversität bezogen auf Artenzahlen,

$S$  = Gesamtzahl der Arten,

$p_i$  = Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Art  $i$ ,

$N$  = Gesamtindividuenzahl,

$n_i$  = Individuenzahl der Art  $i$ .

Unterschiede zwischen Diversitätsindizes wurden mit einem t-Test überprüft.

Die Evenness  $E_S$  wurde zusätzlich zum Diversitätsindex berechnet, da der Diversitätsindex allein nicht erkennen lässt, ob der Wert durch eine hohe Artenzahl mit unterschiedlicher Individuenzahl oder durch gleichmäßige Verteilung der Individuen auf wenige Arten entstanden ist. Die Evenness  $E_S$  ist daher ein Maß für die Gleichverteilung der Individuen auf die Arten. Für die Evenness  $E_S$  gilt:

$$E_S = \frac{H_S}{H_{\max}} = \frac{H_S}{\ln S}$$

Der Wertebereich von  $E_S$  liegt zwischen 0 und 1. Je stärker  $E_S$  von 1 verschieden ist, desto mehr weichen die Dominanzverhältnisse verschiedener Arten von der Gleichverteilung ab. Vollkommene Evenness ( $E_S = 1$ ) wird dann erreicht, wenn alle Arten mit dem gleichen Anteil vertreten sind ( $H_S = H_{\max}$ ).

### Statistische Auswertung

Zur Identifizierung linearer Zusammenhänge zwischen den mittleren Populationsdichten von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen, bodenbürtigen Thripsentwicklungsstadien, Bodenmilben und Collembolen im Boden, sowie zwischen den mittleren Dichten adulter Thripse auf Blättern bzw. Blatthälften, Blüten und Blautafeln wurden Korrelationskoeffizienten berechnet. Der Korrelationskoeffizient ergibt eine Maßzahl die zwischen -1 und 1 liegt. Dabei deutet ein positiver Wert auf einen positiven linearen Zusammenhang hin, während ein negativer linearer Zusammenhang durch einen negativen Wert gekennzeichnet wird. Je größer der Betrag des Korrelationskoeffizienten ist, desto stärker ist der lineare Zusammenhang. Ein Korrelationskoeffizient gleich 0 verdeutlicht, dass kein linearer Zusammenhang zwischen den Variablen existiert (Brosius, 1998).

Für normalverteilte Variablen wurde der parametrische Korrelationskoeffizient nach Pearson, für nichtnormalverteilte Variablen der nichtparametrische Korrelationskoeffizient nach Spearman verwendet. Es wurde ein zweiseitiger t-Test mit einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  durchgeführt. Getestet wurde die Nullhypothese: Der Korrelationskoeffizient ist in der Grundgesamtheit gleich 0.

Als Orientierungshilfe zur Interpretation der Korrelationskoeffizienten wurde die Klassifizierung von Brosius (1998) verwendet (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Interpretationen von Korrelationskoeffizienten nach Brosius (1998).

Betrag des Korrelationskoeffizienten	Mögliche Interpretation
0	Keine Korrelation
über 0 bis 0,2	Sehr schwache Korrelation
0,2 bis 0,4	Schwache Korrelation
0,4 bis 0,6	Mittlere Korrelation
0,6 bis 0,8	Starke Korrelation
0,8 bis unter 1	Sehr starke Korrelation
1	Perfekte Korrelation

Der Einfluss der Faktoren Jahr (2000, 2001 und 2002) und Pflanzenteil (basale, mittlere, apikale Blätter bzw. Blatthälften und Blüten), einzeln und in Kombination, auf die Befallsstärke von larvalen und adulten Thripsen, wurde zunächst mit einer univariaten Varianzanalyse (ANOVA) getestet. Konnten in der Kombination der Faktoren signifikante Wechselwirkung festgestellt werden, wurden die Einflüsse beider Faktoren mithilfe einer einfaktoriellen ANOVA getrennt voneinander getestet. Im Anschluss wurde der Tukey-Test als Post-hoc-Vergleich durchgeführt. Ergab die univariate ANOVA, dass keine Interaktionen zwischen den Faktoren Jahr und Pflanzenteil vorlagen, wurde direkt der Tukey-Test als Post-hoc-Vergleich über beide Faktoren durchgeführt. Es wurde auf ein Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  getestet (SPSS Inc., 2001).

#### Erfassung von Klimadaten

In allen Jahren wurden die Bodentemperatur (außer im Jahr 2000), relative Luftfeuchte und Lufttemperatur mit Tinytalk II-Dataloggern (Gemini Dataloggers (UK) Ltd, West Sussex) erfasst.

### **4.3 Ergebnisse**

#### **4.3.1 Monitoring von Thripsen im Gurkenbestand**

##### Populationsverläufe auf Pflanzen und im Boden

Das Monitoring von Thripsen an oberirdischen Pflanzenteilen in Gurke zeigte einen jährlichen Rückgang in der Populationsdichte (Abb. 4.2A).

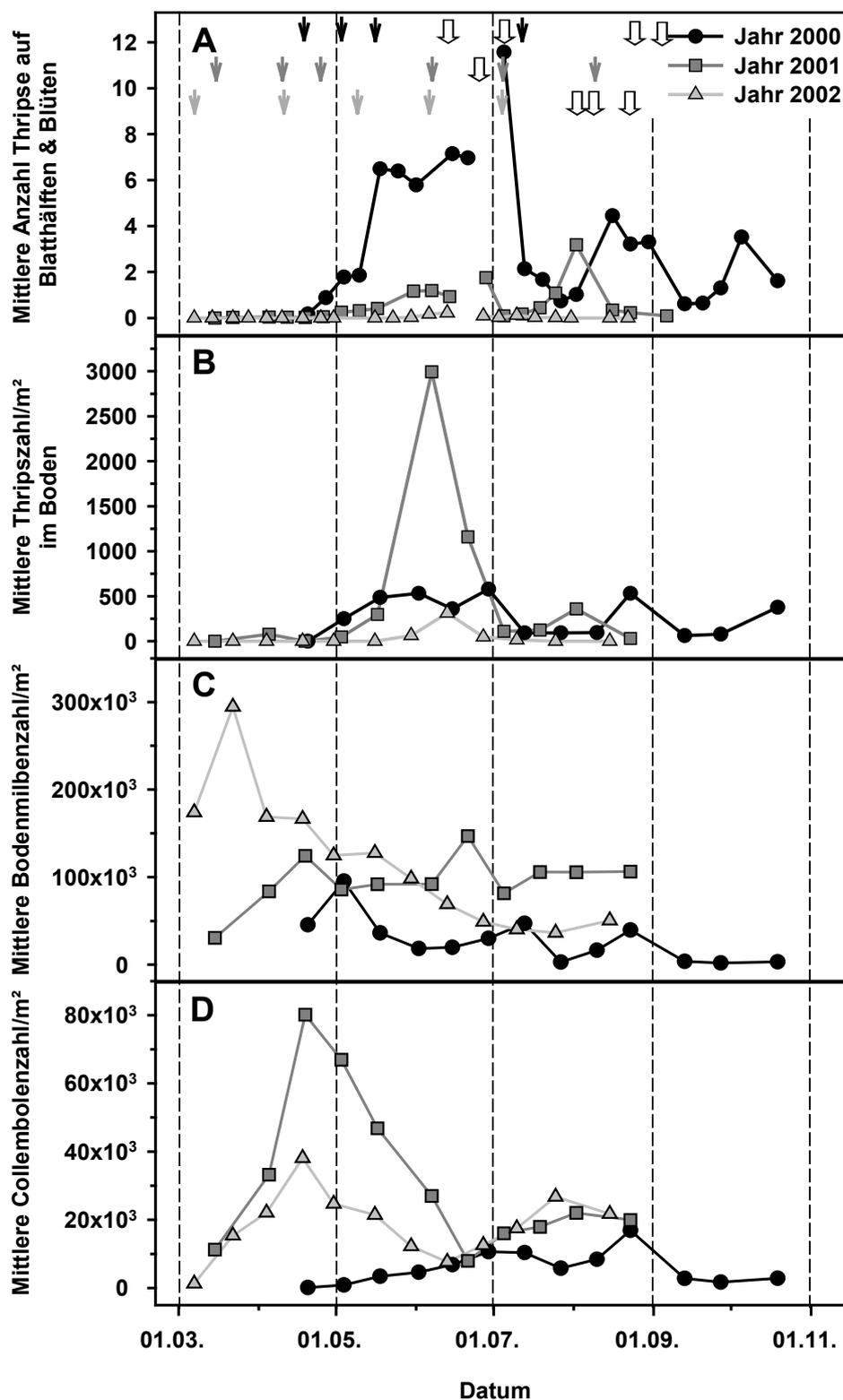


Abb. 4.2 Ergebnisse des dreijährigen Monitorings in Gurke: Populationsentwicklungen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen (unterbrochene Linien kennzeichnen den 1. und 2. Gurkensatz) (A), Populationsdichten von Thripsen (B), von Bodenmilben (C) und von Collembolen (D) im Boden; Pfeile kennzeichnen den Einsatz von Antagonisten ( $\blacktriangledown$ ) (s. Tab. 4.1) und von Pflanzenschutzmitteln ( $\Downarrow$ ) (s. Tab. 4.2) in den verschiedenen Jahren.

Im Jahr 2000 wurde die höchste mittlere Anzahl Thripse/Pflanzenteil ( $11,57 \pm 1,14$ ) (Mittelwert  $\pm$  SE) am 05.07. festgestellt. Wie in Abb. 4.2A zu sehen, verlief die Befallskurve im Jahr 2001 deutlich flacher als im Jahr zuvor. Die höchste Befallsdichte wurde am 02.08.01 mit  $3,19 \pm 0,19$  Thripsen/Pflanzenteil festgestellt. Der Rückgang in der Befallsdichte auf den Gurkenpflanzen setzte sich im Jahr 2002 mit einer maximalen Befallsstärke von  $0,22 \pm 0,04$  Thripse/Pflanzenteil am 13.06.02 fort.

Im Substrat wurde im Jahr 2001 am 07.06. die maximale Thripspopulationsdichte von etwa 3.000 Individuen/m<sup>2</sup> erreicht (Abb. 4.2B). Im Vorjahr wurde eine Dichte von  $580 \pm 124,17$  Thripse/m<sup>2</sup> nicht überschritten. Im folgenden Jahr wurden im Boden sogar nur höchstens  $313,51 \pm 131,93$  Thripse/m<sup>2</sup> (13.06.02) festgestellt. Im Gegensatz zur Entwicklung der Thripspopulationen auf den oberirdischen Pflanzenteilen nahm die aus den Bodenproben extrahierte Thripsdichte nicht von Jahr zu Jahr ab, sondern erreichte im Jahr 2001 ihren Höhepunkt. Dieser Widerspruch zum Entwicklungsverlauf der oberirdischen Thripspopulation kann nicht plausibel erklärt werden. Allerdings können chemische Pflanzenschutzmaßnahmen als Ursache für dieses Phänomen ausgeschlossen werden, da diese überdurchschnittlich hohe Thripsdichte im Boden zu einem Zeitpunkt im Jahr auftrat, als noch keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt worden waren. Die größte Milbendichte ( $294.683,04 \pm 38.205,21$  Individuen/m<sup>2</sup>) wurde zu Vegetationsbeginn am 22.03.02 im Boden nachgewiesen (Abb. 4.2C). Im Jahr 2000, als die höchsten Thripspopulationsdichten auf den oberirdischen Pflanzenteilen festgestellt worden waren, war die mittlere Populationsdichte der Bodenmilben mit maximal  $95.463,57 \pm 12.889,46$  Bodenmilben/m<sup>2</sup> (04.05.00) deutlich geringer. Im Jahr 2001, als die höchste Thripsdichte im Boden erfasst wurde, konnten maximal  $146.973,15 \pm 18.443,52$  Bodenmilben/m<sup>2</sup> (21.06.01) ermittelt werden. Die Anwesenheit hoher Populationsdichten von Bodenmilben könnte daher die Entwicklung von Thripspopulationen negativ beeinflusst zu haben. Dieser Ansatz wird im weiteren Verlauf näher untersucht.

Neben Thripsen und Milben wurden vor allem Collembolen aus den Bodenproben extrahiert. Die größte Collembolendichte im Boden der Gurkenkultur wurde am 19.04.01 mit  $80.180 \pm 13.637,49$  Collembolen/m<sup>2</sup> festgestellt (Abb. 4.2D). Im Ver-

gleich dazu wurden im Jahr 2000 maximal  $16.913,83 \pm 2.424,71$  Collembolen/m<sup>2</sup> am 23.08.00 und  $26.742,34 \pm 2.931,85$  Collembolen/m<sup>2</sup> am 25.07.02 festgestellt.

Die hohen Collembolendichten zu Beginn des Jahres 2001 wurden von sehr hohen Thripsdichten im Boden in der Mitte des selben Jahres abgelöst. Das bedeutet, dass für potenzielle Thrips- und Collembolenräuber über einen längeren Zeitraum ein hohes Beuteaufkommen im Vergleich zu den anderen Jahren vorhanden war. Im Hinblick auf die Populationsdichten der Bodenmilben ist auffällig, dass sich im Jahr 2001 über den gesamten Beobachtungszeitraum eine relativ hohe Populationsdichte im Boden halten konnte. Im Vergleich dazu nahm die Bodenmilbendichte im Jahr 2000, nach sehr hohen Werten zu Boniturbeginn, schnell wieder ab. Die im Jahr 2001 kontinuierlich hohen Populationsdichten von Bodenmilben, zu denen auch Raubmilben zählen, können daher durch das reiche Beuteangebot in Form von Collembolen und bodenbürtigen Thripsstadien gefördert worden sein. Zusätzlich kann auch das verwendete Mulchmaterial im Hinblick auf die Bodenmilbendichte eine Rolle gespielt haben. Im Jahr 2000 wurde mit Stroh gemulcht. In den Jahren 2001 und 2002 wurde dagegen Fertigkompost zum Mulchen verwendet.

Im Jahr 2002 wurden erstmals, zusätzlich zur Bonitur von Thripsen auf Pflanzenteilen, auch Blautafeln aufgehängt. Gegen Ende des ersten Gurkensatzes (13.06.) nahm die Dichte adulter Thripse vor allem auf den Blatthälften und in den Blüten der Gurkenpflanzen auf  $0,14 \pm 0,03$  adulte Thripse pro Blatthälfte bzw.  $0,07 \pm 0,07$  adulte Thripse pro Blüte zu (Abb. 4.3). Gleichzeitig kam es auch zu einem Anstieg auf  $0,03 \pm 0,01$  adulte Thripse pro cm<sup>2</sup> Blautafel. Während des zweiten Gurkensatzes wurden, im Vergleich zum ersten Satz mit maximal  $0,16 \pm 0,04$  adulte Thripse pro cm<sup>2</sup> Blautafel, deutlich mehr Thripse auf Blautafeln gefunden. Die Entwicklung schien allerdings, im Vergleich zum tatsächlichen Befall mit adulten Thripsen auf Blatthälften, zeitlich um einen Boniturtermin, was etwa einer Woche entspricht, verschoben zu sein. Da zu Beginn des zweiten Gurkensatzes die Jungpflanzen noch keine Blüten ausgebildet hatten, konnte nur noch an den vier letzten Boniturterminen vorhandene Blüten ausgezählt werden. Es wurden maximal  $0,12 \pm 0,02$  adulte Thripse pro Blatthälfte (10.07.) bzw.  $0,02 \pm 0,01$  adulte Thripse pro Blüte (17.07.) festgestellt. Auf den Blautafeln wurde die maximale Fangrate am 17.07. mit  $0,16 \pm 0,04$  adulte Thripse pro cm<sup>2</sup> erreicht.

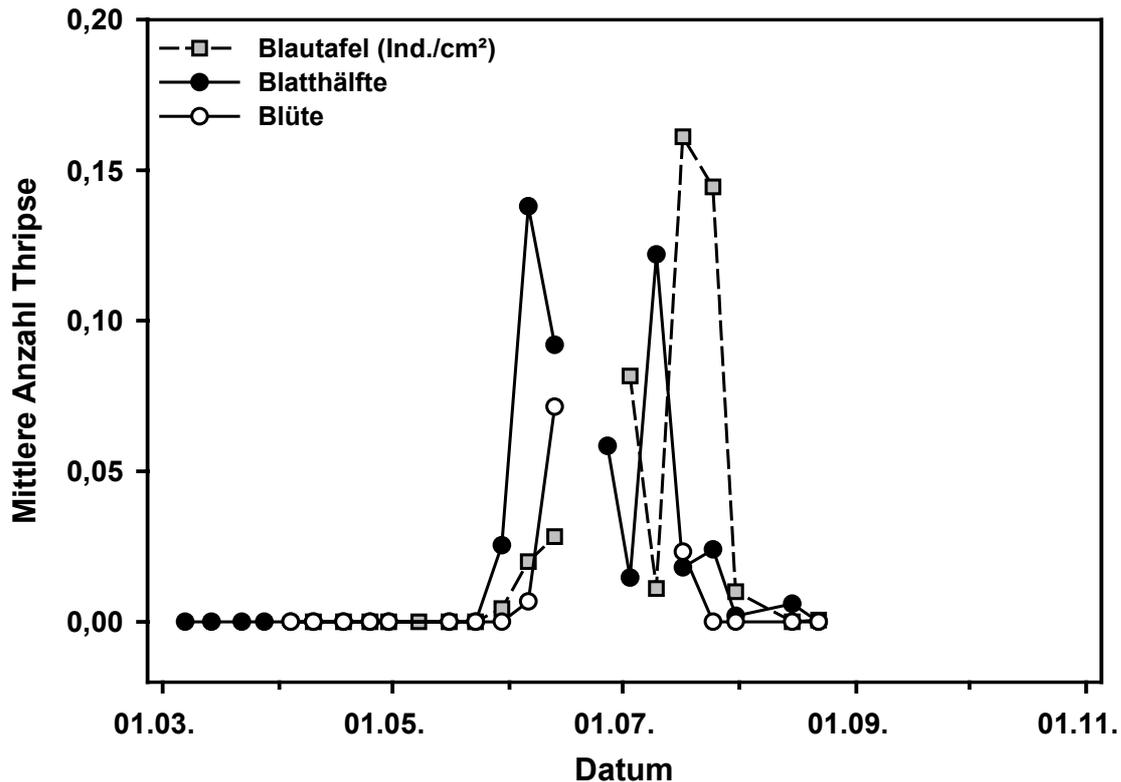


Abb. 4.3 Entwicklung der mittleren Anzahlen auf Blautafeln gefangener, adulter Thripse und Populationsverläufe adulter Thripse auf Blatthälften und Blüten in Gurke (unterbrochene Linien kennzeichnen den 1. und 2. Gurkensatz) im Jahr 2002 (Ind./cm<sup>2</sup> = Individuen pro cm<sup>2</sup> Blautafelfläche)

#### Korrelationen zwischen oberirdisch erfassten Thripsdichten

Durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten nach Spearman konnte hinsichtlich der mittleren Anzahlen adulter Thripse zwischen Blatthälften und Blüten, Blatthälften und Blautafeln und Blüten und Blautafeln eine starke positive lineare Korrelation festgestellt werden (Tab. 4.5).

Tab. 4.5 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen adulter Thripse auf Blatthälfte, Blüte und Blautafel in Gurke im Jahr 2002 (N = Anzahl Wertepaare).

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Blatthälfte - Blüte	0,656	0,011	14
Blatthälfte - Blautafel	0,769	<0,001	16
Blüte - Blautafel	0,669	0,009	14

Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten waren in allen Fällen signifikant. Das bedeutet, dass bei der Bonitur von nur einer der oben angegebenen Variablen auf die lineare Entwicklung jeder anderen der Variablen zurückgeschlossen werden kann.

#### Korrelationen zwischen Populationsdichten von Arthropoden im Boden

Um positive oder negative lineare Beziehungen zwischen den Populationsdichten der im Boden untersuchten Arthropoden feststellen zu können, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt.

Tab. 4.6 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, zusammengefasst für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Gurke (N = Anzahl Wertepaare).

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Thripse - Milben	-0,360	0,031	36
Thripse - Collembolen	-0,269	0,112	36
Milben - Collembolen	0,480	0,003	36

Die Berechnungen der Korrelationskoeffizienten für die mittleren Anzahlen von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden ergab, über alle drei Jahre des Beobachtungszeitraumes gesehen, eine signifikant schwach negative Korrelation zwischen Thripsen und Milben (Tab. 4.6). Für die Beziehung zwischen Milben und Collembolen konnte eine mittlere positive Korrelation berechnet werden. Dieser lineare Zusammenhang zwischen den beiden Variablen war ebenfalls signifikant. Das bedeutet, dass in Anwesenheit von vielen Bodenmilben wenige bodenbürtige Thripsstadien zu erwarten waren bzw. viele Thripse im Boden vorhanden waren, wenn die Milbenpopulationsdichte im Boden gering war. Im Gegensatz dazu scheinen viele Collembolen dann aufzutreten, wenn hohe Dichten an Bodenmilben anzutreffen sind und andersherum. Zwischen Thripsen und Collembolen konnte keine signifikante Korrelation festgestellt werden.

Tab. 4.7 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die mittleren Anzahlen von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, berechnet für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Gurke (N = Anzahl Wertepaare).

Jahr	Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
2000	Thripse - Milben	0,098	0,750	13
	Thripse - Collembolen	0,422	0,151	13
	Milben - Collembolen	0,001	0,998	13
2001	Thripse - Milben	0,186	0,585	11
	Thripse - Collembolen	-0,203	0,548	11
	Milben - Collembolen	0,140	0,682	11
2002	Thripse - Milben	-0,271	0,394	12
	Thripse - Collembolen	-0,427	0,166	12
	Milben - Collembolen	-0,008	0,979	12

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten in Gurke für jedes einzelne Jahr des Beobachtungszeitraumes ergab keine einheitlichen Trends hinsichtlich der Richtung der Zusammenhänge zwischen Thripsen, Milben und Collembolen im Boden (Tab. 4.7). Die Korrelationskoeffizienten waren in keinem Fall signifikant. Die Korrelationsanalyse über die einzelnen Jahre konnte daher die Ergebnisse der Gesamtbetrachtung über alle Boniturjahre nicht bestätigen. Dieses Ergebnis lässt auf einen zeitlichen Einfluss zwischen den drei Jahren des Untersuchungszeitraumes schließen. Dieser Jahreseffekt wird bei der Betrachtung der Datenpunkte in Abb. 4.4 deutlich. Am Beispiel der Collembolendichten im Jahr 2001 wird deutlich, dass sich die Springschwanzpopulationen unabhängig von einer relativ konstanten Bodenmilbendichte entwickelt hatten. Dagegen wurden im Jahr 2002 verschieden hohe Dichten von Bodenmilben und Collembolen festgestellt, die offensichtlich ebenfalls in keinem direkten Zusammenhang zueinander gestanden haben (Abb. 4.4C). Bei der Zusammenfassung der Datenpunkte aller Jahre zeichnete sich allerdings ab, dass hohe Collembolendichten mit hohen Bodenmilbendichten korrelieren (Tab. 4.6). Dieses Phänomen trat auch in den Beziehungen zwischen Thripsen im Boden und Bodenmilben bzw. Thripsen im Boden und Collembolen auf.

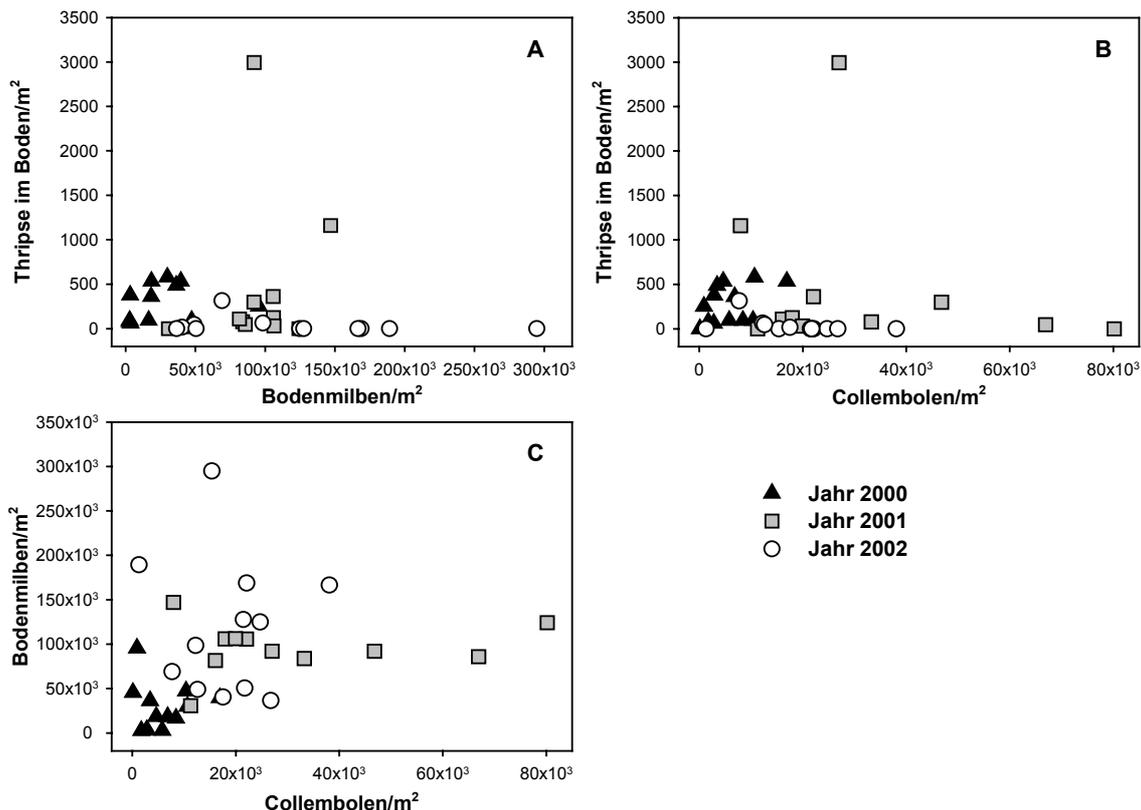


Abb. 4.4 Beziehungen zwischen den Anzahlen Thripse im Boden und Bodenmilben (A) bzw. Thripse im Boden und Collembolen (B) sowie Bodenmilben und Collembolen (C) in Gurke in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

#### Korrelationen zwischen Populationsdichten von Arthropoden auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden

Um Zusammenhänge zwischen den Populationsdichten der Arthropodengruppen, die auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden ermittelt wurden, feststellen zu können, wurden wieder Korrelationsanalysen durchgeführt.

Tab. 4.8 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen im Vergleich zu Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, zusammengefasst für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Gurke (N = Anzahl Wertepaare).

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,871	<0,001	33
Thripse Pflanze - Milben Boden	-0,582	<0,001	33
Thripse Pflanze - Collembolen Boden	-0,376	0,031	33

Der Vergleich der Populationsdichten von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen mit Thripsen, Milben und Collembolen im Boden ergab über alle drei Jahre in allen Fällen eine signifikante Korrelation (Tab. 4.8). Zwischen Thripsen auf der Pflanze und im Boden gab es eine sehr starke positive Korrelation. Das bedeutet, dass hohe Individuendichten von Thripsen auf den bonitierten oberirdischen Pflanzenteilen der Gurken auf hohe Dichten von Thripsen im Boden schließen lassen. Im Gegensatz dazu waren die linearen Korrelationen von Thripsen auf Pflanzen mit Bodenmilben und Collembolen im Boden negativ. Im Falle von hohen Dichten von Bodenmilben bzw. von Collembolen konnte somit ein geringer Befall von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen erwartet werden und umgekehrt.

Tab. 4.9 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die mittleren Anzahlen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen im Vergleich zu Thripsen, Milben und Collembolen im Boden für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Gurke (N = Anzahl Wertepaare).

Jahr	Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
2000	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,764	0,006	11
	Thripse Pflanze - Milben Boden	0,024	0,945	11
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	0,246	0,467	11
2001	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,316	0,374	10
	Thripse Pflanze - Milben Boden	0,265	0,458	10
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	-0,218	0,546	10
2002	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,866	<0,001	12
	Thripse Pflanze - Milben Boden	-0,489	0,107	12
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	-0,418	0,176	12

Ebenso wie bei den Korrelationsanalysen der einzelnen Jahre für die Bodenarthropoden, zeigten auch die Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Jahre, bei der Betrachtung von oberirdisch vorkommenden und bodenbürtigen Arthropoden, keinen einheitlichen Trend (Tab. 4.9). Lediglich die starken bis sehr starken Korrelationen zwischen Thripsen auf der Pflanze und im Boden waren in den Jahren 2000 und 2002 signifikant. Für das Jahr 2001 konnte erst nach Eliminierung des Ausreißers vom 07.06. (s. Abb. 4.2), der in Abb. 4.5 durch einen Kreis gekennzeichnet ist, mit 0,777 ein signifikanter Korrelationskoeffizient nach Pearson ( $P = 0,014$ ;  $N = 9$ ) berechnet werden. In allen anderen Fällen konnten

keine signifikanten Korrelationen festgestellt werden, wodurch die Aussagen der Gesamtanalyse der drei Jahre nicht bestätigt werden konnten. Dies scheint auch hier auf einem Jahreseffekt zu beruhen (Abb. 4.5). Ähnlich wie schon beim Vergleich zwischen den Thripsen im Boden, Bodenmilben und Collembolen traten zwischen den drei Untersuchungsjahren deutlich unterschiedliche Entwicklungen auf. Beispielsweise gab es im Jahr 2001 bei relativ geringen Dichten der Thripspopulation auf oberirdischen Pflanzenteilen eine große Amplitude innerhalb der Collembolendichten. Im Jahr 2000 schien dies andersherum der Fall gewesen zu sein (Abb. 4.5C).

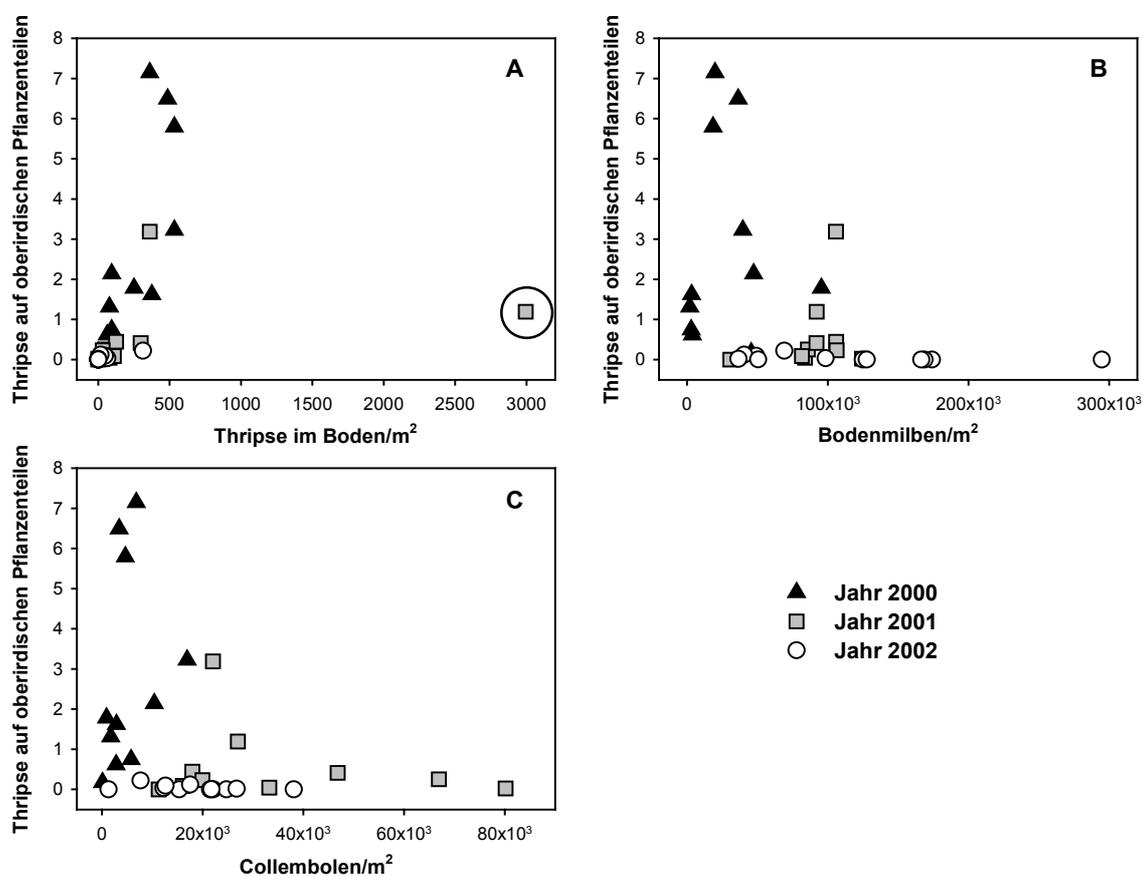


Abb. 4.5 Beziehungen zwischen den Anzahlen Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Thripse im Boden (A) bzw. Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Bodenmilben (B) sowie Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Collembolen (C) in Gurke in den Jahren 2000, 2001 und 2002; der Kreis in A markiert einen Ausreißer (s. Abb. 4.2).

Bei der Gesamtbetrachtung aller drei Jahre stellt sich dies jedoch so dar, dass bei geringen Collembolendichten hohe Thripsdichten bzw. bei niedrigen Thripsdichten hohe Collembolendichten auftraten, was auf eine negative Korrelation hinweist.

Dies ließ sich durch die Berechnung des Korrelationsindexes über alle drei Jahre belegen (Tab. 4.8). Für die Korrelation zwischen Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen und Bodenmilben gilt dies in gleicher Weise (Abb. 4.5B).

#### Klimatische Bedingungen während des Monitorings im Gurkenbestand

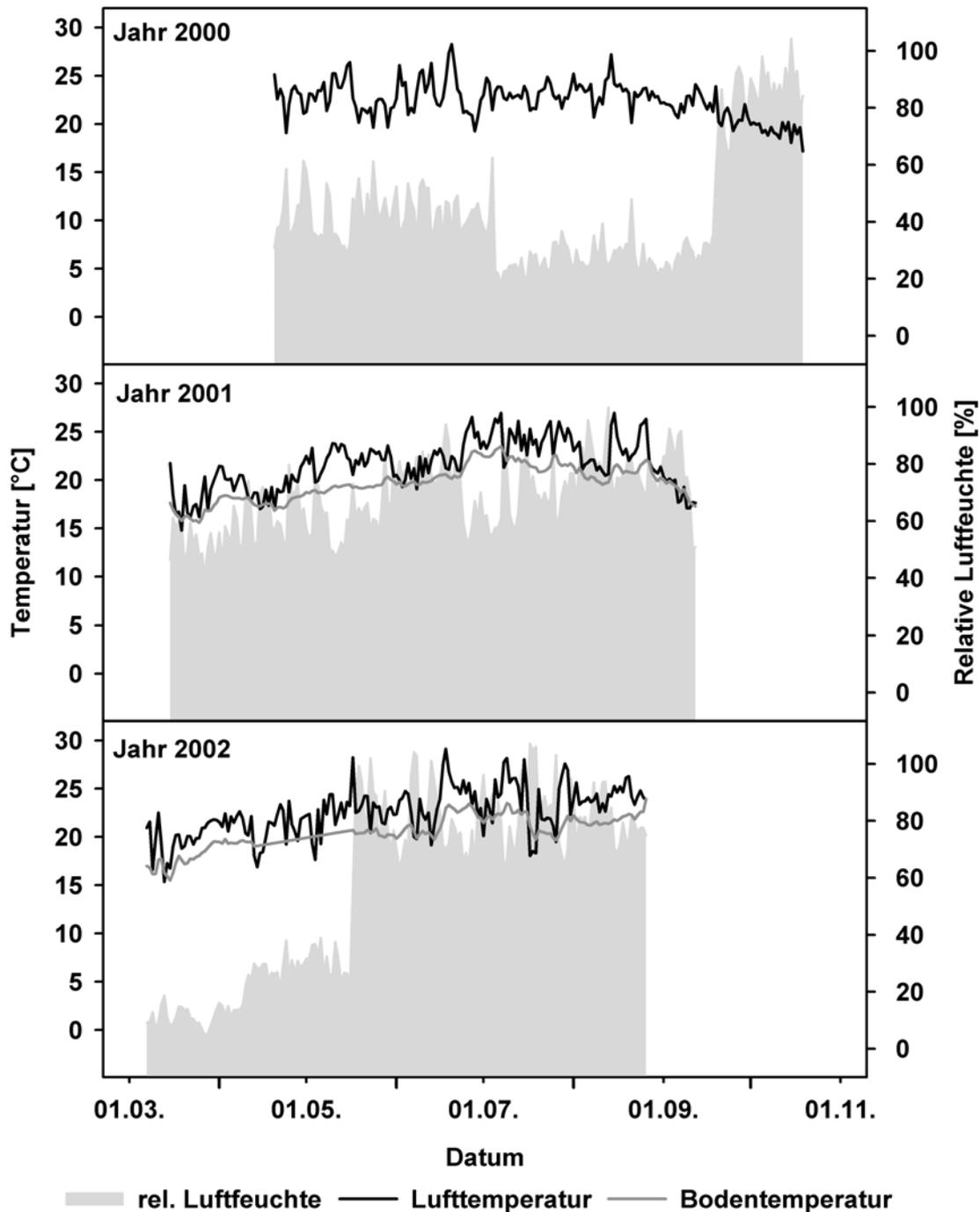


Abb. 4.6 Verläufe von relativer Luftfeuchte, Luft- und Bodentemperatur in Gurke in den Jahren 2000, 2001 und 2002. Im Jahr 2000 wurden keine Bodentemperaturen gemessen.

In den untersuchten Gurkenkulturen betrug in den Jahren 2000, 2001 und 2002 die mittlere Lufttemperatur:  $22,43 \pm 0,14$  °C,  $21,58 \pm 0,19$  °C und  $22,56 \pm 0,19$  °C, die mittlere relative Luftfeuchte:  $43,61 \pm 1,56$  %,  $67,65 \pm 0,91$  % und  $56,14 \pm 2,4$  % und die mittlere Bodentemperatur: 2000 nicht gemessen,  $19,67 \pm 0,14$  °C und  $20,57 \pm 0,16$  °C. Die Entwicklungen der erfassten klimatischen Bedingungen in den einzelnen Jahre sind in Abb. 4.6 dargestellt.

### 4.3.2 Monitoring von Thripsen im Paprikabestand

#### Populationsverläufe auf Pflanzen und im Boden

Durch die wöchentlichen Thripsbonituren an Paprikablättern und -blüten wurden ähnliche Populationsentwicklungen wie in Gurke festgestellt. Insgesamt wurden geringere Thripsdichten auf den oberirdischen Pflanzenteilen festgestellt als in Gurke. Aber auch in Paprika war ein jährlicher Rückgang des Befalls zu verzeichnen (Abb. 4.7A). Analog zu den Ergebnissen in Gurke nahm die Thripsdichte im Jahr 2000 trotz Nützlingseinsatzes zu und erreichte am 25.05. mit  $2,65 \pm 0,21$  Thripse/Pflanzenteil ein Maximum, das aber deutlich unterhalb der Befallsstärke in Gurke lag. In den folgenden Jahren wurden wesentlich weniger Thripse auf den untersuchten Pflanzenteilen gefunden. Mit  $0,89 \pm 0,10$  Thripse/Pflanzenteil Mitte Juli 2001 und  $0,09 \pm 0,03$  Thripse/Pflanzenteil Mitte September 2002 nahmen die Höchstwerte jährlich ab. Im Jahr 2002 war so gut wie kein Thripsbefall an den oberirdischen Pflanzenteilen festzustellen. Im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 war nicht nur die höchste Befallsstärke in 2001 deutlich geringer, sondern auch der Termin, an dem dieses Ereignis eintrat, um fast zwei Monate verschoben. Diese Verzögerung könnten die frühzeitig ausgebrachten Nützlinge verursacht haben, während für die dauerhafte Reduktion der Befallsstärke, zusätzlich zu den Antagonisten, die erstmals im Jahr 2001 eingesetzten Pflanzenschutzmittel verantwortlich sein könnten.

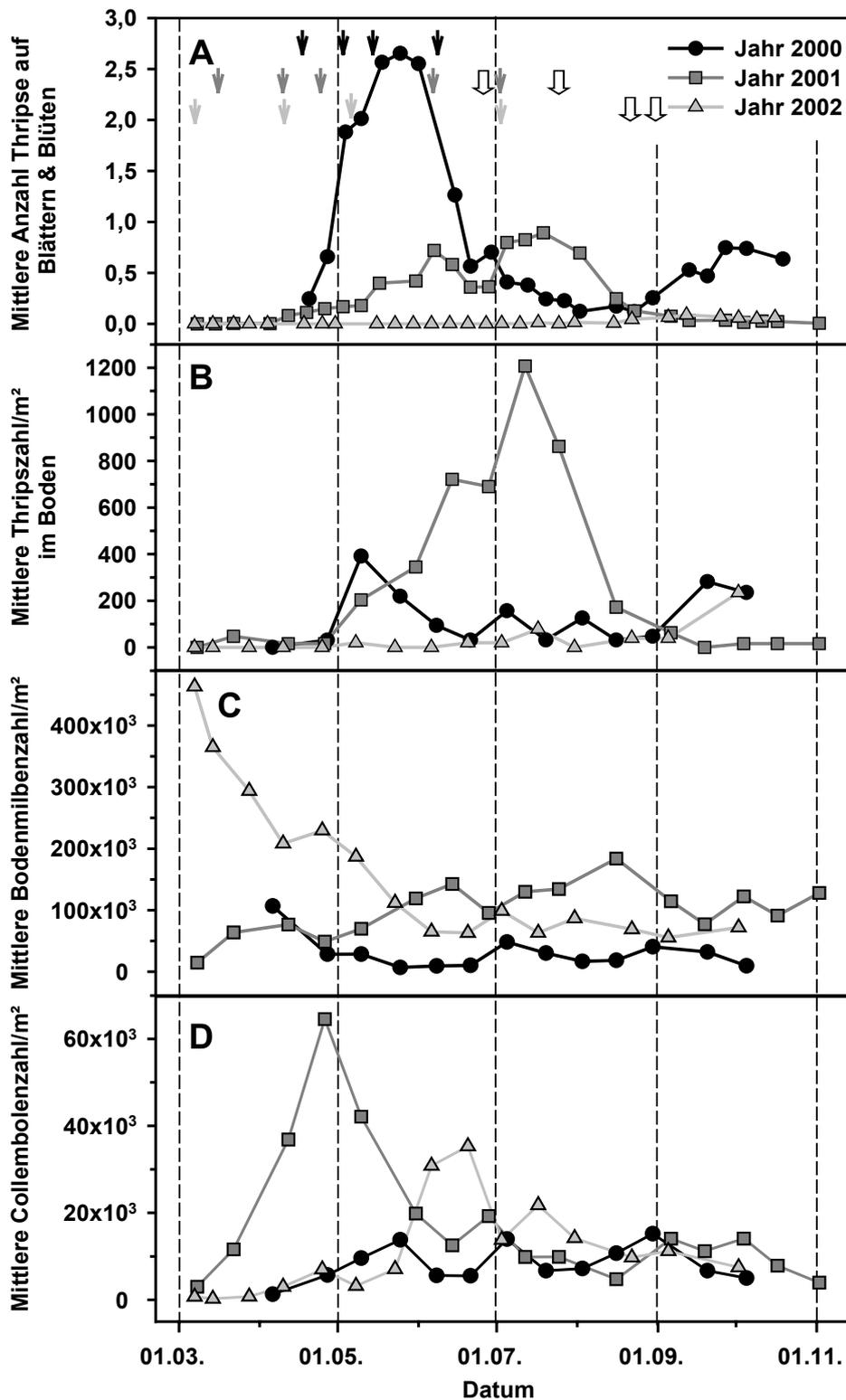


Abb. 4.7 Ergebnisse des dreijährigen Monitorings in Paprika: Populationsentwicklungen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen (A), Populationsdichten von Thripsen (B), Bodenmilben (C) und Collembolen (D) im Boden; Pfeile kennzeichnen den Einsatz von Antagonisten (▼▼▼) (s. Tab. 4.1) und von Pflanzenschutzmitteln (⏏) (s. Tab. 4.2) in den verschiedenen Jahren.

Die Populationsdichten der im Boden gefundenen Thripse spiegelten diese Entwicklung nicht wider (Abb. 4.7B). Es trat hier das gleiche Phänomen auf, das auch in Gurke festgestellt wurde. Während die Anzahl bodenbürtiger Thripse im jährlichen Vergleich mit der Anzahl Thripse an oberirdischen Pflanzenteilen gut korrelierten, wurde, absolut gesehen, die größte Thripsdichte im Boden im Jahr 2001 festgestellt. Bereits Mitte Juli wurden  $1.207,01 \pm 246,73$  Thripse/m<sup>2</sup> erfasst, obwohl die oberirdische Thripspopulationsdichte jährlich abnahm. Im Gegensatz dazu wurden im Jahr 2000 maximal  $391,89 \pm 129,97$  und im Jahr 2002 maximal  $78,38 \pm 53,94$  Thripse/m<sup>2</sup> erfasst. In Paprika nahm die Dichte von bodenbürtigen Thripsstadien im Jahr 2001 zwar schon vor dem ersten Insektizideinsatz der Saison stark zu, im Gegensatz zur Entwicklung in Gurke wurde die höchste Dichte jedoch nach einer chemischen Behandlung festgestellt. Ein Einfluss der chemischen Pflanzenschutzmaßnahme auf die Entwicklung der Thripsdichte im Boden kann daher nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Quantifizierung der Bodenmilben konnte eine jährliche Zunahme in der maximalen mittleren Populationsdichte beobachtet werden. Zu Beginn des Monitorings im Jahr 2000 wurde bereits Anfang April die maximale Bodenmilbendichte ( $106.781,26 \pm 12.622,52$  Individuen/m<sup>2</sup>) festgestellt. Im folgenden Jahr wurde erst Mitte August mit  $191.746,85 \pm 29.630,57$  Bodenmilben/m<sup>2</sup> die höchste Dichte gefunden. Das Maximum in der Populationsdichte der Bodenmilben des Jahres 2002 wurde bereits Anfang März festgestellt und war mit  $463.347,12 \pm 58.018,08$  Bodenmilben/m<sup>2</sup> deutlich größer als die in den Jahren zuvor (Abb. 4.7C). Im Saisonverlauf ging die hohe Bodenmilbendichte aber um das vier- bis siebenfache zurück. Die Entwicklungen der Raubmilbenpopulationen im Boden von Gurke bzw. Paprika schienen daher in den einzelnen Jahren nicht oder nur gering mit der Populationsentwicklung der Thripse im Boden oder auf den oberirdischen Pflanzenteilen zu korrelieren. Möglicherweise führte der erneute Einsatz von Fertigkompost als Mulchmaterial im Jahr 2002 dazu, dass es zu Saisonbeginn zu einer Akkumulation von Bodenmilben kam, wie sie auch im Boden unter Gurkenpflanzen festgestellt werden konnte. In 2000 und 2001 waren dagegen die Dichteschwankungen der Bodenmilben innerhalb einer Saison vergleichsweise gering.

Ebenso wie in den Bodenproben von Gurke wurden auch im Boden unter Paprikapflanzen hohe Collembolendichten festgestellt. Auch hier wurde die größte Populationsdichte im Jahr 2001 ermittelt. Bis Ende April nahm die Anzahl Collembolen im Boden auf  $64.551,56 \pm 8.100,39$  Individuen/m<sup>2</sup> zu. Im folgenden Jahr (2002) war die maximale Populationsdichte mit  $35.308,98 \pm 12.469,23$  Collembolen/m<sup>2</sup> am 20.06.02 nur etwa halb so groß. Mit  $15.205,20 \pm 3.628,85$  Collembolen/m<sup>2</sup> betrug die größte Populationsdichte im Jahr 2000 sogar weniger als ein Viertel, im Vergleich zum Jahr 2001. Größere Schwankungen in den Populationsdichten von Collembolen traten in den ersten Hälften der Beobachtungszeiträume der Jahre 2000 und 2002 auf. Zum Ende der Anbausaison waren die Collembolendichten in jedem Jahr (auch 2000) auf einem vergleichbar hohen Niveau.

Im Boden unter Paprika konnte wie im Boden unter Gurke beobachtet werden, dass im Jahr 2001 zunächst hohe Collembolendichten von hohen Thripsdichten im Saisonverlauf abgelöst wurden. Die Entwicklung der Bodenmilbendichten im Jahr 2001 unterlagen auch hier geringeren Schwankungen. Wie bereits für Gurke beschrieben, könnte dies auf das gleichmäßig hohe Beuteangebot im Boden und die Verwendung von Kompost als Mulchmaterial beruhen.

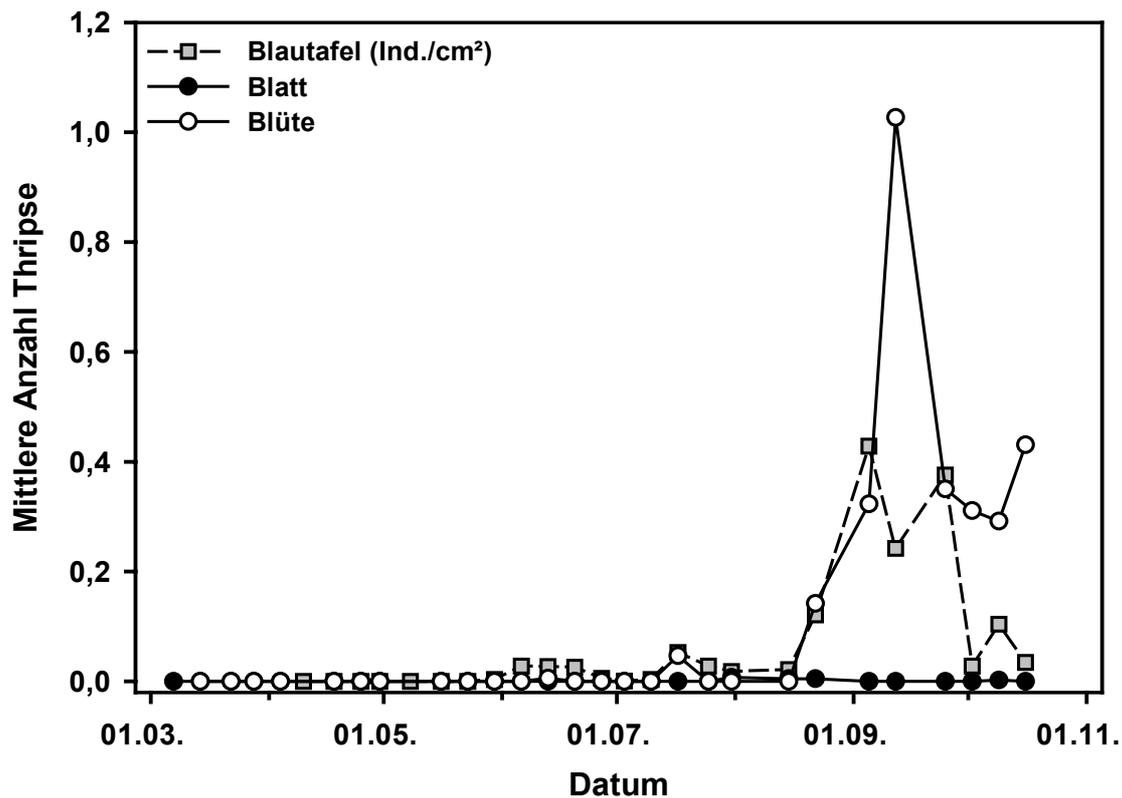


Abb. 4.8 Mittlere Anzahl auf Blautafeln gefangener adulter Thripse und Populationsentwicklung adulter Thripse auf Blatthälften und Blüten in Paprika im Jahr 2002 (Ind./cm<sup>2</sup> = Individuen pro cm<sup>2</sup> Blautafel).

Ebenso wie in Gurke wurden auch im Paprikabestand im Jahr 2002 Blautafeln zum Monitoring von adulten Thripsen aufgehängt. Bis Ende August konnten nur wenige Thripse auf Blättern, Blüten und Blautafeln festgestellt werden (Abb. 4.8). Danach nahmen die mittleren Thripsdichten auf Blüten und Blautafeln um das zehnfache bzw. vierfache auf maximal  $1,03 \pm 0,27$  adulte Thripse pro Blüte bzw.  $0,43 \pm 0,09$  Thripse pro cm<sup>2</sup> Blautafel zu, während auf Blättern der Thripsbefall kaum noch feststellbar war. Die Zunahme der Befallsstärke in bzw. auf den Blüten, im Vergleich zu den Ergebnissen aus den Fangratten der Blautafeln, blieb bis zum Saisonende auf einem höheren Niveau.

#### Korrelationen zwischen oberirdisch erfassten Thripsdichten

Die errechneten Korrelationskoeffizienten zwischen Thripsen auf Paprikablättern und -blüten sowie Blautafeln belegen, dass es zwischen Blättern und Blüten keinen signifikanten linearen Zusammenhang und zwischen Blättern und Blautafeln nur eine sehr schwache, nicht signifikante Korrelation gab (Tab. 4.10).

Tab. 4.10 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen adulter Thripse auf Blatt, Blüte und Blautafel in Paprika im Jahr 2002 (N = Anzahl Wertepaare).

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Blatt - Blüte	0,000	1,000	23
Blatt - Blautafel	0,151	0,394	23
Blüte - Blautafel	0,671	<0,001	23

Der Korrelationskoeffizient für Paprikablüten und Blautafeln hingegen ergab eine starke Korrelation. Der lineare Zusammenhang zwischen diesen beiden Variablen war signifikant.

#### Korrelationen zwischen Populationsdichten von Arthropoden im Boden

Ebenso wie bei den Ergebnissen des Monitorings in Gurke wurden auch in Paprika die Dichten der im Boden gefundenen Arthropoden hinsichtlich linearer Zusammenhänge überprüft.

Tab. 4.11 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, zusammengefasst für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Paprika (N = Anzahl Wertepaare).

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Thripse - Milben	-0,267	0,080	44
Thripse - Collembolen	0,273	0,073	44
Milben - Collembolen	-0,196	0,201	44

Die Berechnung der Korrelationskoeffizienten für den Vergleich von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden ergab über alle drei Jahre keine signifikanten linearen Korrelationen (Tab. 4.11). Generell konnte nur ein schwacher linearer Zusammenhang festgestellt werden. Sowohl zwischen Thripsen und Milben als auch zwischen Milben und Collembolen war die Korrelation negativ, während zwischen Thripsen und Collembolen eine positive Beziehung bestand. Bodenmilben könnten daher tendenziell die Populationsentwicklungen von Thripsen und Collembolen im Boden negativ beeinflusst haben. Die Anwesenheit von Collembolen könnte hingegen tendenziell förderlich für bodenbürtige Thripsstadien gewesen sein.

Tab. 4.12 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die mittleren Anzahlen von Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, berechnet für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Paprika (N = Anzahl Wertepaare).

Jahr	Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
2000	Thripse - Milben	-0,275	0,363	13
	Thripse - Collembolen	0,213	0,484	13
	Milben - Collembolen	-0,248	0,413	13
2001	Thripse - Milben	0,409	0,116	16
	Thripse - Collembolen	-0,168	0,535	16
	Milben - Collembolen	-0,402	0,123	16
2002	Thripse - Milben	-0,364	0,182	15
	Thripse - Collembolen	0,035	0,902	15
	Milben - Collembolen	-0,663	0,007	15

Ähnlich wie schon in Gurke zeigten auch in Paprika die für die einzelnen Jahre berechneten Korrelationskoeffizienten keinen einheitlichen Trend in den Beziehungen zwischen Thripsen im Boden, Bodenmilben und Collembolen im Boden (Tab. 4.12). Eine signifikante, stark negative Korrelation konnte nur zwischen Milben und Collembolen im Jahr 2002 festgestellt werden. Alle anderen Korrelationskoeffizienten waren nicht signifikant. Die Korrelationen konnten bestenfalls als schwach bezeichnet werden. In Abb. 4.9 sind die Wertepaare graphisch dargestellt, die der Korrelationsanalyse zugrunde liegen. Ebenso wie in Gurke gab es zwischen den Jahren deutliche Unterschiede in den Beziehungen zwischen zwei Arthropodengruppen, was auf einen deutlichen Jahreseffekt hinweist. Allerdings konnte bei der Zusammenfassung aller Datenpunkte über alle Jahre, anders als in Gurke, keine signifikante Korrelation festgestellt werden (Tab. 4.11).

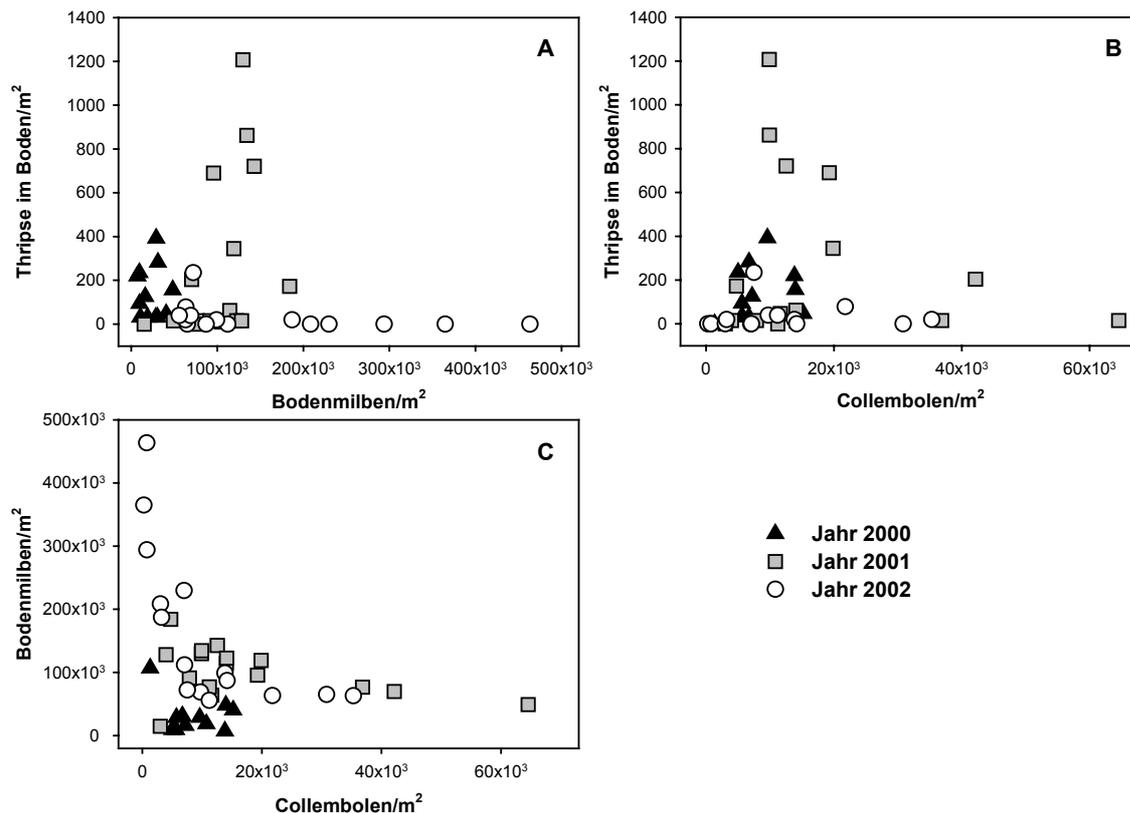


Abb. 4.9 Beziehungen zwischen den Anzahlen Thripse im Boden und Bodenmilben (A) bzw. Thripse im Boden und Collembolen (B) sowie Bodenmilben und Collembolen (C) in Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

#### Korrelationen zwischen Populationsdichten von Arthropoden auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden

Über alle drei Jahre des Beobachtungszeitraumes gesehen konnte eine sehr starke positive Korrelation zwischen Thripsstadien auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden festgestellt werden (Tab. 4.13).

Tab. 4.13 Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die mittleren Anzahlen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen im Vergleich zu Thripsen, Milben und Collembolen im Boden, zusammengefasst für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Paprika (N = Anzahl Wertepaare)

Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,801	<0,001	37
Thripse Pflanze - Milben Boden	-0,440	0,006	37
Thripse Pflanze - Collembolen Boden	0,107	0,529	37

Zwischen Thripsen, die an oberirdischen Pflanzenteilen bonitiert wurden, und Bodenmilben gab es eine mittlere negative Korrelation. Die Korrelationskoeffizienten beider Vergleiche waren jeweils signifikant. Zwischen pflanzenbewohnenden Thripsentwicklungsstadien und Collembolen konnte nur ein Koeffizient berechnet werden, der eine nicht signifikante, sehr schwache lineare Korrelation widerspiegelt. Neben dem zu erwartenden positiven linearen Zusammenhang zwischen den Thripspopulationsdichten im Boden und auf der Pflanze konnte also auch eine negative Beziehung zwischen Thripsen im Boden und Bodenmilben festgestellt werden. Dies unterstreicht die Annahme, dass Bodenraubmilben einen Einfluss auf die Populationsdichte von bodenbürtigen Thripsstadien ausüben.

Tab. 4.14 Korrelationskoeffizienten nach Pearson für die mittleren Anzahlen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen im Vergleich zu Thripsen, Milben und Collembolen im Boden für die Jahre 2000, 2001 und 2002 in Paprika (N = Anzahl Wertepaare)

Jahr	Vergleich	Korrelationskoeffizient	P-Wert	N
2000	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,623	0,054	10
	Thripse Pflanze - Milben Boden	-0,427	0,218	10
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	0,230	0,523	10
2001	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,954	<0,001	14
	Thripse Pflanze - Milben Boden	0,418	0,137	14
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	-0,042	0,885	14
2002	Thripse Pflanze - Thripse Boden	0,662	0,014	13
	Thripse Pflanze - Milben Boden	-0,446	0,127	13
	Thripse Pflanze - Collembolen Boden	-0,102	0,740	13

Die für die einzelnen Jahre 2000, 2001 und 2002 berechneten Korrelationskoeffizienten zeigen, dass im Jahr 2001 zwischen Thripsen auf den Pflanzen und im Boden eine signifikante, nahezu perfekte lineare Korrelation vorhanden war (Tab. 4.14). In den beiden anderen Jahren verwiesen die Korrelationskoeffizienten auf eine sehr starke Korrelation, die allerdings nur im Jahr 2002 signifikant war. Zwischen den Dichten von oberirdisch erfassten Thripsen und Bodenmilben bzw. Collembolen im Boden gab es keine signifikanten Korrelationen. Die in der Gesamtbetrachtung der Jahre ermittelten Effekte konnten somit nicht in jeder einzelnen Anbausaison festgestellt werden.

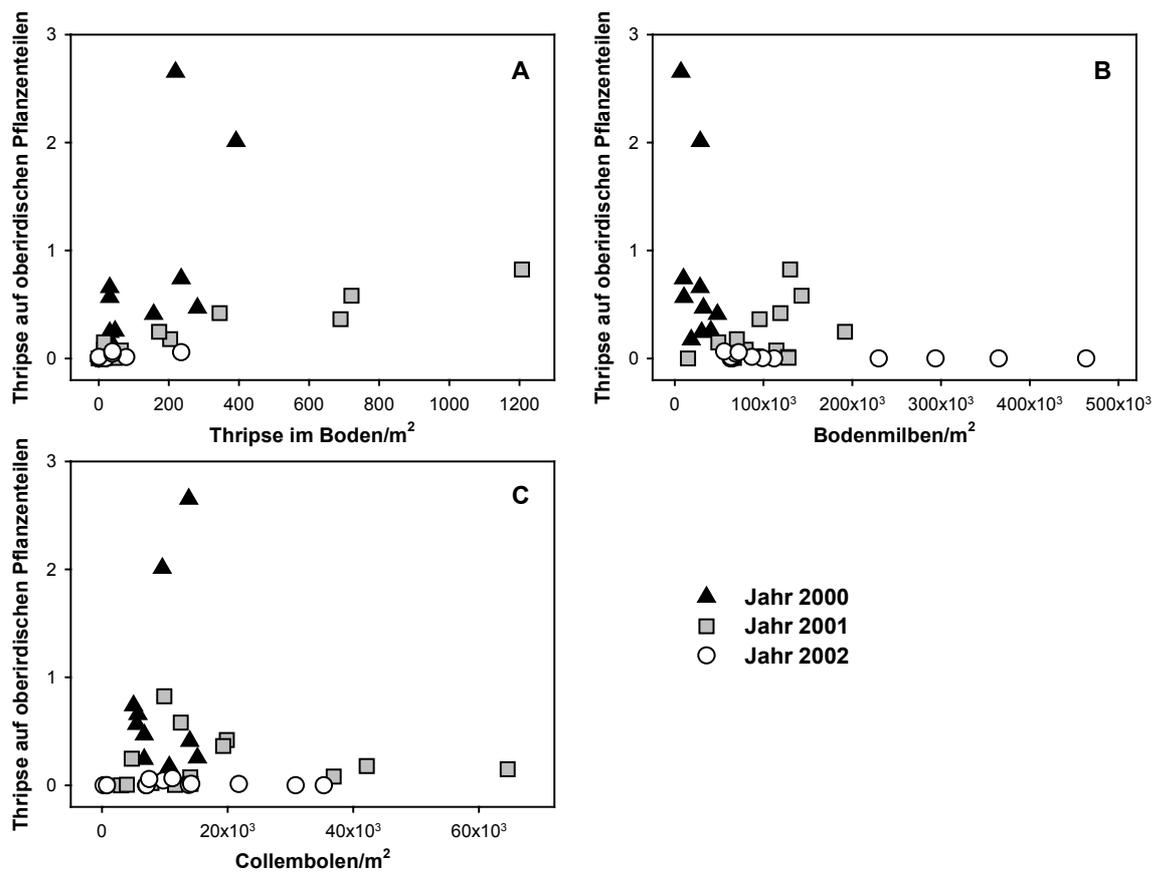


Abb. 4.10 Beziehungen zwischen den Anzahlen Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Thripse im Boden (A) bzw. Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Bodenmilben (B) sowie Thripse auf oberirdischen Pflanzenteilen und Collembolen (C) in Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

Hier können wiederum die im Jahresvergleich unterschiedlichen Entwicklungen als Erklärung herangezogen werden (Abb. 4.10). Bei den Beziehungen von Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen zu Thripsen im Boden (Abb. 4.10A), pflanzenbewohnenden Thripsstadien zu Bodenmilben (Abb. 4.10B) und Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen zu Collembolen (Abb. 4.10C) ist jeweils ein Jahreseffekt deutlich zu erkennen.

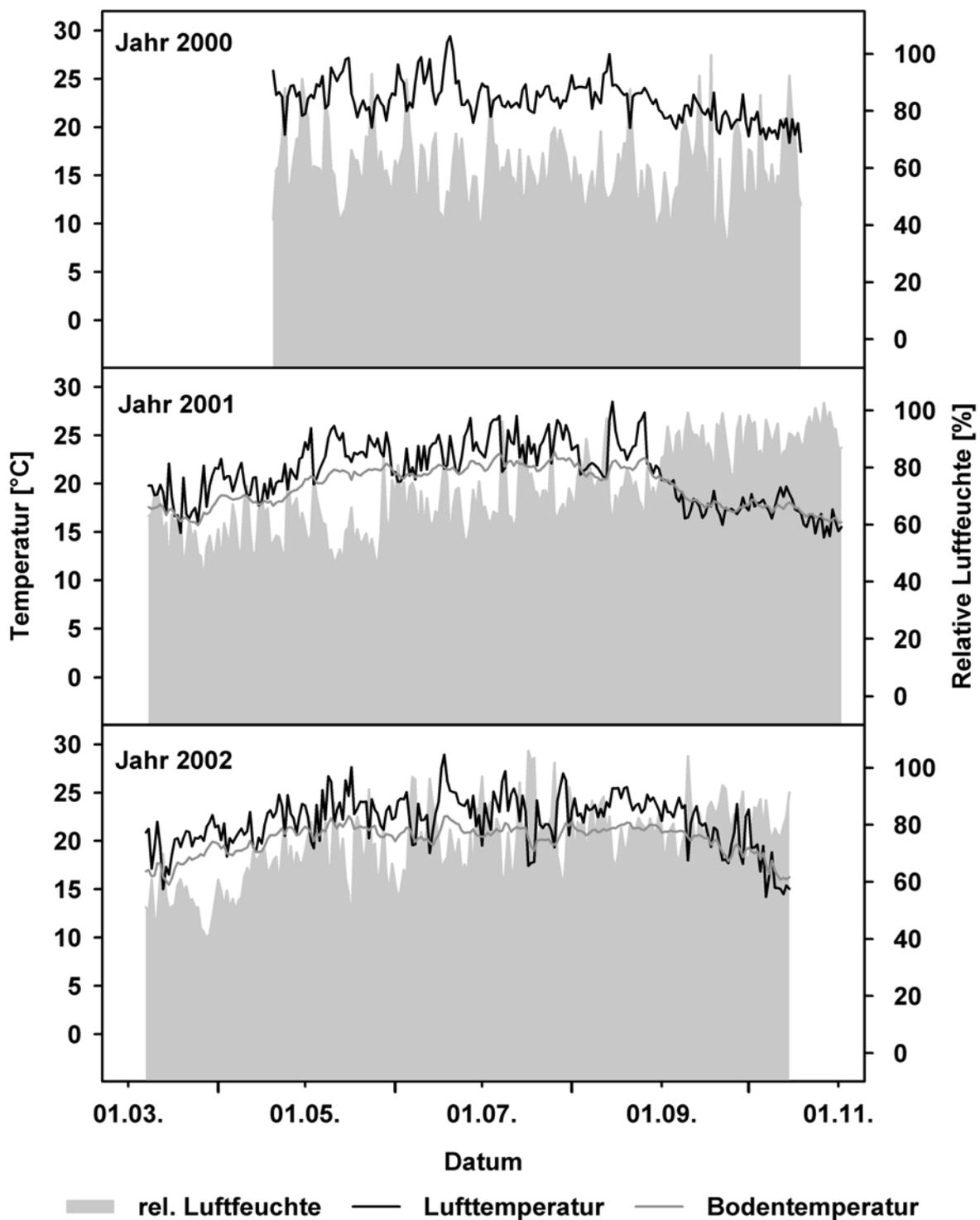
Klimatische Bedingungen während des Monitorings im Paprikabestand

Abb. 4.11 Verläufe von relativer Luftfeuchte, Luft- und Bodentemperatur in Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002. Im Jahr 2000 wurden keine Bodentemperaturen gemessen.

In den Jahren 2000, 2001 und 2002 betrug in den untersuchten Paprikakulturen die mittlere Lufttemperatur:  $22,78 \pm 0,15$  °C,  $21,07 \pm 0,2$  °C und  $22,02 \pm 0,18$  °C, die mittlere relative Luftfeuchte:  $60,21 \pm 0,92$  %,  $71,38 \pm 0,97$  % und  $72,47 \pm 0,88$  % und die mittlere Bodentemperatur: 2000 nicht gemessen,  $19,69 \pm 0,13$  °C und  $20,13 \pm 0,1$  °C. Die Verläufe der erfassten Klimabedingungen sind in Abb. 4.11 dargestellt.

### 4.3.3 Räumliche Verteilung von Thripsen

Für eine effiziente Thripsbekämpfung im Gewächshaus sind Kenntnisse über räumliche Verteilungsmuster sehr hilfreich. Maßnahmen zur Schaderregerkontrolle können so gezielter durchgeführt werden. Ebenso kann das Boniturschema dadurch verfeinert und effektiver gestaltet werden.

#### Verteilung von Thripsen Gurkenpflanzen

Zur Untersuchung des Verteilungsmusters von larvalen und adulten Thripsen innerhalb einer Gurkenpflanze wurden zunächst univariate Varianzanalysen (ANOVA) mit den Faktoren Zeit (Jahr) und Pflanzenteil (Blatttage und Blüten) durchgeführt (Tab. 4.15).

Tab. 4.15 Ergebnisse von univariaten Varianzanalysen für Thripse in Gurke mit den Variablen Larve und Adulte in Abhängigkeit von den Faktoren Jahr und Pflanzenteil.

Stadium	Quelle	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F-Wert	P-Wert
Larven	Jahr	259.847,69	2	129.923,85	76,45	<0,001
	Pflanzenteil	169.126,63	3	56.375,55	33,17	<0,001
	Jahr x Pflanzenteil	70.396,84	6	11.732,81	6,90	<0,001
Adulte	Jahr	529.438,60	2	264.719,30	163,77	<0,001
	Pflanzenteil	62.976,19	3	20.992,06	12,99	<0,001
	Jahr x Pflanzenteil	56.496,25	6	9.416,04	5,83	<0,001

Der Vergleich der jährlichen mittleren Befallsstärken von Thripislarven und adulten Thripsen auf Blatthälften verschiedener Pflanzenhöhen und Blüten zeigte, dass sowohl die Jahre als auch die Pflanzenteile einen signifikanten Einfluss auf die Befallsstärke hatten (Tab. 4.15). Zusätzlich konnten Interaktionen zwischen den

beiden Einflussfaktoren Jahr und Pflanzenteil festgestellt werden (Tab. 4.15). Aufgrund dieser Interaktionen wurden die Einflüsse der Faktoren Jahr und Pflanzenteil auf die Befallsstärke getrennt voneinander untersucht (Tab. 4.16 und Tab. 4.17), um die Einzeleffekte der Faktoren überprüfen zu können.

Tab. 4.16 Ergebnisse von einfaktorieller ANOVA mit anschließendem Post-hoc Vergleich (Tukey-Test) für Thripslarven und adulte Thripse in Gurke. Verglichen wurden die Unterschiede der mittleren Befallsstärke zwischen den Jahren 2000, 2001 und 2002 innerhalb der Blattetagen (basal, mittel und apikal) und Blüten. ANOVA Larven: basal:  $F = 20,09$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; mittel:  $F = 38,71$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; apikal:  $F = 36,35$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; Blüte:  $F = 3,28$ ;  $df = 2, 43$ ;  $P = 0,047$ ; ANOVA Adulte: basal:  $F = 20,64$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; mittel:  $F = 25,01$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; apikal:  $F = 39,28$ ;  $df = 2, 58$ ;  $P < 0,001$ ; Blüte:  $F = 252,48$ ;  $df = 2, 43$ ;  $P < 0,001$ .

Stadium	basal		mittel		apikal		Blüte	
	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert
Larven	2000 – 2001	0,006	2000 – 2001	0,006	2000 – 2001	0,004	2000 – 2001	0,163
	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	0,833
	2001 – 2002	0,006	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	<0,00	2001 – 2002	0,051
Adulte	2000 – 2001	0,001	2000 – 2001	0,003	2000 – 2001	<0,001	2000 – 2001	<0,001
	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001
	2001 – 2002	0,029	2001 – 2002	0,001	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	<0,001

Tab. 4.17 Ergebnisse von einfaktorieller ANOVA mit anschließendem Post-hoc Vergleich (Tukey-Test) für Thripslarven und adulte Thripse in Gurke. Verglichen wurden die Unterschiede der mittleren Befallsstärke zwischen den Blattetagen (basal, mittel und apikal) und Blüten innerhalb der Jahre 2000, 2001 und 2002. ANOVA Larven: Jahr 2000:  $F = 38,91$ ;  $df = 3, 65$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2001:  $F = 7,18$ ;  $df = 3, 76$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2002:  $F = 1,79$ ;  $df = 3, 76$ ;  $P = 0,156$ ; ANOVA Adulte: Jahr 2000:  $F = 8,31$ ;  $df = 3, 65$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2001:  $F = 13,80$ ;  $df = 3, 76$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2002:  $F = 0,78$ ;  $df = 3, 77$ ;  $P = 0,508$ .

Stadium	Jahr 2000		Jahr 2001	
	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert
Larven	basal - mittel	0,191	basal - mittel	0,237
	basal - apikal	0,611	basal - apikal	0,765
	basal - Blüte	<0,001	basal - Blüte	0,048
	mittel - apikal	0,858	mittel - apikal	0,791
	mittel - Blüte	<0,001	mittel - Blüte	<0,001
	apikal - Blüte	<0,001	apikal - Blüte	0,004
Adulte	basal - mittel	1,000	basal - mittel	0,237
	basal - apikal	1,000	basal - apikal	0,765
	basal - Blüte	0,001	basal - Blüte	0,048
	mittel - apikal	0,999	mittel - apikal	0,791
	mittel - Blüte	0,001	mittel - Blüte	<0,001
	apikal - Blüte	<0,001	apikal - Blüte	0,004

Die mittleren Befallstärken von Thripslarven und adulten Thripsen für die verschiedenen Blattetagen bzw. Blüten in den drei Jahren des Untersuchungszeitraumes sind in Tab. 4.18 dargestellt.

Tab. 4.18 Durchschnittliche jährliche Thripsdichte (Larven, Adulte) auf Blatthälften von Gurken bestimmter Blattetagen (= physiologisches Alter) und Gurkenblüten (Mittelwert  $\pm$  SE); Buchstaben kennzeichnen die in Tab. 4.16 und Tab. 4.17 dargestellten Ergebnisse der statistischen Tests ( $N \geq 14$ ).

Stadium	Jahr	Blatthälfte						Blüte	
		basal		mittel		apikal			
Larven	2000	0,427 $\pm$ 0,122	a A	3,018 $\pm$ 0,895	a A	3,318 $\pm$ 1,056	a A	0,003 $\pm$ 0,003	b A
	2001	0,182 $\pm$ 0,073	a B	0,478 $\pm$ 0,218	a B	0,225 $\pm$ 0,106	a B	0,012 $\pm$ 0,008	b A
	2002	0,03 $\pm$ 0,019	a C	0,009 $\pm$ 0,005	a C	0,001 $\pm$ 0,001	a C	0 $\pm$ 0	a A
Adulte	2000	1,101 $\pm$ 0,618	a A	0,545 $\pm$ 0,105	a A	0,636 $\pm$ 0,146	a A	5,699 $\pm$ 0,743	b A
	2001	0,18 $\pm$ 0,091	a B	0,302 $\pm$ 0,184	a B	0,068 $\pm$ 0,022	a B	1,194 $\pm$ 0,356	b B
	2002	0,043 $\pm$ 0,020	a C	0,019 $\pm$ 0,008	a C	0,008 $\pm$ 0,003	a C	0,007 $\pm$ 0,005	a C

Gleiche Kleinbuchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten innerhalb eines Jahres; gleiche Großbuchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten einer Pflanzenhöhe innerhalb eines Entwicklungsstadiums ( $\alpha = 0,05$ , Tukey-Test).

Auf Gurkenpflanzen konnten bei einem starken Thripsbefall im Jahr 2000 ungefähr sechsmal mehr Thripslarven auf mittleren und apikalen Blättern im Vergleich zu basalen Blatthälften festgestellt werden (Tab. 4.18). Mit signifikant abnehmender jährlicher Befallsstärke (Tab. 4.16) wurden im Jahr 2001 die meisten Thripslarven auf den mittleren Blatthälften gefunden. Es gab jedoch keinen statistischen Unterschied zwischen den Blattetagen (Tab. 4.17). Im Jahr 2002 wurde nur noch ein geringer Befall mit Thripslarven festgestellt. Allerdings befanden sich in diesem Jahr durchschnittlich mehr Larven auf den unteren Blättern. Bei den adulten Thripsen konnten im Jahr 2000 durchschnittlich fast doppelt so viele Individuen auf den unteren Blättern im Vergleich zu den oberen Blättern bonitiert werden. Dieser Unterschied konnte jedoch nicht statistisch abgesichert werden (Tab. 4.17). Ähnlich wie bei den Thripslarven wurden die Unterschiede, absolut gesehen, zwischen den Blattetagen der Gurkenpflanzen bei den adulten Thripsen mit jährlich abnehmenden Befallsstärken geringer. In Blüten wurden in den Jahren 2000 und 2001 im Vergleich zu den Blatthälften signifikant weniger Larven gefunden (Tab. 4.17). Ein Grund dafür könnte in der Boniturmethode liegen, bei der die Blüten nicht

zerteilt wurden und damit versteckte Tiere tief im Inneren der Blüten nicht erfasst werden konnten. Möglicherweise konnten daher auch unabhängig von der Thrips-populationsdichte keine Unterschiede hinsichtlich der mittleren Larvenzahlen in den Gurkenblüten zwischen den Beobachtungsjahren festgestellt werden (Tab. 4.18). Im Gegensatz dazu wurden besonders viele adulte Thripse auf Gurkenblüten festgestellt. Im Jahr 2000 war die mittlere Anzahl adulter Thripse auf Blüten fünf- bis zehnmal so groß im Vergleich zu den einzelnen Blatttagen. Mit Verringerung der Befallsstärke wurde der Unterschied zwischen Blatttagen und Blüten geringer. In den Jahren 2000 und 2001 wurden noch signifikant mehr adulte Thripse an den Blüten festgestellt, während es bei dem geringen Befall im Jahr 2002 keinen signifikanten Unterschied gab (Tab. 4.17).

#### Verteilung von Thripsen auf Paprikapflanzen

Ebenso wie in Gurke wurden auch in Paprika signifikante Einflüsse der Faktoren Jahr und Pflanzenteil auf die Befallsstärke von Thripslarven und adulten Thripsen festgestellt (Tab. 4.19).

Tab. 4.19 Ergebnisse von univariaten Varianzanalysen für Thripse in Paprika mit den Variablen Larve und Adulte in Abhängigkeit von den Faktoren Jahr und Pflanzenteil.

Stadium	Quelle	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F-Wert	P-Wert
Larven	Jahr	548.969,33	2	274.484,67	83,80	<0,001
	Pflanzenteil	101.791,31	3	33.930,44	10,36	<0,001
	Jahr x Pflanzenteil	73.597,46	6	12.266,24	3,75	0,001
Adulte	Jahr	806.358,52	2	403.179,26	148,56	<0,001
	Pflanzenteil	342.766,57	3	114.255,52	42,10	<0,001
	Jahr x Pflanzenteil	39.025,28	6	6.504,21	2,40	0,028

Bei beiden untersuchten Entwicklungsstadien der Thripse (Larven, Adulte) gab es signifikante Interaktionen zwischen den Einflussfaktoren Jahr und Pflanzenteil (Tab. 4.19). Daher wurden auch bei Paprika die Post-hoc Vergleiche (Tukey-Test) innerhalb dieser Faktoren getrennt voneinander durchgeführt (Tab. 4.21 und Tab. 4.20).

Tab. 4.20 Ergebnisse von einfaktorieller ANOVA mit anschließendem Post-hoc Vergleich (Tukey-Test) für Thripslarven und adulte Thripse in Paprika. Verglichen wurden die Unterschiede der mittleren Befallsstärke zwischen den Blattetagen (basal, mittel und apikal) und Blüten innerhalb der Jahre 2000, 2001 und 2002. ANOVA Larven: basal:  $F = 11,04$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; mittel:  $F = 23,40$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; apikal:  $F = 43,36$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; Blüte:  $F = 18,61$ ;  $df = 2, 70$ ;  $P < 0,001$ ; ANOVA Adulte: basal:  $F = 27,79$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; mittel:  $F = 40,22$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; apikal:  $F = 39,82$ ;  $df = 2, 71$ ;  $P < 0,001$ ; Blüte:  $F = 44,27$ ;  $df = 2, 70$ ;  $P < 0,001$ .

Stadium	basal		mittel		apikal		Blüte	
	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert
Larven	2000 – 2001	0,806	2000 – 2001	0,370	2000 – 2001	<0,001	2000 – 2001	<0,001
	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001
	2001 – 2002	0,001	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	0,254
Adulte	2000 – 2001	0,001	2000 – 2001	0,007	2000 – 2001	0,001	2000 – 2001	0,132
	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001	2000 – 2002	<0,001
	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	<0,001	2001 – 2002	0,254

Während in Tab. 4.20 der Einfluss der Anbausaison auf die Populationsdichte von Thripsen auf den bonitierten Pflanzenteilen überprüft wurde, werden in Tab. 4.21 die Ergebnisse für die Überprüfung des Einflusses der Pflanzenteile innerhalb der einzelnen Beobachtungsjahre dargestellt.

Tab. 4.21 Ergebnisse von einfaktorieller ANOVA mit anschließendem Post-hoc Vergleich (Tukey-Test) für Thripslarven und adulte Thripse in Paprika. Verglichen wurden die Unterschiede der mittleren Befallsstärke zwischen den Blattetagen (basal, mittel und apikal) und Blüten innerhalb der Jahre 2000, 2001 und 2002. ANOVA Larven: Jahr 2000:  $F = 5,28$ ;  $df = 3, 72$ ;  $P = 0,002$ ; Jahr 2001:  $F = 6,10$ ;  $df = 3, 107$ ;  $P = 0,001$ ; Jahr 2002:  $F = 0,77$ ;  $df = 3, 104$ ;  $P = 0,155$ ; ANOVA Adulte: Jahr 2000:  $F = 23,57$ ;  $df = 3, 72$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2001:  $F = 18,22$ ;  $df = 3, 107$ ;  $P < 0,001$ ; Jahr 2002:  $F = 7,59$ ;  $df = 3, 104$ ;  $P < 0,001$ .

Stadium	Jahr 2000		Jahr 2001		Jahr 2002	
	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert
Larven	basal - mittel	0,310	basal - mittel	0,562	nicht signifikant	
	basal - apikal	0,004	basal - apikal	0,747		
	basal - Blüte	0,991	basal - Blüte	0,056		
	mittel - apikal	0,277	mittel - apikal	0,991		
	mittel - Blüte	0,478	mittel - Blüte	0,001		
	apikal - Blüte	0,009	apikal - Blüte	0,003		
Adulte	basal - mittel	0,588	basal - mittel	0,422	basal - mittel	0,996
	basal - apikal	0,311	basal - apikal	0,546	basal - apikal	0,955
	basal - Blüte	<0,001	basal - Blüte	<0,001	basal - Blüte	0,001
	mittel - apikal	0,965	mittel - apikal	0,997	mittel - apikal	0,877
	mittel - Blüte	<0,001	mittel - Blüte	<0,001	mittel - Blüte	0,001
	apikal - Blüte	<0,001	apikal - Blüte	<0,001	apikal - Blüte	0,005

Die mittleren Populationsdichten von Thripslarven und -adulten in Abhängigkeit von den Blattetagen bzw. Blüten innerhalb einer Pflanze und vom Untersuchungsjahr sind in Tab. 4.22 dargestellt.

Tab. 4.22 Durchschnittliche jährliche Thripsdichte (Larven, Adulte) auf Paprikablättern unterschiedlicher Pflanzenhöhe und Paprikablüten (Mittelwert  $\pm$  SE); Buchstaben kennzeichnen die in Tab. 4.20 und Tab. 4.21 dargestellten Ergebnisse der statistischen Tests ( $N \geq 19$ ).

Stadium	Jahr	Blatt						Blüte	
		basal		mittel		apikal			
Larven	2000	0,18 $\pm 0,08$	a A	0,19 $\pm 0,068$	ab A	0,426 $\pm 0,135$	b A	0,062 $\pm 0,024$	a A
	2001	0,018 $\pm 0,004$	ab A	0,112 $\pm 0,031$	a A	0,079 $\pm 0,019$	a B	0,014 $\pm 0,009$	b B
	2002	0 $\pm$ 0	a B	0 $\pm$ 0	a B	0,001 $\pm 0,001$	a C	0 $\pm$ 0	a B
Adulte	2000	0,126 $\pm 0,045$	a A	0,111 $\pm 0,025$	a A	0,235 $\pm 0,084$	a A	3,155 $\pm 0,442$	b A
	2001	0,029 $\pm 0,009$	a B	0,067 $\pm 0,015$	a B	0,044 $\pm 0,011$	a B	1,56 $\pm 0,302$	b AB
	2002	0,001 $\pm 0$	a C	0 $\pm$ 0	a C	0,001 $\pm 0,001$	a C	0,109 $\pm 0,044$	b B

Gleiche Kleinbuchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten innerhalb eines Jahres; gleiche Großbuchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten einer Pflanzenhöhe innerhalb eines Entwicklungsstadiums ( $\alpha = 0,05$ , Tukey-Test).

Im Vergleich zum mittleren Thripsbefall auf Gurke war die Befallstärke auf Paprika deutlich geringer (Tab. 4.22). Sowohl bei Thripslarven als auch bei adulten Thripsen konnte ein jährlicher Rückgang in der Befalldichte festgestellt werden. Im Jahr 2000 wurden durchschnittlich etwa doppelt so viele Thripslarven und adulte Thripse auf den oberen Paprikablättern im Vergleich zu den beiden anderen Blattetagen gezählt. Diese unterschiedlichen Verteilungen auf den Paprikapflanzen waren jedoch weder für Larven noch für adulte Thripse signifikant (Tab. 4.21). Im Jahr 2001 wurden larvale und adulte Thripse vor allem auf mittleren und oberen Paprikablättern festgestellt. Im Jahr 2002 war der durchschnittliche Thripsbefall vernachlässigbar gering. Mit Ausnahme von Larven in den Jahren 2000 und 2001 an basalen und mittleren Blättern und 2001 und 2002 an Blüten sowie Adulte in den Jahren 2000 und 2001 bzw. 2001 und 2002 an Blüten war der jährliche Rückgang in den Befallstärken sowohl von larvalen als auch von adulten Thripsen signifikant (Tab. 4.20). Wie schon für die Verteilung auf Gurkenpflanzen beschrieben, wurden auch an Paprika nur wenige Thripslarven auf Blüten gefunden. Adulte Thripse wurden jedoch in signifikant höherer Dichte auf Blüten festgestellt. Im

Vergleich zu den Blattetagen wurden auf Paprikablüten 13- bis 28-mal mehr Thripse ermittelt (Tab. 4.19).

#### Verteilung von Thripsen im Bestand

Zur räumlichen Verteilung larvaler und adulter Thripsstadien auf Gurke und Paprika wurde der Aggregationsindex nach Taylor's Power Law (Taylor, 1961) berechnet. Abb. 4.12 zeigt beispielhaft den linearen Zusammenhang zwischen logarithmierten Werten von Varianz und Mittelwert.

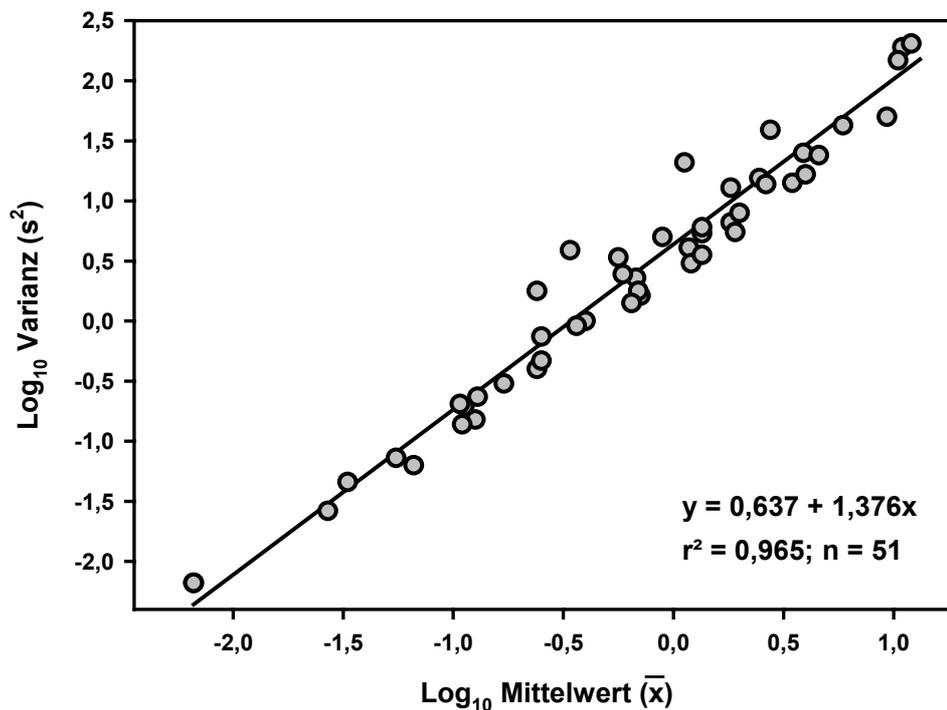


Abb. 4.12 Lineare Regression der logarithmierten Mittelwerte und Varianzen von Thripslarven auf Gurkenblättern im Jahr 2000.

Die Steigung  $b$  der Regressionsgeraden, die sich aus der linearen Regression der logarithmierten Mittelwerte und Varianzen ergibt, beschreibt dabei den Aggregationsindex. Auf Blatthälften von Gurkenpflanzen traten vor allem Thripslarven in geklumpfter Verteilung auf (Tab. 4.23).

Tab. 4.23 Aggregationsindizes  $b$  nach Taylor's Power Law von larvalen und adulten Thripsen auf Gurke in den Jahren 2000, 2001 und 2002

Stadium	Jahr	$b$	$se_b$		$\log a$	$se_a$	$r^2$	N
Larve	2000	1,376	± 0,038	a	0,637	± 0,033	0,965	51
	2001	1,308	± 0,033	a	0,554	± 0,070	0,973	47
	2002	1,291	± 0,058	a	0,621	± 0,101	0,975	15
Imago	2000	1,293	± 0,053	a	0,347	± 0,036	0,925	51
	2001	1,184	± 0,030	b	0,310	± 0,039	0,970	51
	2002	1,132	± 0,030	b	0,285	± 0,050	0,984	24

Gleiche Buchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Aggregationsindizes  $b$  innerhalb eines Entwicklungsstadiums ( $\alpha = 0,05$ ; t-Test).

Zwischen den Jahren 2000, 2001 und 2002 gab es hinsichtlich der Thripslarven keine Unterschiede im Vergleich der Aggregationsindizes (t-Test:  $t_{2000/2001} = 1,84$ ;  $df = 94$ ;  $P = 0,069$ ;  $t_{2000/2002} = 1,148$ ;  $df = 62$ ;  $P = 0,255$ ;  $t_{2001/2002} = 0,23$ ;  $df = 58$ ;  $P = 0,818$ ). Das bedeutet, dass auch mit einer jährlich abnehmenden Befallsstärke die Klumpung der Verteilung der Thripslarven gleich blieb. Das adulte Thripsstadium zeigte auf Blatthälften von Gurke ebenfalls eine geklumpfte Verteilung. Allerdings ging die Tendenz in den Jahren 2001 und 2002 in Richtung einer zufälligen Verteilung ( $b = 1$ ). Die Aggregationsindizes dieser beiden Jahre unterschieden sich signifikant von dem Index des Jahres 2000 (t-Test:  $t_{2000/2001} = 2,014$ ;  $df = 98$ ;  $P = 0,047$ ;  $t_{2000/2002} = 2,033$ ;  $df = 71$ ;  $P = 0,046$ ). Die Indizes der Jahre 2001 und 2002 unterscheiden sich dagegen nicht voneinander (t-Test:  $t = 0,817$ ;  $df = 71$ ;  $P = 0,417$ ).

Auf Paprikablättern traten ebenfalls sowohl Thripslarven als auch adulte Thripse in geklumpfter Verteilung auf (Tab. 4.24).

Tab. 4.24 Aggregationsindizes  $b$  nach Taylor's Power Law von larvalen und adulten Thripsen auf Paprika in den Jahren 2000, 2001 und 2002.

Stadium	Jahr	$b$	$se_b$		$\log a$	$se_a$	$r^2$	N
Larve	2000	1,274	± 0,043	a	0,543	± 0,051	0,955	44
	2001	1,192	± 0,037	a	0,427	± 0,049	0,956	49
	2002	*						
Imago	2000	1,156	± 0,023	a	0,284	± 0,030	0,980	55
	2001	1,119	± 0,045	a	0,274	± 0,060	0,927	50
	2002	1,847	± 0,643	a	1,761	± 1,293	0,733	5

\* N = 4; drei Wertepaare haben denselben Wert.

Gleiche Buchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Aggregationsindizes  $b$  innerhalb eines Entwicklungsstadiums ( $\alpha = 0,05$ ; t-Test).

Aufgrund des geringen Thripsbefalls im Jahr 2002 (s. Abb. 4.7) konnte für die Larven keine lineare Regression berechnet werden. Für die adulten Thripse wurde in 2002 mit  $b = 1,847$  eine stark geklumpfte Verteilung festgestellt. Dieser Wert unterschied sich jedoch nicht signifikant von den deutlich niedrigeren Indizes der Jahre 2001 (t-Test:  $t = 1,061$ ;  $df = 51$ ;  $P = 0,294$ ) und 2000 (t-Test:  $t = 1,208$ ;  $df = 56$ ;  $P = 0,232$ ), da die Wiederholungszahl ( $N = 4$ ) sehr gering und der Standardfehler sehr hoch waren. Die Aggregationsindizes der Thripslarven unterschieden sich in den Jahren 2000 und 2001 ebenfalls nicht signifikant voneinander (t-Test:  $t = 1,507$ ;  $df = 89$ ;  $P = 0,135$ ).

Die Verteilungsform von larvalen und adulten Thripsen auf Paprika und von Thripslarven auf Gurke scheint unabhängig von der Befallsstärke zu sein, da mit abnehmendem Befall der Aggregationsindex gleich blieb.

#### 4.3.4 Notwendiger Stichprobenumfang zum Monitoring von Thripsen

Zur Überprüfung des benötigten Stichprobenumfangs wurden zunächst mittels Taylor's Power Law die jährlichen Aggregationsindizes für die Thripsgesamtpopulation (Larven und Adulte) an Blättern bzw. Blatthälften ermittelt. Zusätzlich wurden die jährlichen Mittelwerte über alle Blatsetagen berechnet. In Gurke betragen die Aggregationsindizes 1,402 (Jahr 2000), 1,287 (Jahr 2001) bzw. 1,203

(Jahr 2002). Für die Befallsdichten in Paprika wurden die Daten aus dem Jahr 2002 nicht berücksichtigt, da die Thripspopulationsdichte in diesem Jahr vernachlässigbar gering war. In den Jahren 2000 und 2001 betragen die Aggregationsindizes 1,258 bzw. 1,161. Pro Blatthälfte wurden an Gurke durchschnittlich  $2,675 \pm 0,46$  (Jahr 2000),  $0,478 \pm 0,113$  (Jahr 2001) und  $0,037 \pm 0,013$  (Jahr 2002) Thripse festgestellt. In Paprika betragen die mittleren Befallstärken  $0,488 \pm 0,085$  (Jahr 2000) bzw.  $0,116 \pm 0,018$  (Jahr 2001) Thripse pro Blatt.

Anhand der Aggregationsindizes und mittleren jährlichen Befallsdichten der Thripse wurde der notwendige Stichprobenumfang für die einzelnen Jahre bei einem Präzisionsniveau von 20 % berechnet. In Gurke betrug er 19,53 Blatthälften im Jahr 2000, 51,37 Blatthälften im Jahr 2001 und 380,18 Blatthälften im Jahr 2002. Für Paprika ergab die Analyse einen notwendigen Stichprobenumfang von 49,21 Blätter für das Jahr 2000 und 144,89 Blätter für das Jahr 2001.

#### 4.3.5 Einsatz von Raubmilben gegen Thripse in Gurke und Paprika

Neben den Schaderregern und Bodenraubmilben wurden auch die Individuenzahlen eingesetzter *Amblyseius*-Raubmilben während des Monitorings erfasst.

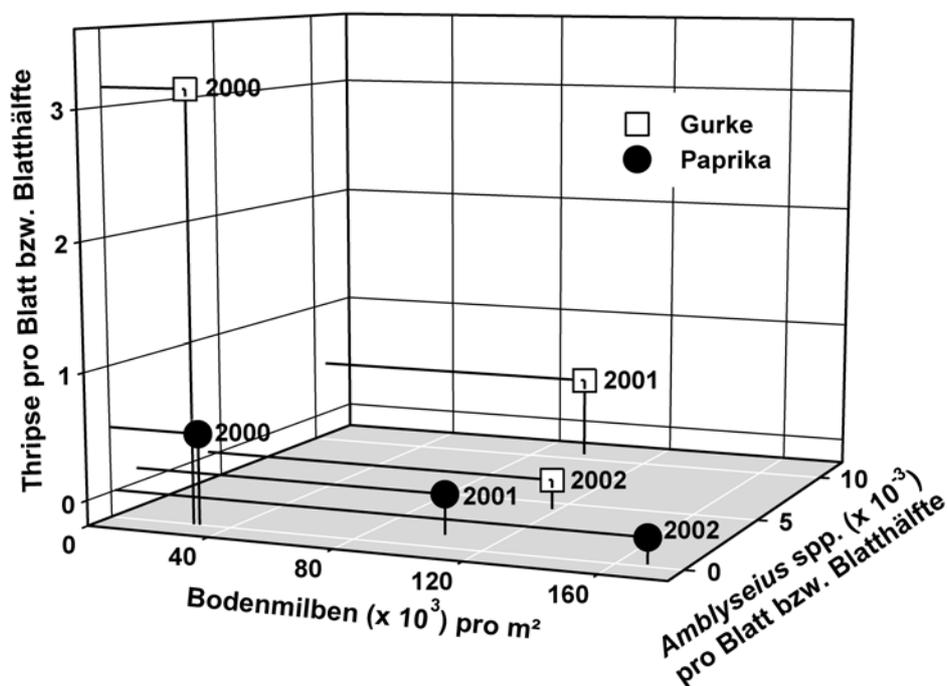


Abb. 4.13 Verhältnis von mittlerer Anzahl Thripse pro Blatt bzw. Blatthälfte zur mittleren Anzahl Bodenmilben pro m<sup>2</sup> und zur mittleren Anzahl *Amblyseius* spp. pro Blatt bzw. Blatthälfte in Gurke und Paprika in den Jahren 2000, 2001, 2002.

In Abb. 4.13 sind die jährlichen mittleren Individuenzahlen aller Thripsentwicklungsstadien auf oberirdischen Pflanzenteilen, die extrahierten Bodenmilbendichten und die wiedergefundenen *Amblyseius*-Raubmilben in Gurke und Paprika in Beziehung zueinander dargestellt. In beiden Kulturen nahm der Thripsbefall jährlich ab, während die mittleren Milbendichten im Boden jeweils zunahmen. Auf Paprikapflanzen wurden kaum *Amblyseius*-Raubmilben wiedergefunden. Das Maximum betrug in Gurke allerdings auch nur  $0,011 \pm 0,001$  *Amblyseius* spp. pro Blatthälfte im Jahr 2001 und stellt eine insgesamt geringe Wiederfindungsrate dar. Dennoch entsprachen die mittleren Dichten bonitierter *Amblyseius*-Milben über die Jahre in beiden Kulturen dem Trend der jährlichen Einsatzmengen von *Amblyseius* spp.. Sowohl in Gurke als auch in Paprika wurden die meisten dieser Raubmilben im Jahr 2001 ausgebracht. Die Abnahme des Thripsbefalls scheint offensichtlich jedoch in einem engeren Zusammenhang zu den Dichten von Bodenmilben zu stehen. Dies lässt die Vermutung zu, dass unter den Bodenmilben auch Raubmilben (Gamasina) vorkamen, die einen Beitrag zur Thripsbekämpfung geleistet haben können. Da es sich dabei um verschiedene Raubmilbenarten mit unterschiedlichen Nahrungspräferenzen handelte, war die Bestimmung einzelner Arten wichtig, um das Bekämpfungspotenzial besser einschätzen zu können.

#### **4.3.6 Artenspektrum, Dominanzverteilung und Diversität von Bodenraubmilben (Gamasina)**

##### Artenspektrum und Dominanzverteilung der Bodenraubmilben

Aus den Bodenproben der Jahre 2000 und 2001 wurden regelmäßig ausgewachsene Raubmilben isoliert und bestimmt. Insgesamt konnten 552 Individuen 13 Raubmilbenarten zugeordnet werden (Abb. 4.14). Auffällig war der Unterschied der Artenverteilung zwischen den Jahren. Zwischen den Kulturen war der Unterschied gering. Es ist hier zu beachten, dass eine Kultur in beiden Jahren nicht auf derselben Fläche angebaut wurde, und der Boden in beiden Kulturen im Jahr 2000 mit Stroh, im Jahr 2001 dagegen mit Fertigkompost abgedeckt wurde.

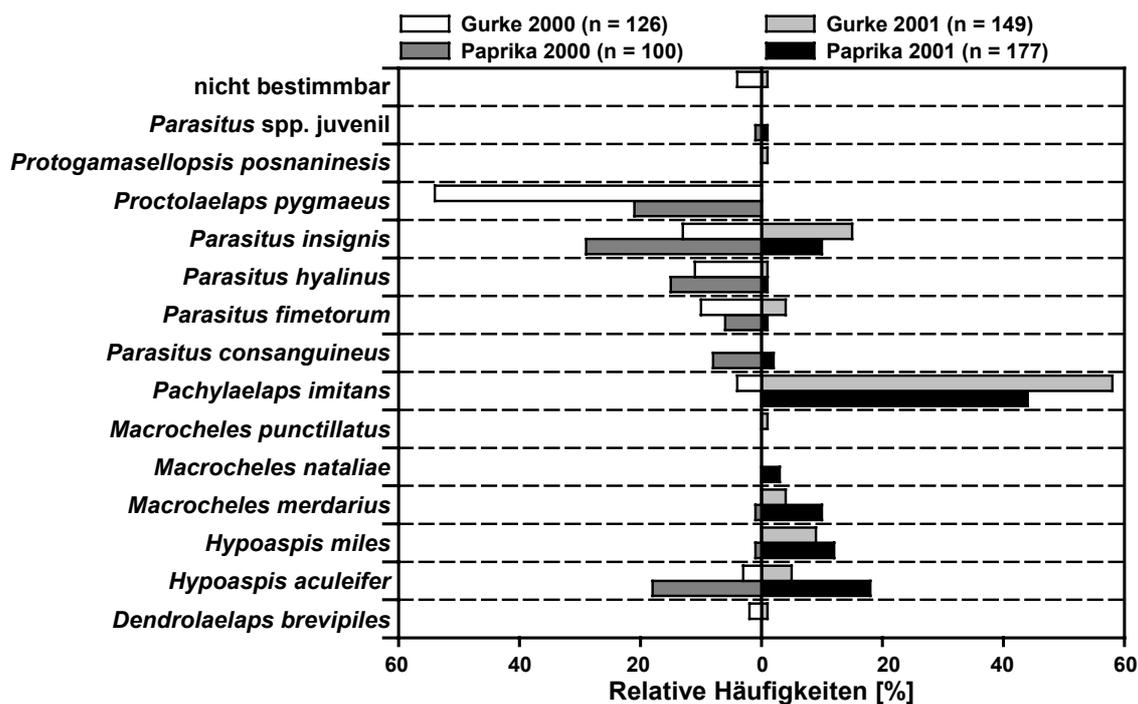


Abb. 4.14 Raubmilbenarten und ihre relativen Häufigkeiten in den Bodenproben von Gurke und Paprika in den Jahren 2000 und 2001 (n = Individuenzahl).

Im Jahr 2000 war die eudominante Art *Proctolaelaps pygmaeus* (Müller) (Acarina: Ameroseiidae) mit einem Anteil von 54 % an der Dominanz die vorherrschende Art im Boden der Gurkenkultur, während im Boden unter den Paprikapflanzen vor allem *Parasitus insignis* (Holzmann) (Acarina: Parasitidae) als dominierende Art (29 %) nachgewiesen wurde. Im Jahr 2001 war in beiden Kulturen die Art *Pachylaelaps imitans* Berlese (Acarina: Pachylaelapidae) (44 % in Paprika, 58 % in Gurke) eudominant. *H. aculeifer* war in beiden Jahren in beiden Kulturen etwa gleich häufig vertreten. In Paprika war diese Art dominant mit einem Dominanzwert von 18 % in beiden Jahren. Im Gegensatz dazu war *H. aculeifer* mit einem Anteil an der Dominanz von 3 % im Jahr 2000 und 5 % im Jahr 2001 in Gurke eine subdominante Art. *H. miles* trat dagegen im Jahr 2000 nur als rezente Art (Dominanzwert: 1 %) in Paprika und in Gurke überhaupt nicht in Erscheinung. Das änderte sich im Jahr 2001, als diese Raubmilbenart in Paprika als dominant (Dominanzwert: 12 %) und in Gurke als subdominant (Dominanzwert: 9 %) klassifiziert wurde. In diesem Jahr wurde *H. miles* zweimal in beiden Kulturen ausgebracht, während im Jahr zuvor noch keine Ausbringung erfolgte. Ob es sich bei den im Jahr 2001 entdeckten Tieren tatsächlich um

ausgebrachte Individuen handelte, kann nicht beurteilt werden, da auch andere Arten (z.B. *Macrocheles*-Arten) in diesem Jahr plötzlich in Erscheinung traten, die zuvor selten oder gar nicht nachgewiesen worden waren.

#### Diversität der Bodenraubmilben

Hinsichtlich der Diversität der Bodenraubmilbenarten konnte ein zeitlicher und ein kulturspezifischer Effekt festgestellt werden (Tab. 4.25).

Tab. 4.25 Kalkulierte Shannon-Diversitätsindizes  $H_S$  und Evenness  $E_S$  für determinierte Bodenraubmilbenarten in Paprika und Gurke in den Jahren 2000 und 2001 (Var  $H_S$  = Varianz von  $H_S$ , N = Anzahl untersuchter Individuen).

Kultur	Jahr	$H_S$	Var $H_S$	$E_S$	N
Paprika	2000	1,75 a	0,004	0,84	99
	2001	1,61 ab	0,004	0,73	121
Gurke	2000	1,41 bc	0,008	0,72	176
	2001	1,38 c	0,009	0,60	148

Gleiche Buchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Diversitätsindizes  $H_S$  ( $\alpha = 0,05$ ; t-Test).

Innerhalb derselben Kultur nahm der Shannon-Diversitätsindex  $H_S$  im Jahresvergleich ab. Dieser Effekt war jedoch weder für Paprika (t-Test:  $t = 1,57$ ;  $df = 265,107$ ;  $P = 0,118$ ), noch für Gurke (t-Test:  $t = 0,251$ ;  $df = 268,391$ ;  $P = 0,802$ ) signifikant. Im Gegensatz dazu war der Shannon-Diversitätsindex  $H_S$  für die Raubmilben im Boden von Paprika in 2000 (t-Test:  $t = 3,196$ ;  $df = 204,415$ ;  $P = 0,002$ ) und 2001 (t-Test:  $t = 2,053$ ;  $df = 274,182$ ;  $P = 0,041$ ) signifikant größer als in Gurke. Mit höherem Shannon-Diversitätsindex  $H_S$  nahm auch die Evenness  $E_S$  zu. Das bedeutet, dass nicht nur die Diversität der Bodenraubmilben in Paprika höher war als in Gurke, sondern auch die Individuen gleichmäßiger auf die vorhandenen Arten verteilt waren.

#### 4.3.7 Monitoring von Blattläusen im Paprikabestand

Ein Blattlausbefall auf den Paprikapflanzen konnte nur im Jahr 2001 festgestellt werden. Dabei handelte es sich hauptsächlich um die Art *M. persicae*. Daneben wurden vereinzelt Individuen der Grünstreifigen Kartoffellaus *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Homoptera: Aphididae) festgestellt. Ab Mitte April entwickelte sich eine Blattlauspopulation und erreichte bis Anfang Mai mit  $1,53 \pm 0,41$  Blattläuse/Pflanzenteil ein Maximum (Abb. 4.15). Durch den wiederholten Einsatz von *C. carnea* und *A. colemani* konnten die Blattläuse erfolgreich bekämpft werden. Die Ausbringung von *C. carnea* erfolgte in steigender Dichte (27.04.: 1 Individuum/m<sup>2</sup>, 10.05.: 2 Individuen/m<sup>2</sup>, 22.06.: 5 Individuen/m<sup>2</sup>). *A. colemani* wurde an vier Terminen eingesetzt. Am 03.05. und 22.06. wurden jeweils 2 Individuen/m<sup>2</sup> eingesetzt, am 19.07. erfolgte eine Herdbehandlung am Rande der Paprikakulturfläche. Dabei wurden insgesamt 1.000 Individuen im Befallsherd eingesetzt. Am 10.08. betrug die Einsatzdichte 2 Individuen/m<sup>2</sup>.

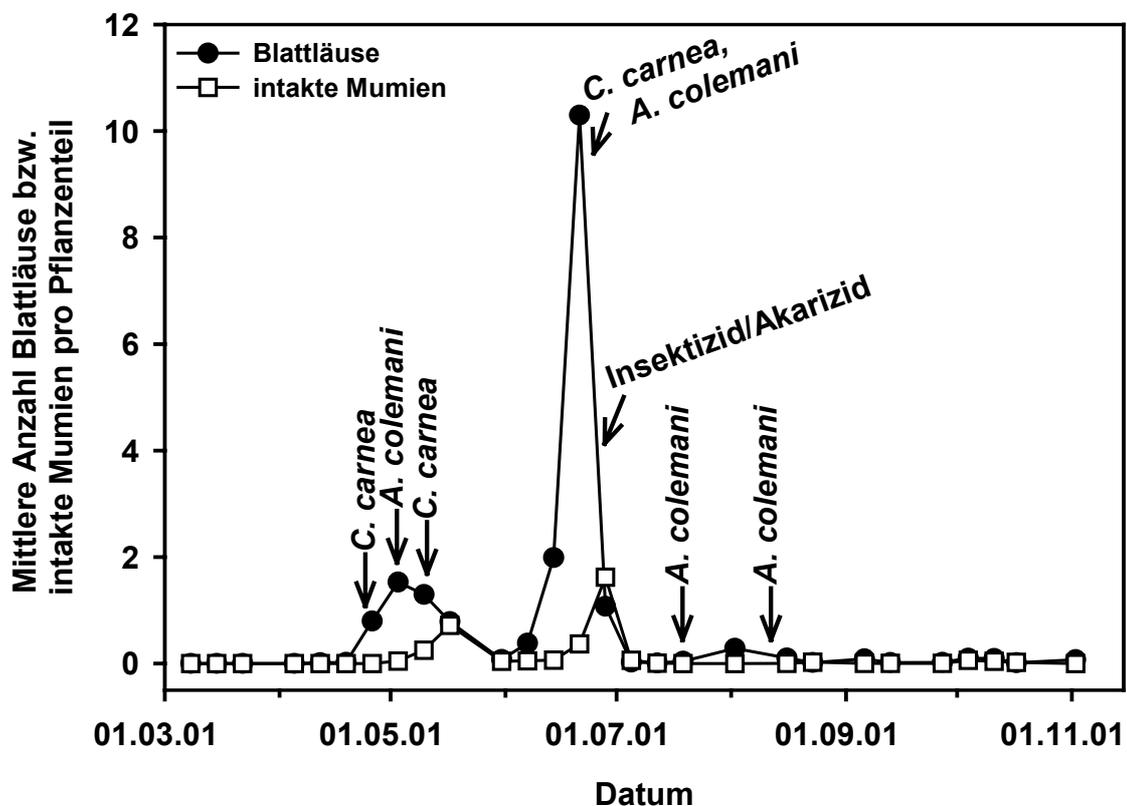


Abb. 4.15 Populationsverläufe von Blattläusen und intakten (= ungeschlüpften) Mumien auf Paprika (Pflanzenteil = Blätter und Blüten) im Jahr 2001. Insektizid/Akarizid entspricht dem Einsatz von Bladafum®.

Es folgte ein stärkerer zweiter Populationsanstieg von Blattläusen, der sein Maximum am 21.06. mit  $10,30 \pm 0,71$  Individuen/Pflanzenteil erreichte. Die folgende Zunahme intakter Mumien zeigte, dass noch Schlupfwespen im Bestand aktiv waren und das Potenzial für eine zweite erfolgreiche biologische Bekämpfung vorhanden war. Aufgrund der eingangs erwähnten Weiße Fliege-Problematik setzte der Betriebsleiter am 26.06. das Insektizid Bladafum® im gesamten Gewächshausbereich ein (s. Tab. 4.2). Dadurch wurden sowohl Blattläuse als auch deren Antagonisten, die durch den Wirkstoff Sulfotep ebenfalls erheblich beeinträchtigt werden (s. Tab. 4.3), getötet. Die Blattlauspopulation konnte sich davon bis zum Ende der Anbausaison nicht mehr erholen. Eine erneute Blattlausbekämpfung war daher nicht notwendig. Während des gesamten Monitorings konnten keine *C. carnea*-Larven wiedergefunden werden.

#### 4.3.8 Räumliche Verteilung von Blattläusen und notwendiger Stichprobenumfang zum Monitoring von Blattläusen

Während des Monitorings von Blattläusen wurden larvale, aptere und alate Entwicklungsstadien von Blattläusen bonitiert.

Tab. 4.26 Durchschnittliche Blattlausdichte auf Paprikablättern in unterschiedlichen Blattetagen und auf Paprikablüten (Mittelwert  $\pm$  SE)

Stadium	Blätter						Blüten	
	basal		mittel		apikal			
Larven	0,66 $\pm 0,376$	ab	0,867 $\pm 0,436$	a	0,341 $\pm 0,207$	ab	0,245 $\pm 0,212$	b
Aptere	0,135 $\pm 0,079$	a	0,187 $\pm 0,097$	a	0,078 $\pm 0,056$	a	0,058 $\pm 0,048$	a
Alate	0,024 $\pm 0,012$	a	0,01 $\pm 0,004$	ab	0,004 $\pm 0,002$	ab	0,0003 $\pm 0,0003$	b

Gleiche Buchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten innerhalb eines Entwicklungsstadiums ( $\alpha = 0,05$ , Tukey-Test).

Die meisten Larven, Apteren und Alaten von Blattläusen wurden an den basalen und mittleren Paprikablättern festgestellt, während sich an apikalen Blättern und Blüten deutlich weniger Blattläuse befanden (Tab. 4.26). Die Unterschiede waren jedoch, über die Blattetagen gesehen, bei keinem der beobachteten Stadien signifikant (Tab. 4.27). Lediglich zwischen den Befallsstärken von Larven auf

mittleren Blättern und von alaten Blattläusen auf basalen Blättern waren die Unterschiede im Vergleich zu Blüten signifikant.

Tab. 4.27 Ergebnisse einer einfaktoriellen ANOVA mit anschließendem Post-hoc Vergleich (Tukey-Test) für Blattlauslarven, aptere und alate Blattläuse in Paprika. Verglichen wurden die Unterschiede der mittleren Befallsstärke zwischen den Blattetagen (basal, mittel und apikal) und Blüten im Jahr 2001. ANOVA: Larven:  $F = 3,457$ ;  $df = 3, 107$ ;  $P = 0,019$ ; Aptere:  $F = 2,319$ ;  $df = 3, 107$ ;  $P = 0,08$ ; Alate:  $F = 3,219$ ;  $df = 3, 107$ ;  $P = 0,026$ .

Larven		Alate	
Vergleich	P-Wert	Vergleich	P-Wert
basal – mittel	0,985	basal – mittel	0,999
basal - apikal	1,000	basal - apikal	0,949
basal - Blüte	0,064	basal - Blüte	0,037
mittel – apikal	0,980	mittel – apikal	0,976
mittel – Blüte	0,026	mittel – Blüte	0,052
apikal - Blüte	0,069	apikal - Blüte	0,133

Untersuchungen zur räumlichen Verteilung von Blattläusen konnten ebenfalls aus den genannten Gründen nur für das Jahr 2001 durchgeführt werden. Sowohl Larven als auch Imagines von Blattläusen traten in einer geklumpten Verteilung an Paprikapflanzen auf (Tab. 4.28). Dabei zeigten Blattlauslarven mit  $b = 1,521$  eine stärkere Aggregation als aptere Blattläuse mit  $b = 1,36$  (t-Test:  $t = 4,964$ ;  $df = 106$ ;  $P < 0,0001$ ).

Tab. 4.28 Aggregationsindizes  $b$  nach Taylor's Power Law für larvale und aptere Blattläuse auf Paprika im Jahr 2001.

Stadium	$b$	$se_b$		$\log a$	$se_a$	$r^2$	N
Larve	1,521 ± 0,038	a		1,124 ± 0,05		0,964	61
Aptere	1,36 ± 0,041	b		0,761 ± 0,062		0,96	49

Gleiche Buchstaben verdeutlichen keinen signifikanten Unterschied zwischen den Verteilungsindizes der Entwicklungsstadien ( $\alpha = 0,05$ ; t-Test).

Für die mittleren Befallsdichten von  $0,62 \pm 0,2$  Blattlauslarven und  $0,13 \pm 0,05$  apteren Blattläusen pro Blatt und Jahr konnte bei einem Präzisionsniveau von

20 % ein notwendiger Stichprobenumfang von 163,55 bzw. 205,14 Blättern für larvale bzw. aptere Blattläuse berechnet werden.

#### **4.4 Diskussion**

In einem kommerziell betriebenen Gewächshaus wurden in den Jahren 2000 bis 2002 die Populationsentwicklungen von Thripsen auf Gurke und Paprika und von Blattläusen auf Paprika untersucht. Durch den gezielten Einsatz von Nützlingen auf Basis der Ergebnisse aus Parzellenversuchen (Kapitel 2 und 3) sollte die biologische Thrips- und Blattlausbekämpfung unter Praxisbedingungen optimiert werden. Bei der Diskussion der Ergebnisse mussten Faktoren (z.B. Spontanbesiedlung der Schädlinge, Mulchabdeckung oder chemische Pflanzenschutzmaßnahmen) berücksichtigt werden, die direkt oder indirekt die Ergebnisse der Untersuchungen beeinflusst haben können. Vor allem zwischen den einzelnen Jahren des Untersuchungszeitraumes unterschieden sich diese Faktoren voneinander. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse aus dem dreijährigen Monitoring unter der Berücksichtigung dieser Faktoren diskutiert.

##### **4.4.1 Thripse**

###### Bekämpfungsmaßnahmen gegen Thripse

Innerhalb des Beobachtungszeitraumes von 2000 bis 2002 konnte ein jährlicher, kontinuierlicher Rückgang des Thripsbefalls auf Gurken- und Paprikapflanzen festgestellt werden. In allen drei Jahren wurden Nützlinge zur biologischen Bekämpfung eingesetzt. Dabei wurden unter anderem in jedem Jahr *Amblyseius*-Raubmilben eingesetzt. Im Vergleich zum Jahr 2000 lagen die Ausbringungsmengen von *Amblyseius* spp. im Jahr 2001 in Gurke um 71,33 % und in Paprika um 38 % höher. Im Jahr 2002 wurden die Einsatzmengen der *Amblyseius*-Raubmilben aufgrund des geringeren Thripsbefallsdrucks im Vergleich zum Vorjahr in Gurke um 22,18 % und in Paprika um 30,92 % gesenkt. Im Vergleich zum Jahr 2000 wurden 2002 jedoch immer noch 33,33 % mehr *Amblyseius* spp. in Gurke und 4,67 % in Paprika ausgebracht. Generell konnte mit den Erhöhungen der Einsatzmengen von *Amblyseius*-Raubmilben nach dem Jahr 2000 geringere Thripspopulationsdichten in den folgenden Jahren festgestellt werden.

Vom Betriebsleiter wurden im Jahr 2000 zusätzlich zu *Amblyseius* spp. die Raubwanze *O. majusculus* ausgebracht. In den folgenden Jahren wurde auf den Einsatz von Raubwanzen zugunsten einer Kombination aus pflanzen- (*A. cucumeris*) und bodenbewohnenden (*Hypoaspis* spp.) Raubmilben verzichtet, deren Effizienz parallel zum Monitoring in Parzellenversuchen unter standardisierten Bedingungen näher untersucht wurde (s. Kapitel 3). Da die Ergebnisse der Versuche unter Praxisbedingungen verifiziert werden sollten, wurden in den Jahren 2001 und 2002 zur biologischen Thripsbekämpfung ausschließlich die Raubmilben *A. cucumeris* und *H. aculeifer* bzw. *H. miles* eingesetzt. Diese Kombination schien eine erfolgversprechende Bekämpfungsstrategie gegen Thripse zu sein, da nicht nur die Larven auf den oberirdischen Pflanzenteilen, sondern auch bodenbürtige Präpuppen und Puppen der Thripse bekämpft werden konnten. Der erste Einsatz der Bodenraubmilben erfolgte jeweils zeitig zu Kulturbeginn, da möglichst schon im Boden überwinternde Thripse bekämpft werden sollten. Bei *F. occidentalis* wird beispielsweise angenommen wird, dass diese Art als adulte Weibchen unter anderem in der Erde überwintert (Bailey, 1938). Aufgrund fehlender Wiederholungen und Kontrollvarianten, unterschiedlicher Einsätze von Akariziden und/oder Insektiziden mit unterschiedlichen Nebenwirkungen auf die Antagonisten, unterschiedlicher klimatischen und kulturtechnischen Bedingungen (z.B. Mulchabdeckung) und dem im Jahresvergleich unterschiedlich starken Thripszuflug von außerhalb des Gewächshauses, kann nur spekuliert werden, dass durch die Kombination von *A. cucumeris* mit *Hypoaspis* spp. die Thripsbekämpfung im Vergleich zur Ausgangssituation im Jahr 2000 verbessert wurde. Welchen Beitrag die Nützlingseinsätze tatsächlich zu den jährlichen sinkenden Befallsstärken von Thripsen an Paprika und Gurke geleistet haben, kann aber nicht abschließend beurteilt werden.

Insgesamt ist das Bekämpfungspotenzial der einzelnen Thripsgegenspieler von verschiedenen Faktoren abhängig. Bei *A. cucumeris* spielen vor allem die Pflanzenart und die Ausbringungsmethode eine wichtige Rolle. Da sich *A. cucumeris* in Abwesenheit von tierischer Beute auch von Pollen ernähren kann, ist die biologische Thripsbekämpfung mit lose gestreuten *Amblyseius*-Raubmilben in Paprika effektiver als in Gurke (Ramakers et al., 1989). Im Gegensatz zu Paprika blüten produzieren Blüten neuerer Gurkensorten keinen Pollen (Mulder et al., 1999), der in Zeiten geringer Beutedichte das Überleben der Raubmilben sichern

kann. Daher kann *A. cucumeris* auf Paprikapflanzen schon eingesetzt werden, bevor ein Thripsbefall sichtbar wird (van de Veire & Tirry, 1998). In Gurke wird hingegen der Einsatz von *A. cucumeris* in Tüten empfohlen (Bennison & Jacobson, 1991). Angaben über die erforderliche Anzahl an Tüten in Gurke variieren jedoch stark. Jacobson et al. (2001) empfehlen eine Tüte je Pflanze auszubringen, wobei die Tüten erneuert werden sollen, wenn keine Räuber mehr aus ihnen auswandern, spätestens jedoch nach 8 Wochen. Bennison & Jacobson (1991) und Mulder et al. (1999) empfehlen hingegen mit dem ersten Anzeichen eines Thripsbefalls eine Tüte pro 3 Pflanzen wiederholt alle 3 Wochen auszubringen. Falls sich jedoch eine Thripspopulation bereits etabliert hat, so soll nach Angaben der Autoren einmalig eine Tüte je Pflanze in den Bestand eingebracht werden. Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Untersuchung in Gurke auf den Einsatz von *A. cucumeris* in Tüten verzichtet. Andernfalls hätte jede einzelne Pflanze mit einer Raubmilbentüte versehen werden müssen, um alle Gurkenjungpflanzen mit *A. cucumeris* besetzen zu können, da sich die Pflanzen in den ersten 3 bis 4 Wochen nach der Pflanzung noch nicht berührten und die Raubmilben nicht auf benachbarte Pflanzen überwechseln konnten. Eine Belegung jeder einzelnen Pflanze mit einer Tüte hätte jedoch erhebliche Zusatzkosten verursacht, da statt 25 Tüten nun 400 Tüten pro 200 m<sup>2</sup> (bei einer Bestandesdichte von 2 Pflanzen pro m<sup>2</sup>) hätten ausgebracht werden müssen. Dies entspräche einer Aufwandmenge von ca. 800 *Amblyseius*-Raubmilben pro m<sup>2</sup>, da jede Tüte etwa 400 Raubmilben enthält. Laut der Empfehlung von Nützlingsanbietern sind jedoch 50 *Amblyseius*/m<sup>2</sup> ausreichend (Katz Biotech Services, 2002; Sautter & Stepper, 2002). Da die Kulturzeit für Gurken in dem untersuchten Gewächshaus mit 10 bis 12 Wochen relativ kurz war, erschien die Ausbringung von einer Raubmilbentüte je Pflanze daher ökonomisch nicht gerechtfertigt zu sein. Deshalb wurden in der vorliegenden Untersuchung keine Raubmilbentüten in Gurke verwendet.

Im Gegensatz dazu wurden in Paprika in den Jahren 2001 und 2002 *Amblyseius*-Raubmilben in Tüten ausgebracht, nachdem der Bestand geschlossen war, d.h. sich die Blätter benachbarter Pflanzen berührten. Da Paprika von Februar/März bis Oktober/November kultiviert wurde, dienten die Raubmilbentüten als Reservoir für eine längerfristige Thripsbekämpfung.

Der Effekt der eingesetzten Bodenraubmilben gegenüber bodenbürtigen Thripsstadien kann nur schwer eingeschätzt werden. Da in den Bodenunter-

suchungen kontinuierlich Thripse festgestellt werden konnten, kann davon ausgegangen werden, dass sie den *Hypoaspis*-Raubmilben ständig als Beute zur Verfügung standen. Die Einsatzdichte von *H. aculeifer* beim einmaligen Einsatz von 100 Tieren pro m<sup>2</sup> im Jahr 2002 war jedoch für einen schnellen Bekämpfungserfolg sicher nicht ausreichend, da in den Parzellenversuchen (Kapitel 3) kein signifikanter Effekt auf die Entwicklung der Thripspopulation in einem Zeitraum von ca. 4 Wochen bei zweimaliger Ausbringung von 208 Individuen pro m<sup>2</sup> festgestellt werden konnte. Erst eine Erhöhung der Einsatzdichte auf zweimal 521 *H. aculeifer* pro m<sup>2</sup> im Abstand von ca. 2 Wochen konnte in den Versuchen die Populationsentwicklung von *F. occidentalis* in Gurke signifikant reduzieren. Ob sich die nur im Jahr 2002 ausgebrachten *H. aculeifer* langfristig etablieren konnten, kann nicht beurteilt werden, da für die Raubmilbenfänge im Jahr 2002 keine Bestimmungsarbeiten durchgeführt werden konnten. In den Bodenproben der Jahre 2000 und 2001 wurde *H. aculeifer* allerdings identifiziert, obwohl die Raubmilbe nicht ausgebracht worden war. Das bedeutet, *H. aculeifer* hatte sich bereits im Gewächshausboden etabliert bevor es zu einem Einsatz dieser Art kam. Die Tiere müssen daher Einsätzen vor dem Jahr 2000 entstammen, mit dem Mulchmaterial eingebracht worden sein oder natürlich im Gewächshausboden vorgekommen sein. Der Anteil von *H. aculeifer* an der Artzusammensetzung der Bodenraubmilben war allerdings mit Dominanzwerten von 3 bis 18 % in den Jahren 2000 und 2001 gering. Im Vergleich dazu wurde in den Parzellenversuchen eine Wirkung von *H. aculeifer* erst offensichtlich, als diese Art Dominanzwerte im Gewächshausboden von über 70 % erreichte (Kapitel 3). Der Anteil, den die bereits vorhandenen *H. aculeifer*-Raubmilben an der Thripsbekämpfung hatten, kann daher als gering angesehen werden. Da sich in Mikrokosmosversuchen die Art *H. miles* im Vergleich zu *H. aculeifer* als weniger effizienter Thripsprädatore darstellte (Berndt et al., 2004b), kann darüber hinaus davon ausgegangen werden, dass von *H. miles* auch deutlich höhere Einsatzdichten für eine effiziente Thripsbekämpfung im Vergleich zu *H. aculeifer* benötigt werden. Aufgrund der geringen Dominanzwerte von 1 bzw. 12 % in den Jahren 2000 und 2001 scheint der Beitrag von *H. miles* an der Thripsbekämpfung insgesamt jedoch gering gewesen zu sein. Immerhin konnten nach den Einsätzen von *H. miles* im Jahr 2001 deutlich höhere Dominanzwerte im Vergleich zu 2000 festgestellt werden. Aufgrund der im Jahresvergleich aufgetretenen Dominanzverschiebung

innerhalb aller Bodenraubmilbenarten kann diese Steigerung aber nicht unbedingt auf die Ausbringung von *H. miles* zurückgeführt werden.

Zusammengefasst kann daher der Raubmilbe *A. cucumeris* ein größerer Beitrag an der Thripsbekämpfung zugesprochen werden als den *Hypoaspis*-Bodenraubmilben. Dies liegt vor allem an den zu geringen Ausbringungsmengen der *Hypoaspis*-Milben. Deshalb ist eine deutliche Erhöhung der Einsatzdichte von *Hypoaspis* spp. notwendig, um Thripspopulationen effektiv reduzieren zu können.

#### Populationsentwicklungen von Thripsen, Bodenmilben und Collembolen

Sowohl in Paprika als auch in Gurke konnten zwischen Thripsstadien auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden signifikante lineare Zusammenhänge in jedem Jahr des Beobachtungszeitraumes, mit Ausnahme von 2001 in Gurke und 2000 in Paprika, festgestellt werden. Daher scheint immer ein bestimmter Anteil Thripse zur Verpuppung in den Boden gewandert zu sein. Des Weiteren konnten negative Korrelationen zwischen Bodenmilben und bodenbürtigen bzw. pflanzenbewohnenden Thripsstadien in beiden Kulturen während des gesamten Beobachtungszeitraumes beobachtet werden. Eine Ausnahme stellt hier die Korrelation zwischen Bodenmilben und bodenbürtigen Thripsstadien in Paprika dar. Da diese Korrelationen in den einzelnen Jahren nicht festgestellt werden konnten, weist auf einen Jahreseffekt hin. Zwischen den Populationsentwicklungen, die im Jahresvergleich stark unterschiedlich waren, konnten innerhalb eines Jahres keine linearen Beziehungen festgestellt werden. Über den gesamten Beobachtungszeitraum gesehen (Jahr 2000 – Jahr 2002) ergaben sich daraus allerdings Zusammenhänge, wie z.B. steigende Bodenraubmilbendichten und sinkende Dichten von Thripsen im Boden, die signifikant miteinander korrelierten. Zwischen bodenbürtigen Thripsstadien und Collembolen im Boden konnten weder in Gurke noch in Paprika lineare Zusammenhänge festgestellt werden. Die Populationsdichten dieser beiden Gruppen schienen sich daher unabhängig voneinander entwickelt zu haben. Lediglich zwischen Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen und Collembolen im Boden konnte in Gurke eine signifikante negative Korrelation über alle drei Jahre festgestellt werden. Dieser Zusammenhang ließ sich allerdings bei der Betrachtung der einzelnen Jahre nicht bestätigen, womit wiederum auf den Jahreseffekt verwiesen werden muss. Diese lineare Beziehung könnte aber auch durch Zuflug von Thripsen aus anderen Beständen

und von außerhalb des Gewächshauses entstanden sein, ohne dass es tatsächlich einen kausalen Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Thripspopulationen auf oberirdischen Pflanzenteilen und Collembolenpopulationen im Boden gab. Um Aussagen über die Bedeutung von Collembolen als Alternativbeute zu Thripsen treffen zu können, ist eine Korrelationsanalyse zwischen den beiden Gruppen sicherlich nicht ausreichend. Dazu müssen auch andere Faktoren, die in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt werden konnten, mit in Betracht gezogen werden. Beispielsweise spielen weitere Alternativbeutearten, die von den dominanten Raubmilbenarten möglicherweise stärker präferiert werden, eine wichtige Rolle. Als Beispiel seien hier Nematoden genannt, die auf dem Speiseplan sehr vieler Bodenraubmilben stehen (s. Kapitel 3, Tab. 3.5).

Für die Populationsdichten von Bodenmilben und Collembolen wurde über den gesamten Beobachtungszeitraum in Gurke ein positiver linearer Zusammenhang festgestellt, der sich allerdings bei der Betrachtung der einzelnen Jahre nicht bestätigen ließ. Ausgehend von der Hypothese, dass Collembolen als Alternativbeute für Bodenraubmilben die biologische Thripsbekämpfung beeinträchtigen können, wäre eine positive Korrelation zwischen Collembolen im Boden und Thripsen im Boden bzw. Collembolen im Boden und Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen zu erwarten gewesen. Ein hohes Angebot an Alternativbeute hätte dann das Wachstum der Thripspopulationsdichte gefördert. Grundsätzlich kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die fehlende positive Korrelation zwischen Collembolen und Thripsen auf eine zu geringe Raubmilbendichte im Boden zurückzuführen war. Ferguson & Joly (2002) konnten in ihren Untersuchungen ebenfalls keine Korrelation zwischen Bodenmilbendichten und dem Populationswachstum von Collembolen erkennen. Daraus schließen die Autoren, dass die Prädation durch die Milben nicht regulierend auf die Populationsdichte von Collembolen gewirkt hat. Vielmehr scheinen Faktoren wie Klima und Nahrungskonkurrenz primär einen Einfluss auf Springschwanzpopulationen zu haben. Im Gegensatz dazu konnten in anderen Untersuchungen Zusammenhänge zwischen den Populationsentwicklungen von Collembolen und Carabiden (Potts & Vickerman, 1974) bzw. von Collembolen und Spinnen (Gravesen & Toft, 1987) festgestellt werden. Aber selbst wenn sich die Erbeutung von Collembolen durch Raubmilben nicht in korrelierenden Populationsdichten äußert, kann spekuliert werden, dass Collembolen die Entwicklung von polyphagen Bodenraubmilben,

besonders dann, wenn andere Beutetierarten knapp sind, fördern können. Dieser Effekt kann unter Umständen für die biologische Schädlingsbekämpfung ausgenutzt werden. Durch die Förderung von Alternativbeute wird gleichzeitig die Populationsentwicklung von Räubern gefördert, wodurch eine verbesserte Wirkung der Antagonisten auf den Zielorganismus erreicht werden kann (Bilde et al., 2000). Allerdings müsste dabei die Alternativbeute mit steigender Populationsdichte des Schaderregers entfernt werden. Untersuchungen von Settle et al. (1996) haben bereits gezeigt, dass ein solcher Mechanismus im indonesischen Reisanbau schon auf natürliche Weise vorhanden ist. Detritivoren und Planktonfresser erreichen dort schon zu Saisonbeginn hohe Populationsdichten. Dadurch werden die Populationsentwicklungen von generalistischen Prädatoren, die diese Tiere als Alternativbeute annehmen, gefördert. Schädlingspopulationen entwickeln sich in diesem System erst, wenn die Populationsdichten der Detritivoren und Planktonfresser wieder abnehmen. Daher wirkt sich die Verfügbarkeit von alternativer Beute positiv auf die Bekämpfung der Reisschädlinge aus. Für das System der vorliegenden Untersuchung erscheint eine artifizielle Verringerung der Collembolenabundanzen mit steigender Thripspopulationsdichte ohne eine Beeinträchtigung der Bodenraubmilben jedoch als nicht praktikabel.

Als weiteren Einflussfaktor für die Entwicklung der Bodenmilbendichte kann sicherlich auch das verwendete Mulchmaterial genannt werden. Im Gegensatz zum Jahr 2000, in dem Strohmulch verwendet wurde, wurde in den Jahren 2001 und 2002 Fertigungskompost zum Mulchen verwendet. Da nicht nur viele Gamasinen, sondern z.B. auch Uropodinen (Schildkrötenmilben) verrottendes organisches Material wie Kompost als Habitat bevorzugen (Koehler, 1999), ist es wahrscheinlich, dass die Abundanz der Bodenmilben durch den Kompost in den Jahren 2001 und 2002 gefördert wurde. Inwieweit Bodenmilben mit dem Kompost zusätzlich ins Gewächshaus eingebracht worden sind, kann allerdings nicht beurteilt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es einen kausalen Zusammenhang zwischen Thripsen auf oberirdischen Pflanzenteilen und im Boden gibt. Ferner scheint mit steigenden Populationsdichten von Bodenmilben auch der Raubmilbenanteil gestiegen zu sein, was zur Reduktion bodenbürtiger Thripsentwicklungsstadien und indirekt zur Reduktion der oberirdischen Thripspopulation beigetragen haben kann. Laut Koehler (1999) beträgt der Anteil Gamasina an Bodenmilben in Grün- und Ackerland 10 %. Unter der Annahme, dass dieser Anteil auch bei

Dichteschwankungen der Bodenmilbenpopulationen relativ konstant bleibt, müsste mit steigenden Bodenmilbendichten auch die Dichte an Bodenraubmilben gestiegen sein. Die Anwesenheit von Collembolen hatte in den einzelnen Jahren keinen erkennbaren Effekt auf die Populationsentwicklung der Bodenmilben. Über den Einfluss des Mulchmaterials auf die Abundanz der Bodenmilbenmilben kann nur spekuliert werden.

#### Natürlich vorkommende Bodenraubmilben (Gamasina)

Neben den eingesetzten *H. miles* wurden eine Reihe anderer Arten von Bodenraubmilben determiniert, wobei es sich bei einigen ebenfalls um Thripsantagonisten handeln könnte. Die Artzusammensetzungen der natürlich vorkommenden Bodenraubmilben im Gewächshausboden unterschieden sich etwas im Vergleich zu den Parzellenversuchen (Kapitel 3). Beispielsweise konnten die zwei eudominanten Arten *Proctolaelaps pygmaeus* (Ameroseiidae) und *Pachylaelaps imitans* (Pachylaelapidae) sowie andere Angehörige der beiden Raubmilbenfamilien im Boden der Versuchspartellen nicht festgestellt werden. Unterschiede in der Artzusammensetzung traten vor allem im Jahresvergleich auf. Ob sich dieses Phänomen auf das im Jahresvergleich unterschiedliche Mulchmaterial zurückführen lässt, erscheint bei Betrachtung der präferierten Lebensräume der in beiden Jahren identifizierten Raubmilbenarten eher fraglich. Bei fast allen Arten zählt Komposterde zu den bevorzugten Habitaten, so auch z.B. bei *Parasitus*-Arten oder *P. pygmaeus*, die im Jahr 2000, als mit Stroh gemulcht wurde, häufig und im Jahr 2001 kaum bzw. gar nicht bestimmt werden konnten.

Über Biologie und Nahrungspräferenz der identifizierten Raubmilbenarten ist bekannt, dass *Parasitus*-Arten Nematoden, Collembolen, Milben und Insektenlarven erbeuten und vorzugsweise an der Bodenoberfläche, in großen Bodenporen und verrottendem Material leben (Koehler, 1999). Für die im Gewächshaus nachgewiesenen *Parasitus*-Arten (Abb. 4.14) gelten als Habitate unter anderem Kompost und Blumenerde (Hyatt, 1980; Karg, 1993).

Bei den *Macrocheles*-Arten (Macrochelidae) handelt es sich um Raubmilben, die sich auf wurmförmige Beutetiere spezialisiert haben. Sichtbar wird dies an der Form ihrer Cheliceren, die Dosenöffnern gleichen. Sie verzehren Nematoden, Insektenlarven und -eier sowie Enchyträen (Karg, 1993; Karg, 1994). Auch Collembolen zählen zu ihrer Diät (Baker & Craven, 2003). Viele dieser Raub-

milbenarten leben in Habitaten wie Kompost, Tierkot oder Dung und gehören zu den typischen Gamasinen im ackerbaulich genutzten Boden. Sie bevorzugen wie die *Parasitus*-Arten als Habitat die Bodenoberfläche, größere Bodenporen und verrottendes organisches Material (Koehler, 1999). Karg (1993) berichtet über Vorkommen von *Macrocheles merdarius* (Berlese) und *M. punctillatus* (Willmann) in Komposterde im Freiland und unter Glas und von *M. nataliae* in Nadelwäldern. Die beiden zuerst genannten Arten betreiben Phoresie an Käfern, während bei der dritten Art Nagetiere als Transporttiere dienen (Karg, 1993).

*Pachylaelaps*-Arten (Pachylaelapidae) sind eng verwandt mit den *Macrocheles*-Arten. Während Macrocheliden das Hohlraumsystem von Dung- und Komposthaufen bevorzugen, können die Pachylaelapiden vorzugsweise in Acker-, Wiesen- und Waldböden nachgewiesen werden. Als Beute dienen den *Pachylaelaps*-Arten dieselben Tiere wie den Macrocheliden, daher ist die Chelicerenform ähnlich (Karg, 1993; Karg, 1994). Neben den bereits erwähnten Habitaten berichtet (Karg, 1993) auch von Vorkommen in Komposterde.

Die Raubmilbe *P. pygmaeus* ist kosmopolitisch und scheint ein breites Nahrungsspektrum zu haben. Sie ist häufig mit Modernmilben (Tyroglyphiden) vergesellschaftet, die zu ihren Beutetieren zählen (Karg, 1993). Karg (1988) berichtet von Funden dieser Art in Pilzkulturen, während Walter & Proctor (1998) angeben, dass einige Arten der Gattung *Proctolaelaps* auch Pilzsporen und -hyphen fressen. Auch Nematoden scheinen auf dem Speiseplan von *Proctolaelaps*-Arten zu stehen (Karg & Rodriguez, 1984). In Indien wurde *P. pygmaeus* sogar auf Pflanzen von Betelpfeffer (*Piper betle* L.) gefunden, wo diese Raubmilbe Membraciden, Aleyrodiden und Thysanopteren erbeutet hat (Raut & Bhattacharya, 1999). Laut Walter & Proctor (1999) kommt *P. pygmaeus* in den Neotropen in Blüten verschiedener Sträucher vor, wo sie Phoresie an Kolibris betreibt. Bei uns kann sie dagegen häufig in Komposterde nachgewiesen werden (Karg, 1993; Karg, 1994).

Arten der Gattung *Dendrolaelaps* (Rhodacaridae) sind kleine, wenig mobile, kurzbeinige Raubmilben, die nur langsame wurmförmige Springschwänze oder Nematoden erbeuten können. *Dendrolaelaps bevipilis* (Leitner) wurde wiederholt in Komposterde im Freiland und unter Glas gefunden (Karg, 1993).

Über die Art *Protogamasellopsis posnaniensis* Wiśniewski et Hirschmann ist wenig bekannt. Sie gehört der gleichen Familie wie *Dendrolaelaps bevipilis* (Rhodacaridae) an. Als Vorkommen gibt Karg (1993) allgemein Gewächshäuser an.

Die Raubmilben *H. aculeifer* und *H. miles* (Hypoaspidae) sind polyphage Prädatoren, die kleine Insekten, Milben, Nematoden und Enchyträen vertilgen (Sardar & Murphy, 1987). Während *H. aculeifer* auf Acker- und Waldböden regelmäßig vorkommt, wird das Vorkommen von *H. miles* in Waldböden als selten bezeichnet (Karg, 1993). Beide Arten werden kommerziell gezüchtet und zur Bekämpfung von Trauermücken- und Thripslarven im Boden eingesetzt.

Zusammenfassend kann zur Artzusammensetzung gesagt werden, dass es hinsichtlich der Nahrungspräferenz unter den identifizierten Arten einige eher nicht auf Thripse spezialisierte Spezies gibt (z.B. *Macrocheles*-Arten), neben den polyphagen *Hypoaspis*-Raubmilben, aber auch andere Arten mit breiterem Beutespektrum (z.B. *Parasitus*-Arten) nachgewiesen werden konnten. Die Arten, die häufig gefunden wurden und als Thripsräuber in Frage kommen, gehören allerdings Raubmilbenfamilien an, von denen aufgrund ihres bevorzugten Lebensraumes angenommen werden kann, dass sie eher selten mit bodenbürtigen Thripsstadien in der oberen Bodenschicht in Kontakt kommen. Für die Familien Parasitidae und Macrochelidae wurde bereits in Kapitel 3.4 (Tab. 3.5) auf diesen Umstand hingewiesen. Aber auch *P. imitans*, die dominierende Art während des Monitorings im Jahr 2001 hält sich vorzugsweise in der Streuschicht auf (Karg, 1994) und scheint daher als effizienter Thripsräuber nicht in Frage zu kommen. Im Gegensatz dazu kommt die Art *P. pygmaeus*, die im Jahr 2000 relativ häufig gefunden wurde, wiederholt in der oberen Bodenschicht vor (Karg, 1994) und könnte somit häufiger auf bodenbürtige Entwicklungsstadien der Thripse gestoßen sein. Beide Voraussetzungen, die morphologische Möglichkeiten Thripse zu erbeuten, und die Überlappung der Lebensräume, kamen innerhalb der Familien der festgestellten Raubmilbenarten nur bei den Hypoaspidae und zusätzlich bei der Art *P. pygmaeus* vor. Daher ist zu vermuten, dass der Beitrag der natürlichen Bodenraubmilben zur Thripsbekämpfung im Vergleich zu den eingesetzten *Hypoaspis*-Arten gering war.

Im Boden unter Paprikapflanzen konnte im Vergleich zu Gurke eine höhere Diversität bei den Bodenraubmilben festgestellt werden. Grundsätzlich ist die Diversität von Milben im Boden abhängig von vielen verschiedenen Faktoren, wie z.B. Störung durch mechanische Bodenbearbeitung, Pestizideinsatz und Mikroklima (Koehler, 1999). Nach einer Pestizidapplikation können Abundanz und Diversität von Bodenraubmilben direkt durch den toxischen Effekt oder indirekt

durch die Beeinträchtigung der Beutepopulation beeinflusst werden (Koehler, 1999). Während in Paprika im Jahr 2000 keine chemischen Pflanzenschutzmittel mit insektizider bzw. akarizider Wirkungsweise eingesetzt wurden, wurden sie in Gurke wiederholt eingesetzt. Von einem der verwendeten Wirkstoffe (Abamectin) ist eine leicht schädigende Wirkung auf *Hypoaspis*-Milben bekannt. Im Jahr 2001 gab es hinsichtlich des Insektizid/Akarizid-Einsatzes keinen Unterschied zwischen den Kulturen, mit Ausnahme einer Herdbehandlung in Paprika (Tab. 4.2). Trotzdem war die Diversität in Paprika signifikant höher im Vergleich zu Gurke. Zusätzlich zu den höheren Diversitäten waren auch die Abundanzen in den Jahren 2000 und 2001 in Paprika etwa 6 bis 7 % höher im Vergleich zu Gurke. Die Unterschiede in den Diversitäten lassen sich daher nicht nur durch einen direkten toxischen Einfluss der ausgebrachten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe auf die Bodenraubmilben erklären. Ein indirekter Einfluss über die Alternativbeute Collembolen ist eher unwahrscheinlich, da, wie oben bereits erwähnt, kein linearer Zusammenhang zwischen den Populationsentwicklungen dieser beiden Arthropodengruppen feststellbar war. Daher müssen andere Faktoren für die Unterschiede in den Diversitäten von Bodenraubmilben zwischen Paprika und Gurke eine Rolle gespielt haben. Auffällig waren die unterschiedlichen Kulturführungen in Paprika und Gurke. Während die Paprikapflanzen über die gesamte Anbausaison eines Jahres im Gewächshaus verblieben, wurden Gurkenpflanzen in zwei bis drei Sätzen auf derselben Fläche angebaut. Eine Gurkenkultur dauerte ca. zweieinhalb bis drei Monate. Das bedeutet, dass es wiederholt zu Störungen durch das Herausreißen alter Pflanzen, die Beetvorbereitung für eine neue Kultur und das Einpflanzen des folgenden Satzes kam. Durch das Entfernen alter Gurkenpflanzen kam es zu einem abrupten Wechsel des Mikroklimas. Dies kann sich, ebenso wie die Störungen durch die Bearbeitung des Bodens und das Aufsammeln alter Pflanzenteile von der Bodenfläche negativ auf die Bodenraubmilben ausgewirkt haben, da Pflanzenreste unter anderem für gleichmäßigere Bodentemperaturen und Reduktionen von Feuchtigkeitsverlusten sorgen können (Fox et al., 1999). Im Gegensatz dazu führt eine Unterlassung von Bodenbearbeitung zu einer deutlich höheren Diversität von Bodenraubmilben (Koehler, 1999). Die Unterschiede in der saisonalen Kultivierung von Gurke und Paprika scheinen daher die Diversität der Bodenraubmilben stärker beeinflusst zu haben als die Einsätze von Insektiziden bzw. Akariziden.

### Räumliche Verteilung von Thripsen

In Paprika wurden larvale und adulte Thripsstadien vor allem auf Blättern entdeckt, die sich in mittlerer und oberer Pflanzenhöhe befanden, während in Gurke dieser Effekt nur für Thripslarven festgestellt werden konnte. Dies steht im Einklang mit den Untersuchungen von Shipp & Zariffa (1991), die larvale und adulte Entwicklungsstadien des Kalifornischen Blütenthrips *F. occidentalis* vor allem auf Paprikablättern des oberen Pflanzendrittels fanden. Die Präferenz für die oberen Blattetagen könnte bereits in der Auswahl bevorzugter Eiablageorte begründet sein. Da *F. occidentalis*-Weibchen zur Eiablage jüngere gegenüber älteren Gurkenblättern vorziehen, können höhere Reproduktionsraten auf oberen Gurkenblättern im Vergleich zu unteren erreicht werden (de Kogel et al., 1997). Steiner (1990) konnte hingegen Larven und adulte *F. occidentalis* am häufigsten an mittleren und basalen Gurkenblättern feststellen. Diese Diskrepanz lässt sich durch das schnellere Sprosswachstum der Gurkenpflanzen im Vergleich zu Paprika erklären. Bei Gurke ist es offensichtlich so, dass die Eiablage der Thripse an den oberen Blättern erfolgt, die sich aufgrund der Wachstumsgeschwindigkeit der Pflanze zum Zeitpunkt des Schlupfes der Larven dann bereits nicht mehr im oberen Pflanzenbereich befinden. Da bei Paprika das Wachstum des Sprosses deutlich verlangsamt ist, befinden sich dort die Larven nach ihrem Schlupf immer noch hauptsächlich im oberen Bereich der Pflanzen. Des Weiteren werden je nach Kulturverfahren die unteren (alten) Blätter an den Gurkenpflanzen entfernt, so dass die darüber liegenden jüngeren Blätter danach die untere Blattetage darstellen. Dies könnte neben einer unterschiedlich hohen Wachstumsgeschwindigkeit der Gurkenpflanzen eine Erklärung dafür sein, dass sich im Gegensatz zu Steiner (1990) in der vorliegenden Untersuchung larvale und adulte Thripse vor allem im mittleren und oberen Pflanzenbereich der Gurkenpflanzen befanden.

Besonders hohe Dichten adulter Thripse wurden in bzw. an Blüten in Gurke und Paprika festgestellt. Bei den dort gefundenen Entwicklungsstadien handelte es sich nur bei einem Bruchteil, der in Gurke in einem Bereich von ungefähr  $1/100$  bis  $1/1900$  und bei Paprika etwa zwischen  $1/50$  und  $1/110$  lag, um Thripslarven. Im Gegensatz dazu betrug in einer anderen Untersuchung mit *F. occidentalis* der Anteil von Thripslarven an der Gesamtthripszahl in Blüten zwischen 19 % und 68 % in Gurkenblüten und 67 % in Paprikablüten (Higgins, 1992). Kiers et al. (2000)

konnten tagsüber etwa zwei- bis dreimal mehr adulte im Vergleich zu larvalen *F. occidentalis* in Gurkenblüten feststellen, was einem deutlich höheren Larvenanteil im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung entspricht. Ein Grund für die unterschiedlichen Befunde des Larvenanteils in Blüten von Gurken- und Paprikapflanzen liegt sicherlich im Boniturschema. Da die Blüten während der Bonitur für die vorliegende Arbeit an der Pflanze belassen und nicht seziiert wurden, ist es wahrscheinlich, dass viele in Blüten versteckte Thripslarven übersehen wurden. Dieses Problem konnten Shipp et al. (2000) auch bei der Bonitur von adulten *F. occidentalis* in Gurkenblüten feststellen.

Innerhalb der Gurken- und Paprikabestände traten Thripslarven und adulte Thripse in allen drei Beobachtungsjahren in geklumpfter Verteilung auf den bonitierten Blättern auf. Dabei war die Verteilung der Larven mit Aggregationsindizes von 1,29 bis 1,38 an Gurke und 1,19 bis 1,27 an Paprika tendenziell stärker geklumpt im Vergleich zu den adulten Thripsen mit Aggregationsindizes von 1,13 bis 1,29 an Gurke und 1,12 bis 1,16 (ohne Aggregationsindex von 2002, da Datengrundlage zu gering) an Paprika. Den gleichen Effekt konnte Steiner (1990) bei larvalen und adulten Stadien von *F. occidentalis* an Gurke feststellen. Allerdings deuteten die Aggregationsindizes mit 1,73 bis 1,82 für Larven und 1,36 bis 1,62 für Imagines auf eine etwas stärkere Aggregation hin. Erklärungsansätze für diese Diskrepanz können beispielsweise in unterschiedlichen Artzusammensetzungen der Thripspopulationen liegen. Da der Aggregationsindex die räumliche Verteilung einer bestimmten Art in einer bestimmten Umwelt darstellt (Southwood & Henderson, 2000), wird der Index durch die Artzusammensetzung der beobachteten Organismen beeinflusst. Die Thripsarten in der vorliegenden Untersuchung wurden nicht bestimmt. Deshalb sind die für die vorliegende Arbeit berechneten Aggregationsindizes nur eingeschränkt mit denen von *F. occidentalis* vergleichbar. Allerdings konnten in einer mehrjährigen Studie zum Verteilungsmuster verschiedener Thripsarten auf Baumwollpflanzen ähnliche Aggregationskoeffizienten der Arten *F. occidentalis* ( $b = 1,43$ ), *Frankliniella intonsa* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae) ( $b = 1,36$ ), *Thrips tabaci* Lindeman (Thysanoptera: Thripidae) ( $b = 1,36$ ), *Thrips angusticeps* Uzel (Thysanoptera: Thripidae) ( $b = 1,40$ ) und *Aeolothrips intermedius* Bagnall (Thysanoptera: Aeolothripidae) ( $b = 1,41$ ) festgestellt werden (Deligeorgidis et al., 2002). Während in der Untersuchung von Deligeorgidis et al. (2002) die Populationen aller Thripsarten auf die gleiche Art

und Weise ermittelt wurden, können in verschiedenen Studien die Methoden zur Populationserfassung unterschiedlich sein. Für die Übertragung von Aggregationsindizes auf andere Untersuchungen ist aber neben einem ausreichend hohen Stichprobenumfang (Taylor, 1984; Taylor et al., 1998) vor allem eine einheitliche Methode zur Erfassung der Schädlingpopulation wichtig (Taylor et al., 1998). Möglicherweise haben daher auch Unterschiede in der Stichprobenerhebung zwischen der Untersuchung von Steiner (1990) und der vorliegenden Untersuchung die Berechnung der Aggregationsindizes beeinflusst.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass bei einer Optimierung der Bekämpfungsstrategie gegen pflanzenbewohnende Entwicklungsstadien von Thripsen in Gurke vor allem Blätter des unteren und mittleren Pflanzenbereichs, in Paprika vor allem die Blätter des mittleren und oberen Pflanzenbereichs sowie in beiden Kulturen die Blüten als bevorzugte Aufenthaltsorte der Thripse berücksichtigt werden müssen. Daher sollten Antagonisten nach Möglichkeit gezielt in diesen Bereichen ausgebracht werden. Zusätzlich können auch spezifische räumliche Verteilungsmuster von Räuber- und Beutearten für die biologische Bekämpfung von Bedeutung sein. Hohe Aggregationsindizes weisen z.B. auf geringe Dispersionsraten von Arten hin (Nachman, 2001). Auf Gewächshausgurken konnte Nachman (1981) beispielsweise bei Raubmilben der Art *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) ( $b = 1,90$ ) und Spinnmilben der Art *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) ( $b = 1,94$ ) eine relativ starke Klumpung im Verteilungsmuster von Räuber und Beute feststellen. Dementsprechend konnte Steiner (1990) bei Untersuchungen in Gewächshausgurken *P. persimilis* häufig in einzelnen Kolonien von *T. urticae* ausmachen. Im Gegensatz dazu wiesen die Aggregationsindizes von *A. cucumeris* ( $b = 1,32$  bis  $1,52$ ) und *F. occidentalis* (s.o.) in der gleichen Untersuchung auf eine regelmäßige Verteilung hin und konnten auf Gurkenpflanzen auch nicht häufig zusammen beobachtet werden (Steiner, 1990). Das bedeutet, dass bei einer geringeren Aggregation der Beute für Räuber eine häufigere Beutesuche nötig ist, da die Nahrungsressource schneller aufgebraucht ist. Im Gegensatz dazu müssen Räuber bei stärker geklumpten Verteilungsmustern der Beutetiere unter Umständen längere Zeit Beute suchen. Wenn sie jedoch Beute gefunden haben, ist das Nahrungsangebot im Vergleich zu weniger aggregierten Beutearten höher, wodurch die Räuber länger am selben Ort verweilen können. Dabei spielen allerdings auch die Fähigkeiten der Räuber

längere Wegstrecken zurückzulegen und Beutetiere zu lokalisieren eine wichtige Rolle. Für die biologische Bekämpfung bedeutet dies, dass je größer die Neigung des Schaderregers zur Dispersion, desto gleichmäßiger sollten Räuber im Bestand ausgebracht werden. Die für die vorliegende Arbeit ermittelten Aggregationsindizes für Thripse auf Gurke und Paprika weisen zwar nicht auf ein regelmäßiges Verteilungsmuster hin, der Grad der Aggregation war aber vergleichsweise niedrig. Daher scheint zur Thripsbekämpfung eine gleichmäßige Ausbringung von *A. cucumeris* in Beständen von Gurke und Paprika sinnvoll zu sein, wie es ohnehin für den Einsatz der Raubmilben empfohlen wird.

#### Stichprobenumfang und Boniturschema

Der gewählte Stichprobenumfang von 500 Blättern bzw. Blatthälften war bei einem Präzisionsniveau von 20% in jedem Boniturjahr, sowohl in Paprika als auch in Gurke, ausreichend. Mit abnehmendem Befall nahm der benötigte Stichprobenumfang zu, aber selbst bei einem relativ geringen Befall von etwa  $0,04 \pm 0,003$  Thripsen (Larven und Imagines) pro Gurkenblatthälfte im Jahr 2002 lag das benötigte Niveau mit 380,18 Blatthälften noch deutlich unter der Anzahl der tatsächlich bonitierten Blatthälften. Da es bei dieser Befallsstärke zu keiner sichtbaren Schädigung der Gurken kam, könnte bei einer zukünftigen Schaderregerkontrolle im Vergleich zur vorliegenden Untersuchung der Stichprobenumfang deutlich herabgesetzt werden, zumal eine Ertragseinbuße bei Thripsbefall in Gurke erst bei einer Beschädigung der Blätter von  $\geq 30\%$  zu erwarten ist, was bei *F. occidentalis* etwa einem Befall von 9,5 larvalen oder 1,7 adulten Thripsen pro Gurkenblatt entspricht (Steiner, 1990). Der Einsatz von Nützlingen sollte jedoch, unabhängig vom Grad der Pflanzenschädigung, so früh wie möglich erfolgen. Schadschwellen, die für den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel wichtig sind, spielen können bei der biologischen Bekämpfung nicht berücksichtigt werden.

Zusätzlich zum Thripsmonitoring auf Pflanzenteilen wurden im Jahr 2002 Blautafeln zur Thripsbonitur eingesetzt. Voraussetzung für die Eignung von Klebtafeln für das Monitoring von Thripsen ist die Attraktivität gegenüber dem Schaderreger und eine Korrelation der Fangraten mit der Populationsentwicklung von Thripsen auf Pflanzen (Kiers et al., 2000; Hoddle et al., 2002). Während in Gurke die Thripsfangraten auf Blautafeln mit den Thripsdichten auf Blüten und

Blatthälften korrelierten, konnte in Paprika nur eine Korrelation zwischen Blautafeln und Blüten festgestellt werden. Insgesamt war der Thripsbefall im Jahr 2002 vor allem in Paprika sehr gering. Dabei scheinen die vorhandenen adulten Thripse dort besonders stark von den Blüten und Blautafeln angelockt worden zu sein. Im Gegensatz dazu konnten Shipp & Zariffa (1991) bei adulten *F. occidentalis* eine gute Korrelation zwischen Paprikablüten, Paprikablättern und Blautafeln feststellen. Higgins (1992) fand bei *F. occidentalis* in Paprika und Gurke keine signifikanten Korrelationen zwischen der Weibchenzahl auf Blüten, der Larvenanzahl auf Blättern und der Anzahl adulter Männchen und Weibchen auf Gelbtafeln. Die Untersuchung der Autoren wurde in einem weiteren Jahr in den gleichen Gewächshäusern wiederholt und führte diesmal dazu, dass eine Korrelation zwischen den Boniturdaten von Blüten, Blättern und Gelbtafeln nachgewiesen werden konnte. Im Gegensatz dazu beobachtete Brødsgaard (1993) in Gurke unter Glas nur eine Korrelation der Populationsdichten von *F. occidentalis* auf Blautafeln und Blättern, nicht aber auf Blautafeln und Blüten. In Freilandtomaten konnte bei der gleichen Thripsart wiederum keine lineare Beziehung zwischen Blautafeln und Blättern beobachtet werden (Arnó et al., 1995). Auch zwischen Triebspitzen von Chrysanthemen und Klebfallen, deren Farbe von den Autoren nicht erwähnt wurde, konnten keine linearen Zusammenhänge in den Entwicklungen der Populationsdichten von *F. occidentalis* festgestellt werden (Parrella & Murphy, 1996). Die unterschiedlichen Ergebnisse der erwähnten Studien verdeutlichen einerseits, dass Populationsentwicklungen von Schaderregern in Gewächshäusern möglichst über mehrere Jahre untersucht werden sollten, um gesicherte Ergebnisse erhalten zu können, und andererseits, dass die Korrelation zwischen Pflanzenteilen und Klebfallen noch differenzierter analysiert werden muss. Beispielsweise spielen für die Attraktivität der Klebfallen neben der Farbe (Brødsgaard, 1989; Gillespie & Vernon, 1990; Shipp, 1995) und der Anbringhöhe (Gillespie & Vernon, 1990) auch noch Faktoren wie z.B. Lufttemperatur und Lichtintensität (Brødsgaard, 1993) eine wichtige Rolle. Außerdem ist auch zu vermuten, dass die Effizienz von Klebfallen durch das Vorhandensein alternativer Farquellen (z.B. Blüten) beeinflusst wird. Darüber hinaus kann bei der Bonitur von Blüten beispielsweise auch die Tageszeit einen Einfluss auf das Ergebnis haben, wie eine Untersuchung von Kiers et al. (2000) mit Gewächshausgurken belegt. Die Autoren konnten feststellen, dass adulte *F. occidentalis* am Morgen zu den Blüten

flogen, es dort zur höchsten Ansammlung dieser Tiere am Mittag kam und sich diese Aggregation am Nachmittag wieder auflöste. Das bedeutet, dass das Monitoring von Blüten möglichst zur gleichen Tageszeit erfolgen sollte, um vergleichbare Aussagen über den Populationsverlauf von *F. occidentalis* machen zu können.

Neben der Genauigkeit einer Boniturmethode spielt auch der damit verbundene Zeitaufwand eine erhebliche Rolle. Im Vergleich zum Monitoring mit farbigen Klebfallen ist die Bonitur von Thripsen an Pflanzenteilen wesentlich schwieriger und zeitaufwendiger, da besonders junge Thripsstadien aufgrund ihrer geringen Größe und versteckten Lebensweise auf Pflanzen schwer festzustellen sind (Schmidt & Frey, 1995). Andererseits werden larvale Thripsentwicklungsstadien durch Klebfallen überhaupt nicht erfasst und können nur an Pflanzenteilen ermittelt werden. An der Pflanze ist die Bonitur von Blüten allerdings im Vergleich zur Blattbonitur weniger zeitintensiv (Arnó et al., 1995). Eine kombinierte Nutzung von Klebfallen und Blüten scheint daher ein geeignetes Verfahren zum Monitoring von Thripsen in Gurke und Paprika zu sein, da (1) in der vorliegenden Untersuchung die Entwicklung der Anzahlen adulter Thripse zwischen Blautafeln und Blüten korrelierte, (2) im Fall, dass keine oder nur wenige Blüten vorhanden sind (z.B. bei Jungpflanzen), sich beide Monitoringverfahren ergänzen können und (3) das Auszählen von Blautafeln und Blüten für den Anbauer ein einfaches Verfahren zur Befallskontrolle darstellt (Shipp et al., 2000).

#### **4.4.2 Blattläuse**

##### Bekämpfungsmaßnahmen gegen Blattläuse

Ein natürliches Auftreten von Blattläusen konnte nur im Jahr 2001 festgestellt werden. Zur Bekämpfung wurden Larven von *C. carnea* und adulte Schlupfwespen der Art *A. colemani* eingesetzt. Die Wirkung dieser Nützlingskombination wurde bereits in Parzellenversuchen unter standardisierten Bedingungen untersucht (Kapitel 2). Unter den Praxisbedingungen im kommerziell betriebenen Gewächshaus konnte mit dieser Antagonistenkombination der Blattlausbefall erfolgreich bekämpft werden. Offensichtlich hatte dabei der Parasitoid (*A. colemani*) den größeren Anteil am Bekämpfungserfolg, was die Korrelation zwischen der Blattlaus- und der zeitlich verschobenen Mumienentwicklung belegt. Der zeitliche

Versatz von etwa einer Woche zwischen der Populationsentwicklung der Blattläuse und der Mumienentwicklung basiert auf der Entwicklungszeit der Blattlausmumien, die vom Zeitpunkt der Parasitierung bis zur Mumifizierung bei 20 bzw. 25 °C ca. 7 Tage dauert (Toussidou et al., 1999).

Der Anteil von *C. carnea* am Bekämpfungserfolg scheint eher marginal gewesen zu sein. Die Einsatzdichten von *C. carnea* waren zu Beginn der Blattlausbekämpfung, als die Populationsdichten der Blattläuse im Vergleich zum späteren Populationsverlauf niedriger waren, mit 1 bzw. 2 Tieren pro m<sup>2</sup> gering. Beim letzten *Chrysoperla*-Einsatz wurden mit fünf Individuen pro m<sup>2</sup> deutlich mehr Tiere ausgebracht. Allerdings erfolgte aufgrund eines starken Befalls mit Weißer Fliege eine Insektizidbehandlung (Bladafum<sup>®</sup>) bereits 4 Tage später. Durch die Breitwirksamkeit dieses Präparates gegenüber Schädlinge und Nützlinge kann davon ausgegangen werden, dass ein erheblicher Teil der eingesetzten Nützlinge ebenso wie die Blattläuse durch die chemische Behandlung beeinträchtigt wurden. Daher konnte der Einsatz von *C. carnea* in einer deutlich höheren Dichte keinen feststellbaren Einfluss auf die Blattlauspopulation haben. Bei den wöchentlichen Bonituren konnten im Gegensatz zu den Schlupfwespen, von denen adulte Tiere im Bestand beobachtet werden konnten, keine *Chrysoperla*-Larven oder adulte *C. carnea* wiedergefunden werden.

Für den offensichtlich geringen Effekt von *C. carnea* können verschiedene Ursachen, wie z.B. Ausbringungsdichte, Entwicklungsstadium oder auch Beeinträchtigung durch andere Prädatoren in Betracht gezogen werden. Vor allem ausreichend hohe Ausbringungsdichten scheinen für eine erfolgreiche Blattlausbekämpfung unerlässlich zu sein. Von Nützlingsfirmen werden Einsatzdichten von 1 bis 5 *C. carnea* pro m<sup>2</sup> je nach Stärke des Blattlausbefalles empfohlen (Katz Biotech Services, pers. Mitt.). Quentin et al. (1995) konnten allerdings feststellen, dass erst eine zweimalige Ausbringung von 25 bis 30 *C. carnea*-Eiern pro m<sup>2</sup> Gewächshausfläche zu einer effektiven Blattlausbekämpfung in Kopfsalat führte. Die Schlupfrate der Eier lag dabei bei 63,7 bis 68 %. In der vorliegenden Untersuchung entsprachen die ersten beiden Ausbringungen mit einer Einsatzdichte von ein bis zwei *C. carnea*-Larven pro m<sup>2</sup> nur einem Verhältnis von einer L<sub>1</sub>-Florfliegenlarve zu ein bis zwei Paprikapflanzen. Der Bereich, der von einer einzelnen L<sub>1</sub>-Larve von *C. carnea* abgesucht werden musste, war daher sehr groß. Deshalb ist zu vermuten, dass viele Blattläuse nicht von den Florfliegenlarven gefunden

wurden. Beispielsweise fanden Bennison et al. (1998) heraus, dass die tägliche Thripsprädrationsrate der L<sub>2</sub>-Larven von *C. carnea* auf Verbänen-Blättern deutlich höher war im Vergleich zur gesamten Pflanze, da der Zeitaufwand für die Beutesuche auf den Blättern geringer war. In der vorliegenden Untersuchung handelte es sich bei den im Jahr 2001 eingesetzten Florfliegen um L<sub>1</sub>-Larven. Im Vergleich zu den älteren Florfliegenlarven vertilgen L<sub>1</sub>-Larven deutlich weniger Blattläuse (New, 1975; Singh & Kumar, 2000). Vor allem das dritte Larvenstadium gilt als besonders gefräßig (Bay et al., 1993). Anhand von *Heliothis* spp.-Eiern konnten Butler & May (1971) feststellen, dass außerdem die Beutesuche von älteren Larven etwa fünfmal so erfolgreich war im Vergleich zum ersten Larvenstadium. Durch die geringeren Beutekonsumraten und der erfolgloseren Beutesuche der L<sub>1</sub>-Larven der Florfliegen wird die Hypothese unterstützt, dass in der vorliegenden Untersuchung *C. carnea* nur wenig zum Gesamtbekämpfungserfolg gegen die Blattläuse an Paprika beigetragen hat.

Als weiterer Erklärungsansatz für die geringe Effizienz der Florfliegenlarven kann noch in Betracht gezogen werden, dass *C. carnea* selbst Beute von anderen Prädatoren werden kann. Rosenheim et al. (1999) konnten beispielsweise auf Baumwollpflanzen beobachten, dass vor allem junge *C. carnea*-Larven hauptsächlich von Räubern der Ordnung Hemiptera erbeutet wurden. Aber auch der Boden birgt Gefahren für die Florfliegenlarven. Extrem hohe Temperaturen auf Böden, die der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, können zu einem schnellen Tod der Florfliegenlarven führen (Rosenheim et al., 1999). Außerdem können auch auf der Bodenoberfläche Prädatoren vorkommen, die in der Lage sind Florfliegenlarven zu erbeuten. Dinter (2002) konnte beispielsweise in Mikrokosmosversuchen feststellen, dass *Erigone atra* (Blackwall) (Araneae: Erigonidae) und *Oedothorax apicatus* (Blackwall) (Araneae: Erigonidae), zwei in europäischen Getreidefeldern häufig vorkommende, bodenlebende Spinnenarten, L<sub>2</sub>-Larven von *C. carnea* erbeuten konnten. Im Gegensatz zu den Beobachtungen von Rosenheim et al. (1999), die davon berichten, dass *C. carnea*-Larven versuchen den Bodenkontakt zu vermeiden, konnte in eigenen Versuchen (Kapitel 2) festgestellt werden, dass *C. carnea*-Larven über die Bodenoberfläche von einer Pflanze zur anderen Pflanze wanderten und damit das Risiko eingingen, gefressen zu werden. Aufgrund der Ausbringungsmethode unter Praxisbedingungen, bei der die Tiere auf die Pflanzen gestreut wurden, sind vermutlich auch vereinzelt Florflie-

genlarven auf den Boden gefallen, von denen einige möglicherweise von anderen Prädatoren erbeutet wurden und daher keinen Beitrag mehr zur Blattlausbekämpfung leisten konnten.

Im Gegensatz zu *C. carnea* konnte *A. colemani* in der vorliegenden Untersuchung einen deutlichen Beitrag zur Bekämpfung der Blattläuse leisten, wie die große Anzahl parasitierter Blattläuse belegt. Auch wurden im Unterschied zu *C. carnea* kontinuierlich adulte Parasitoide im Bestand entdeckt. Andere Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass auch Inkompatibilitäten zwischen eingesetzten Parasitoid- und Blattlausarten auftreten können, wodurch es zu einem Misserfolg in der biologischen Blattlausbekämpfung kommen kann. So stellten Bünger et al. (1999) beispielsweise fest, dass die Bekämpfung der Kartoffellausarten *M. euphorbiae* und *Aulacorthum solani* (Kaltenbach) (Homoptera: Aphididae) mit der Schlupfwespe *Aphidius ervi* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae) in Gurke nicht ausreichend war. Ebenso zeigte die Untersuchung von Quentin et al. (1995) im Unterglasanbau von Kopfsalat, dass die Blattlausarten *A. solani* und *Nasonovia ribis-nigri* (Mosley) (Homoptera: Aphididae) durch die Schlupfwespe *Aphidius matricariae* Haliday (Hymenoptera: Aphidiidae) nicht parasitiert wurden. Daher ist bei der Auswahl der richtigen Schlupfwespenart notwendig, dass der Anwender zwischen den verschiedenen Blattlausarten unterscheiden kann (Quentin et al., 1995). Da in der Praxis eine Unterscheidung auf Artebene sicher nur begrenzt möglich ist, ist die Kombination von Parasitoiden mit Prädatoren sicher geeignet, die Wirkungssicherheit zu verbessern, solange die unerwünschten negativen Interaktionen zwischen den beiden Antagonistengruppen nicht überwiegen. Zusätzlich können durch eine Kombination von Prädatoren und Parasitoid aufgrund der verschiedenen Strategien zur Beute- bzw. Wirtssuche vereinzelt vorkommende Befallsherde besser lokalisiert und bekämpft werden (Heinz et al., 1999), wodurch ebenfalls ein erheblicher Beitrag zur Wirkungssicherheit geleistet werden kann.

Abschließend lässt sich der Effekt der Kombination von *A. colemani* und *C. carnea* in der Praxis nur schwer einschätzen, da der Insektizideinsatz als eine Zäsur in der Entwicklung der Blattlauspopulation und der Etablierung der Nützlinge angesehen werden muss. Der Hauptanteil am Bekämpfungserfolg vor dem Insektizideinsatz ist jedoch von *A. colemani* ausgegangen. *C. carnea* hätte in höheren Ausbringungsdichten sicher einen größeren Beitrag zur Dezimierung des

Blattlausbefalls geleistet. Allerdings wäre dann auch eine bedeutend höhere Beeinträchtigung der Schlupfwespe *A. colemani* durch IGP zu erwarten gewesen (s. Kapitel 2).

#### Räumliche Verteilung von Blattläusen

Im Gegensatz zu der Verteilung von Thripsen waren adulte Blattläuse innerhalb einer Paprikapflanze auf den untersuchten Blattetagen und Blüten gleichmäßig verteilt. Daher scheint *M. persicae* keine Präferenz für einen bestimmten Pflanzenteil bzw. das physiologische Alter der Blätter gehabt zu haben. Im Vergleich zu Paprikablättern wurden weniger Larven und alate Blattläuse auf Blüten entdeckt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Blüten weniger langlebig sind als die Blätter und eine adulte Blattlaus dort nicht so viele Nachkommen produzieren kann wie auf den Blättern. Durch die kürzere Lebensdauer der Blüten ist es ebenso denkbar, dass sich dort die Larven nicht bis zur Imago entwickeln können, und es zu einer Abwanderung kommt. Dies würde den geringen Anteil geflügelter Blattläuse trotz hoher Befallsdichten erklären. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit konnten in den Untersuchungen von Kennedy et al. (1950) an Zuckerrüben und von van Emden (1972) an Rosenkohl bessere Voraussetzungen für das Populationswachstum von *M. persicae* auf jungen und seneszenten Blättern im Vergleich zu ausgewachsenen Blättern festgestellt werden. Dabei scheint junges Gewebe noch besser für Blattläuse geeignet zu sein als altes Gewebe (van Emden, 1969). Auf Topfchrysanthenen konnten beispielsweise Vehrs et al. (1992) die höchsten Populationsdichten von *M. persicae* auf Blättern des oberen Pflanzenbereichs im Vergleich zu mittleren und basalen Blättern feststellen. Allgemein können bei der vertikalen Verteilung von Blattläusen auf Wirtspflanzen, neben der Verteilung von Pflanzeninhaltsstoffen innerhalb der Pflanze (van Emden, 1972), auch die Wirtspflanzenart und die Wirtspflanzensorte (van Emden, 1969) eine wichtige Rolle spielen. Nach Aussage von Hull (1964) sind Aphiden mit zunehmender Adaption an eine Wirtspflanzenart in der Lage an ausgewachsenen Blättern zu saugen, während weniger angepasste Blattlausarten nur an seneszenten oder sich im Wachstum befindlichen Blättern saugen können. Dementsprechend unterteilt Mosbacher (1964) die Wirtspflanzen von Blattläusen in zwei Klassen: Die Hauptwirte bieten den Blattläusen optimale Nahrungsbedingungen während der gesamten physiologischen Entwicklung der Pflanzen-

organe, wobei der Vorzug der Aphiden für junge und seneszente Pflanzenorgane bei den Nebenwirten typisch ist. Die Eignung von Paprika als Wirtspflanze für *M. persicae* ist bekannt (z.B. Jarošík et al., 1996; van de Veire & Tirry, 1998; van de Veire et al., 1999). Durch die gute Wirtspflanzeignung von Paprika lassen sich daher die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, zur gleichmäßigen Verteilung von *M. persicae* auf Blättern unterschiedlichen physiologischen Alters, erklären.

Im Paprikabestand traten im Jahr 2001 sowohl larvale als auch adulte Blattläuse in einer geklumpten Verteilung auf. Heinz (1998) konnte eine extrem geklumpfte Verteilung von *M. persicae* an Topfchrysanthemen feststellen. Daher sollten für eine erfolgreiche biologische Bekämpfung Antagonisten eingesetzt werden, die in der Lage sind, kleine Befallsherde zu finden und zu bekämpfen bzw. die Nützlinge müssen an ausreichend vielen Freilassungspunkten ausgebracht werden (Heinz, 1998). Inwieweit die in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten Nützlinge an dem Verteilungsmuster der Blattläuse angepasst waren, lässt sich nicht abschließend beurteilen. Allerdings kann aufgrund der hohen Parasitierungsrate durch *A. colemani* davon ausgegangen werden, dass der Parasitoid durchaus in der Lage war die Blattlauskolonien gut zu lokalisieren.

In Käfigversuchen konnte Hindayana (2001) nachweisen, dass die Anwesenheit von *C. carnea*, der Schwebfliege *Episyrphus balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) oder des Marienkäfers *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) die Dispersion in Blattlauspopulationen der Art *Acyrtosiphon pisum* Harris (Homoptera: Aphididae) induzieren konnte. Da viele Blattlausarten als Vektoren für Pflanzenviren dienen, könnte sich der Einsatz von Prädatoren auch kontraproduktiv auf die biologische Bekämpfung auswirken (Hindayana, 2001). Der Einfluss von Räubern auf die Dispersionsraten von Blattläusen kann allerdings nicht verallgemeinert werden, sondern bedarf im jeweiligen Fall einer genaueren Prüfung. In den Untersuchungen zur vorliegenden Arbeit konnten diese Effekte, aufgrund der geringen Räuberichten, nicht festgestellt werden.

Da es sich bei *M. persicae* um eine Blattlausart handelt, die sich schon in geringen Dichten schnell im Bestand ausbreitet (Vehrs et al, 1992; Jarošík et al., 1996) und zunächst nur schwer entdeckt wird (Heinz, 1998), ist ein Boniturschema notwendig, welches den Verlauf des Blattlausbefalls akkurat widerspiegelt. In der vorliegenden Untersuchung wurden je Boniturtermin insgesamt 500 Blätter

untersucht. Damit war der gewählte Stichprobenumfang fast 2,5-fach höher, als bei einem Präzisionsniveau von 20 % für die mittlere jährliche Befallsdichte notwendig gewesen wäre. Eine Reduktion auf 206 Blätter je Boniturtermin wäre daher möglich gewesen, um die Befallsentwicklungen von *M. persicae* gut erfassen zu können. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die Bonitur im Jahr 2001 den Befallsverlauf der Blattläuse an Paprika gut wiedergegeben hat.

#### 4.4.3 Schlussfolgerungen

Durch gezielte Einsätze von *A. cucumeris* und *Hypoaspis* spp. in Gurke und Paprika unter Glas sollten Thripspopulationen erfolgreich unterdrückt werden. Die Resultate der vorliegenden Untersuchung belegen, dass die Populationsdichten von Thripsen tatsächlich über einen Zeitraum von drei Anbaujahren verringert wurden. Dieser Erfolg kann aufgrund der Versuchsanlage allerdings nicht allein dem Nützlingseinsatz zugeschrieben werden. Um hierzu eine gesichertere Aussage machen zu können, wäre ein Monitoring über einen wesentlich längeren Zeitraum notwendig. Dennoch erscheint die Kombination von pflanzenbewohnender Raubmilbe mit Bodenraubmilbe als holistischer Ansatz zur Thripsbekämpfung sinnvoll, um die Wirkungssicherheit zu erhöhen. Dazu sollten jedoch die Bodenraubmilben in deutlich höheren Dichten als in der vorliegenden Untersuchung ausgebracht werden (s. Kapitel 3), da sich einerseits ein Großteil an Alternativbeute im Boden befinden kann und andererseits nicht unbedingt zu erwarten ist, dass natürlich vorkommende Bodenraubmilben zur Thripsbekämpfung beitragen.

In Paprika konnten Blattläuse durch eine Kombination von Parasitoid (*A. colemani*) und Prädator (*C. carnea*) in einem Versuchsjahr, vor allem durch die Effizienz des Parasitoiden, erfolgreich unterdrückt werden. Aufgrund der vorhandenen Datenerhebung scheint der Einsatz von *A. colemani* zur Bekämpfung von *M. persicae* ausreichend zu sein. Allerdings hätten höhere Einsatzdichten des Räubers sicher auch größere Effekte auf die Blattlausmortalität gehabt und zu häufigeren interspezifischen Interaktionen mit dem Parasitoiden geführt. Zudem wurde die biologische Blattlausbekämpfung und damit ein langfristiger Effekt des kombinierten Nützlingseinsatzes durch die Applikation eines breitwirksamen Insektizids abge-

brochen. Weitere Untersuchungen zur Überprüfung der Kombinationswirkung sind daher wünschenswert.

Die räumlichen Verteilungsmuster von Thripsen und Blattläusen haben gezeigt, dass Nützlingsarten eingesetzt werden sollten, die an das Verhalten der Schaderreger angepasst sind. Zusätzlich sollte die Art und Weise der Ausbringung im Bestand an die Verteilungsmuster angepasst sein.

Zur Überwachung der Populationsentwicklung von Thripsen auf Gurken- und Paprikapflanzen sollte neben der Verwendung von Blautafeln die Auszählung von Blüten als ein akkurates, praktikables und nicht zu zeitaufwendiges Verfahren zum Einsatz kommen. Im Gegensatz dazu sollten zur Bonitur von *M. persicae* auf Paprikapflanzen frühzeitig Blätter ausgezählt werden. Dabei hat das physiologische Alter der Blätter offenbar keinen Einfluss.

## 5 Schlussbetrachtung

Durch den kombinierten Einsatz von natürlichen Gegenspielern gegen Blattläuse und Thripse konnten in der vorliegenden Arbeit nicht die erhofften synergistischen oder additiven Effekte, sondern lediglich nicht-additive Effekte festgestellt werden. Die Ursachen hierfür sind in Abhängigkeit von den Gegenspielern unterschiedlich. Zum einen sind die Schädlings- und Nützlingsdichten sowie die Populationsentwicklungen verantwortlich, zum anderen direkte (Intraguild Predation) und indirekte (Nahrungskonkurrenz) Interaktionen zwischen den Antagonisten.

In den untersuchten Parasitoid-Prädator-Kombinationen (Kapitel 2) wurden z.B. interspezifische Interaktionen in Form von Intraguild Predation (IGP) nachgewiesen. Die Beeinträchtigung des Parasitoiden durch den Prädator hatte allerdings auf die Gesamteffizienz der Nützlinge keinen negativen Einfluss. Im Gegenteil, es konnten tendenziell bessere Bekämpfungserfolge gegen *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) durch den kombinierten Einsatz von *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae) mit *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) bzw. *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae) festgestellt werden.

Generell kann die Zugabe von Prädatoren in ein Wirt-Parasitoid-System zur Verbesserung oder Verschlechterung des Bekämpfungserfolges führen (Rosenheim et al., 1995; Rosenheim, 1998; Colfer & Rosenheim, 2001). Auf der anderen Seite führt IGP zwischen Prädatoren und juvenilen Stadien von Endoparasitoiden, die einen gemeinsamen Wirt bzw. eine gemeinsame Beute teilen, unweigerlich zum Tod des Wirtes bzw. der Beute. Das bedeutet, dass in diesem Fall ein hoher Grad an IGP gleichzustellen ist mit einer hohen Mortalität des Wirtes bzw. der Beute (Rosenheim et al., 1995). Diese Theorie wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sowie durch Resultate anderer Studien unterstützt. Beispielsweise konnte Näthke (2001) in Mikrokosmosversuchen durch den kombinierten Einsatz von *C. carnea* mit der Schlupfwespe *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) eine gute Effizienz gegenüber der Weißen Fliege *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae) erzielen, obwohl parasitierte Weiße Fliegen von *C. carnea* gefressen wurden. Ebenfalls in Mikrokosmosversuchen konnte Wernke (2002) den gleichen Effekt nach dem gemeinsamen

Einsatz der Schlupfwespe *Leptomastix dactylopii* (Howard) (Hymenoptera: Encyrtidae) mit dem Räuber *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) gegen die Citrus-Schmierlaus *Pseudococcus citri* (Risso) (Homoptera: Pseudococcidae) feststellen. In beiden Mikrokosmosstudien waren die Effekte der Antagonistenkombinationen auf die Schaderregermortalität zwar nicht-additiv, aber dennoch höher als nach dem Einsatz von nur einer Antagonistenart. Ebenso zeigte die Kombination des Blattlausparasitoiden *Lysiphlebus testaceipes* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae) mit dem Marienkäfer *Hippodamia convergens* (Guerin) (Coleoptera: Coccinellidae) eine erhöhte Effizienz gegen die Blattlaus *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae), obwohl die Prädationsrate von *H. convergens* an juvenilen Entwicklungsstadien des Parasitoiden bei 98 – 100 % lag (Colfer & Rosenheim, 2001). Auch die Untersuchungen von Heinz & Nelson (1996) zur Bekämpfung der Weißen Fliege *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) mit den Parasitoiden *Encarsia argentifolii* Bellows & Perring (Hymenoptera: Aphelinidae) bzw. *E. formosa* und dem Marienkäfer *Delphastus pusillus* (Le Conte) (Coleoptera: Coccinellidae) können in diesem Zusammenhang genannt werden. Die Zugabe des Marienkäfers führte zu einer Verbesserung der Bekämpfung der Weißen Fliege. Dabei zeigte *D. pusillus* keine Präferenz für parasitierte oder unparasitierte Weiße Fliegen. Auch in der Untersuchung von Colfer & Rosenheim, (2001) konnte keine Präferenz von *H. convergens* für mumifizierte Blattläuse festgestellt werden. Im Gegenteil *H. convergens* zog unparasitierte Aphiden gegenüber parasitierten Blattläusen vor.

Die Präferenz der Räuber gegenüber unparasitierte oder parasitierte Beutetiere scheint eine herausragende Rolle hinsichtlich des Gesamteffektes zu spielen (Colfer & Rosenheim, 2001). Unter der Voraussetzung, dass ein Räuber eine Präferenz für unparasitierte Wirte zeigt und gleichzeitig unparasitierte Wirte in großen Anzahlen erbeutet, ist eine erhöhte Reduktion der Schaderregerpopulation trotz eines verstärkten Vorkommens von IGP zu erwarten (Colfer & Rosenheim, 2001). Generell unterscheiden Räuber allerdings zunächst nicht zwischen parasitierter und unparasitierter Beute. Mit fortschreitender Entwicklung des Parasitoiden im Wirt kann es jedoch zunehmend zu einer gezielten Auswahl der Beute durch Räuber kommen (Kindlmann & Ruzicka, 1992; Hoelmer et al., 1993). Während diptere aphidophage Räuber wie Syrphiden- und Gallmückenlarven nicht in der Lage sind die Hülle der Blattlausmumien zu öffnen, sind Blattlausräuber, die mit

Mandibeln (z.B. *C. carnea*) oder saugenden Mundwerkzeugen (z.B. Raubwanzen) ausgestattet sind, durchaus in der Lage dies zu tun (Kindlmann & Ruzicka, 1992; Brodeur & Rosenheim, 2000). Bei *C. carnea* konnten Meyhöfer & Klug (2002) in einem Mikrokosmosversuch jedoch keine Fraßpräferenz gegenüber Blattlausmumien feststellen, wenn durch *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae) parasitierte (Mumien) und unparasitierte Blattläuse (*Aphis fabae* Scopoli (Homoptera: Aphididae)) gleichzeitig offeriert wurden. Daher ist zu vermuten, dass es bei den gewählten Parasitoid-Prädator-Kombinationen in der vorliegenden Arbeit zu einer zufälligen und nicht gezielten Erbeutung von parasitierten Blattläusen durch *A. aphidimyza* oder *C. carnea* gekommen ist. Allerdings spielen auch Dichteeffekte in den Wechselbeziehungen zwischen Parasitoid und Prädator eine wichtige Rolle (Meyhöfer & Hindayana, 2000). Nimmt beispielsweise die Attraktivität der Wirtspflanzen durch Seneszenz oder durch Beschädigungen, die durch Insekten hervorgerufen wurden, ab, kann dies zu einem Rückgang der Reproduktionsrate der Blattläuse führen (van Emden et al., 1969). Trotz abnehmender Blattlauspopulationsdichte kann jedoch die Räuberdichte weiter zunehmen, so dass auch das Räuber-Beute-Verhältnis zunimmt. Im Falle eines kombinierten Einsatzes von Parasitoid und Prädator würde es dann zwangsläufig zu einem höheren Prädationsrisiko für Parasitoide kommen, da aphidophage Räuber in Abwesenheit von Alternativbeute verstärkt parasitierte Blattläuse fressen werden (Meyhöfer & Hindayana, 2000). Eine solche Entwicklung ist nicht nur im Freiland, sondern auch in kommerziell genutzten Gewächshäusern durchaus denkbar. Dadurch würde eine langfristige Etablierung des Parasitoiden gefährdet. Auf den Bekämpfungserfolg hätte dies jedoch zunächst keinen Einfluss.

Bei der Übertragung der Ergebnisse in kommerzielle Gewächshäuser oder sogar ins Freiland sind nicht unbedingt die gleichen bzw. nicht so deutliche Effekte wie in den Versuchen zu erwarten. Die Effizienz der Antagonistenkombination kann unter Praxisbedingungen deutlich geringer sein als in standardisierten Versuchen. Diesen Effekt konnte z.B. Hindayana (2001) bei Untersuchungen zur Effizienz von *Coccinella septempunctata* Linnaeus (Coleoptera: Coccinellidae) gegen *Acyrtosiphon pisum* Harris (Homoptera: Aphididae) auf Bohnenpflanzen feststellen. Mit Zunahme des verfügbaren Raumes der Versuchseinheiten konnte eine sinkende Effizienz des Marienkäfers gegenüber der Blattlaus festgestellt werden. Als

Hauptfaktor für diesen Effekt kann die Verringerung der Populationsdichten bezogen auf den zusätzlichen Raum angesehen werden. Ein größeres Raumangebot kann zu einer verstärkten Dispersion und Migration der Arthropoden führen, so dass verschiedene Arten seltener aufeinandertreffen. Durch die deutlich komplexeren Lebensräume im Gewächshaus und vor allem im Freiland können auch andere Arthropoden, deren Abundanz nicht reguliert werden kann, einen Einfluss auf die Effizienz der eingesetzten Antagonistenkombinationen haben. Im folgenden Abschnitt sollen nur die möglichen Einflüsse durch Parasitoiden und Prädatoren diskutiert werden. Die juvenilen Entwicklungsstadien von Parasitoiden können z.B. einem hohen Prädationsrisiko durch bereits vorhandene Räuber ausgesetzt sein. In einem Feldversuch konnten (Meyhöfer & Hindayana, 2000) feststellen, dass natürlich vorkommende Räuber (Coccinelliden, Chrysopiden, Anthocoriden und Carabiden) bis zu 50 % aller offerierten Blattlausmumien nach 4 bis 5 Tagen zerstört hatten. Neben den natürlich vorhandenen Räufern können auch weitere Prädatoren durch den Anwender dem System zugeführt werden, wenn es z.B. gleichzeitig einen Befall mit einer zweiten herbivoren Schaderregerart gibt. Oftmals werden dann generalistische Prädatoren eingesetzt, die durch Erbeutung von parasitierten Blattläusen oder auch adulten Parasitoiden (Rosenheim, 1998; Brodeur & Rosenheim, 2000; Meyhöfer & Klug, 2002) die Effizienz und langfristige Etablierung des Parasitoiden erheblich gefährden. Zusätzlich können aber weitere Schädlingsarten als Alternativbeute für polyphage Räuber wie *C. carnea* dienen, wodurch die Bekämpfungseffizienz des Räubers gegenüber dem Zielschädling verringert wird. Neben Räufern können auch Hyperparasitoide durch die Beeinträchtigung des Primärparasitoiden zu einer Verschlechterung der biologischen Bekämpfung führen (Sullivan, 1987; Rosenheim, 1998; Brodeur & Rosenheim, 2000; Colfer & Rosenheim, 2001). Dabei spielt nicht allein die, durch den Hyperparasitismus induzierte, Mortalität des Parasitoiden eine Rolle, sondern auch die Repellent-Wirkung durch die Anwesenheit des Hyperparasitoiden, wodurch der Primärparasitoid von den Aphidenkolonien abgeschreckt wird (Rosenheim, 1998). Das gleiche Phänomen konnte auch bereits in Gegenwart von Prädatoren beobachtet werden (Taylor et al., 1998). Aber nicht nur Parasitoide sind unter Gewächshaus- und Freilandbedingungen Gefahren durch andere Arthropoden ausgesetzt, sondern auch Prädatoren können von Parasitoiden attackiert (Rosenheim, 1998) oder durch

andere Räuber erbeutet werden (Rosenheim et al., 1995; Rosenheim, 1998), wodurch der Bekämpfungserfolg beeinträchtigt werden kann. Im Gewächshaus oder Freiland sind noch eine Reihe von weiteren interspezifischen Interaktionen z.B. mit Pathogenen wie Pilzen und Bakterien oder im Falle von Blattläusen mit Ameisen (Rosenheim et al., 1995) möglich. Diese seien an dieser Stelle nur erwähnt, aber nicht näher diskutiert.

Insgesamt ist daher schon im Hinblick auf die verschiedenen Artenzusammensetzungen von Arthropodenlebensgemeinschaften ein Vergleich der Effizienz von einzelnen Antagonistenkombinationen in verschiedenen Lebensräumen äußerst schwierig. Das Verhalten der einzelnen Arten kann ausschlaggebend für den Bekämpfungserfolg sein und muss daher für jede Kombination und Kultur separat untersucht und beurteilt werden.

Bei der in Kapitel 3 untersuchten Kombination von *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) mit *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Acarina: Hypoaspidae) war IGP aufgrund der unterschiedlichen Lebensräume von Raubmilben auf oberirdischen Pflanzenteilen und Bodenraubmilben nicht möglich. Interspezifische Interaktionen konnten nur in Form von Konkurrenz um die gemeinsame Beute *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) auftreten. Linnamäki et al. (1998) konnten Nahrungskonkurrenz zwischen der Bodenraubmilbe *Hypoaspis miles* (Berlese) (Acarina: Hypoaspidae) und *A. cucumeris* nach gemeinsamen Einsatz zur Bekämpfung von *F. occidentalis* in Topfrosen nachweisen. Die Konkurrenz um die gemeinsame Nahrung äußerte sich hier in einem signifikanten Rückgang der Populationsdichte von *H. miles*. Leider machen die Autoren keine Angaben über das verwendete Substrat oder das Vorkommen von Alternativbeute oder anderen Bodenraubmilben. Offensichtlich fehlten jedoch alternative Beutearten auf die *H. miles* bei ausbleibender Thripsbeute hätte zugreifen können. Im Gegensatz dazu war das System in das *H. aculeifer* in der vorliegenden Untersuchung eingesetzt wurde deutlich komplexer, da in den Parzellenversuchen der gewachsene Gewächshausboden mit einer diversen Bodenfauna als Substrat verwendet wurde. Ein so ausgeprägter Effekt der Nahrungskonkurrenz wie in der Untersuchung von Linnamäki et al. (1998) konnte daher in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt werden. Beide Untersuchungen verdeutlichen aber, dass in Zeiten in denen geringer Anzahlen

bodenbürtiger Thripsentwicklungsstadien im Boden vorhanden sind, in Substraten in denen sich Alternativbeutearten befinden eine Etablierung von *Hypoaspis*-Milben eher zu erwarten ist, als in „sterilen“ Substraten. Andererseits können polyphage Prädatoren wie *H. aculeifer* und *H. miles* einen Zielschaderreger effektiver bekämpfen wenn keine Alternativbeute verfügbar ist (Berndt et al., 2004). Daher können im Prinzip zwei sich gegenseitig ausschließende Strategien beim Einsatz von *Hypoaspis*-Milben verfolgt werden: (1) wiederholter Einsatz von *Hypoaspis*-Milben bei Befall mit *F. occidentalis* in alternativbeutfreien Substraten und (2) zeitiger Einsatz und Etablierung von *Hypoaspis*-Milben in Substraten, die reichlich Alternativbeute enthalten. Ein kurzfristig besserer Bekämpfungserfolg ist bei Verfolgung von Strategie (1) zu erwarten. Bei Strategie (2) ist hingegen über einen längeren Zeitraum ein Antagonist latent vorhanden, der bereits den Aufbau erster Schädlingsskalamitäten abpuffern kann.

In den Parzellenversuchen der vorliegenden Untersuchung führte der alleinige Einsatz von *A. cucumeris* zu guten Bekämpfungserfolgen, die etwa denen der Kombination beider Raubmilbenarten entsprachen. Mit ungefähr 50 *A. cucumeris* pro m<sup>2</sup> entsprach die Ausbringungsmenge den empfohlenen Einsatzdichten für die Praxis. Im Vergleich zu kommerziell kultivierten Gurken waren die Versuchspflanzen jedoch deutlich kleiner. Daher musste jede *A. cucumeris*-Milbe im Versuch auch nur eine verhältnismäßig geringere Blattoberfläche nach Thripslarven absuchen, um auf Beute zu treffen. In der Praxis ist deshalb zu erwarten, dass es bei gleicher Einsatzdichte von *A. cucumeris* zu selteneren Aufeinander-treffen von Raubmilben und Thripslarven kommt. Daher können die Effekte unter Praxisbedingungen im Vergleich zum Parzellenversuch geringer sein. Im Gegensatz zu *H. aculeifer* konnte *A. cucumeris* nicht auf alternative Nahrung zurückgreifen und war auch, mit Ausnahme der *C. carnea*-Einsätze in Paprika im Jahr 2001, nicht der Bedrohung durch andere Prädatoren ausgesetzt. Aus dieser Sicht können deshalb die Bedingungen für *A. cucumeris* in den Versuchen als optimal angesehen werden. Die möglichen Interaktionen mit anderen im Gewächshaus bereits vorhandenen oder eingesetzten Antagonisten oder auch Alternativbeutearten wurden bereits im letzten Abschnitt diskutiert.

Insgesamt erscheint daher zusätzlich zum Einsatz von *A. cucumeris* eine Etablierung von *H. aculeifer* im Gewächshaus sinnvoll.

Die Umsetzung der Versuchsergebnisse in die Praxis (Kapitel 4) wurde vor allem durch die Abhängigkeit von einem Spontanbefall der Schädlinge, den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln, fehlende Kontrollvarianten sowie fehlende Wiederholungszahlen erschwert. Die Überprüfung der Effizienz der Nützlingskombinationen unter Praxisbedingung ist jedoch unerlässlich. Dazu muss allerdings ein Mindestmaß an Standardisierung eingehalten werden. Die direkte Implementierung in ein kommerziell betriebenes Gewächshaus, wie es in der vorliegenden Untersuchung im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungsprojektes durchgeführt wurde, lässt kaum Möglichkeiten für kausale Rückschlüsse. Wünschenswert wäre auch ein deutlich längerer, als drei Jahre dauernder, Untersuchungszeitraum, um mögliche Jahreseffekte herausfiltern zu können.

Insgesamt sind die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Lebewesen in komplexeren Lebensräumen ein kompliziertes Gebilde, dass nur schwer zu durchschauen ist. In der vorliegenden Arbeit wurde versucht in einfachen Systemen mit Pflanze, Herbivor und zwei Antagonisten positive und negative Effekte des kombinierten Nützlingseinsatzes herauszuarbeiten. Sowohl zur Blattlaus- als auch zur Thripsbekämpfung kann der Einsatz von Nützlingskombinationen empfohlen werden. Das wichtigste Argument hierfür ist die Verbesserung der Wirkungssicherheit. Faktoren wie Nützlingsqualität, Nützlingslagerung, fachgerechte Ausbringung, klimatische Bedingungen oder auch die oben beschriebenen Einflüsse durch andere Arthropoden und Pathogene können die Effizienz eines Antagonisten erheblich beeinflussen und sind in der Praxis nicht immer optimal. Da die Umweltansprüche von verschiedenen Nützlingsarten jedoch in der Regel unterschiedlich sind, kann durch die gezielte Wahl einer Kombination von Antagonisten, die sich in ihren Ansprüchen ergänzen, die Gefahr eines Totalausfalls in der Bekämpfung reduziert werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass beide Gegenspieler gleichzeitig versagen ist deutlich geringer. Im Hinblick auf die Thripsbekämpfung ist außerdem der Ansatz einer gleichzeitigen Bekämpfung von pflanzen- und bodenbürtigen Entwicklungsstadien als weiteres Argument für den Einsatz einer Nützlingskombination zu sehen.

## 6 Literatur

- Agrawal, A. A., Underwood, N. & Stinchcombe, J. R. 2004. Intraspecific variation in the strength of density dependence in aphid populations. *Ecological Entomology* **29**, 521-526.
- Al-Rawy, M. A., Kaddou, I. K. & Starý, P. 1969. Predation of *Chrysopa carnea* Steph. on mummified aphids and its possible significance in population growth of pea aphid (Homoptera: Aphididae). *Bulletin of Biological Research Centre, Bagdad* **4**, 30-40.
- Altena, K. & Ravensberg, W. J. 1990. Integrated pest management in the Netherlands in sweet peppers from 1985 to 1989. *SROP-WPRS Bulletin* **18**, 10-13.
- Arnó, J., Riudavets, J., Moriones, E., Aramburu, J., Lavina, A. & Gabarra, R. 1995. Monitoring western flower thrips as a Tomato Spotted Wilt Virus vector in tomato. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): *Thrips Biology and Management*, pp. 197-200, Plenum Press, New York.
- Arzone, A., Alma, A. & Rapetti, S. 1989. *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae) nuovo fitomizo delle serre in Italia. *Informatore Fitopatologico* **10**, 43-48.
- Bailey, S. F. 1938. Thrips of Economic Importance in California. Agricultural Experimental Station, Berkeley, California, Circ.
- Baker, A. S. & Craven, J. C. 2003. Checklist of the mites (Arachnida: Acari) associated with bats (Mammalia: Chiroptera) in the British Isles. *Systematic and Applied Acarology Special Publications* **14**, 1-20.
- Bakker, F. M. & Sabelis, M. W. 1987. Attack success of *Amblyseius mckenziei* and the stage related defensive capacity of thrips larvae. *SROP-WPRS Bulletin, Combined Working Groups Integrated Control in Glasshouses EPRS-WPRS: Budapest, Hungary* 26. -30. 4. 1987 **10**, 26-29.
- Bakker, F. M. & Sabelis, M. W. 1989. How larvae of *Thrips tabaci* reduce the attack of phytoseiid predators. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **50**, 47-51.

- Bansod, R. S. & Sarode, S. V. 2000. Influence of different prey species on biology of *Chrysoperla carnea* (Stephens). *Shashpa* **7**, 21-24.
- Bathon, 2003. Nützlingsliste. Online unter: [www.bba.de/inst/bi/nuetzl\\_1.htm](http://www.bba.de/inst/bi/nuetzl_1.htm), [Stand: 12.12.2004].
- Bay, T., Hommes, M. & Plate, H.-P. 1993. Die Florfliege *Chrysoperla carnea* (Stephens). Überblick über Systematik, Verbreitung, Biologie, Zucht und Anwendung. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem*, **288**.
- Bennison, J. A. & Jacobson, R. 1991. Integrated control of *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in UK cucumber crops - evaluation of a controlled release system of introducing *Amblyseius cucumeris*. *Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent* **56**, 251-258.
- Bennison, J. A., Maulden, K. A. & Wardlow, L. R. 1998. Novel strategies for improving biological control of western flower thrips on protected ornamentals - potential new control agents. *British Crop Protection Conference. Pests and Diseases - Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 16-19 November 1998* **1**, 193-198.
- Bennison, J., Maulden, K., Dewhurst, S., Pow, E., Slatter, P. & Wadhams, L. 2002a. Towards the development of a push-pull strategy for improving control of western flower thrips on chrysanthemum. In: Marullo, R. & Mound, L. (eds.) *Thrips and tospoviruses: Proceedings of the 7th International Symposium on Thysanoptera*, pp. 199-206, Reggio Calabria, Italy, Australian National Insect Collection, Canberra.
- Bennison, J., Maulden, K. & Maher, H. 2002b. Choice of predatory mites for biological control of ground-dwelling stages of western flower thrips within a 'push-pull' strategy on pot chrysanthemum. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Protected Crops, Temperate Climate* **25**, 9-12.
- Berg, M. P., Kniese, J. P., Bedaux, J. J. M. & Verhoef, H. A. 1998. Dynamics and stratification of functional groups of micro- and mesoarthropods in the organic layer of a Scots pine forest. *Biology and Fertility of Soils* **26**, 268-284.

- Berndt, O., Meyhöfer, R. & Poehling, H.-M. 2003. Propensity towards cannibalism among *Hypoaspis aculeifer* and *H. miles*, two soil-dwelling predatory mite species. *Experimental and Applied Acarology* **31**, 1-14.
- Berndt, O., Meyhöfer, R. & Poehling, H.-M. 2004a. The edaphic phase in the ontogenesis of *Frankliniella occidentalis* and comparison of *Hypoaspis miles* and *Hypoaspis aculeifer* as predators of soil-dwelling thrips stages. *Biological Control* **30**, 17-24.
- Berndt, O., Poehling, H.-M. & Meyhöfer, R. 2004b. Predation capacity of two predatory laelapid mites on soil-dwelling thrips stages. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **112**, 107-115.
- Bilde, T., Axelsen, J.A. & Toft, S. 2000. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *Journal of Applied Ecology* **37**, 672-683.
- Biobest, 2003. Side effects. Online unter: <http://www.biobest.be/>, [Stand: 12.12.2004].
- Broadbent, A. B., Les Shipp, M. R., Murphy, G. & Wainman, L. 2003. Pupation behaviour of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on potted chrysanthemum. *The Canadian Entomologist* **135**, 741-744.
- Brodeur, J. & Rosenheim, J.A. 2000. Intraguild predation in aphid parasitoids. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **97**, 93-108.
- Brosius, F. 1998. SPSS 8.0: Professionelle Statistik Unter Windows. 1. Auflage, MITP-Verlag GmbH, Bonn.
- Brødsgaard, H. F. 1989. Coloured sticky traps for *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera, Thripidae) in glasshouses. *Journal of Applied Entomology* **107**, 136-140.
- Brødsgaard, H. F. 1993. Colored sticky traps for thrips (Thysanoptera: Thripidae) monitoring on glasshouse cucumbers. *IOBC/WPRS Bulletin* **16**, 19-22.
- Brødsgaard, H. F. & Enkegaard, A. 1995. Interactions among polyphagous anthocorid bugs used for thrips control and other beneficials in multi-species biological pest management systems. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Universiteit Gent* **60**, 893-900.

- Brødsgaard, H. F., Sardar, M. A. & Enkegaard, A. 1996. Prey preference of *Hypoaspis miles* (Berlese) (Acarina: Hypoaspidae): Non-interference with other beneficials in glasshouse crops. *IOBC/WPRS Bulletin* **19**, 23-26.
- Butler, G. D. & May, C. J. 1971. Laboratory studies on the searching capacity of larvae of *Chrysopa carnea* for eggs of *Heliothis* spp. *Journal of Economic Entomology* **64**, 1459-1461.
- Bünger, I., Liebig, H.-P. & Zebitz, C. P. W. 1999. Befall von Gewächshausgurken durch verschiedene Blattlausarten und ihre biologische Bekämpfung. *Gesunde Pflanzen* **51**, 75-80.
- Canard, M. & Duelli, P. 1984. Predatory behaviour of larvae and cannibalism. In: Canard, M., Semeria, Y. & New, T. R. (eds.) *Biology of Chrysopidae*, Dr. W. Junk N.V., Boston, Massachusetts, USA.
- Chambers, R. J., Wright, E. M. & Lind, R. J. 1993. Biological control of glasshouse sciarid flies (*Bradysia* spp.) with the predatory mite, *Hypoaspis miles*, on cyclamen and poinsettia. *Biocontrol Science and Technology* **3**, 285-293.
- Chang, G. C. 1996. Comparison of single versus multiple species of generalist predators for biological control. *Biological Control* **25**, 207-212.
- Colfer, R. G. & Rosenheim, J. A. 1995. Intraguild predation by coccinellid beetles on an aphid parasitoid, *Lysiphlebus testaceipes*. *Proceedings of Beltwide Cotton Conference* **2**, 1033-1036.
- Colfer, R. G. & Rosenheim, J. A. 2001. Predation on immature parasitoids and its impact on aphid suppression. *Oecologia* **126**, 292-304.
- Collier, T. & van Steenwyk, R. 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control* **31**, 245-256.
- Conijn, C. G. M., Wright, E. M. & Lind, R. J. 1993. Biological control of the bulb mite *Rhizoglyphus robini* by the predatory mite *Hypoaspis aculeifer* on lilies: implementation in practice. *Acta Horticulturae* **430**, 619-624.

- de Courcy Williams, M. E. 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 Science and Technology* **11**, 41-55.
- Crossley Jr., D. A., Mueller, B. R. & Perdue, J. C. 1992. Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **40**, 37-46.
- Deligeorgidis, P. N., Athanassiou, C. G. & Kavallieratos, N. G. 2002. Seasonal abundance, spatial distribution and sampling indices of thrip populations on cotton; a 4-year survey from central Greece. *Journal of Applied Entomology* **126**, 343-348.
- Deligeorgidis, P. N. & Ipsilandis, C. G. 2004. Determination of soil depth inhabited by *Frankliniella occidentalis* (Pergande) and *Thrips tabaci* Lindeman (Thysan., Thripidae) under greenhouse cultivation. *Journal of Applied Entomology* **128**, 108-111.
- Denoth, M., Frid, L. & Myers, J. H. 2002. Multiple agents in biological control: improving the odds?. *Biological Control* **24**, 20-30.
- Dinter, A. 2002. Microcosm studies on intraguild predation between female erigonid spiders and lacewing larvae influence of single versus multiple predators on cereal aphids. *Journal of Applied Entomology* **126**, 249-257.
- Dubnik, H. 1991. Blattläuse: Artenbestimmung, Biologie, Bekämpfung. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer.
- van Emden, H. F. 1972. Aphids as phytochemists. In: J. B. Harborne, J. B. (ed): *Phytochemical Ecology*, pp. 25-43, Academic Press, London.
- van Emden, H. F., Eastop, V. F., Hughes, R. D. & Way, M. J. 1969. The ecology of *Myzus persicae*. *Annual Review of Entomology* **14**, 197-270.
- Engelmann, H.-D. 1978. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia* **18**, 378-380.

- Erbilgin, N., Dahlsten, D. L. & Chen, P. 2004. Intraguild interactions between generalist predators and an introduced parasitoid of *Glycaspis brimblecombei* (Homoptera: Psylloidea). *Biological Control* **31**, 329-337.
- Ferguson, K. I. & Stiling, P. 1996. Non-additive effects of multiple natural enemies on aphid populations. *Oecologia* **108**, 375-379.
- Ferguson, S. H. 2001. Changes in trophic abundance of soil arthropods along a grass-shrub-forest gradient. *Canadian Journal of Zoology* **79**, 457-464.
- Ferguson, S. H. & Joly, D. O. 2002. Dynamics of springtail and mite populations: the role of density dependence, predation, and weather. *Ecological Entomology* **27**, 565-573.
- Fernández, C. & Nentwig, W. 1997. Quality control of the parasitoid *Aphidius colemani* (Hym., Aphidiidae) used for biological control in greenhouses. *Journal of Applied Entomology* **121**, 447-456.
- Fox, C. A., Fonseca, E. J. A., Miller, J. J. & Tomlin, A. D. 1999. The influence of row position and selected soil attributes on Acarina and Collembola in no-till and conventional continuous corn on a clay loam soil. *Applied Soil Ecology* **13**, 1-8.
- Gillespie, D. R. 1989. Biological control of thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber by *Amblyseius cucumeris*. *Entomophaga* **34**, 185-192.
- Gillespie, D. R. & Quiring, D. M. J. 1990. Biological control of fungus gnats, *Bradysia* spp. (Diptera: Sciaridae), and western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae), in greenhouses using a soil-dwelling predator mite, *Geolaelaps* sp. nr. *aculeifer* (Canestrini) (Acari: Laelapidae). *The Canadian Entomologist* **122**, 975-983.
- Gillespie, D. R. & Vernon, R. S. 1990. Trap catch of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) as affected by color and height of sticky traps in mature greenhouse cucumber crops. *Journal of Economic Entomology* **83**, 971-975.

- Gillespie, D. R. & Quiring, D. J. M. 1992. Competition between *Orius tristicolor* (White) (Hemiptera: Anthocoridae) and *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) (Acari: Phytoseiidae), feeding on *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thysanoptera: Thripidae). *The Canadian Entomologist* **124**, 1123-1128.
- Glockemann, B. 1992. Biological control of *Frankliniella occidentalis* on ornamental plants using predatory mites. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* **22**, 397-404.
- Goh, H. G., Kim, J.-H. & Han, M. W. 2001. Application of *Aphidius colemani* Viereck for control of the aphid in greenhouse. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **4**, 171-174.
- Grasswitz, T. R. 1998. Effect of adult experience on the host-location behavior of the aphid parasitoid *Aphidius colemani* Viereck (Hymenoptera: Aphidiidae). *Biological Control* **12**, 177-181.
- Grasswitz, T. R. & Reese, D. 1998. Biology and host selection behaviour of the aphid hyperparasitoid *Alloxysta victrix* in association with the primary parasitoid *Aphidius colemani* and the host aphid *Myzus persicae*. *Biocontrol* **43**, 261-271.
- Gravesen, E. & Toft, S. 1987. Grass fields as reservoirs for polyphagous predators (Arthropoda) of aphids (Homopt., Aphididae). *Journal of Applied Entomology* **104**, 461-473.
- Guldmond, J. A., van den Brink, W. J. & den Belder, E. 1998. Methods of assessing population increase in aphids and the effect of growth stage of the host plant on population growth rates. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **86**, 173.
- Hamers, T. & Krogh, P. H. 1997. Predator-prey relationship in a two-species toxicity test system. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **37**, 203-212.
- Harris, K. M. 1973. Aphidophagous Cecidomyiidae (Diptera): taxonomy, biology and assessments of field populations. *Bulletin of Entomological Research* **63**, 305-325.

- Hassan, S. A. 1977. Untersuchungen zur Verwendung des Prädators *Chrysopa carnea* Steph. (Neuroptera, Chrysopidae) zur Bekämpfung der Grünen Pfirsichblattlaus *Myzus persicae* (Sulzer) an Paprika im Gewächshaus. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **82**, 234-239.
- Heimpel, G. E., Rosenheim, J. A. & Mangel, M. 1997. Predation on adult *Aphytis* parasitoids in the field. *Oecologia* **110**, 346-352.
- Heinz, K. M. 1998. Dispersal and dispersion of aphids (Homoptera: Aphididae) and selected natural enemies in spatially subdivided greenhouse environments. *Environmental Entomology* **27**, 1029-1038.
- Heinz, K. M. & Nelson, J. M. 1996. Interspecific interactions among natural enemies of *Bemisia* in an inundative biological control program. *Biological Control* **6**, 384-393.
- Heinz, K. M., Thompson, S. P. & Krauter, P. C. 1999. Development of biological control methods for use in southwestern U.S. greenhouses and nurseries. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Glasshouses* **22**, 101-104.
- Higgins, C. J. 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) in greenhouses: Population dynamics, distribution on plants, and associations with predators. *Journal of Economic Entomology* **85**, 1891-1903.
- Hindayana, D. 2001. Resource exploitation by *Episyrphus Balteatus* DeGeer (Diptera: Syrphidae) and intraguild predation. Dissertation, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Universität Hannover.
- Hoddle, M. S., Robinson, L. & Morgan, D. 2002. Attraction of thrips (Thysanoptera: Thripidae and Aeolothripidae) to colored sticky cards in a California avocado orchard. *Crop Protection* **21**, 383-388.
- Hodgson, C. 1991. Dispersal of apterous aphids (Homoptera: Aphididae) from their host plant and its significance. *Bulletin of Entomological Research* **81**, 417-427.
- Hoelmer, K. A., Osborne, L. S. & Yokomi, R. K. 1993. Interactions of the whitefly predator *Delphastus pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae) and parasitized sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* **23**, 136-139.

- Hofsvang, T. & Hagvar, E. B. 1975. Fecundity and oviposition period of *Aphidius platensis* Brethes (Hym., Aphidiidae) parasitizing *Myzus persicae* Sulz. (Hom., Aphididae). *Norwegian Journal of Entomology* **24**, 1-6.
- Hofsvang, T. & Hagvar E. B. 1982. Comparison between the parasitoid *Ephedrus cerasicola* Stary and the predator *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) in the control of *Myzus persicae* (Sulzer). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **94**, 412-419.
- van Houten, Y. M. 1996. Biological control of western flower thrips on cucumber using the predatory mites *Amblyseius cucumeris* and *A. limonicus*. *IOBC/WPRS Bulletin* **19**, 59-62.
- van Houten, Y. M. & van Stratum, P. 1993. Biological control of western flower thrips in greenhouse sweet pepper using non-diapausing predatory mites. *Proceedings of the Section Experimental & Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society (N. E. V.), Amsterdam* **4**, 229-234.
- van Houten, Y. M. & van Lier, T. 1996. Effect of temperature and humidity on survival of the thrips predators *Amblyseius cucumeris* and *A. limonicus* in a cucumber crop. *Proceedings of the Section Experimental & Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society (N. E. V.), Amsterdam* **7**, 95-99.
- Hull, R. 1964. Some observations of *Acyrtosiphon pisum* (Harris) and *Aphis fabae* Scop. colonizing sweet peas. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **7**, 195-204.
- Hyatt, K. H. 1980. Mites of the subfamily Parasitinae (Mesostigmata: Parasitidae) in the British Isles. *Trustees of the British Museum (Natural History), Zoology series* **38**, 237-378.
- Immaraju, J. A., Paine, J. A., Bethke, K. L., Robb, K. L. & Newman, J. P. 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouses. *Journal of Economic Entomology* **85**, 9-14.
- Jacobson, R. J. 1995. Integrated pest management in cucumbers - prevention of establishment of *Frankliniella occidentalis* (Pergande). *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Universiteit Gent* **60**, 857-863.

- Jacobson, R. J. 1997. Integrated pest management (IPM) in glasshouses. In: Lewis, T. (ed.): *Thrips As Crop Pests*, pp. 639-666, CAB International, Wallingford, UK.
- Jacobson, R. J., Croft, P. & Fenlon, J. 2001. Suppressing establishment of *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) in cucumber crops by prophylactic release of *Amblyseius cucumeris* Oudemans (Acarina: Phytoseiidae). *Biocontrol Science and Technology* **11**, 27-34.
- Janssen, A., Pallini, A., Venzon, M. & Sabelis, M. W. 1998. Review: Behaviour and indirect interactions in food webs of plant-inhabiting arthropods. *Experimental and Applied Acarology* **22**, 497-521.
- Jarošík, V., Honek, A., Lapchin, L. & Rabasse, J. M. 1996. An assessment of time varying rate of increase of the green peach aphid *Myzus persicae*: Its importance in IPM of commercial greenhouse peppers. *Ochrana rostlin* **32**, 269-276.
- Kareiva, P. 1985. Patchiness, dispersal and species interactions: consequences for communities of herbivorous insects. In: Diamond, J. & Case, T. (eds.): *Community Ecology*, pp. 192-206, Harper and Row, New York.
- Karg, W. 1961. Ökologische Untersuchungen von edaphischen Gamasiden (Acarina, Parasitiformes). *Pedobiologia* **1**, 77-98.
- Karg, W. 1988. Eine neue Raubmilbenart der Gattung *Proctolaelaps* Berlese, 1923 (Acarina, Parasitiformes) am Großen Obstbaumsplintkäfer (*Scolytus (Eccoptogaster) mali* Bechst.). *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz, Berlin* **6**, 515-517.
- Karg, W. 1993. Acari (Acarina), Milben, Parasitiformes (Anactinochaeta), Cohors Gamasina Leach, Raubmilben, 2. Auflage, Gustav Fischer, Jena.
- Karg, W. 1994. Raubmilben, Nützliche Regulatoren im Naturhaushalt: Lebensweise, Artenbestimmung und Nutzung. Westarp-Wissenschaften, Magdeburg.
- Karg, W. & Rodriguez, N. 1984. Zwei neue Raubmilbenarten der Gattung *Proctolaelaps* Berlese, 1923 (Acarina, Gamasina) aus der Republik Kuba. *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz, Berlin* **20**, 357-359.

- Katz Biotech Services, 2002. Angebotsliste 2002 für den Erwerbsgartenbau. Katz Biotech Services, Welzheim.
- Kennedy, J. S., Ibbotson, A. & Booth, C. O. 1950. The distribution of aphid infestation in relation to leaf age. I. *Myzus persicae* (Sulz.) and *Aphis fabae* (Scop.) on spindle trees and sugar beet plants *Annals of Applied Biology* **37**, 651-679.
- Kevan, D. K. M. & Sharma, G. D. 1964. Observations on the biology of *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini, 1884), apparently new to North America (Acarina: Mesostigmata: Laelapidae). *Acarologia* **7**, 647-658.
- Kidd, N. A. C. 1982. Predator avoidance as a result of aggregation in the grey pine aphid, *Schizolachnus pinetti*. *Journal of Animal Ecology* **51**, 397-412.
- Kiers, E., de Kogel, W. J., Balkema-Boomstra, A. & Mollema, C. 2000. Flower visitation and oviposition behaviour of *Frankliniella occidentalis* (Thysan., Thripidae) on cucumber plants. *Journal of Applied Entomology* **124**, 27-32.
- Kindlmann, P. & Ruzicka, Z. 1992. Possible consequences of a specific interaction between predators and parasites of aphids. *Ecological Modelling* **61**, 253-265.
- Klingebeil, U. 2003. Untersuchung des Fraßverhaltens von *Hypoaspis*-Raubmilben. Diplomarbeit, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Universität Hannover.
- Koehler, H. H. 1999. Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata). *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74**, 395-410.
- de Kogel, W. J., van der Hoek, M. & Mollema, C. 1997. Oviposition preference of western flower thrips for cucumber leaves from different positions along the plant stem. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **82**, 283-288.
- Koppert, 2003. Side effects database. Online unter: <http://www.koppert.nl/e0110.html>, [Stand 05.12.2004].

- Kulp, D., Fortmann, M., Hommes, M. & Plate, H.-P. 1989. Die räuberische Gallmücke *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani) (Diptera: Cecidomyiidae): Ein bedeutender Blattlausprädator; Nachschlagewerk zur Systematik, Verbreitung, Biologie, Zucht und Anwendung. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem*, **250**.
- Landesanstalt für Pflanzenschutz (LFP), 2002. Liste zu unerwünschten Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nützlinge. Online unter: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/-s/k2cvsqxp6d9e93yl2addtgm71lpdnbn/show/1047354\\_1/nbwirkg.pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/-s/k2cvsqxp6d9e93yl2addtgm71lpdnbn/show/1047354_1/nbwirkg.pdf). [Stand: 03.12.2004].
- van Lenteren, J. C. 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection* **19**, 375-384.
- van Lenteren, J. C., Roskam, M. M. & Timmer, R. 1997. Commercial mass production and pricing of organisms for biological control of pests in Europe. *Biological Control* **10**, 143-149.
- van Lenteren, J. C. & Loomans, A. J. M. 1998. Is there a natural enemy good enough for biological control of thrips? *British Crop Protection Conference. Pests and Diseases/British Crop Protection Council* 401-408.
- Lesna, I., Sabelis, M. W., Bolland, H. R. & Conijn, C. G. M. 1995. Candidate natural enemies for control of *Rhizoglyphus robini* Claparède (Acari: Astigmata) in lily bulbs: Exploration in the field and pre-selection in the laboratory. *Experimental and Applied Acarology* **19**, 655-669.
- Lesna, I., Sabelis, M. W. & Conijn, C. 1996. Biological control of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*, by the predator mite, *Hypoaspis aculeifer*, on lilies: predator-prey interactions at various spatial scales. *Journal of Applied Ecology* **33**, 369-376.
- Lewis, T. 1997. Chemical control. In: Lewis, T. (ed.): *Thrips As Crop Pests*, pp. 567-594, CAB International, Wallingford, UK.

- Linnamäki, M., Hulshof, J. & Vänninen, I. 1998. Biology and prospects for enhancing biocontrol of the western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in cut roses. *British Crop Protection Conference. Pests and Diseases- Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 16-19 November 1998* **1**, 187-192.
- Losey, J. E. & Denno, R. F. 1998a. Interspecific variation in the escape responses of aphids: Effect on risk of predation from foliar-foraging and ground-foraging predators. *Oecologia* **115**, 245-252.
- Losey, J. E. & Denno, R. F. 1998b. Positive predator-predator interactions: enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. *Ecology* **79**, 2143-2152.
- Losey, J. E. & Denno, R. F. 1999. Factors facilitating synergistic predation: The central role of synchrony. *Ecological Applications* **9**, 378-386.
- Lucas, E., Coderre, D. & Brodeur, J. 1998. Intraguild predation among aphid predators: characterization and influence of extraguild prey density. *Ecology* **79**, 1084-1092.
- Markkula, M. & Tiittanen, K. 1980. Biological control of pests in glasshouses in Finland. - The situation today and in the future. *SROP-WPRS Bulletin* **3**, 127-134.
- Meyhöfer, R. & Hindayana, D. 2000. Effects of intraguild predation on aphid parasitoid survival. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **97**, 115-122.
- Meyhöfer, R. & Klug, T. 2002. Intraguild predation on the aphid parasitoid *Lysiphlebus fabarum* (Marshall) (Hymenoptera: Aphidiidae): mortality risks and behavioral decisions made under the threats of predation. *Biological Control* **25**, 239-248.
- Meyhöfer, R., Klemty, C. & Wiethoff, J. (unveröff.): Is it possible to optimise biological control with antagonist combinations?
- Meyling, N. V., Brødsgaard, H. F. & Enkegaard, A. 2002. Intraguild predation between the predatory flower bug, *Anthocoris nemorum*, and the aphid parasitoid, *Aphidius colemani*. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Protected Crops, Temperate Climate* **25**, 189-192.

- Michelakis, S. E. & Amri, A. 1997. Integrated control of *Frankliniella occidentalis* in Crete-Greece. *Bulletin-OILB-SROP. Integrated control in protected crops, Mediterranean climate. Proceedings of the meeting at Tenerife, Canary Islands, 3-6. November 1997* **20**, 169-176.
- Mollema, C., Steenhuis, G. & Inggamer, H. 1995. Genotypic effects of cucumber responses to infestation by western flower thrips. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): *Thrips Biology and Management*, pp. 397-401, Plenum Press, New York.
- Mosbacher, G. C. 1964. Über die Nahrungswahl bei *Dactynotus* Raf. II. Der Einfluss des Entwicklungszustandes auf die Wirtseignung bei anfälligen und resistenten Pflanzen. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **54**, 444-457.
- Mulder, S., Hoogerbrugge, H., Altena, K. & Bolckmans, K. 1999. Biological pest control in cucumbers in the Netherlands. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Glasshouses* **22**, 177-180.
- Mühlenberg, M. 1993. *Freilandökologie*. 3. Auflage, UTB 595, Heidelberg.
- Nachman, G. 1981. Temporal and spatial dynamics of an acarine predator-prey system. *Journal of Animal Ecology* **50**, 435-451.
- Nachman, G. 2001. Predator-prey interactions in a nonequilibrium context: the metapopulation approach to modeling "hide-and-seek" dynamics in a spatially explicit tri-trophic system. *Oikos* **94**, 72-88.
- Näthke, K. 2001. Wechselwirkungen zwischen dem Parasitoiden *Encarsia formosa* (Hymenoptera, Aphelinidae) und dem Räuber *Chrysoperla carnea* (Neuroptera, Chrysopidae) und Auswirkungen der Nützlingskombination auf die Populationsentwicklung der Weißen Fliege (*Trialeurodes vaporariorum*, Aleyrodidae). Diplomarbeit, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Universität Hannover.
- New, T. R. 1975. The biology of Chrysopidae and Hemerobiidae (Neuroptera) with reference to their usage as biocontrol agents: a review. *Transactions of the Royal Entomological Society of London* **127**, 115-140.

- Parrella, M. P. & Murphy, B. 1996. Western flower thrips: Identification, biology and research on the development of control strategies. *IOBC/WPRS Bulletin* **19**, 115-118.
- Parrella, M. P., Stengaard Hansen, L. & van Lenteren, J. C. 1999. Glasshouse environments. In: Bellows, T. S. & Fisher, T. W. (eds.): *Handbook of Biological Control*, pp. 819-839, Academic Press, New York
- Petitt, F. L., Loader, C. A. & Schon, M. K. 1994. Reduction of nitrogen concentration in the hydroponic solution on population growth rate of the aphids (Homoptera: Aphididae) *Aphis gossypii* on cucumber and *Myzus persicae* on pepper. *Environmental Entomology* **23**, 930-936.
- Polis, G. A., Myers, C. A. & Holt, R. D. 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annual Review of Ecology and Systematics* **20**, 297-330.
- Potts, G. R. & Vickerman, G. P. 1974. Studies on the cereal ecosystem. *Advances in Ecological Research* **8**, 107-197.
- Quentin, U., Hommes, M. & Basedow, T. 1995. Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von Blattläusen (Hom., Aphididae) an Kopfsalat im Unter-glasanbau. *Journal of Applied Entomology* **119**, 227-232.
- Rabasse, J. M. & van Steenis, M. J. 1999. Biological control of aphids. In: Albajes, R., Gullino, M. L., van Lenteren, J. C. & Elad, Y. (eds.): *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops*, pp. 2356-243, Kluwer Publisher, Dordrecht.
- Rabasse, J. M. & Wyatt, I. J. 1985. Biology of aphids and their parasites in glasshouses. In: Hussey, N. & Scopes, N. W. (eds.): *Biological Pest Control: the Glasshouse Experience*, pp. 66-73, Cornell University Press, Ithaca, New York.
- Ragusa, S. & Zedan, M. A. 1988. Biology and predation of *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Parasitiformes, Dermanyssidae) on *Rhizoglyphus echinopus* (Fum. & Rob.) (Acariformes, Acaridae). *Redia: giornale di zoologia: Reale stazione di entomologia agraria in Firenze*, **71**, 213-226.

- Ramakers, P. M. J. 1987. Control of spider mites and thrips with phytoseiid predators on sweet pepper. *SROP-WPRS Bulletin, Combined Working Groups Integrated Control in Glasshouses EPRS-WPRS: Budapest, Hungary* 26. -30. 4. 1987 **10**, 158-159.
- Ramakers, P. M. J. 1993. Coexistence of two thrips predators, the anthocorid *Orius insidiosus* and the phytoseiid *Amblyseius cucumeris* on sweet pepper. *IOBC/WPRS Bulletin* **16**, 133-136.
- Ramakers, P. M. J., Dissevelt, M. & Peeters, K. 1989. Large scale introductions of phytoseiid predators to control thrips on cucumber. *Mededelingen Faculteit Landbouwwetenschappen Rijksuniversiteit Gent* **54**, 923-929.
- Ramakers, P. M. J. & van den Meiracker, R. A. F. 1991. Biological control of western flower thrips with predatory mites and pirate bugs: can two do better than one? *Annual Report 1991, DLO Research Institute for Plant Protection (IPO-DLO), Wageningen* 9-21.
- Raut, S. K. & Bhattacharya, S. S. 1999. Pests and diseases of betelvine (*Piper betle*) and their natural enemies in India. *Experimental and Applied Acarology* **23**, 319-325.
- Raymond, B., Darby, A. C. & Douglas, A. E. 2000. Intraguild predators and the spatial distribution of a parasitoid. *Oecologia* **124**, 367-372.
- Riudavets, J. 1995. Predators of *Frankliniella occidentalis* (Perg.) and *Thrips tabaci* Lind.: a review. *Biological Control of Thrips Pest*, pp. 43-87. Wageningen Agricultural University Papers 95-1.
- Robb, K. L., Newman, J., Virzi, J. K. & Parrella, M. P. 1995. Insecticide resistance in western flower thrips. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): *Thrips Biology and Management*, pp. 341-346, Plenum Press, New York.
- Robb, K. L. & Parrella, M. P. 1995. IPM of western flower thrips. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): *Thrips Biology and Management*, pp. 365-370. New York, Plenum Press.
- Rosenheim, J. A. 1998. Higher-order predators and the regulation of insect herbivore populations. *Annual Review of Entomology* **43**, 421-447.

- Rosenheim, J. A., Welter, S. C., Johnson, M. W., Mau, R. F. L. & Gusukuma-Minuto, L. R. 1990. Direct feeding damage on cucumber by mixed-species infestations of *Thrips palmi* and *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Economic Entomology* **83**, 1519-1525.
- Rosenheim, J. A., Kaya, H. K., Ehler, L. E., Marois, J. J. & Jaffee, B. A. 1995. Intraguild predation among biological-control agents: theory and evidence. *Biological Control* **5**, 303-335.
- Rosenheim, J. A., Limburg, D. D. & Colfer, R. G. 1999. Impact of generalist predators on a biological control agent, *Chrysoperla carnea*: Direct observations. *Ecological Applications* **9**, 409-417.
- Röske, H. & Larink, O. 1990. Collembolenfauna auf unterschiedlichen landwirtschaftlich genutzten Flächen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* **19**, 268-275.
- Ruesink, W. G. & Kogan, M. 1994. The quantitative basis of pest management: sampling and measuring. In: Metcalf, R. L. & Luckmann, W. H. (eds.): *Introduction to Insect Pest Management*, pp. 355-391, Wiley, New York.
- Sampson, C. 1998. The commercial development of an *Amblyseius cucumeris* controlled release for the control of *Frankliniella occidentalis* in protected crops. *British Crop Protection Conference. Pests and Diseases/British Crop Protection Council* 409-416.
- Sanchez, J. A., Lacasa, A., Gutierrez, L. & Contreras, J. 1997. Distribution pattern and binomial sampling for *Frankliniella occidentalis* and *Orius* spp. in sweet pepper crops. *Bulletin-OILB-SROP. Integrated control in protected crops, Mediterranean climate. Proceedings of the meeting at Tenerife, Canary Islands, 3-6. November 1997* **20**, 186-195.
- Sardar, M. A. & Murphy, P. W. 1987. Feeding tests of grassland soil-inhabiting gamasine predators. *Acarologia* **28**, 117-121.
- SAS Institute, 1999. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sautter & Stepper, 2002. Preisliste 2002. Sautter & Stepper GmbH, Ammerbuch.

- van Schelt, J. 1993. A fecundity test for the aphid parasite *Aphidius* sp.. In: Nicoli, G., Benuzzi, M. & Leppla, N. C. (eds.): Proceedings 7<sup>th</sup> Workshop of the IOBC Global Working Group "Quality Control of Mass Reared Arthropod". Rimini, Italy, September 13-16, 1993, pp. 191-199.
- van Schelt, J. 1994. The selection and utilisation of parasitoids for aphid control in glasshouses. Proceedings of the Section Experimental & Applied Entomology of the Netherlands Entomological Society (N. E. V.), Amsterdam **5**, 151-157.
- Schmidt, M. E. & Frey, J. E. 1995. Monitoring of western flower thrips *Frankliniella occidentalis* in greenhouses. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen Universiteit Gent* **60**, 847-850.
- Settle, W. H., Ariawan, H., Astuti, E. T., Cahyana, W., Hakim, A. L., Hindayana, D., Lestari, A. S. & Sartanto, P. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* **77**, 1975-1988.
- Shipp, J. L. 1995. Monitoring of western flower thrips on glasshouse and vegetable crops. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): Thrips Biology and Management, pp. 547-555, Plenum Press, New York.
- Shipp, J. L. & Whitefield, G. H. 1991. Functional response of the predatory mite, *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae), on western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae). *Environmental Entomology* **20**, 694-699.
- Shipp, J. L. & Zariffa, N. 1991. Spatial patterns of and sampling methods for western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse sweet pepper. *The Canadian Entomologist* **123**, 989-1000.
- Shipp, J. L., Binns, M. R. & Papadopoulos, A. P. 1996. Economic injury level and impact of western flower thrips on plant productivity of greenhouse sweet pepper. *IOBC/WPRS Bulletin* **19**, 151-154.
- Shipp, J. L., Hao, X., Papadopoulos, A. P. & Binns, M. R. 1998. Impact of western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on growth, photosynthesis and productivity of greenhouse sweet pepper. *Scientia Horticulturae* **72**, 87-102.

- Shipp, J. L., Wang, K. & Binns, M. R. 1999. Economic injury levels for western flower thrips on greenhouse cucumber. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Glasshouses* **22**, 225-228.
- Shipp, J. L., Wang, K. & Binns, M. R. 2000. Economic injury levels for western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber. *Journal of Economic Entomology* **93**, 1732-1740.
- Sih, A., Englund, G. & Wooster, D. 1998. Emergent impacts of multiple predators on prey. *Trends in Ecology and Evolution* **13**, 350-355.
- Singh, N. N. & Kumar, M. 2000. Potentiality of *Chrysoperla carnea* (Stephens) in suppression of mustard aphid population. *Indian Journal of Entomology* **62**, 323-326.
- Southwood, T. R. E. & Henderson, P. A. 2000. *Ecological Methods*. 3. Auflage, Blackwell Science Ltd, Oxford.
- SPSS Inc. 2001. SPSS für Windows 11.0.1, SPSS Inc. 2001.
- Starý, P. 1975. *Aphidius colemani* Viereck: its taxonomy, distribution and host range (Hymenoptera, Aphidiidae). *Acta Entomologica Bohemoslovaca* **72**, 156-163.
- Starý, P. 1993. Alternative host and parasitoid in first method in aphid pest management in glasshouses. *Journal of Applied Entomology* **116**, 187-191.
- van Steenis, M. J. 1993. Intrinsic rate of increase of *Aphidius colemani* Vier. (Hym., Braconidae), a parasitoid of *Aphis gossypii* Glov. (Hom., Aphididae), at different temperatures. *Journal of Applied Entomology* **116**, 192-198.
- van Steenis, M. J. 1995. Evaluation of four species of aphelinid parasitoids for biological control of *Aphis gossypii*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **75**, 151-157.
- Steiner, M. Y. 1990. Determining population characteristics and sampling procedures for the western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) and the predatory mite *Amblyseius cucumeris* (Acari: Phytoseiidae) on greenhouse cucumber. *Environmental Entomology* **19**, 1605-1613.
- Sullivan, D. J. 1987. Insect parasitism. *Annual Review of Entomology* **32**, 49-70.

- Sundby, R. A. 1966. A comparative study of the efficiency of three predatory insects *Coccinella septempunctata* L. (Coleoptera, Coccinellidae), *Chrysopa carnea* St. (Neuroptera, Chrysopidae) and *Syrphus ribesii* L. (Diptera, Syrphidae) at two different temperatures. *Entomophaga* **12**, 475-479.
- Taylor, A. J., Müller, C. B. & Godfray, H. C. J. 1998. Effect of aphid predators on oviposition behavior of aphid parasitoids. *Journal of Insect Behavior* **11**, 297-302.
- Taylor, L. R. 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* **189**, 732-735.
- Taylor, L. R. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology* **29**, 321-357.
- Taylor, R. A. J., Lindquist, R. K. & Shipp, J. L. 1998. Variation and consistency in spatial distribution as measured by Taylor's power law. *Environmental Entomology* **27**, 191-201.
- Teerling, C. R. 1995. Chemical ecology of western flower thrips. In: Parker, B. L., Skinner, M. & Lewis, T. (eds.): *Thrips Biology and Management*, pp. 439-447, Plenum Press, New York.
- Teerling, C. R., Pierce, H. D., Borden, J. H. & Gillespie, D. R. 1993. Identification and bioactivity of alarm pheromone in the western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*. *Journal of Chemical Ecology, New York* **19**, 681-697.
- Tommasini, M. G. & Maini, S. 1995. *Frankliniella occidentalis* and other thrips harmful to vegetable and ornamental crops in Europe. *Biological Control of Thrips Pest.*, pp. 1-42. Wageningen Agricultural University Papers 95-1.
- Toussidou, M., de Courcy Williams, M. E. & Leather, S. R. 1999. Life history parameters of *Aphidius colemani* (Hym.: Aphidiidae) on sweet pepper in different temperature regimes. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Glasshouses* **22**, 255-258.
- Tulisalo, U. & Tuovinen, T. 1975. The green lacewing, *Chrysopa carnea* Steph. (Neuroptera, Chrysopidae) used to control the green peach aphid, *Myzus persicae* Sulz., and the potato aphid, *Macrosiphum euphorbiae* Thomas (Homoptera, Aphididae), on greenhouse peppers. *Annales Entomologici Fennici* **41**, 94-102.

- Tulisalo, U., Tuovinen, T. & Kurpa, S. 1977. Biological control of aphids with *Chrysopa carnea* on parsley and green pepper in the greenhouse. *Annales Entomologici Fennici* **43**, 97-100.
- Usher, M. B. & Davis, P. R. 1983. The biology of *Hypoaspis aculeifer* (Canestrini) (Mesostigmata): Is there a tendency towards social behaviour? *Acarologia* **24**, 243-250.
- Vehrs, S. L. C., Walker, G. P. & Parrella, M. P. 1992. Comparison of population growth rate and within-plant distribution between *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) reared on potted chrysanthemums. *Journal of Economic Entomology* **85**, 799-807.
- van de Veire, M. & Tirry, L. 1998. Integrated pest management in glasshouse sweet peppers in Belgium in 1998. *Parasitica* **54**, 89-94.
- van de Veire, M., Vantornhout, I. & Tirry, L. 1999. Integrated control of the green peach aphid *Myzus persicae* in sweet peppers using the nicotinyl insecticide imidacloprid. *IOBC/WPRS Bulletin, Integrated Control in Glasshouses* **22**, 263-266.
- Vuong, P. T., Kim, J. & Song, Y. 2001. The seasonal occurrence of the two aphid species, *Myzus persicae* and *Aphis gossypii*, and their natural enemies on vegetable crops in Chinju, Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology* **4**, 41-44.
- Walter, D. E. & Proctor H. C. 1998. Feeding behaviour and phylogeny: observations on early derivative Acari. *Experimental and Applied Acarology* **22**, 39-50.
- Walter, D. E. & Proctor, H. C. 1999. Mites: Ecology, Evolution, and Behaviour. CAB International, Wallingford, UK.
- Wang, K. & Shipp, J. L. 2001. Simulation model for population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) on greenhouse cucumber. *Environmental Entomology* **30**, 1073-1081.
- Way, M. J. & Banks, C. J. 1967. Intra-specific mechanisms in relation to the natural regulation of numbers of *Aphis fabae*. *Annals of Applied Biology* **59**, 189-205.

- Way, M. J. & Cammell, M. 1970. Aggregation behavior in relation to food utilization by aphids. In: Watson, A. (ed.): *Animal Populations in Relation to Their Food Resources*, pp. 229-247, Blackwell, Oxford.
- Welter, S. C., Rosenheim, J. A., Johnson, M. W., Mau, R. F. L. & Gusukuma-Minuto, L. R. 1990. Effects of *Thrips palmi* and western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on the yield, growth and carbon allocation pattern in cucumbers. *Journal of Economic Entomology* **83**, 2092-2101.
- Wernke, A. 2002. Wechselwirkungen zwischen dem Parasitoiden *Leptomastix dactylopii* (Hymenoptera, Encyrtidae) und dem Räuber *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera, Coccinellidae) und Auswirkungen der Nützlingskombination auf die Populationsentwicklung der Citrus-Schmierlaus *Pseudococcus citri* (Homoptera, Pseudococcidae). Diplomarbeit, Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Universität Hannover.
- Wheeler, A. G., Hayes, J. T. & Stephens, J. L. 1968. Insect predators of mummified pea aphids. *The Canadian Entomologist* **100**, 221-222.
- Wittmann, E. J. & Leather, S. R. 1997. Compatibility of *Orius laevigatus* Fieber (Hemiptera: Anthocoridae) with *Neoseiulus (Amblyseius) cucumeris* Oudemans (Acari: Phytoseiidae) and *Iphiseius (Amblyseius) degenerans* Berlese (Acari: Phytoseiidae) in the biocontrol of *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae). *Experimental and Applied Acarology* **21**, 523-538.
- Wyatt, I. J. & Brown, S. J. 1977. The influence of light intensity, daylength and temperature on increase rates of four glasshouse aphids. *Journal of Applied Ecology* **14**, 399.
- Ydergaard, S., Enkegaard, A. & Brødsgaard, H. F. 1997. The predatory mite *Hypoaspis miles*: temperature dependent life table characteristics on a diet of sciarid larvae, *Bradysia paupera* and *B. tritici*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **85**, 177-187.
- Yuksel, S. & Gocmen, H. 1992. The effectiveness of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera, Chrysopidae) as a predator on cotton aphid *Aphis gossypii* Glov. (Homoptera, Aphididae). *Proceedings of the Second Turkish National Congress of Entomology*.

- 
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. 4. Auflage, Upper Saddle River, Prentice Hall, NJ.
- Zedan, M. A. A. 1988. Studies on predator-prey interaction between *Hypoaspis aculeifer* Canestrini (Acarina: Laelapidae) and *Rhizoglyphus echinopus* (Fum. & Rob.) (Acarina: Acaridae) under laboratory conditions. *Journal of African Zoology* **102**, 381-387.

## 7 Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz der Universität Hannover unter der Leitung von Prof. Dr. Hans-Michael Poehling angefertigt, dem ich für die Überlassung des Themas und seine Unterstützung herzlich danken möchte.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Dr. Martin Hommes für die bereitwillige Übernahme des Ko-Referats.

Ganz besonders herzlich möchte ich Dr. Rainer Meyhöfer für die hervorragende wissenschaftliche Betreuung und ständige Diskussionsbereitschaft danken. Er hat es auch als Freund verstanden mich immer wieder zu motivieren.

Bei Friedo Nötel möchte ich mich für die Bereitstellung der Versuchsflächen und die praktischen Hilfestellungen bei der Versuchsdurchführung bedanken.

Ich danke Dr. Andrea Ruf und Elke Munderloh von der Universität Bremen für die Bestimmung der Bodenraubmilben. Weiterhin danke ich Stephani Erdmann für die Mithilfe bei der Datenerfassung.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, insbesondere Dirk, Gunda, Maren, Oliver, Thomas und Peter, danke ich für die kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit. Bei den Gärtnern Herrn Seelbinder und Herrn Arndt möchte ich mich für ihre Hilfsbereitschaft bedanken.

Mein Dank gilt auch meiner Familie, deren Hilfe und Unterstützung ich immer gewiss sein konnte.

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung finanziell gefördert.