



Maternale Effekte bei der Raubmilbe  
*Neoseiulus californicus*:  
Einfluss der Mutternahrung auf die  
Nahrungspräferenz der Nachkommen

DIPLOMARBEIT

eingereicht von

Andrea AMBICHL

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur

betreut von

Ao. Univ. Prof. Dr. Peter SCHAUSBERGER

am Institut für Nutzpflanzenwissenschaften  
Abteilung Pflanzenschutz  
Arbeitsgruppe Arthropod ecology and behavior  
an der Universität für Bodenkultur Wien

März 2013

## Danksagung

Mein Dank geht an erster Stelle an meinen Betreuer, Ao. Univ. Prof. Dr. Peter Schausberger, der mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand. Besonders bedanken möchte ich mich für die Beantwortung jeglicher Fragen, für die Unterstützung bei der korrekten, wissenschaftlichen Formulierung und der Hilfestellung in der Statistik.

Auch den Mitarbeitern am Institut für Pflanzenschutz, speziell Mag. Stefan Peneder, möchte ich meinen Dank aussprechen.

Ein großer Dank geht an DI Alexander Kössler, der mich dazu überredet hat meine Diplomarbeit in  $\LaTeX$  zu schreiben und der maßgebend dafür war, wie optisch ansprechend sie heute ist. Danke für jegliche  $\LaTeX$ -Unterstützung, das Korrekturlesen und diverse Problemlösungen!

Mein Dank geht auch an das ECS, das mir in der Formatierungsendphase einen Arbeitsplatz zur Verfügung stellte und mir eine nie versiegende Koffeinquelle zugänglich machte.

Mehr als dankbar bin ich meinen Eltern. Nicht nur für die finanzielle Unterstützung während meines Studiums sondern auch dafür, dass sie meine Felsen in der Brandung sind und mir gezeigt haben, wie wertvoll ein Zuhause ist, in das man jederzeit zurückkehren kann. Danke!

Bedanken möchte ich mich auch bei all den lieben Menschen, die mich während meines Studiums begleiteten und die ich nicht mehr missen möchte.

Vielen Dank an meine KorrekturleserInnen Robert, Bene und Surya!

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Biologischer Pflanzenschutz . . . . .	2
1.2	Raubmilben . . . . .	3
1.3	<i>Neoseiulus californicus</i> (McGregor) . . . . .	6
1.4	<i>Tetranychus urticae</i> Koch (Gemeine Spinnmilbe, Bohnenspinnmilbe) . . . . .	10
1.5	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande (Kalifornischer Blütenthrips) . . . . .	12
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>15</b>
2.1	Vorarbeiten . . . . .	15
2.2	Raubmilbenzucht . . . . .	15
2.3	Spinnmilbenzucht . . . . .	16
2.4	Thripszucht . . . . .	16
2.5	Präexperimentelle Phase . . . . .	19
2.6	Blattarenen . . . . .	21
2.7	Pollen . . . . .	22
2.8	Thripse . . . . .	22
2.9	Spinnmilben . . . . .	22
2.10	Käfige . . . . .	22
2.11	Eigrößenmessung . . . . .	23
2.12	Experiment 1 – Wahl-Versuch . . . . .	24
2.13	Experiment 2 – Nicht-Wahl-Versuch . . . . .	25
2.14	Statistische Analyse . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>27</b>
3.1	Wahl-Versuch . . . . .	27
3.1.1	Erstwahl . . . . .	27
3.1.2	Proportion der Thripse in der Gesamtbeute im Zeitverlauf . . . . .	28

3.1.3	Gesamtprädationsrate . . . . .	30
3.2	Nicht-Wahl-Versuch . . . . .	32
3.2.1	Wahrscheinlichkeit einer Attacke . . . . .	33
3.2.2	Attackzeiten . . . . .	33
3.2.3	Wahrscheinlichkeit das Adultstadium zu erreichen . . . . .	34
3.2.4	Prädationsrate im Zeitverlauf . . . . .	35
3.2.5	Eigrößenmessung . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>39</b>
4.1	Pränatales Lernen bei anderen Tieren als Arthropoden . . . . .	40
4.2	Lernen bei Raubmilben . . . . .	41
4.3	Bedeutung des Lernens für die Biologische Schädlingskontrolle . . . . .	43
4.4	Schlussfolgerungen . . . . .	43
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>45</b>
	<b>Abbildungs- und Quellenverzeichnis</b>	<b>49</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>51</b>
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>52</b>
	<b>Abstract</b>	<b>54</b>
	<b>Curriculum vitae</b>	<b>56</b>

# 1 Einleitung

Man ist, was man isst. Doch nun ist bekannt: Wir sind auch das, was unsere Mütter gegessen haben [Spork, 2009]. Mütterliche Effekte bezeichnen eine Gruppe von phänotypischen Effekten (Summe aller morphologischen, physischen und psychischen Merkmale eines Organismus), die Eltern auf den Phänotyp ihrer Nachkommen haben, die aber nicht mit einer Änderung des Genotyps (Summe aller Gene) der Nachkommen zusammenhängen [Bernardo, 1996]. Zahlreiche Studien zeigen, dass der Phänotyp eines Individuums stark durch die verhaltensbiologischen, physiologischen oder morphologischen Eigenschaften seiner Mutter beeinflusst wird [Mousseau & Fox, 1998].

Ein Beispiel eines mütterlichen Effekts wäre die Wahl des Eiablageplatzes durch einen pflanzenfressenden (herbivoren) Organismus, welche entscheidend für die Fitness der Nachkommen ist. Mehrere Datensätze zeigen, dass Mütter ihre Eier keineswegs wahllos ablegen. Sie wählen den Platz oft nach Pflanzenmorphologie, Pflanzendichte, Eierdichte und Nahrungsqualität auf potentiellen Wirtspflanzen aus. Gleichermaßen gibt es auch bei Pflanzen mütterliche Effekte wie beispielsweise die Samenarchitektur, welche determiniert, wo und wann nach der Samenverbreitung die Samen keimen. Es treten auch zahlreiche mütterliche Effekte erst nach der Eiablage auf, wie etwa das Stillen, die Nahrungsbeschaffung oder die Fellpflege der Jungen durch die Mutter [Wolf & Wade, 2008]. So können mütterliche Effekte auch die Fitness oder den Phänotyp von herbivoren Insekten und Milben beeinflussen. Der bedeutendste Effekt tritt dann auf, wenn die mütterliche Umwelt die Mutter selbst, oder demzufolge die Fähigkeit Eier zu legen oder den Nachwuchs zu pflegen, bestimmt. Typischerweise leidet der Nachwuchs im Falle suboptimaler Lebensbedingungen der Eltern. Auch kann die Ernährung der Eltern bei pflanzenfressenden Insekten substanzielle Effekte auf die spätere Leistung (z.B. auf Fertilität, Reproduktivität) und das Verhalten ihrer Nachkommen haben [McLean et al., 2009].

Einige mütterliche Effekte können auch durch die Nahrungsaufnahme der Mutter während der Produktion der Nachkommen induziert werden. Die Auswirkungen der Mutternahrung auf Lebenszyklusparameter und Fitnesscharakteristika der Nachkommen sind bei Arthropoden (Gliederfüßer) relativ gut untersucht. Nahrungsmangel während der Eiproduktion führt mitunter zu kleineren oder organisch degenerierten Nachkommen [Mousseau & Fox, 1998, Wolf & Wade, 2008]. Positive Effekte auf die Fitness der Nachkommen durch gute Qualität der mütterlichen Nahrung wurden bei anderen Arthropoden nachgewiesen (*Stator limbatus*, „seed beetle“ oder „bean weevil“ [Amarillo-Suarez & Fox, 2006]; *Daphnia pulex*, Gemeiner Wasserfloh [Lynch & Ennis, 1983]; *Caryedon palaestinus* [Or & Ward, 2007]). Als Parameter für die Fitness wurden die Zeit des Eischlupfes, Eiggröße, Entwicklungsrate und -zeit, Körpergröße der Nachkommen [Amarillo-Suarez & Fox, 2006], die Vitalität nach der Geburt und

die Altersraten der Nachkommen [Lynch & Ennis, 1983], sowie die Zahl der Nachkommen und die Körpermasse [Or & Ward, 2007] herangezogen. Unterschiedliche qualitative Diäten wurden beim Moos-Schnellkäfer *Tachyporus hypnorum* analysiert. Es zeigte sich, dass die Diät dieses generalistischen Räubers profunde Effekte auf Eigröße, Zeit und Erfolg des Eischlupfes, Dauer des Larvenschlupfes, Überleben der Larven und darauffolgende Geschlechtsrate der Nachkommen hat [Kyne & Toft, 2006].

Die mütterliche Nahrung kann sich auch auf die Nahrungspräferenz der Nachkommen auswirken, da Mütter ihre Embryos im Ei pränatal (vor der Geburt) oder ihre Nachkommen zum Teil auch postnatal (nach der Geburt) mit Nahrung versorgen. Ein Zögern, nicht vertrautes/unbekanntes Essen zu konsumieren, wird als „Food Neophobia“ oder „Food Conservatism“ bezeichnet und ist in der gesamten Fauna weit verbreitet [Marples & Kelly, 1999]. Pränatale Erfahrungen mit einem bestimmten Geruch können postnatal zu einer Verhaltensänderung gegenüber diesem Geruch, wie beispielsweise zu Diskriminierung, Präferenz oder Orientierung für oder gegen diesen Geruch, führen [Bertin et al., 2010]. Beispielsweise können sich Hasenembryos bestimmte chemische Stoffe, die mit der Mutternahrung im Uterus assoziiert werden, einprägen. Dies kann zu einer Präferenz für diese Stoffe bis ins Erwachsenenalter führen [Bilkó et al., 1994]. Beim Menschen wurde bei Anis-konsumierenden Müttern eine Anis-Präferenz bei deren Kindern festgestellt [Schaal & Orgeur, 1992]. Auch physiologische Daten und Verhaltensweisen des Haushuhns (*Gallus gallus domesticus*) demonstrieren, dass sich die Olfaktion (Geruchswahrnehmung) schon *in ovo* (im Ei) entwickelt und Embryos chemosensorisch lernen können [Bertin et al., 2010]. Pränatale Beeinflussung der Nahrungspräferenz der Nachkommen ist insbesondere für Säugetiere und Vögel gut dokumentiert, wurde aber bisher bei Arthropoden wie Insekten, Spinnen und Milben nicht eindeutig nachgewiesen. Dementsprechend ist über das Lernen im Ei bis dato auch bei Raubmilben, die wichtige natürliche Gegenspieler von pflanzenschädigenden Milben und Insekten sind und weltweit in der Biologischen Schädlingskontrolle in diversen Agro-Ökosystemen eingesetzt werden, nichts bekannt.

Genau mit diesen Phänomenen des pränatalen Lernens beschäftigt sich diese Arbeit. Es sollen maternale Effekte, die über die mütterliche Nahrung und Versorgung des Embryos im Ei vermittelt werden, bei der Raubmilbenart *Neoseiulus californicus* aufgezeigt werden. Da *Neoseiulus californicus* ein breites Beutespektrum hat, versucht diese Arbeit zu klären, inwieweit die Beutewahl der Mutter einen Einfluss auf die Beutepräferenz der Nachkommen hat.

## 1.1 Biologischer Pflanzenschutz

Zur Bekämpfung von Pflanzenschädlingen und Pflanzenkrankheiten werden Alternativen zu chemischen Pflanzenschutzmitteln von Jahr zu Jahr bedeutender. Im Zuge der fortschreitenden Entwicklung in Forschung und Praxis und einem erhöhten Gesundheits- und Umweltbewusstsein von Seiten der Konsumenten und Anwender

gewinnt der Sektor des Biologischen Pflanzenschutzes immer größere Relevanz in der Landwirtschaft.

Biologischer Pflanzenschutz bedeutet im engeren Sinne den Einsatz lebender Organismen zur Kontrolle anderer Organismen [Fortmann, 2000]. Im Biologischen Pflanzenschutz werden daher gezielt natürliche Gegenspieler (Antagonisten) wie etwa Insekten, Milben, Nematoden, Pilze, Bakterien oder Viren zur Kontrolle und Populationsbegrenzung schädlicher Organismen eingesetzt. Bei den natürlichen Gegenspielern unterscheidet man prinzipiell zwischen Parasiten, Parasitoiden (töten im Gegensatz zu Parasiten ihren Wirt), Prädatoren (Räubern) und Krankheitserregern (Bakterien, Pilze oder Viren). Nützlinge, die auf bestimmte Schädlingsarten, zum Teil sogar auf bestimmte Stadien eines Wirts- oder Beutetieres, spezialisiert beziehungsweise angewiesen sind, werden als Spezialisten bezeichnet. Nützlinge mit einem breiten Beute- oder Wirtsspektrum bezeichnet man als Generalisten [Hassan et al., 1983].

Im Folgenden werden die Organismen, mit denen sich diese Arbeit beschäftigt, charakterisiert. Diese sind einerseits die Raubmilben als die eigentlichen Studienobjekte und andererseits Spinnmilben und Thripse als deren Beutetiere.

## 1.2 Raubmilben

Im Biologischen Pflanzenschutz spielen Raubmilben, i.e. Milben mit primär carnivor-er (fleischfressender) Lebensweise, schon seit mehreren Jahrzehnten eine entscheidende Rolle. Wichtige Arten finden sich in den Gattungen *Typhlodromus*, *Phytoseiulus* und *Neoseiulus* (*Amblyseius*) [McMurtry & Croft, 1997]. Raubmilben werden insbesondere im Gemüse- und Zierpflanzenbau unter Glas seit vielen Jahren gegen herbivore Milben, wie zum Beispiel Spinn- und Rostmilben und kleinere herbivore Insekten (Thripse oder Weiße Fliegen), eingesetzt. Im Freiland kommen Raubmilben an Obstbäumen, Weinstöcken und anderen Laubbäumen und Sträuchern natürlich vor und können dort im Zuge der biologischen Kontrolle gefördert und/oder eingesetzt werden [Fortmann, 2000].

Die meisten eingesetzten Raubmilbenarten gehören zur Familie der Phytoseiidae. Einige dieser Phytoseiidae sind Generalisten und können neben Milben und Insekten auch Pollen, Pilze oder Pilzmyzelien fressen. Bei manchen dauert jedoch, bei ausschließlich pflanzlicher Nahrung, die Juvenilentwicklung länger und die Reproduktionsrate ist niedriger als bei Arten mit ausschließlich tierischer Beute. Alternativ gibt es auch Arten innerhalb der Phytoseiidae, die auf eine bestimmte Beuteart oder -gruppe spezialisiert sind. Einige Arten, wie etwa *Phytoseiulus persimilis*, ernähren sich ausschließlich von Spinnmilben [McMurtry & Croft, 1997].

McMurtry und Croft (1997) schlagen für die natürliche/biologische Schädlingskontrolle vier Typen von Phytoseiidae vor, die sich anhand ihres Beutespektrums differenzieren lassen. Man unterscheidet zwischen Spezialisten (Typ I) und selektiven Prädatoren (Typ II), die bevorzugt Spinnmilben fressen und Generalisten (Typ III und IV), die neben Spinnmilben auch von Insekten, Pollen oder Pflanzenausscheidungen

leben können. Weitere mögliche Unterscheidungsmerkmale sind Körpergröße, Prädationsrate sowie Anpassung an bestimmte Blattkonditionen und Blattarchitekturen. *Neoseiulus californicus* zählt zu den selektiven Prädatoren von *Tetranychus*-Arten (Spinnmilben) und kann auch mit Pollen als Nahrungsgrundlage eine erfolgreiche Reproduktion durchführen [McMurtry & Croft, 1997].

Alle vier Typen haben das Potential eine Beutepopulation niederzuhalten. Für die Auswahl ist immer entscheidend, welche Beuteart durch welchen Prädatorentyp kontrolliert werden soll. Spezialisten vom Typ I oder Selektiven Prädatoren von Typ II tendieren dazu sich an Stellen hoher Beutedichte zu aggregieren und sich proportional zur Beutezahl zu vermehren (numerische Reaktion). Nicht-aggregierende Generalisten vom Typ III oder IV suchen weniger zielgerichtet nach Nahrung, attackieren verschiedene Beutearten, aggregieren aber selten in Beutekolonien. Somit kann ein kombinierter Einsatz mehrerer Prädatorentypen ein besseres Bekämpfungsergebnis erzielen als der Einsatz eines Typs alleine [McMurtry & Croft, 1997]. Besonders erwähnenswert sind in diesem Zusammenhang die exzellenten funktionellen und numerischen Reaktionen vieler Raubmilben auf ihre Beutetiere; i.e. sie reagieren sowohl bezüglich der individuellen Konsumationsrate als auch in der Populationsdichte stark auf die Populationsdichte ihrer Beute [Hajek, 2004].

Mit den verschiedenen Prädatorentypen kann man alle drei Hauptstrategien der Biologischen Schädlingskontrolle verfolgen: Konservierung, Vermehrung/Freisetzung und Importieren von Gegenspielern. *Phytoseiulus*-Arten (Typ I), die sich bei einer starken Spinnmilbenpopulation schnell vermehren können, werden bei den „Freisetzung-Strategien“ verwendet, sterben jedoch bei Übernutzung der Beute schnell lokal aus, da sie mit keiner alternativen Nahrung überleben können. *Galendromus occidentalis* (Typ II) spielt in Nordamerika bei der herbivoren Milbenkontrolle auf Apfel, Birne, Mandel und Wein eine wichtige Rolle. Auch *Neoseiulus californicus* zählt zu Typ II und wird bei konservierenden Strategien auf Wein, Apfel und Zitrusgewächsen in Kalifornien, Chile und im Mittelmeerraum eingesetzt. Generalisten vom Typ III können auch bei niedrigen Spinnmilbendichten im Pflanzenbestand bleiben. *Euseius*-Arten von Typ IV sind die weltweit verbreitetsten *Phytoseiidae* auf Zitrusgewächsen, wo sie die Zitrus-Spinnmilbe (*Panonychus citri*) gut in Schach halten. *Euseius*-Arten können sich auch schnell in einem Bestand nach erfolgter Pestizidausbringung, die zum Verschwinden anderer Arten führt, etablieren [McMurtry & Croft, 1997].

## Morphologie

Raubmilben sind, wie auch Insekten, Arthropoden, unterscheiden sich aber von Insekten hauptsächlich durch den Besitz von Cheliceren (Kieferklauen), acht Beinen, einem nicht unterteilten Körper und dem Fehlen von Antennen. Hingegen haben Insekten Mandibeln (spezielle Mundwerkzeuge), sechs Beine, drei Körperteile und ein Antennenpaar [Helle & Sabelis, 1985b].

Raubmilben sind ungefähr so groß wie die herbivoren Spinnmilben, die sie attackieren. Die erwachsenen Tiere sind ca. 0.3 – 0.5 mm groß, ihre Körperform ist

länglich-tropfenförmig, wobei die Körperfarbe je nach Stärke der Sklerotisierung und aufgenommener Nahrung von gelblich-rosa bis rötlich-braun variieren kann; zum Teil erscheinen Raubmilben auch farblos [Thacker, 2002].

Der Raubmilbenkörper ist in zwei Bereiche unterteilt: das Gnathosoma (Kopfbereich) und das Idiosoma (der restliche Körper, an dem die Beine ansetzen). Phytoseiidae haben sowohl auf der Bauch- als auch auf der Rückenseite bis zu 20 Paar Setae (Borstenhaare), die wichtig für die Bestimmung und Unterscheidung der einzelnen Arten sind [Helle & Sabelis, 1985a].

Charakteristisch für diese, zum Teil recht flinken Tiere, sind ihre verhältnismäßig langen Beine, deren erstes Paar eine Tastfunktion zum Auffinden der Beute hat. Die Mundwerkzeuge von Raubmilben sind nach vorne gerichtet, während sie bei herbivoren (pflanzenfressenden) Milben eher nach unten in Richtung Pflanze zeigen. Raubmilben nutzen ihre Mundwerkzeuge um ihre Beute zu ergreifen, anzustechen und injizieren verdauungsfördernde Enzyme um sie danach auszusaugen [Helle & Sabelis, 1985a]. Phytoseiidae besitzen keine Augen und nutzen vorwiegend flüchtige und/oder taktile olfaktorische und/oder mechanosensorische Signalstoffe um ihre Beute zu entdecken [Sabelis & Dicke, 1985].



**Abbildung 1.1:** Raubmilbe *Phytoseiulus persimilis*

[http://www.gaertner-und-florist.at/mmedia/image/2009.02.03/1233673810\\_1.jpg](http://www.gaertner-und-florist.at/mmedia/image/2009.02.03/1233673810_1.jpg)

## Fortpflanzung und Entwicklung

Raubmilben durchlaufen fünf Entwicklungsstadien: Ei, Larve, Protonympe, Deutonympe und Adulttier. Raubmilbeneier sind in Relation zu deren Erzeugern ziemlich groß – ca.  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  der Körpergröße – oval und milchig durchscheinend. Das erste Stadium nach dem Schlupf, die Larve, hat nur sechs Beine und nimmt bei den meisten Arten keinerlei Nahrung zu sich. Die darauffolgenden Protonymphen- und Deutonymphenstadien besitzen hingegen schon acht Beine und benötigen Nahrung um sich weiterentwickeln zu können [Fortmann, 2000]. Larven und Nymphen erreichen das darauffolgende Stadium durch eine Häutung [Helle & Sabelis, 1985b]. Abgesehen von

ihrer geringeren Größe und der geringeren Anzahl an Setae ähneln Protonymphen und Deutonymphen den Adulttieren im Aussehen [Fortmann, 2000].

Die Fortpflanzung von Raubmilben geschieht nur sexuell, unbegattete Weibchen legen keine Eier ab. Das Gewicht und die Nahrungsaufnahme der Weibchen nehmen exponentiell bis zur Eiablage zu. Männchen erreichen ihr höchstes Gewicht bald nach der Häutung zur Deutonymphe [Helle & Sabelis, 1985b]. In kälteren Klimaten durchlaufen Raubmilbenweibchen eine Diapause, in der sie keine Eier ablegen. Diese Diapause wird durch kurze Tageslichtlängen und kühle Temperaturen im Herbst induziert. Männchen und Juveniltiere sterben zu Winterbeginn [Helle & Sabelis, 1985b].

Wie bei allen poikilothermen Tieren sind Vermehrungsrate und Entwicklungsgeschwindigkeit stark von abiotischen Faktoren, wie Temperatur und Feuchte, und biotischen Faktoren, wie der Art und Menge der zur Verfügung stehenden Nahrung (z.B. Populationsdichte der Beutetiere) abhängig. Bei 25 °C beträgt die Eiablage rate je nach Art von weniger als einem Ei pro Tag und Weibchen bis zu fünf Eiern pro Tag und Weibchen. Die Entwicklung vom Ei zum Adulttier dauert bei 25 °C, je nach Art, fünf bis 15 Tage [Hajek, 2004].



**Abbildung 1.2:** Raubmilbenweibchen *Phytoseiulus persimilis* mit Ei  
<http://www.boku.ac.at/ips/en/workgroups/mites.html>

### 1.3 *Neoseiulus californicus* (McGregor)

#### Systematische Stellung und Taxonomie

nach [Krantz & Walter, 2009]

- Unterklasse: Acari (Milben)
- Ordnung: Mesostigmata
- Familie: Phytoseiidae
- Gattung: *Neoseiulus* (*Amblyseius*)
- Art: *Neoseiulus californicus* (McGregor)

*Neoseiulus californicus* weist eine sehr komplexe taxonomische Geschichte auf. Als erstes wurde die Art von McGregor im Jahre 1954 auf Zitronenbäumen in Kalifornien

gefunden und als *Typhlodromus californicus* beschrieben. Später wurde sie der Gattung *Amblyseius* zugeordnet und danach in die Gattungen *Neoseiulus* oder *Cydnodromus* eingegliedert. Der heute meistgebräuchliche Name ist *Neoseiulus californicus*, syn. *N. chilensis* [Rhodes & Liburd, 2009].

## Verbreitung

*Neoseiulus californicus* ist weltweit sowohl in trockenen als auch in feuchten Gebieten des subtropischen und temperierten Klimaraumes vertreten; insbesondere in Südamerika, Texas, Kalifornien, im Mittelmeerraum, Japan und Südafrika. Die Art wird oft auf Zitrusgewächsen, Obstbäumen, Wein, Maniok, Avocado, Getreide, Erdbeere, Gemüse- und Zierpflanzen in Koexistenz mit Spinnmilben angetroffen [Castagnoli & Simoni, 2003]. In Österreich ist diese Art nicht heimisch, da sie die kühlen Winter nicht überdauern könnte.

Die Verbreitung wird unter anderem durch die Beutedichte, Konkurrenz, Temperatur, Luftfeuchte, Pflanzenarten (und deren Konditionen) und aus einem „Bouquet“ verschiedener Infochemicals (Information übertragende chemische Stoffe) bestimmt. Die Ausbreitung findet aktiv, durch Gehen, oder passiv, durch Windverbreitung, statt. Bei der Windverbreitung werden Luftströme ausgenutzt, wobei sich *N. californicus* in eine „flugkompatible“ Stellung begibt, um vom Wind verbreitet zu werden. *N. californicus* kann sich auf einer Pflanze relativ rasch ausbreiten [Castagnoli & Simoni, 2003].

*Neoseiulus californicus* bevorzugt warme Temperaturen (20 – 33°C), kann aber auch Temperaturen unter 10°C für kürzere Zeit tolerieren. Wie bei allen wechselwarmen Tieren ist die Entwicklungsrate temperaturabhängig [Castagnoli & Simoni, 2003]. Auch die Luftfeuchtigkeit ist für das Überleben und die Reproduktion von Phytoseiidae entscheidend – speziell für die nicht-fressenden Stadien Ei und Larve, die kein Wasser über die Nahrung aufnehmen können [Castagnoli & Simoni, 2003]. Generell ist *N. californicus* bezüglich Luftfeuchte aber relativ tolerant und anpassungsfähig (40 – 80 % relative Luftfeuchtigkeit), obwohl sie eher den oberen Bereich, i.e. mehr als 60 %, bevorzugt [Rhodes & Liburd, 2009].



**Abbildung 1.3:** *N. californicus* frisst eine Spinnmilbe

[http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N\\_californicus\\_01.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_californicus_01.htm)

## Morphologie und Lebenszyklus

Wie alle Phytoseiidae durchläuft *N. californicus* auf dem Weg zum Adultstadium vier Entwicklungsstufen: Ei, Larve, Protonympe und Deutonympe. Eine Paarung ist für die Eiablage (Oviposition) essenziell, wobei mehrere Paarungen für eine maximale Oviposition notwendig sind. Ein Weibchen kann höchstens 3-4 Eier pro Tag ablegen [Castagnoli & Simoni, 2003]. Die Eier sind ovoid und in der Form einem Hühnerei ähnlich, ungefähr 0.04 mm groß und fahl weiß. Die daraus schlüpfenden Larven haben nur sechs Beine und sind durchsichtig. Beide Nymphenstadien, die Proto- und Deutonympe, ähneln den Erwachsenen im Aussehen, abgesehen davon, dass sie kleiner und nicht fertil sind und weniger Setae haben. Die adulten Weibchen sind ungefähr 0.3 mm lang und ovalförmig; die Männchen sind etwa halb so groß wie die Weibchen. Sowohl Männchen als auch Weibchen sind durchsichtig und können je nach Nahrung blassorange, pfirsichfarben oder rosa sein [Rhodes & Liburd, 2009].

Der Eischlupf ist von der Temperatur abhängig und kann bei 20 bis 30°C zwischen eineinhalb und mehreren Tagen dauern. Das darauffolgende nicht fressende Larvenstadium dauert zwischen einem halben und einem Tag. Danach folgen das Proto- und Deutonymphenstadium, welche wiederum zwischen einem und drei Tagen währen können. Die Adulttiere leben bis zu 70 Tage. In Summa erstreckt sich die totale Entwicklungszeit vom Ei bis zum Adulttier – abhängig von der Temperatur (20 bis 30°C) – zwischen vier und längstenfalls 12 Tagen [Hajek, 2004].



**Abbildung 1.4:** *N. californicus*-Eier  
[http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N\\_californicus\\_02.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_californicus_02.htm)



**Abbildung 1.5:** Spinnmilbenlarve (rote Hand), drei Spinnmilbeneier und ein *N. californicus*-Männchen  
[http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N\\_californicus\\_03.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_californicus_03.htm)

## Nahrung und ökonomische Bedeutung

Die Raubmilbe *Neoseiulus californicus* zählt zu den Nahrungsgeneralisten. Sie bevorzugt zwar Spinnmilben, insbesondere *T. urticae*, als Nahrung, hat aber auch die Fähigkeit sich von anderen Milben und Insekten (z.B. dem Kalifornischen Blüenthrisp *Frankliniella occidentalis* Pergande) zu ernähren und diese in ihrem Populationswachstum zu begrenzen. Auch mit Pollen als Nahrung ist Überleben und Reproduktion möglich [McMurtry & Croft, 1997]. Bei Verzehr von Spinnmilben entwickelt sich *N. californicus* meist schneller und weist eine höhere Reproduktionsrate auf als bei anderen Beutetieren. Generell steigt die Prädationsrate mit der Beutedichte und der Zeit [Castagnoli & Simoni, 2003].

*Neoseiulus californicus* wird kommerziell gezüchtet, vertrieben und zur Kontrolle von Spinnmilben oder anderen phytophagen (pflanzenfressenden) Milben auf verschiedenen Pflanzen, wie beispielsweise Avocado, Zitrusgewächsen, Hopfen, Wein, Himbeere, Erdbeere, Rose, anderen Zierpflanzen und mehreren Gemüsearten in temperierten und subtropischen Klimaten auf der ganzen Welt, eingesetzt [Zhang, 2003, Rhodes & Liburd, 2009].

Gerne wird *N. californicus* in Kombination mit einer zweiten Raubmilbenart (*Phytoseiulus persimilis*) im Verkauf angeboten. *P. persimilis* ist ein hoch spezialisierter Räuber, der eine Spinnmilbenpopulation schnell unterdrücken kann. Im Gegensatz dazu benötigt *N. californicus* längere Zeit um eine Spinnmilbenpopulation zu reduzieren, bleibt aber auch bei geringem Spinnmilbenangebot im Bestand [Castagnoli & Simoni, 2003].

## 1.4 *Tetranychus urticae* Koch (Gemeine Spinnmilbe, Bohnenspinnmilbe)

### Systematische Stellung

nach [Krantz & Walter, 2009]

Unterklasse:	Acari (Milben)
Ordnung:	Trombidiformes
Familie:	Tetranychidae (Spinnmilben)
Gattung:	<i>Tetranychus</i>
Art:	<i>Tetranychus urticae</i> Koch

### Morphologie

Die Eier von Spinnmilben sind kugelförmig, weiß und nahezu durchsichtig. Mit zunehmendem Alter bekommen sie eine beige-gelbliche Färbung. Die adulten Weibchen sind mit 0,4 mm Länge doppelt so groß wie die Männchen und haben eine Lebensdauer von drei bis fünf Wochen (je nach abiotischen Bedingungen). In dieser Zeit können sie 90 bis 120 Eier ablegen. Die Färbung der Adulttiere reicht von grünlich-gelb bis grün-braun oder orange-gelb bis zinnoberrot. Eine ziegelrote Färbung ist typisch für diapausierende, überwinterte Weibchen. Der englische Name „two-spotted spider mite“ leitet sich von den zwei dunklen Flecken am Hinterleib ab. Außer den Larven haben alle Entwicklungsstadien vier Beinpaare [Zhang, 2003].



**Abbildung 1.6:** Alle Stadien von *T. urticae* (Ei, Larve, Protonympe, Deutonympe und adulte Weibchen)

<http://www.hanf-hanf.at/Hanfschaedlinge-Pilzerkrankungen--23.html>

## Wirtspflanzen

*Tetranychus urticae* ist extrem polyphag, das heißt, dass sie bis dato auf mehr als 1000 Wirtspflanzen gefunden wurde [Migeon & Dorkfeld, 2006-2012]. Unter den Kulturpflanzen Mitteleuropas befällt sie Hopfen, Buschbohne, Ackerbohne, Erbse, Kartoffel, Mais, Zuckerrübe, Tomate, Gurke und viele mehr. Außerdem tritt sie an Obstgehölzen wie Apfel sowie an Weinreben auf [Gerson et al., 2003].

## Schaden

Die Schadsymptome werden durch die Saugtätigkeit der Milben in den äußeren Zellschichten verursacht und äußern sich zunächst in einer Sprenkelung, deren Punkte mit zunehmender Schädigung in weiße Flecken zusammenfließen; die Blätter werden schließlich braun, vertrocknen und fallen ab [Helle & Sabelis, 1985a]. Trockene und warme Witterung begünstigt die Spinnmilbenentwicklung. Verbreitung über weite Distanzen erfolgt passiv durch den Wind. In einer Vegetationsperiode können in unseren Breiten sechs bis sieben (in Ausnahmefällen bis zu neun) Generationen auftreten. Aufgrund ihrer hohen Reproduktionsrate und der raschen Generationenfolge entwickeln Spinnmilben äußerst rasch Resistenzen gegenüber chemischen Pflanzenschutzmitteln. Dies macht die Biologische Schädlingskontrolle mit natürlichen Gegenspielern umso wichtiger [Hajek, 2004].



**Abbildung 1.7:** Erste Schadsymptome durch Spinnmilben  
[http://www.katzbiotechservices.de/info/big\\_images/spinmilbe\\_schaden1.jpg](http://www.katzbiotechservices.de/info/big_images/spinmilbe_schaden1.jpg)



**Abbildung 1.8:** Ausgeprägtes Schadbild  
[http://www.katzbiotechservices.de/info/big\\_images/spinmilbe\\_schaden2.jpg](http://www.katzbiotechservices.de/info/big_images/spinmilbe_schaden2.jpg)



**Abbildung 1.9:** Verschiedene Stadien von *Frankliniella occidentalis*  
<http://www.agrobestgrup.com/ilac.php?dilkod=EN&ilacid=123&kat=flenter>

## 1.5 *Frankliniella occidentalis* Pergande (Kalifornischer Blütenthrips)

### Systematische Stellung

nach [Alford, 1999]

Ordnung:	Thysanoptera (Fransenflügler)
Unterordnung:	Terebrantia
Familie:	Thripidae
Gattung:	<i>Frankliniella</i>
Art:	<i>Frankliniella occidentalis</i> Pergande

### Morphologie

Der *Western Flower Thrips* — wie er im Englischen auch genannt wird — hat eine Körperlänge von 2–3 mm und variiert in der Färbung von hellgelb bis braun. Die männlichen und weiblichen Thripse unterscheiden sich in der Größe, wobei Weibchen größer als Männchen sind und zusätzlich einen Legebohrer aufweisen. Thripse haben reibend-saugende Mundwerkzeuge von asymmetrischer Form (nur eine vollständige Mandibel) sowie Antennen mit acht Gliedern [Mau & Kessing, 1993].

Der Ordnungsname *Thysanoptera* (Fransenflügler) stammt von der Form ihrer Flügel, deren Membranen soweit reduziert sind, dass nur noch Fransen vorhanden sind. Ihr zweiter deutscher Beiname — Blasenfüße — leitet sich von den Blasen an ihren Füßen ab, die ihnen Stabilität auf diversen glatten Oberflächen bieten [Moritz, 2006].

## Fortpflanzung und Entwicklung

Man unterscheidet vier Larven- bzw. Nymphenstadien, von denen zwei aktive Nahrungsaufnahme betreiben. Die beiden anderen (die Präpuppe und Puppe) sind inaktive Nymphenstadien [Moritz, 2006].

Die Fortpflanzung kann sowohl geschlechtlich als auch arrhenotok parthenogenetisch erfolgen. Bei Ersterem legen befruchtete Weibchen Eier, aus denen sich Thripse beiderlei Geschlechts entwickeln. Arrhenotok parthenogenetisch bedeutet, dass aus unbefruchteten Eiern nur männliche, aus befruchteten nur weibliche Thripse schlüpfen [Glockemann, 1994]. Die Eier werden mithilfe eines Legebohrers unter die Blattoberfläche gelegt, wo sie vor Umwelteinflüssen und Fressfeinden geschützt sind [Moritz, 2006].

## Verbreitung und Schadbild

Der Kalifornische Blüenthrrips wurde aus Nordamerika eingeschleppt und 1983 erstmals in Europa beobachtet. Aufgrund seines breiten Wirtspflanzenspektrums und seiner Anpassungsfähigkeit hat er es geschafft sich hier zu etablieren und besonders in Gewächshauskulturen und durch Virusübertragung zu einem ökonomisch äußerst wichtigen Schädling zu werden [Glockemann, 1994]. In Südeuropa ist der Kalifornische Blüenthrrips auch im Freiland weit verbreitet und imstande auf einer Vielzahl von Gemüse- und Zierpflanzen sowie Wildkräutern zu leben [Kahrer & Gross, 2002]. Heutzutage gilt *F. occidentalis* als einer der Hauptschädlinge im Zierpflanzenbau in Europa [Glockemann, 1994].

Der Schaden wird sowohl durch die Saugtätigkeit der Larven und Adulttiere als auch durch die Verletzung der Blattoberfläche bei der Eiablage verursacht. Die jungen Schadstellen zeigen zu Beginn einen silbrigen Glanz, der durch den Einschluss von Luft hervorgerufen wird. Später verkorken diese Stellen und bilden braune Flecken. Die Symptome variieren je nach Wirtspflanze und können sowohl an Früchten als auch an Blatt- und Blütenorganen auftreten.

Eine besondere Bedeutung haben Thripse durch die Übertragung von Plantenviren, wie dem Tomato-Spotted-Wilt-Virus (TSW), erlangt [Mau & Kessing, 1993].



**Abbildung 1.10:** Schadsymptome auf einem Blatt durch Thripsbefall  
<http://www.insekten-schuetzen-pflanzen.de/media/images/thripsschadenblatt2008a-large.jpg>

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Vorarbeiten

Für die geplanten Versuche musste je eine Zucht der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* (siehe Kapitel 2.2) und der beiden Beutearten, der Bohnenspinnmilbe *Tetranychus urticae* (siehe Kapitel 2.3) und des Kalifornischen Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* (siehe Kapitel 2.4), angelegt werden. Da der Kalifornische Blütenthrips nur im ersten Larvenstadium eine geeignete Beute für die Raubmilben darstellt, musste dieses Stadium zu jedem Zeitpunkt des Versuchs in ausreichender Menge vorhanden sein. Bevor die eigentlichen Versuche stattfinden konnten, wurden auch Pilotversuche durchgeführt, die dazu dienten das Hantieren mit Raubmilben, Spinnmilben und Thripsen zu erlernen und zu üben, sowie den experimentellen Aufbau und das experimentelle Protokoll festzulegen.

### 2.2 Raubmilbenzucht

Adulte Weibchen von *Neoseiulus californicus*, die für die Experimente vonnöten waren, wurden nach dem Zufallsprinzip mit einem angefeuchteten Pinsel (Stärke 0) aus der Labor-eigenen Stammzucht entnommen. In einer mit Wasser befüllten Kunststoffschale ( $20 \times 20 \times 6$  cm) lag ein mit Wasser vollgesogener Schwamm ( $\sim 15 \times 15 \times 5$  cm). Dieser Schwamm war auf der Oberfläche mit einer Kunststoffplatte bedeckt, deren Ränder mit feuchten Kosmetiktuchstreifen abschlossen. Diese Kosmetiktuchstreifen dienten als Barriere für flüchtende Raubmilben und verhinderten das Eindringen unerwünschter Tiere. Darüber hinaus fungierten sie auch als Flüssigkeitsspender für die Raubmilben. In der Mitte dieser Kunststoffplatte befand sich ein Stapel von vertrockneten und frischen, mit Spinnmilben besetzten, Buschbohnenblättern. Alle drei bis vier Tage wurden frische, mit Spinnmilben befallene, Blätter auf den Stoß gelegt und die ältesten, vertrockneten Blätter von der Basis des Stoßes entfernt. Die frischen Blätter wurden binnen weniger Stunden von den nach Spinnmilben suchenden, hungrigen Raubmilben besiedelt. Von diesen Blättern konnten mithilfe eines Pinsels beliebig viele Raubmilben entnommen werden.

Die Raubmilbenstammzucht war mehrfach vor Eintritt von Fremdorganismen gesichert. Die Kunststoffschale mit Schwamm befand sich in einem größeren Kunststoffgefäß ( $40 \times 30$  cm), das mit Wasser und Spülmittel gefüllt war um die Oberflächenspannung zu verringern. Somit gab es zwei Wasserbarrieren. Darüber hinaus wurde der Rand der inneren Kunststoffschale mit Raupenleim bestrichen und über diese zusätzlich eine Plexiglashaube gestülpt (Raubmilbenzucht siehe Abbildung 2.1).



**Abbildung 2.1:** Raubmilbenzucht

## 2.3 Spinnmilbenzucht

Um eventuelle Kontaminationen durch Raubmilben zu verhindern, befand sich die Spinnmilbenstammzucht in einem separaten Raum. Dort wurden bei Zimmertemperatur unter Wachstumslampen mehrere Töpfe mit der Buschbohnenorte *Phaseolus vulgaris* var. Taylors Horticultural aufbewahrt. Jede Pflanze war mit Spinnmilben besiedelt, wobei die Stadienzusammensetzung auf den diversen Blattstadien unterschiedlich war. Für die Spinnmilbenbesiedelung wurden Blätter älterer Pflanzen auf junge, noch nicht besiedelte Buschbohnenpflanzen gelegt.

Auf den jüngsten, dreilappigen Blättern legten die befruchteten Weibchen ihre Eier, aus denen in weiterer Folge die jungen Spinnmilben schlüpften. Auf den älteren, herzförmigen Keimblättern lebten generell viel weniger Spinnmilben, wobei hier eher die adulten Männchen und Weibchen verweilten. Auf den dreilappigen Blättern waren ausreichend Spinnmilbenjuvenilstadien vorhanden, die als Beutetiere für die Versuche dienten (Spinnmilbenstammzucht siehe Abbildung 2.2).

## 2.4 Thripszucht

Da Thripse als Beutetiere ein integraler Bestandteil der Versuche waren, gab es auch eine eigene Thrips-Stammzucht. Für diesen Zweck wurde 1%-iger Agar (10g Agar auf 1 Liter destilliertes Wasser) in Kunststoffpetrischalen mit einem Durchmesser von



**Abbildung 2.2:** Spinnmilbenzucht

14 cm gefüllt. Sobald der Agar ausgekühlt war und eine gallertartige Konsistenz angenommen hatte, wurde ein Bohnenblatt (*P. vulgaris* var. Taylors Horticultural) darauf platziert. Dabei wurde das Bohnenblatt mit der Blattoberseite nach unten mit etwas Wasser auf den Agar gedrückt um einen guten Kontakt mit diesem und somit eine möglichst lange Haltbarkeit zu erzielen. Jede Petrischale wurde mit einem Deckel verschlossen, der ein konzentrisches Loch mit 3 cm Durchmesser besaß. Dieses Loch war mit einem feinmaschigen Netz verklebt um sowohl das Flüchten von *F. occidentalis* als auch die Bildung von Kondenswasser zu verhindern. Außerdem wurde dadurch eine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet. Abschließend wurden die Petrischalen samt Deckel seitlich mit Nescofilm® verschlossen (siehe Abbildung 2.3).

Um erste Larvenstadien der Thripse zu generieren, wurde eine sogenannte Stadienzucht angelegt. Mit einem selbst gebauten Absauggerät (Exhaustor) wurden Thripse von den Blatt-Agarplatten abgesaugt und auf neuen Platten freigelassen. Die Adulttiere wurden für 2–3 Tage auf diesen Platten belassen. In dieser Zeit konnten die Weibchen ausreichend Eier in die Blätter ablegen. Nach 2–3 Tagen wurden die Thripse der 2–3 Tage alten und die der ältesten Petrischalen abgesaugt und wieder auf neue Platten übertragen. Diese Transaktionen wurden regelmäßig montags, mittwochs und freitags mit drei Petrischalen wiederholt. Nach zwei Wochen waren die Petrischalen mit den Thrips-befallenen Blättern zu entsorgen. Somit stand zu jedem



**Abbildung 2.3:** Petrischale mit Buschbohnenblatt



**Abbildung 2.4:** Gesamtansicht Exhaustor



**Abbildung 2.5:** Ansaugvorrichtung und Mundstück des Exhaustors

Zeitpunkt eine permanente Thripsquelle von 18 Petrischalen, mit jeweils unterschiedlichen Entwicklungsstadien, zur Verfügung. Für die Versuche waren aber nur die zwei



**Abbildung 2.6:** Thrips-Sammelgefäß des Exhaustors

bis drei Tage alten Thripsschalen von Bedeutung, da zu diesem Zeitpunkt das als Beute geeignete erste Thripsstadium vorhanden war.

Etwaige Populationsschwankungen innerhalb einzelner Petrischalen wurden durch Zugaben aus anderen Petrischalen ausgeglichen. Die Petrischalen befanden sich in einem Klimaschrank (siehe Abbildung 2.7). Die klimatischen Bedingungen in den Schränken waren konstant  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 5\%$  relative Luftfeuchtigkeit und 16 : 8 h (hell : dunkel) Fotoperiode.

## 2.5 Präexperimentelle Phase

Die wichtigste dieser Diplomarbeit zugrunde liegende Frage war, ob Raubmilben schon in der Embryonalphase, respektive im Ei, von ihren Müttern lernen können. Genauer gesagt sollte eruiert werden, ob die von der Mutter bei der Eiproduktion aufgenommene Nahrung das Fraßverhalten und die Nahrungspräferenz der im Ei heranwachsenden Nachkommen beeinflusst. Wird die Protonymphen, das erste fressende post-embryonale Stadium, die gleiche Nahrung wählen wie ihre Mutter oder ist ihr Fraßverhalten, insbesondere jenes gegenüber der alternativen Thripsbeute, und ihre Nahrungspräferenz völlig unbeeinflusst durch die Nahrung der Mutter?

Um eventuelles Erlernen der Nahrungspräferenz im Ei feststellen zu können, wurden zuerst Eier von Müttern benötigt, welche mit einer bestimmten Nahrung ernährt wurden. Dies geschah in der präexperimentellen Phase.

Die Muttertiere wurden mit einer von drei verschiedenen Nahrungsarten gefüttert:

- Spinnmilben
- Thripse
- Pollen

Um sicherzustellen, dass die Eier wirklich mit der von den Müttern aufgenommenen Nahrung entstanden sind, wurden die Mütter für mindestens drei Tage auf einer Blattarena mit einer einzigen der drei Nahrungsarten gefüttert. Ab dem dritten Tag konnten die Eier für den Versuch herangezogen werden. Es waren somit mehrere Weib-



**Abbildung 2.7:** Klimaschrank mit Thripszuchten

chen und Männchen gemeinsam auf einer Blattarena (siehe Kapitel 2.6) mit entweder Thripsen oder Pollen als Nahrung. Die Weibchen, welche Spinnmilben fraßen, wurden aus der Stammzucht entnommen.

Am dritten oder vierten Tag wurden die Weibchen in einen leeren Plexiglaskäfig (siehe Kapitel 2.10) transferiert damit sie in einer bezüglich Nahrung völlig neutralen Umgebung ihre Eier legen konnten. Dies war erforderlich um Nahrungsspuren auf der Außenhaut der Eier zu vermeiden. Hatte ein Weibchen ein Ei in einen Käfig abgelegt, wurde sie wieder auf ihre Blattarena gesetzt. Die so produzierten Eier wurden wiederum in einen neuen, leeren Plexiglaskäfig gegeben um eventuellen Kontakt der schlüpfenden Larven mit vom Weibchen hinterlassenen Duftspuren im ersten Käfig zu vermeiden. Vom Ei bis zum Schlüpfen der Larve dauert es je nach Temperatur ungefähr 1.5–4 Tage. Die Larve nimmt keine Nahrung zu sich und benötigt ca. 0.5–1 Tag bis zur Häutung zum Protonymphenstadium. Die Protonymphen ist das erste Stadium, welches Nahrung aufnimmt und wurde für die Versuche herangezogen.

## 2.6 Blattarenen

Um Weibchen von *N. californicus* mit einer der drei verschiedenen Nahrungsarten — Pollen, Thripse und Spinnmilben — zu versorgen, wurden Blattarenen verwendet.

In einer  $20 \times 20 \times 6$  cm großen Kunststoffschale befand sich ein mit Wasser vollgesogener Schwamm ( $\sim 15 \times 15 \times 5$  cm) und zusätzliches Wasser um das Austrocknen des Schwammes zu verhindern. Auf den Schwamm wurde ein Papierhandtuch gelegt und glatt gestrichen um eine plane Oberfläche zu erzielen. Auf diesem Papierhandtuch wurde ein frisches Buschbohnenblatt mit der Oberseite nach unten platziert und ebenfalls glatt gestrichen. Alle Ränder des Blattes wurden mit einem Kosmetiktuchstreifen abgedeckt. So konnte sowohl das Flüchten der Versuchstiere verhindert als auch eine Flüssigkeitsquelle geschaffen werden (siehe Abbildung 2.8). Jede derartige Blattarena befand sich in einer Kunststoffschale ( $40 \times 30$  cm), die ebenfalls mit Wasser befüllt war. Über die Blattarena wurde eine Plexiglas-Haube gestülpt.

Da die Raubmilbenweibchen ihre Eier bevorzugt in geschützten und behaarten Blattbereichen ablegen, wurden künstlich behaarte Stellen gebaut. Mehrere Wattefäden wurden unter  $1 \times 1$  cm große Deckgläser gelegt, welche *N. californicus* gern als Aufenthalts- und Ovipositionsorte nutzte. Nach einer Woche mussten die Zuchtarenen neu angelegt werden. Jedes Raubmilbenweibchen, dessen Eier später für die Versuche herangezogen werden sollten, befand sich mindestens drei Tage auf einer derartigen Blattarena, sodass die Weibchen physiologisch an diese Nahrungsart angepasst und für die weiteren Experimente geeignet waren.



Abbildung 2.8: Blattarena

## 2.7 Pollen

Ein Pollengemisch stellte eine der drei Nahrungsarten der Raubmilben dar und wurde mit einem Pinsel auf die Blattarenen aufgestreut.

In der Vergangenheit wurden Versuche über die Qualität unterschiedlicher Pollen als Nahrung für *N. californicus* durchgeführt, beispielsweise bei Pollen von Mais [Swirski et al., 1970], Mandel [Swirski et al., 1970] und *Quercus ssp.* (Eiche) [Castagnoli & Liguori, 1991]. Dominika Mendel (2009) führte in ihrer Diplomarbeit diverse Tests mit Pollen von *Malus ssp.* (Apfel), *Prunus domestica* (Zwetschge), *Prunus dulcis* (Mandel), *Prunus avium* (Kirsche), *Zea mays* (Mais) und *Juglans regia* (Walnuss) durch. Die besten Resultate wurden mit einer Mischung bestehend aus Mandel- und Maispollen erzielt, welche auch die Nahrungsgrundlage für die Experimente der vorliegenden Arbeit darstellte [Mendel, 2009].

Aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit unterhalb der Plexiglashaube verklumpte und verschimmelte der Pollen leicht und wurde somit für die Raubmilben unzugänglich. Daher wurde mehrmals (jeden 2. oder 3. Tag) frischer Pollen aufgetragen oder wiederholt eine neue Blattarena mit frischem Pollen angelegt.

## 2.8 Thripse

Thripse waren eine weitere der drei Nahrungsarten. Nachdem Thripse aus den Petrischalen für eine Neubesiedlung anderer Petrischalen abgesaugt wurden (siehe Kapitel 2.4), beließ man einige in dem Exhaustorröhrchen um sie dann auf einer neuen Blattarena freizulassen. Die jüngeren Thripse wurden am Leben gelassen, während die Adulttiere mit einer Nadel angestochen oder zerquetscht wurden, da sie aufgrund ihrer Größe von den Raubmilben nicht mehr attackiert und somit nicht gefressen werden konnten. Jeden Tag wurden erneut Thripse zerquetscht um einerseits den Raubmilben genug Nahrungsgrundlage zu bieten und um andererseits die Blattschädigung zu minimieren.

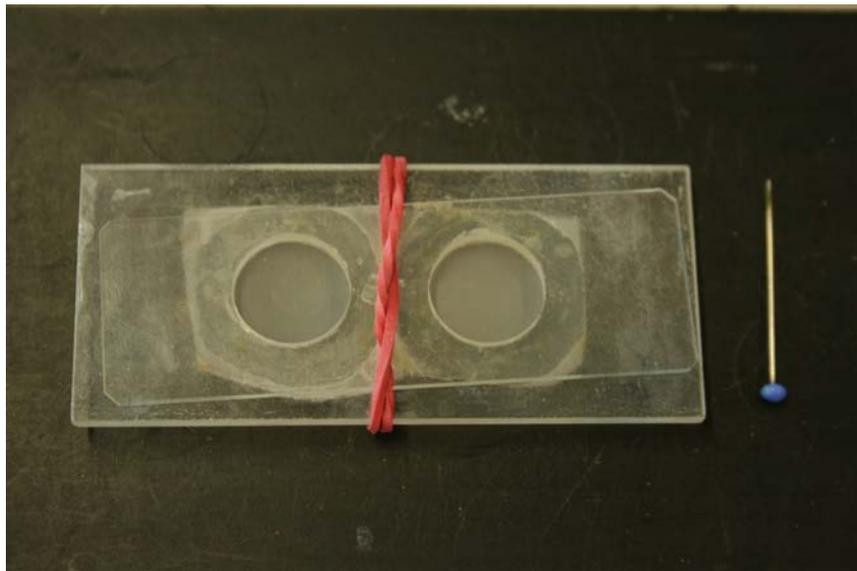
## 2.9 Spinnmilben

Für die dritte Nahrungsart, Spinnmilben, musste keine spezielle Blattarena gebaut werden. Die Weibchen wurden aus der *N. californicus*-Stammzucht entnommen, im Rahmen derer sie ausschließlich von Spinnmilben ernährt werden.

## 2.10 Käfige

Für die Eiablage und die eigentlichen Experimente wurden Plexiglaskäfige verwendet [Schausberger, 1997]. Plexiglasplatten mit den Maßen  $8 \times 3.5 \times 0.5$  cm hatten zwei Löcher mit einem Durchmesser von je einem Zentimeter. Die Unterseiten der Löcher waren mit einem feinmaschigen Netz verschlossen, sodass weder die Milben noch die

Thripse entkommen konnten. Durch das Netz wurde gleichzeitig eine ausreichende Luft- und Feuchtigkeitzufuhr gewährleistet. Auf die Oberseite der Käfige wurde ein Objektträger gelegt, der die beiden Löcher bedeckte. Mit einem Gummiband wurde das Ganze zusammengehalten und verschlossen. Diese geschlossenen Käfige erlaubten das ungehinderte Beobachten und Arbeiten mit solch kleinen Versuchstieren, ohne Gefahr zu laufen, dass diese entkommen konnten (siehe Abbildung 2.9).



**Abbildung 2.9:** Plexiglaskäfig

Für eine einfachere Handhabung wurde nur einer der beiden Käfige auf der Plexiglasplatte verwendet. Je nach Versuchsvariante wurden die Raubmilbeneier, Spinnmilben und/oder Thripse mit einem feuchten Pinsel in die Käfige transferiert. Die Käfige mit den Versuchstieren wurden in Kunststoffgefäßen über einem Wasserbad gelagert (siehe Abbildung 2.10), die in einem Klimaschrank bei  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  aufbewahrt wurden.

## 2.11 Eigrößenmessung

Um allfällige Einflüsse der Mutternahrung auf die Körpergröße der Nachkommen eruieren zu können, wurden die Länge und Breite der Raubmilbeneier jedes Nahrungstyps (Spinnmilben, Thripse und Pollen; jeweils mindestens zehn Wiederholungen) gemessen. Die Eier wurden für die Messung in einen Tropfen Hoyer's-Medium [Krantz & Walter, 2009] auf einem Objektträger eingebettet und mit einem Deckglas bedeckt. Alle Messungen wurden mit einem Durchlichtmikroskop (Nikon Optiphot 2 Trinocular Mikroskop) mit einer Skala in einem Okular durchgeführt. Eine gemessene Einheit



**Abbildung 2.10:** Plexiglaskäfge über Wasserbad

der Eilänge und -breite entsprach 0.0674 mm. Mit folgender Formel konnte das Volumen der Raubmilbeneier, die in der Form einem Sphäroid ähneln, berechnet werden:

$$V = \frac{4}{3} \pi a^2 b$$

(V) bezeichnet das Volumen, (a) die Länge und (b) die Breite des Raubmilbeneis.

## 2.12 Experiment 1 – Wahl-Versuch

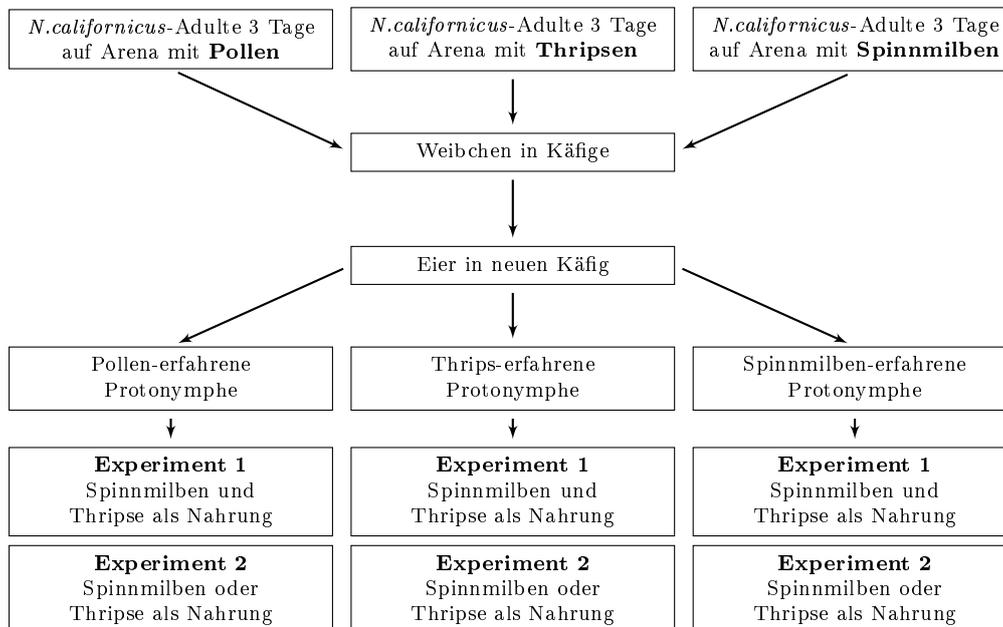
Im ersten Experiment wurden die Protonymphen der mit Spinnmilben, Thripsen oder Pollen gefütterten Mütter einem Wahl-Versuch unterzogen (siehe Abbildung 2.11). Das heißt, dass sie einzeln in einen zuvor mit vier Spinnmilben im Proto- oder Deutonymphenstadium und vier Thripsen im 1. Larvenstadium befüllten Plexiglaskäfge gesperrt wurden.

Drei Parameter wurden erhoben: Erstwahl (erste erfolgreich attackierte Beute), Prädationsrate nach 12 Stunden und Prädationsrate nach 24 Stunden. Für die Erstwahl wurden die Versuchstiere vier Stunden lang im Viertelstundentakt beobachtet; fand innerhalb dieses Zeitraumes keine Erstwahl statt, konnte keine Erstwahl dokumentiert werden.

## 2.13 Experiment 2 – Nicht-Wahl-Versuch

Für das zweite Experiment wurden ebenfalls Protonymphen, die von mit Spinnmilben, Thripsen oder Pollen gefütterten Müttern abstammten, herangezogen. Jede Protonymphe wurde in einen zuvor mit entweder sechs Spinnmilben oder sechs Thripsen als Beute befüllten Käfig gesetzt (Abbildung 2.11).

Beobachtet wurde wieder die Erstwahl (ebenfalls vier Stunden lang, alle 15 Minuten) und die Prädationsrate nach 24, 48 und 72 Stunden. An jedem der drei Beobachtungszeitpunkte (24 h, 48 h und 72 h) wurden die Protonymphen in neue, mit frischer Beute befüllte Käfige transferiert. Nach 72 Stunden hatte ein Großteil der ehemaligen Protonymphen das Adultstadium erreicht und es konnte deren Geschlecht bestimmt werden.



**Abbildung 2.11:** Übersicht des präexperimentellen und experimentellen Ablaufs

## 2.14 Statistische Analyse

Für die statistischen Analysen wurde SPSS 15.0.1 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A) verwendet. Im Wahlversuch wurde für die Berechnung der Erstwahlen (Ja/Nein) eine binär logistische Regression angewandt. Eine Verallgemeinerte Schätzungsgleichung wurde für den Einfluss der Mutternahrung auf den proportionalen Anteil der Thripse in der Gesamtnahrung und für den Einfluss der Mutternahrung auf die Gesamtprädationsrate der Protonymphen nach 3 und 12 Stunden herangezogen (Normalverteilung, identity link; Zeitpunkt als autokorrelierte Innersubjektvariable). Anschließend wurde

der Einfluss der Mutterdiät paarweise mittels „least significant difference tests“ (LSD) verglichen.

Im Nicht-Wahl-Versuch wurde wieder eine binär logistische Regression für die Wahrscheinlichkeit einer Attacke gegen Spinnmilben oder Thripse und für die Wahrscheinlichkeit das Adultstadium zu erreichen, durchgeführt (bei den paarweisen Vergleichen wurden die Protonymphen von Pollen- und Spinnmilben-gefütterten Müttern als Referenzkategorien herangezogen). Für die Ermittlung des Einflusses der Beute und der Mutternahrung auf die Attackzeiten und den Einfluss der Mutternahrung auf die Eivolumina wurde jeweils eine univariate Varianzanalyse herangezogen. Um den Einfluss der Mutterdiät, der Beute und der Zeit auf die Prädationsrate der Protonymphen zu eruieren, wurde eine Verallgemeinerte Schätzungsgleichung gewählt (Normalverteilung, *identity link*; Zeit als autokorrelierte Innersubjektvariable).

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Wahl-Versuch

Im Wahl-Versuch wurden drei Gruppen, welche sich durch die mütterliche Diät unterschieden, miteinander verglichen:

- Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten (P-Ts)
- Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten (P-Fo)
- Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten (P-P)

Jeder Protonymphe wurden gleichzeitig Spinnmilben und Thripse angeboten (Abbildung 2.11).

#### 3.1.1 Erstwahl

Bei der Erstwahl wurde beobachtet, welche Beuteart (Spinnmilben-Ts oder Thripse-Fo) als erstes attackiert und getötet wurde. Es wurde vier Stunden lang in einem 15-minütigen Rhythmus beobachtet. Jene Fälle, bei denen es innerhalb dieser vier Stunden zu keiner Attacke kam, wurden nicht in die Berechnungen miteinbezogen. Bei Wiederholungen, die als „0“ klassifiziert wurden, fand entweder keine Erstwahl im vorgegebenen Zeitrahmen statt oder es wurde sowohl ein toter Thrips als auch eine tote Spinnmilbe vorgefunden und es konnte somit keine eindeutige Erstwahl ermittelt werden.

Da im Zuge der Erstwahl Ja/Nein-Daten ermittelt wurden, kam bei der Analyse eine binär logistische Regression zur Anwendung. Die drei unterschiedlichen Mutterdiäten wirkten sich nicht auf die Erstwahl der Protonymphen aus. In jeder Gruppe wurde meist eine Spinnmilbe als erstes Beutetier gewählt. Auch die Zahl der „Nicht-Attacken“ war bei den drei Gruppen ungefähr gleich hoch.

**Tabelle 3.1:** Anzahl der Erstwahlen von Protonymphen, die von mit Spinnmilben- (P-Ts), Thripsen- (P-Fo) oder Pollen- (P-P) gefütterten Müttern abstammten.

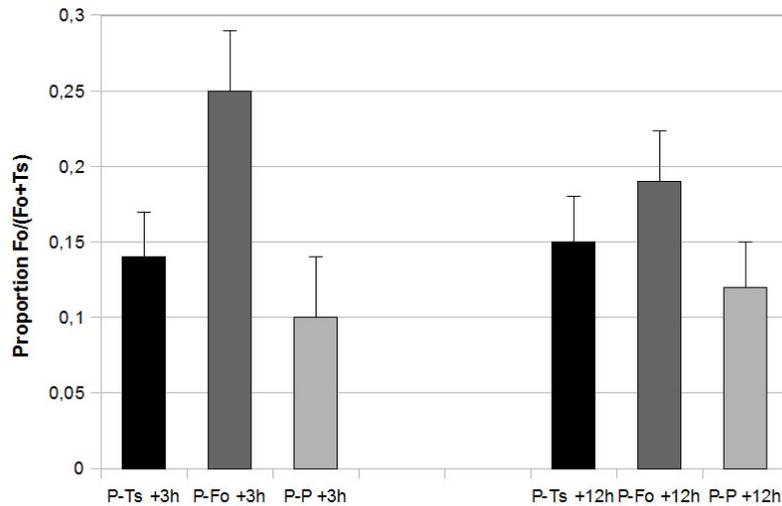
Erste Beute	P-Ts	P-Fo	P-P
Ts	20	20	21
Fo	1	3	2
0	9	9	7

**Tabelle 3.2:** Ergebnis der binär logistischen Regression für die Erstwahl von Protonymphen, die von mit Spinnmilben-, Thripsen- oder Pollen-gefütterten Müttern abstammten.

	Regr.koeff.	Standardf.	Wald	df	Signifikanz	Exp(B)
Mutterdiät	-.049	.574	.007	1	.932	.952
Konstante	-2.419	1.240	3.807	1	.051	.089

### 3.1.2 Proportion der Thripse in der Gesamtbeute im Zeitverlauf

Die Verallgemeinerte Schätzungsgleichung (Tabellen 3.3 und 3.4) zeigte einen Einfluss der Nahrung der Mütter auf die Proportion der Thripse in der gesamt aufgenommenen Beute. Die paarweisen Vergleiche demonstrierten, dass sich die Spinnmilben- und Pollengruppe in Bezug auf die Proportion der Thripse in der Gesamtnahrung nicht unterschieden, die Thrips-Gruppe differenzierte sich hingegen von den beiden anderen Gruppen (Tabellen 3.3 und 3.4, Abbildung 3.1).



**Abbildung 3.1:** Proportion (+ Standardfehler des Mittelwerts) von Thripsen in der Gesamtbeute (Thripse und Spinnmilben) von Protonymphen, die von Müttern abstammten, welche mit Spinnmilben (P-Ts), Thripsen (P-Fo) oder Pollen (P-P) gefüttert worden waren (+ 3 h = nach 3 Stunden, + 12 h = nach 12 Stunden).

**Tabelle 3.3:** Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung für den Einfluss der Mutternahrung (Spinnmilben, Thripse und Pollen) auf den proportionalen Anteil der Thripse (arsinsqrt transformiert) in der Gesamtnahrung nach 3 und nach 12 Stunden. Zeitpunkt wurde als autokorrelierte Innersubjekt-Variable behandelt. Nachdem der Versuch in zwei Serien durchgeführt wurde, wurde Serie als Kovariate verwendet.

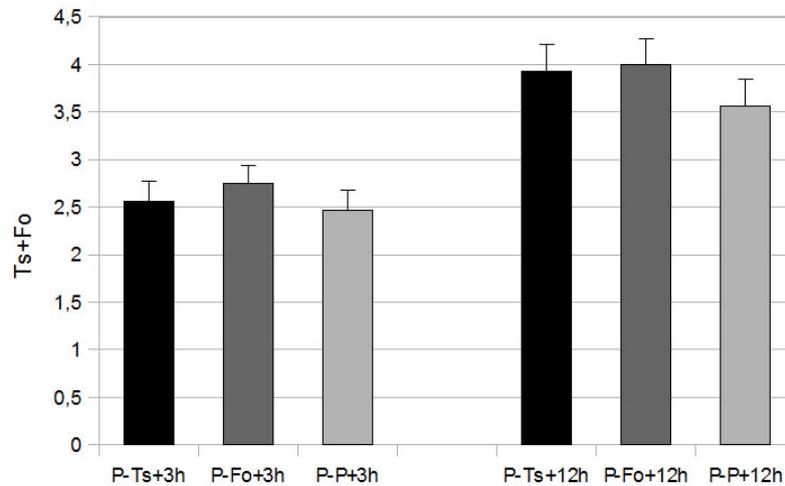
	Wald-Chi-Quadrat	df	Signifikanz
Konstanter Term	34.538	1	.000
Mutterdiät	8.093	2	.017
Mutterdiät × Zeit	7.034	2	.030
Serie	8.900	1	.003
Zeit	.165	1	.684

**Tabelle 3.4:** Ergebnisse der paarweisen Vergleiche (LSD), die im Rahmen der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung durchgeführt wurden.

Mutterdiät	Mutterdiät	Mittl. Diff.	Standardf.	df	Sign.	95% Wald-Konfidenzintervall f. Diff.	95% Wald-Konfidenzintervall f. Diff.
		Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
NC (TS)	NC (FO)	-.1527(a)	.07575	1	.044	-.3012	-.0042
	NC (P)	.0505	.06888	1	.463	-.0845	.1855
NC (FO)	NC (TS)	.1527(a)	.07575	1	.044	.0042	.3012
	NC (P)	.2032(a)	.07264	1	.005	.0609	.3456
NC (P)	NC (TS)	-.0505	.06888	1	.463	-.1855	.0845
	NC (FO)	-.2032(a)	.07264	1	.005	-.3456	-.0609

### 3.1.3 Gesamtprädationsrate

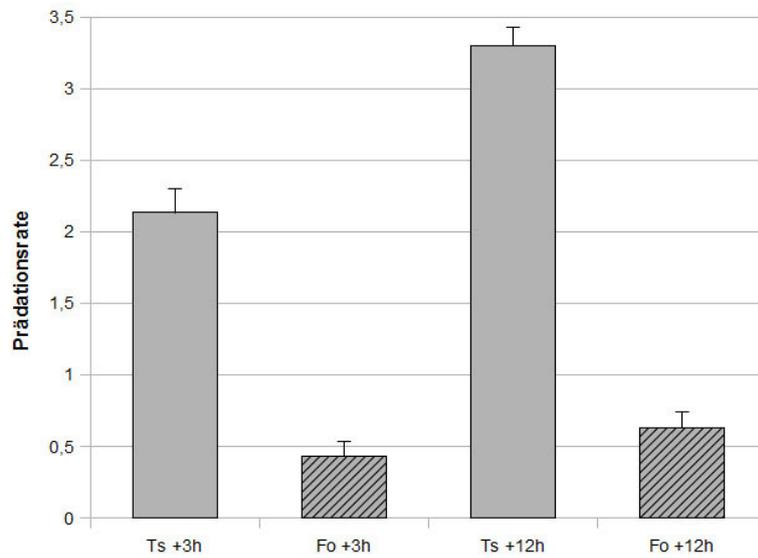
Es zeichnete sich zwischen den Gesamtprädationsraten der drei Gruppen von Protonymphen kein Unterschied ab (Abbildung 3.2, Tabellen 3.5 und 3.6). Wie zu erwarten, wurden in jeder Gruppe Spinnmilben öfter als Thripse attackiert (Abbildungen 3.3 bis 3.5).



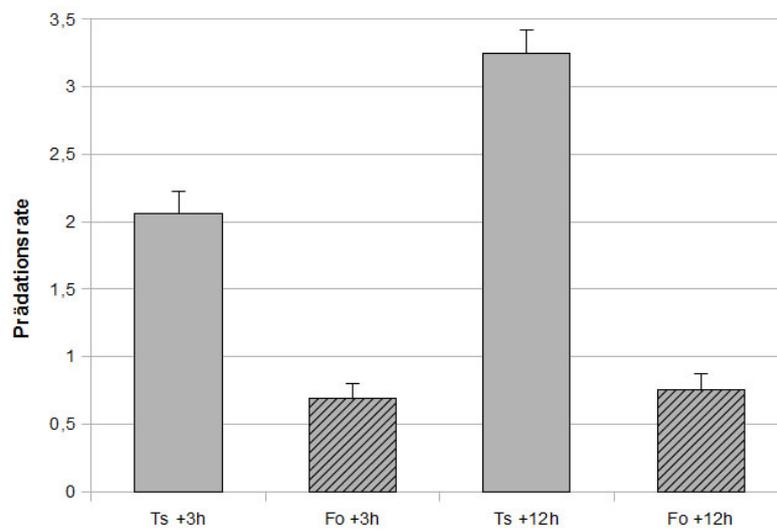
**Abbildung 3.2:** Gesamtprädation (+Standardfehler des Mittelwerts), i.e. die summierte Prädation (Spinnmilben-Ts und Thripse-Fo) pro Protonymphe jeder Gruppe (P-Ts von Spinnmilben-gefütterten Müttern; P-Fo von Thrips-gefütterten Müttern; P-P von Pollen-gefütterten Müttern) nach 3 und 12 Stunden.

**Tabelle 3.5:** Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung für den Einfluss der Mutternahrung (Pollen, Spinnmilben, Thripse) auf die Gesamtprädationsrate (Spinnmilben und Thripse kombiniert) von *N. californicus* nach 3 und nach 12 Stunden. Zeitpunkt wurde als autokorrelierte Innersubjekt-Variable behandelt. Nachdem der Versuch in zwei Serien durchgeführt wurde, wurde Serie als Kovariate verwendet.

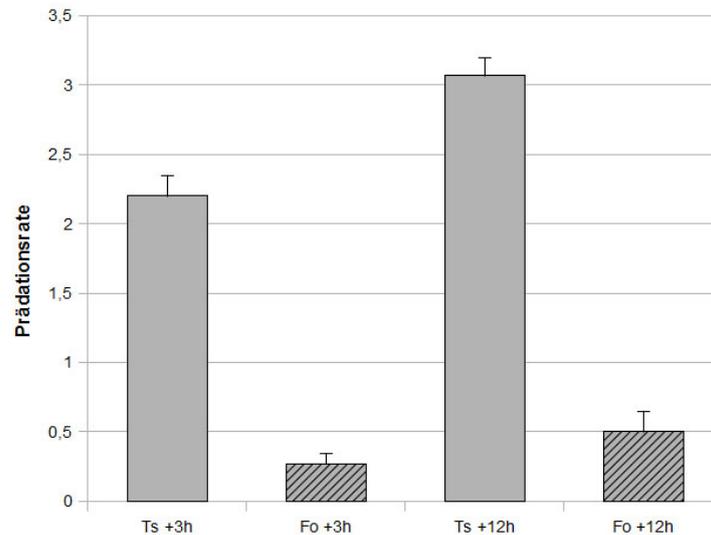
	Wald-Chi-Quadrat	df	Signifikanz
Konstanter Term	158.297	1	.000
Mutterdiät	3.030	2	.220
Mutterdiät × Zeit	1.239	2	.538
Serien	.007	1	.932
Zeit	178.551	1	.000



**Abbildung 3.3:** Prädationsrate (+Standardfehler des Mittelwerts) an Spinnmilben (Ts) und Thripsen (Fo) von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten, nach 3 und 12 Stunden.



**Abbildung 3.4:** Prädationsrate (+Standardfehler des Mittelwerts) an Spinnmilben (Ts) und Thripsen (Fo) von Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten, nach 3 und 12 Stunden.



**Abbildung 3.5:** Prädationsrate (+ Standardfehler des Mittelwerts) an Spinnmilben (Ts) und Thripsen (Fo) von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten, nach 3 und 12 Stunden.

**Tabelle 3.6:** Ergebnisse der paarweisen Vergleiche (LSD), die im Rahmen der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung durchgeführt wurden.

Mutterdiät	Mutterdiät	Mittl. Diff.		df	Sign.	95% Wald-Konfidenzintervall f. Diff.	
		Minimum	Maximum			Minimum	Maximum
NC (TS)	NC (FO)	-.1286	.21313	1	.546	-.5463	.2891
	NC (P)	.2313	.20028	1	.248	-.1612	.6239
NC (FO)	NC (TS)	.1286	.21313	1	.546	-.2891	.5463
	NC (P)	.3599	.21276	1	.091	-.0571	.7769
NC (P)	NC (TS)	-.2313	.20028	1	.248	-.6239	.1612
	NC (FO)	-.3599	.21276	1	.091	-.7769	.0571

### 3.2 Nicht-Wahl-Versuch

Im Nicht-Wahl-Versuch wurden sechs Gruppen von Protonymphen miteinander verglichen, die sich einerseits durch die mütterliche Nahrung und andererseits durch die vorgesezte Beute unterschieden (Abbildung 2.11):

- Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten (P-Ts)
  - Thripse als Nahrung offeriert (P-Ts-Fo)
  - Spinnmilben als Nahrung offeriert (P-Ts-Ts)

- Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten (P-Fo)
  - Thripse als Nahrung offeriert (P-Fo-Fo)
  - Spinnmilben als Nahrung offeriert (P-Fo-Ts)
- Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten (P-P)
  - Thripse als Nahrung offeriert (P-P-Fo)
  - Spinnmilben als Nahrung offeriert (P-P-Ts)

### 3.2.1 Wahrscheinlichkeit einer Attacke

Die mütterliche Diät hatte keinen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Attacke innerhalb der ersten vier Stunden (Tabelle 3.7 und 3.8). Generell wurden Spinnmilben wahrscheinlicher als Thripse attackiert. Die Anzahl der Nicht-Attacken war bei den Thrips-offerierten Protonymphen höher.

**Tabelle 3.7:** Anzahl der Attacken von Protonymphen in den sechs Gruppen, die Spinnmilben oder Thripse innerhalb der ersten vier Stunden attackierten. „0“ bedeutet keine Attacke. P: Protonymphe, 2. Kürzel: Mutterdiät, 3. Kürzel: offerierte Nahrung; *Ts* steht für Spinnmilbe, *Fo* für Thripse.

	P-Ts-Ts	P-Ts-Fo	P-Fo-Ts	P-Fo-Fo	P-P-Ts	P-P-Fo
Ts/Fo	12	7	10	7	11	4
0	0	4	0	5	1	6

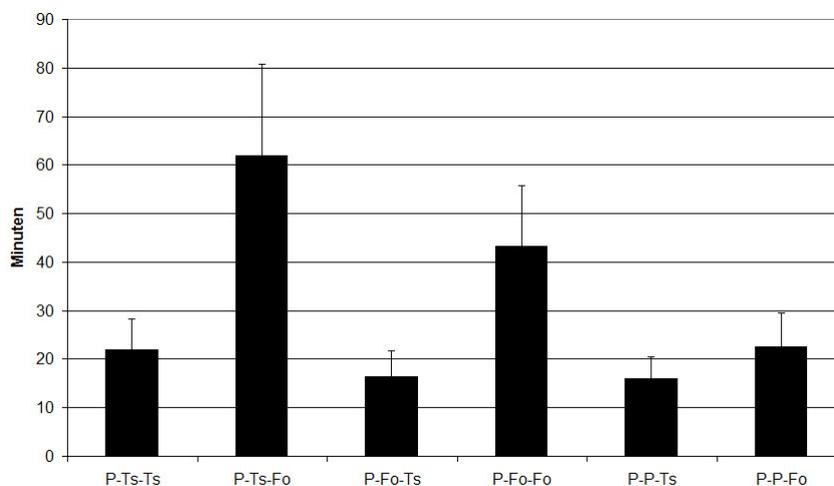
Für den Vergleich der Wahrscheinlichkeit einer Attacke an Thripsen oder Spinnmilben innerhalb der ersten vier Stunden wurde eine binär logistische Regression durchgeführt. Die Einflussfaktoren bildeten die Nahrung der Mutter und die vorgesetzte Beute, wobei lediglich die vorgesetzte Beute einen signifikanten Einfluss hatte (Tabelle 3.8).

**Tabelle 3.8:** Ergebnisse der binär logistischen Regression für die Wahrscheinlichkeit einer Attacke gegen Spinnmilben oder Thripse.

	Regr.koeff. B	Standardf.	Wald	df	Sign.	Exp(B)
Beute	-3.557	1.073	10.987	1	.001	.029
Konstante	7.054	2.060	11.727	1	.001	1157.062

### 3.2.2 Attackzeiten

Für den statistischen Vergleich der Attackzeiten, i.e. wie lang es dauerte bis die erste Beute durch die Protonymphen attackiert wurde, wurde eine univariate Varianzanalyse durchgeführt. Einflussfaktoren waren die vorgesetzte Beute (Thripse oder Spinnmilben) und die Nahrung der Mutter der Protonymphen. Es zeigte sich, dass die Nahrung der Mutter keinen, die Beuteart hingegen sehr wohl einen Einfluss auf die



**Abbildung 3.6:** Attackzeit in Minuten (+Standardfehler des Mittelwerts). P–Protonympe, 2. Kürzel: Mutterdiät, 3. Kürzel: offerierte Nahrung; *Ts* steht für Spinnmilbe, *Fo* für Thripse.

Attackzeiten der Protonymphen hatte (Abbildung 3.6 und Tabelle 3.9). Spinnmilben wurden viel schneller als Thripse attackiert.

**Tabelle 3.9:** Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse über den Einfluss der Beute und der Mutterdiät auf die Attackzeiten der Protonymphen.

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	48133.159(a)	5	9626.632	7.521	.000
Konstanter Term	98108.569	1	98108.569	76.652	.000
Mutterdiät	2196.992	2	1098.496	.858	.431
Beute	38633.903	1	38633.903	30.185	.000
Mutterdiät × Beute	919.931	2	459.966	.359	.700
Fehler	55036.760	43	1279.925		
Gesamt	181730.000	49			
Korrigierte Gesamtvariation	103169.918	48			

### 3.2.3 Wahrscheinlichkeit das Adultstadium zu erreichen

Entsprechend der Mutterdiät und der vorgesetzten Beute wurden sechs verschiedene Gruppen unterschieden. Insgesamt erreichten von 67 beobachteten Milben 47 das Adultstadium, wobei es sich um 27 Weibchen und 20 Männchen handelte (Tabelle 3.10).

Zur Analyse der Wahrscheinlichkeit, dass die Protonymphen mit Thrips- oder Spinnmilben-Beute adult werden, wurde eine binäre logistische Regression durchgeführt. Bei den paarweisen Vergleichen wurden die Protonymphen von Pollen- und Spinnmilben-gefütterten Müttern als Referenzkategorien herangezogen. Beide Ein-

**Tabelle 3.10:** Darstellung des Geschlechterverhältnisses innerhalb der sechs Gruppen:  
P: Protonympe, 2. Kürzel: Mutterdiät, 3. Kürzel: offerierte Nahrung;  
*Ts* = Spinnmilbe, *Fo* = Thrips, *M* steht für Männchen (male), *F* für Weibchen (female). Bei „0“ wurde das Adultstadium nicht erreicht und das Geschlecht der Milbe konnte nicht festgestellt werden.

	P-Ts-Ts	P-Ts-Fo	P-Fo-Ts	P-Fo-Fo	P-P-Ts	P-P-Fo
<b>M</b>	7	1	3	4	4	1
<b>F</b>	4	5	7	4	7	0
<b>0</b>	1	5	0	4	1	9

flussfaktoren, die Beuteart und die mütterliche Nahrung, zeigten einen signifikanten Einfluss (Tabellen 3.11 und 3.12).

Es stellte sich heraus, dass die Protonymphen von Pollen-gefütterten Müttern weniger wahrscheinlich adult wurden als die Protonymphen von Spinnmilben- oder Thrips-gefütterten Müttern. Zwischen den Protonymphen von Spinnmilben- oder Thrips-gefütterten Müttern gab es keinen Unterschied.

**Tabelle 3.11:** Paarweise Vergleiche bei Verwendung von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten, als Referenzkategorie.

	Regressionskoeffizient	Standardf.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Beute	-3.618	.967	14.006	1	.000	.027
Mutterdiät			6.427	2	.040	
Spinnmilben	.802	.832	.928	1	.335	2.229
Thripse	-1.642	.924	3.155	1	.076	.194
Konstante	6.895	1.755	15.427	1	.000	987.290

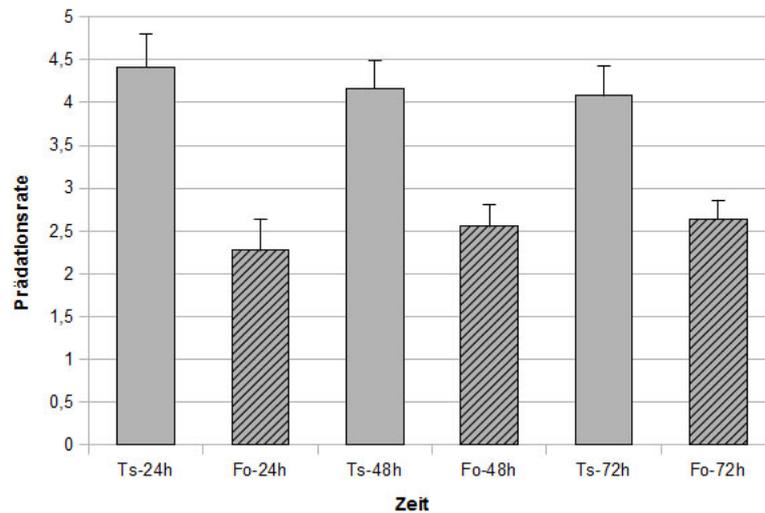
**Tabelle 3.12:** Paarweise Vergleiche bei Verwendung von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten, als Referenzkategorie.

	Regressionskoeffizient	Standardf.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Beute	-3.618	.967	14.006	1	.000	.027
Mutterdiät			6.427	2	.040	
Pollen	1.642	.924	3.155	1	.076	5.166
Thripse	2.444	.970	6.344	1	.012	11.516
Konstante	6.895	1.755	15.427	1	.000	987.290

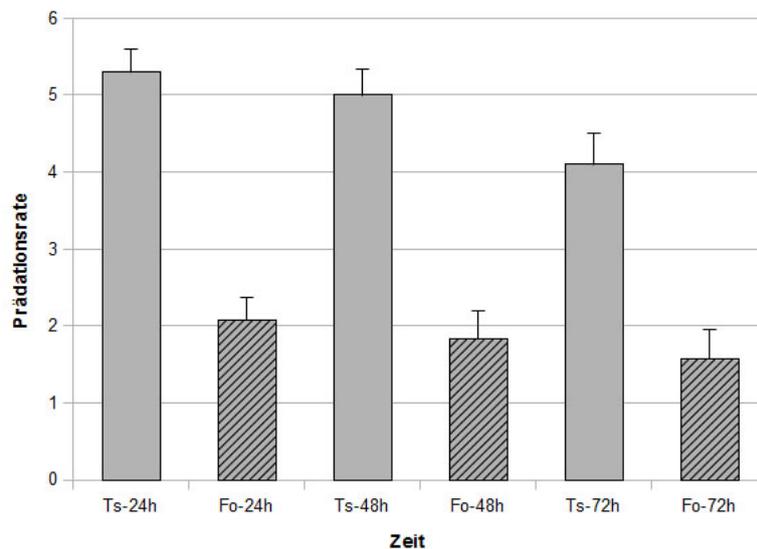
### 3.2.4 Prädationsrate im Zeitverlauf

Auf die Prädationsrate der Protonymphen hatte die Nahrung der Mütter keinen Einfluss, allerdings hatten die Beuteart und die Interaktionen zwischen Mutternahrung und Beute beziehungsweise Mutternahrung und Zeit eine Bedeutung (Abbildungen 3.7 bis 3.9, Tabelle 3.13). Generell wurden mehr Spinnmilben als Thripse gefressen. Die mütterlichen Effekte verringerten sich innerhalb der beobachteten 72

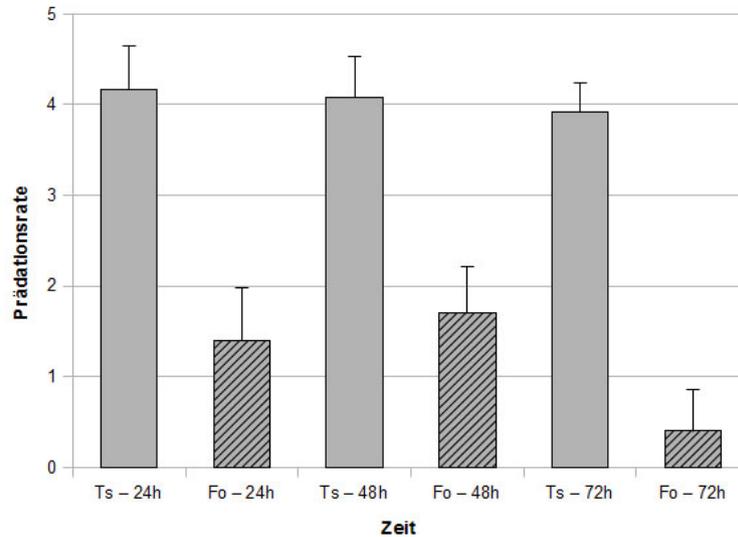
Stunden gegen Ende der Beobachtungszeit, i.e. nach dem Schlupf waren die mütterlichen Effekte am stärksten, nach 72 Stunden am schwächsten (siehe Abbildungen 3.7 bis 3.9).



**Abbildung 3.7:** Prädationsrate (Durchschnitt + Standardfehler des Mittelwerts) an Thrips (Fo) und Spinnmilben (Ts) von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf (nach 24, 48 und 72 h).



**Abbildung 3.8:** Prädationsrate (Durchschnitt + Standardfehler des Mittelwerts) an Thrips (Fo) und Spinnmilben (Ts) von Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf (nach 24, 48 und 72 h).



**Abbildung 3.9:** Prädationsrate (Durchschnitt + Standardfehler des Mittelwerts) an Thrips (Fo) und Spinnmilben (Ts) von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf (nach 24, 48 und 72 h).

**Tabelle 3.13:** Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung über den Einfluss der Mutterdiät, der Beute und der Zeit auf die Prädationsrate der Protonymphen.

	Wald-Chi-Quadrat	Df	Signifikanz
(Konstanter Term)	1000.096	1	.000
Mutterdiät	1.577	2	.455
Beute	60.811	1	.000
Mutterdiät × Beute	6.537	2	.038
Mutterdiät × Zeit	12.124	4	.016
Beute × Zeit	7.767	2	.021

### 3.2.5 Eigrößenmessung

Zwischen den Volumina der Eier von Thrips-, Spinnmilben- oder Pollen-gefütterten Müttern konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 3.14 und 3.15). Dazugehörige Formel siehe Kapitel 2.11.

**Tabelle 3.14:** Übersicht der Eigrößenmessungen (a = Eilänge, b = Eibreite,  $\bar{x}$  = Mittelwert,  $\sigma$  = Standardabweichung).

Mutterdiät	n	$\bar{x}$ von a [mm]	$\sigma$ von a	$\bar{x}$ von b [mm]	$\sigma$ von b	$\bar{x}$ Volumen [mm <sup>3</sup> ]
Ts	14	0.1849	0.0129	0.1377	0.0101	0.0190
Fo	12	0.1925	0.0078	0.1425	0.0118	0.0212
P	13	0.1877	0.0082	0.1332	0.0149	0.0197

**Tabelle 3.15:** Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse über den Einfluss der Mutternahrung auf die Eivolumina.

	Quadratsumme	df	Quadratmittel	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	$3.3 \times 10^{-5} - 5^a$	2	$1.65 \times 10^{-5} - 5$	1419	.255
Konstanter Term	.009	1	.009	781932	.000
Mutterdiät	$3.3 \times 10^{-5} - 5$	2	$1.65 \times 10^{-5} - 5$	1.419	.255
Fehler	.000	36	$1.65 \times 10^{-5} - 5$		
Gesamt	.010	39			
Korrigierte Gesamtvariation	.000	38			

## 4 Diskussion

Lernen im Kontext des Nahrungserwerbs ist besonders bei Tieren, die in einer sich schnell wandelnden Umgebung leben, von großer Bedeutung [Papaj & Lewis, 1993]. Lernen ist prinzipiell in verschiedenen Lebensstadien und -phasen möglich, hat aber im Zusammenhang mit dem Nahrungserwerb, besonders in den frühen Lebensstadien, nachhaltige Auswirkungen. Die Ergebnisse des im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführten Wahlversuches weisen auf pränatales Lernen bei der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* hin. Drei Gruppen von Protonymphen, welche sich durch die andersartige Diät ihrer Mütter (Spinnmilben, Thripse und Pollen) und den damit im Embryonalstadium erfahrenen Nahrungsmolekülen unterschieden, wurden beobachtet. Analysiert wurden die Erstwahl, der proportionale Anteil der attackierten Thripse im Zeitverlauf und die Gesamtprädatationsrate.

Bei der Erstwahl zeigte sich kein Einfluss durch die Mutternahrung. Wie zu erwarten, wurden Spinnmilben häufiger im Vergleich zu Thripse als erste Beute attackiert. Auch die Nicht-Attacken waren bei allen drei Gruppen ungefähr gleich häufig. Der proportionale Anteil der Thripse in der Gesamtprädatation war allerdings signifikant unterschiedlich. Die paarweisen Vergleiche zeigten, dass sich die Ergebnisse der Spinnmilben- und Pollen-Gruppen nicht unterschieden, während der Thripsanteil bei den Protonymphen der Thrips-Gruppe höher als bei den beiden anderen Gruppen war. Die Beobachtung, dass der Einfluss der Mutternahrung zu Beginn der Gesamtbeobachtungszeit von 24 Stunden am stärksten war, untermauert die Hypothese des pränatalen Einflusses, da im Laufe dieser 24 Stunden Versuchsdauer neue Erfahrungen durch die Tiere gemacht wurden. Bei der Gesamtprädatationsrate (Spinnmilben und Thripse gesamt) ergaben sich keine Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Es ist wichtig zu erwähnen, dass es zwischen den Eivolmina der drei Gruppen keine signifikanten Unterschiede gab. Nachdem die Eivolmina mit den Körpergrößen der Milben korrelieren, kann somit ein Einfluss der Milben-Körpergröße auf die unterschiedlichen Thrips-Proportionen in der Gesamtprädatation ausgeschlossen werden. Dies untermauert die These des pränatalen Lernens und schließt Körpergröße-abhängigen Beuteerwerb als mögliche Erklärung für unterschiedlichen Thripskonsum durch die Räuber aus.

Beim Nicht-Wahl-Versuch wurde zwischen sechs Gruppen unterschieden: Spinnmilben-, Thrips- und Pollen-erfahrene Protonymphen, denen jeweils Spinnmilben oder Thripse als Beute vorgesetzt wurden. Bei diesen Versuchsreihen wurden die Wahrscheinlichkeit einer Attacke, die Attackzeiten, die Wahrscheinlichkeit das Adultstadium zu erreichen und die Prädatationsrate im Zeitverlauf eruiert. Die statistische Analyse dieser Parameter weist auf komplexe Einflüsse der Mutternahrung hin, lässt aber nicht eindeutig auf pränatales Lernen schließen.

Pränatales Lernen findet im Ei statt und somit ist zu erwarten, dass das Erinnerungsvermögen an das Gelernte am stärksten unmittelbar nach dem Schlupf ausgeprägt ist. Dies würde bedeuten, dass das Erinnerungsvermögen an die im Ei gelernten Nahrungsmoleküle bei Larven und Protonymphen im Vergleich zu Adulttieren präsenter ist. Da sich der Nicht-Wahl-Versuch über 72 Stunden und somit über einen längeren Beobachtungszeitraum als der Wahl-Versuch (24 Stunden) erstreckte, ist es möglich, dass dieser Erinnerungseffekt gegen Ende des Beobachtungszeitraumes nicht mehr so stark vorhanden war wie zu Beginn und dadurch das Eruiieren klarer Ergebnisse erschwert wurde. Wie lange das Erinnerungsvermögen in Relation zur Lebensdauer anhalten kann, ist bei verschiedenen Tieren sehr unterschiedlich und hängt von zahlreichen Faktoren ab. Im Kontext des Nahrungserwerbs kann es bei Hunden zehn Wochen währen [Hepper & Wells, 2006], beim Menschen sechs Monate [Mennella et al., 2001] oder bei der parasitischen Wespe *Hyssopus pallidus* sogar bis nach der Metamorphose zum Adulttier andauern [Gandolfi et al., 2003]. Auch bei der Raubmilbe *Phytoseiulus persimilis* bleibt das Erinnerungsvermögen an frühzeitig erprobte Nahrung vom Juveniltier bis zum Adulttier über zwei Häutungen bestehen [Rahmani et al., 2009].

Gemeinsam mit einer parallel durchgeführten Diplomarbeit von Pablo César Peralta Quesada im Labor der Gruppe Arthropod Ecology and Behavior, geleitet von Ao. Univ. Prof. Dr. Peter Schausberger, liefert diese Diplomarbeit die ersten Hinweise für pränatales Lernen bei Arthropoden. Peralta Quesada gelang es nachzuweisen, dass das Fraßverhalten der Raubmilbe *N. californicus* signifikant durch pränatale chemosensorische Erfahrung beeinflusst wird. Raubmilbenmütter bekamen Spinnmilben, die zuvor an Vanillin- oder Anisaldehyd-angereicherten Pflanzen oder Pflanzen ohne jeglichen zusätzlichen Duftstoff fraßen, zur Verfügung gestellt. Durch Fraß von verschiedenen Duftstoff-angereicherten Spinnmilben konnten diese Aromen im Mutterkörper in den Dotter der Raubmilbeneier eingelagert werden und so mit den sich entwickelnden Embryos in Kontakt kommen. Es zeigte sich, dass die Protonymphen jeweils eine stärkere Präferenz für jene Art von Spinnmilben hatten, welche zuvor auch ihre Mütter gefressen hatten [Peralta Quesada, 2011].

## 4.1 Pränatales Lernen bei anderen Tieren als Arthropoden

Abgesehen von Arthropoden, wurde pränatales Lernen bei zahlreichen Tieren nachgewiesen. Bei Säugetieren und Vögeln ist pränatales Lernen besonders gut untersucht. Zum Beispiel führte eine pränatale, olfaktorische Erfahrung von Hühnerembryos zu einer Veränderung der Reaktion von Küken auf das Futter nach dem Schlupf [Bertin et al., 2010]. Dafür wurde das Futter der Henne mit oder ohne einem olfaktorischen Stimulus angereichert und die Präferenz der Küken zwischen den beiden Futterarten untersucht. Es wurde somit gezeigt, dass Hühnerembryos die Fähigkeit haben eine Geruchserfahrung im Ei zu decodieren und zu speichern, wodurch diese Erfahrung deren Fressverhalten nach dem Schlupf beeinflusst. Daraus resultiert, dass Hühner,

welche im Ei mit einer geringen Geruchs-dosis in Berührung kamen, eine höhere Akzeptanz oder sogar Präferenz gegenüber dem Futter mit Stimulus als dem Kontrollfutter erbrachten. Generell kann behauptet werden, dass — basierend auf der Intensität des olfaktorischen Stimulus im Ei — die Hühner postnatal eine Attraktion bis zu einer Aversion gegenüber diesem Stoff bei der Nahrungsaufnahme zeigten [Bertin et al., 2010].

Pränatales Lernen wurde auch bei verschiedenen Säugetieren, wie zum Beispiel dem Haushund, *Canis familiaris*, beobachtet [Hepper & Wells, 2006]. Anhand eines chemosensorischen Stimulus (Anis) über die mütterliche Nahrung testete man die Nahrungspräferenzen junger Welpen. Es wurden zwei Wahl-Versuche durchgeführt, wobei die Welpen bei dem ersten zwischen Anis und Wasser und bei dem zweiten zwischen Vanille (neuer Geruch) und Wasser wählen konnten. Beim ersten Wahl-Versuch präferierten die Welpen bis zu 24 Stunden nach der Geburt Anis gegenüber Wasser, wählten aber beim zweiten Wahl-Versuch Vanille gegenüber Wasser nicht häufiger. Dies weist auf Lernen des Stimulus *in utero*, im Mutterleib, hin [Hepper & Wells, 2006]. Junge Hasen, aufgezogen von Müttern, die während der Schwangerschaft und Stillzeit verschiedene Nahrungsarten konsumierten, zeigten beim Säugen eine klare Präferenz für jene Diät der Mutter, die diese während der Schwangerschaft zu sich genommen hatte. Für den Versuch wurden der Mutternahrung Wacholderbeeren beigemischt um zu eruieren, inwieweit für die spätere Nahrungspräferenz der jungen Hasen Fäkalpellets der Mutter im Nest, pränatale Erfahrung *in utero* und/oder der Kontakt mit der Mutter während des Säugens eine Rolle spielen. Es zeigte sich, dass alle drei Mechanismen die Nahrungspräferenz der Hasen beeinflussen und ähnlich effektiv sind [Bilkó et al., 1994].

Bei Tintenfischen wurden pränatale visuelle Versuche durchgeführt. Bereits bei den frisch geschlüpften Tintenfischen machte sich frühes, innerhalb des Eis erfolgendes visuelles Lernen bemerkbar. Darmaillacq et al. (2008) hatten in einem Becken Tintenfischeier und in einem separaten Tank Krabben als potentielle Beutetiere der Tintenfische angesetzt. Die Tintenfischembryos konnten die Krabben durch die Eihaut hindurch sehen, sie allerdings nicht riechen oder hören, da sie in einem separaten Tank aufbewahrt wurden. Die jungen Sepien bevorzugten sieben Tage nach der Geburt vermehrt Krabben gegenüber Garnelen, die ihnen ebenfalls als Beute zur Verfügung standen. Jene Sepien, die im Embryonalstadium keine Krabben gesehen hatten, respektive mit diesen keinerlei Erfahrung hatten, stürzten sich bevorzugt auf die Garnelen. Die Forscher schlossen daraus, dass Sepienembryos durch die transparente Eischale die Umwelt schon vor der Geburt wahrnehmen können und die gemachten Erfahrungen die Nahrungspräferenzen nach dem Schlupf beeinflussen [Darmaillacq et al., 2008].

## 4.2 Lernen bei Raubmilben

Raubmilben, wie zum Beispiel *N. californicus*, sind neben ihren pränatalen Lernfähigkeiten auch sehr gut in der Lage in ihrer Juvenilphase zu lernen und davon als Adult-

tiere zu profitieren [Schausberger et al., 2010]. Dadurch können etwa erfahrene Raubmilben der Art *Phytoseiulus persimilis* schneller ihre Beute erkennen und attackieren. Sie haben dadurch eine größere Überlebenschance als naive Raubmilben [Rahmani et al., 2009]. *Phytoseiulus persimilis* ist auch in der Lage zwischen bekannten und nicht bekannten Artgenossen zu unterscheiden und Kannibalismus bevorzugt an unbekanntem *P. persimilis*-Individuen zu betreiben [Schausberger, 2004]. Außerdem passen sie die Eiablage an die gegebenen Umstände an: So werden Eier, wo zuvor ein unbekanntes Weibchen Eier abgelegt hat, stärker aggregiert (näher zueinander abgelegt). Hätte jedoch zuvor ein bekanntes Weibchen seine Eier dort abgelegt, werden die Eier von nachfolgenden bekannten Weibchen zerstreuter abgelegt [Schausberger, 2004]. Der Ort und die Aggregation der Eier beeinflussen die Wahrscheinlichkeit einer Begegnung zwischen den Artgenossen nach dem Schlupf und macht sie einander vertrauter. Dies macht das Erlernen von Geruchsstoffen der Artgenossen möglich und lässt sie so später zwischen Bekannten und Unbekannten unterscheiden [Schausberger, 2004].

Kürzlich fertiggestellte Studien zeigten darüber hinaus, dass die soziale Familiarität auch einen signifikanten Effekt auf die Handlungsweise und das Fressverhalten von juvenilen *P. persimilis* hat. So fressen juvenile *P. persimilis* in familiären Gruppen effizienter, respektive benötigen sie für ihre vollständige Entwicklung weniger Beute als Individuen, die mit nicht-vertrauten Artgenossen zusammenleben [Strodl & Schausberger, 2012].

Lernleistungen in anderen Lebensstadien als dem Embryo wurden auch bei der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* beobachtet. Die Prädations-, sowie die Ovipositionsrate von *Neoseiulus californicus*-Adulten korrelierten positiv mit den während des Juvenilstadiums gemachten Lernerfahrungen [Schausberger et al., 2010]. Hatten die Milben in den frühen Phasen ihrer Entwicklung Erfahrungen mit alternativer Beute (Kalifornischer Blütenthrips, *Frankliniella occidentalis*) gemacht, resultierte dies in einer vermehrten Fraßleistung und einer tendenziell höheren Eiablage während des Adultstadiums. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welchen Sinn beziehungsweise welche Funktion das Lernvermögen bei Raubmilben im Mutterleib hat wenn diese auch die Fähigkeit haben, in anderen Lebensstadien zu lernen. Besagtes pränatales Lernvermögen kann bei vielen Tieren, inklusive des Menschen, beobachtet werden. Menschliche Embryos sind in der Lage, familiäre auditive Stimuli oder Geschmäcker schon im Mutterleib zu lernen und sich nach der Geburt an diese zu erinnern [Hepper & Wells, 2006]. Aber wozu sollte auch eine Raubmilbe dazu befähigt sein im Ei zu lernen? Wahrscheinlich aus dem selben Grund wie es bei anderen Tieren und dem Menschen der Fall ist: Es sollen neurosensorische und physiologische Funktionen bereits vor der Geburt gebildet bzw. trainiert werden, so dass ihre Funktionalität auch nach der Geburt gegeben ist [Hepper & Wells, 2006]. Außerdem scheint es nur logisch, dass sich Raubmilben dadurch besser an ihre Umgebung anpassen können und ihnen so der Start in einer unbekanntem Welt erleichtert wird.

### 4.3 Bedeutung des Lernens für die Biologische Schädlingskontrolle

Lernvorgänge könnten eine Schlüsselrolle bei der Verbesserung der Wirkung von natürlichen Gegenspielern im Rahmen der Biologischen Schädlingskontrolle spielen [Hare & Morgan, 1997]. Zum Beispiel wurde versucht, das Wirtssuchverhalten von Parasitoiden im Freiland zu verbessern, auch wenn diese auf anderen Wirtstieren und Wirtspflanzen gezüchtet wurden. Ziel dieser Versuche war es zu eruieren, ob die parasitoide Wespe *Aphytis melinus* auf einer Oleander-Schildlaus und mit O-Caffeoyltyrosine (OCT), einem synthetischen Kairomon, konditioniert, die Rote Orangen-Schildlaus *Aonidiella aurantii* im Freiland häufiger parasitieren würde. Bei OCT-konditionierten Wespen zeigte sich eine 6 – 11% höhere Paratisierungsrate der Roten Orangen-Schildlaus. Derartige Konditionierungen könnten ein gutes Mittel zur Verbesserung der Effektivität von Nützlinge in Massen-Freilassungen sein [Hare & Morgan, 1997].

In ähnlicher Weise sollte es möglich sein, Raubmilben durch früh im Leben gemachte Erfahrungen auf eine bestimmte Beute, einen Pflanzenschädling, zu konditionieren und somit ihre Effizienz in der Kontrolle dieses Schädlings zu steigern. Pränatales Lernen oder Nahrungsprägung, eine spezielle Form des Lernens, die auch bei der Raubmilbe *N. californicus* beobachtet wurde, könnten dazu ausgenutzt werden, die Leistungen dieses Antagonisten in der Biologischen Schädlingskontrolle zu verbessern [Schausberger et al., 2010].

### 4.4 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann die These aufgestellt werden, dass die hier vorgestellten Experimente, gemeinsam mit jenen von Peralta Quesada (2011), auf pränatales Lernen bei der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* hinweisen. Jedoch bedarf es weiterer Untersuchungen um mehr Informationen und Konklusionen über pränatales Lernen bei Milben zu erlangen.

Zukünftige Studien könnten zum Beispiel eruieren, wie genau der Transfer von bestimmten Nahrungsmolekülen von der Mutter in die Eier stattfindet, inwieweit man sich diesen Vorgang im Bezug auf die Biologische Schädlingskontrolle zu Nutze machen oder wie man diesen Vorgang durch zusätzliche Geruchsstoffe verstärken könnte. Ergebnisse des Nicht-Wahl-Versuches zeigen, dass der Merkeffekt des Gelernten mit der Zeit abnimmt. Es wäre interessant herauszufinden, wie man dieses Phänomen verbessern oder verlängern könnte. Postnatales Lernvermögen bei juvenilen *P. persimilis* wurde bereits bewiesen [Rahmani et al., 2009]. Bei Hunden zeigte sich die Kombination aus prä- und postnatalen Erfahrungen als vorteilhaft [Hepper & Wells, 2006]. Künftige Studien könnten die Kombination aus prä- und postnatalen Erfahrungen auf das Verhalten von *N. californicus* eruieren.

Inwiefern könnten diese neuen Erkenntnisse zukünftig eine Rolle in der Praxis spielen? Der Biologische Pflanzenschutz steht immerzu vor neuartigen Aufgaben und

Herausforderungen. Pflanzenschädlinge bilden immer wieder Resistenzen gegenüber konventionellen Pflanzenschutzmitteln aus, sodass der Nützlingseinsatz eine sinnvolle Alternative bietet. Würde man die Räuber den Signalstoffen der Zielbeute während der Massenzucht aussetzen, könnte man den Erfolg in der Schädlingskontrolle — wie dies auch bei Parasitoiden der Fall war [Hare & Morgan, 1997] — eventuell verbessern.

# Literaturverzeichnis

- Alford, D.V. (1999). A textbook of Agricultural Entomology. Blackwell Science, 320 S.
- Amarillo-Suarez, A. & Fox, C. (2006). Population differences in host use by a seed-beetle: local adaptation, phenotypic plasticity and maternal effects. *Oecologia*, 150:247–258.
- Bernardo, J. (1996). Maternal effects in animal ecology. *Amer. Zool.*, 36:83–105.
- Bertin, A., Calandrea, L., Arnould, C., Nowak, R., Levy, F., Noirot, V., Bouvarel, I., Leterrier, C. (2010). In ovo olfactory experience influences post-hatch feeding behaviour in young chickens. *International Journal of Behavioural Biology*, 116:1027–1037.
- Bilkó, A., Altbäcker, V., Hudson, R. (1994). Transmission of food preference in the rabbit: The means of information transfer. *Physiology & Behavior*, 56:907–912.
- Castagnoli, M. & Liguori, M. (1991). Laboratory observations on duration of copulation and egg production of three phytoseiid species fed on pollen. In: Schuster, R. and Murphy, P. W. *The Acari: Reproduction, development and life history strategies*. Chapman and Hall, S. 231–240.
- Castagnoli, M. & Simoni, S. (2003). *Neoseiulus californicus* (McGregor) (*Acari, Phytoseiidae*): Survey of biological and behavioural traits of a versatile predator. *REDIA*, LXXXVI:153–164.
- Darmaillacq, A.S., Lesimple, C., Dickel, L. (2008). Embryonic visual learning in the cuttlefish *Sepia officinalis*. *Animal Behaviour*, 76:131–134.
- Fortmann, M. (2000). Das große Kosmosbuch der Nützlinge. Franckh-Kosmos Verlag, 320 S.
- Gandolfi, M., Mattiacci, L., Dorn, S. (2003). Preimaginal learning determines adult response to chemical stimuli in a parasitic wasp. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, 270:2623–2629.
- Gerson, U., Smiley, R., Ochoa, R. (2003). *Mites (Acari) for Pest Control*. Wiley-Blackwell, Cornwall, 560 S.
- Glockemann, B. (1994). Raubmilben in Gewächshäusern als Antagonisten des Kalifornischen Blütenthrips *Frankliniella occidentalis* — Untersuchungen zum Vorkommen sowie zur Biologie und dem Einsatz einiger Arten. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, 169 S.

- Hajek, A. (2004). *Natural Enemies, An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press, 396 S.
- Hare, J.D. & Morgan, D.J.W. (1997). Mass-priming aphytis: Behavioral improvement of insectary-reared biological control agents. *Biological Control*, 10:207–214.
- Hassan, S., Albert, R., Rost, W. (1983). *Pflanzenschutz mit Nützlingen: Im Freiland und unter Glas*. Ulmer Verlag, Stuttgart, 187 S.
- Helle, W. & Sabelis, M. (1985a). *Spider mites: Their biology, natural enemies and control*, Bd. 1A. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 406 S.
- Helle, W. & Sabelis, M. (1985b). *Spider mites: Their biology, natural enemies and control*, Bd. 1B. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 458 S.
- Hepper, P. & Wells, D. (2006). Prenatal olfactory learning in the domestic dog. *Animal Behaviour*, 72:681–686.
- Kahrer, A. & Gross, M. (2002). *Gemüseschädlinge*. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf, 206 S.
- Krantz, G.W. & Walter, D.E. (2009). *A manual of Acarology*, third edition. Texas Tech University Press, 816 S.
- Kyneb, A. & Toft, S. (2006). Effects of maternal diet quality on offspring performance in the rove beetle *Tachyporus hypnorum*. *Ecological Entomology*, 31:322–330.
- Lynch, M. & Ennis, R. (1983). Resource availability, maternal effects, and longevity. *Experimental Gerontology*, 18:147–165.
- Marples, N. & Kelly, D. (1999). Neophobia and dietary conservatism: two distinct processes? *Evolutionary Ecology*, 13:641–653.
- Mau, R.F.L. & Kessing, J.L.M. (1993). *Frankliniella occidentalis* (Pergande). [http://www.extento.hawaii.edu/kbase/Crop/Type/f\\_occide.htm](http://www.extento.hawaii.edu/kbase/Crop/Type/f_occide.htm). Zugriff: Jänner 2013.
- McLean, A., Ferrari, J., Godfray, H. (2009). Effects of the maternal and pre-adult host plant on adult performance and preference in the pea aphid *Acyrtosiphon pisum*. *Ecological Entomology*, 34:330–338.
- McMurtry, J. & Croft, B. (1997). Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annual Review of Entomology*, 42:291–321.
- Mendel, D. (2009). Diet-dependant intraguild predation between the predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Neoseiulus cucumeris*. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, 59 S.
- Mennella, J., Jagnow, C., Beauchamp, G.K. (2001). Prenatal and postnatal flavor learning by human infants. *Pediatrics*, 107, e88:681–686.

- Migeon, A. & Dorkfeld, F. (2006-2012). Spider mites web: a comprehensive database for the *Tetranychidae*. <http://www1.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb/>. Zugriff: Jänner 2013.
- Moritz, G. (2006). Thripse. Fransenflügler, *Thysanoptera*. Westarp Wissenschaften-Verlangsgesellschaft, Hohenwarsleben, 384 S.
- Mousseau, A. & Fox, C. (1998). The adaptive significance of maternal effects. *Trends in Ecology and Evolution*, 13:403–407.
- Or, K. & Ward, D. (2007). Maternal effects on the life histories of bruchid beetles infesting *Acacia raddiana* in the Negev desert, Israel. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122:165–170.
- Papaj, D. & Lewis, A. (1993). Insect learning: ecological and evolutionary perspectives. Kluwer Academic Publishers, New York, 398 S.
- Peralta Quesada, P.C. (2011). Prenatal learning in the predatory mite *Neoseiulus californicus*. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, 56 S.
- Rahmani, H., Hoffmann, D., Walzer, A., Schausberger, P. (2009). Adaptive learning in the foraging behaviour of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis*. *Behav. Ecol.*, 20:946–950.
- Rhodes, E.M. & Liburd, O.E. (2009). Common name: A predatory mite; scientific name: *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Arachnida: Acari: Phytoseiidae). [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/Neoseiulus\\_californicus.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/Neoseiulus_californicus.htm). Zugriff: Jänner 2011.
- Sabelis, M. & Dicke, M. (1985). Long-range dispersal and searching behaviour. In: Helle, W. & Sabelis, W. M. (eds): Spider mites, their biology, natural enemies and control, 1B, Elsevier, S. 141–160.
- Schaal, B. & Orgeur, P. (1992). Olfaction in utero: Can the rodent model be generalized? *Quarterly Journal of Experimental Psychology B*, 44:245–278.
- Schausberger, P. (1997). Inter- and intraspecific predation on immatures by adult females in *Euseius finlandicus*, *Typhlodromus pyri* and *Kampimodromus aberrans* (Acari, Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology*, 21:131–150.
- Schausberger, P. (2004). The predatory mite *Phytoseiulus persimilis* manipulates imprinting among offspring through egg placement. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 58:53–59.
- Schausberger, P., Walzer, A., Hoffmann, D., Rahmani, H. (2010). Food imprinting revisited: early learning in foraging predatory mites. *Behaviour*, 147:883–897.
- Spork, P. (2009). Der zweite Code. Epigenetik — oder wie wir unser Erbgut steuern können. Rowohlt Verlag, Reinbek bei Hamburg. 304 S.

- Strodl, A. & Schausberger, P. (2012). Social familiarity modulates group living and foraging behaviour of juvenile predatory mites. *Naturwissenschaften*, 99:303–311.
- Swirski, E., Amitai, S., Dorzia, N. (1970). Laboratory studies on the feeding habits, post-embryonic survival and oviposition of the predaceous mites *Amblyseius chilen-sis* Dosse and *Amblyseius hibisci* Chant (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *Entomophaga*, 15:93–106.
- Thacker, J. (2002). *An Introduction to Arthropod Pest Control*. Elsevier Science Publisher, Cambridge, 360 S.
- Wolf, J.B. & Wade, M.J. (2008). What are maternal effects (and what are they not)? *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 65:1107–1115.
- Zhang, Z.Q. (2003). *Mites of Greenhouses, Identification, Biology and Control*. CABI, Wallingford, 240 S.

# Abbildungs- und Quellenverzeichnis

1.1	Raubmilbe <i>Phytoseiulus persimilis</i> <a href="http://www.gaertner-und-florist.at/mmedia/image/2009.02.03/1233673810_1.jpg">http://www.gaertner-und-florist.at/mmedia/image/2009.02.03/1233673810_1.jpg</a> . . .	5
1.2	Raubmilbenweibchen <i>Phytoseiulus persimilis</i> mit Ei <a href="http://www.boku.ac.at/ips/en/workgroups/mites.html">http://www.boku.ac.at/ips/en/workgroups/mites.html</a> . . . . .	6
1.3	<i>N. californicus</i> frisst eine Spinnmilbe <a href="http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_01.htm">http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_01.htm</a> . . . . .	8
1.4	<i>N. californicus</i> -Eier <a href="http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_02.htm">http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_02.htm</a> . . . . .	9
1.5	Spinnmilbenlarve, drei Spinnmilbeneier und ein <i>N. californicus</i> -Männchen <a href="http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_03.htm">http://entnemdept.ufl.edu/creatures/beneficial/N_califonicus_03.htm</a> . . . . .	9
1.6	Alle Stadien von <i>T. urticae</i> <a href="http://www.hanf-hanf.at/Hanfschaedlinge-Pilzerkrankungen_-_23.html">http://www.hanf-hanf.at/Hanfschaedlinge-Pilzerkrankungen_-_23.html</a> . . . . .	10
1.7	Erste Schadsymptome durch Spinnmilben <a href="http://www.katzbiotechserves.de/info/big_images/spinnmilbe_schaden1.jpg">http://www.katzbiotechserves.de/info/big_images/spinnmilbe_schaden1.jpg</a> . . .	11
1.8	Ausgeprägtes Schadbild <a href="http://www.katzbiotechserves.de/info/big_images/spinnmilbe_schaden2.jpg">http://www.katzbiotechserves.de/info/big_images/spinnmilbe_schaden2.jpg</a> . . .	11
1.9	Verschiedene Stadien von <i>Frankliniella occidentalis</i> <a href="http://www.agrobestgrup.com/ilac.php?dilkod=EN&amp;ilacid=123&amp;kat=flenter">http://www.agrobestgrup.com/ilac.php?dilkod=EN&amp;ilacid=123&amp;kat=flenter</a> . . . . .	12
1.10	Schadsymptome auf einem Blatt durch Thripsbefall <a href="http://www.insekten-schuetzen-pflanzen.de/media/images/thripsschadenblatt2008a-large.jpg">http://www.insekten-schuetzen-pflanzen.de/media/images/thripsschadenblatt2008a-large.jpg</a> . . . . .	14
2.1	Raubmilbenzucht . . . . .	16
2.2	Spinnmilbenzucht . . . . .	17
2.3	Petrischale mit Buschbohnenblatt . . . . .	18
2.4	Gesamtansicht Exhaustor . . . . .	18
2.5	Ansaugvorrichtung und Mundstück des Exhaustors . . . . .	18
2.6	Thrips-Sammelgefäß des Exhaustors . . . . .	19
2.7	Klimaschrank mit Thripszuchten . . . . .	20

2.8	Blattarena . . . . .	21
2.9	Plexiglaskäfig . . . . .	23
2.10	Plexiglaskäfige über Wasserbad . . . . .	24
2.11	Übersicht des präexperimentellen und experimentellen Ablaufs . . . . .	25
3.1	Proportion von Protonymphen nach 3 und 12 Stunden . . . . .	28
3.2	Gesamtprädation pro Protonymphe jeder Gruppe . . . . .	30
3.3	Prädationsrate von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten . . . . .	31
3.4	Prädationsrate von Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten . . . . .	31
3.5	Prädationsrate von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten . . . . .	32
3.6	Attackzeit in Minuten . . . . .	34
3.7	Prädationsrate von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf . . . . .	36
3.8	Prädationsrate von Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf . . . . .	36
3.9	Prädationsrate von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten, im Zeitverlauf . . . . .	37

Abbildungen 2.1 bis 2.10: Von Andrea Ambichl fotografiert.

# Tabellenverzeichnis

3.1	Anzahl der Erstwahlen von Protonymphen . . . . .	27
3.2	Ergebnis der binär logistischen Regression der Erstwahl . . . . .	28
3.3	Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung für den Einfluss der Mutternahrung auf den proportionalen Anteil der Thripse . . . . .	29
3.4	Ergebnisse der paarweisen Vergleiche (LSD), die im Rahmen der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung durchgeführt wurden. . . . .	29
3.5	Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung für den Einfluss der Mutternahrung auf die Gesamtprädatationsrate . . . . .	30
3.6	Ergebnisse der paarweisen Vergleiche (LSD), die im Rahmen der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung durchgeführt wurden. . . . .	32
3.7	Anzahl der Attacken von Protonymphen . . . . .	33
3.8	Ergebnisse der binär logistischen Regression für die Wahrscheinlichkeit einer Attacke gegen Spinnmilben oder Thripse. . . . .	33
3.9	Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse über den Einfluss der Beute und der Mutterdiät auf die Attackzeiten der Protonymphen. . . . .	34
3.10	Darstellung des Geschlechterverhältnisses innerhalb der sechs Gruppen	35
3.11	Paarweise Vergleiche bei Verwendung von Protonymphen, die von Spinnmilben-gefütterten Müttern abstammten, als Referenzkategorie. . . . .	35
3.12	Paarweise Vergleiche bei Verwendung von Protonymphen, die von Pollen-gefütterten Müttern abstammten, als Referenzkategorie. . . . .	35
3.13	Ergebnisse der Verallgemeinerten Schätzungsgleichung über den Einfluss der Mutterdiät, der Beute und der Zeit . . . . .	37
3.14	Übersicht der Eigrößenmessungen . . . . .	37
3.15	Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse über den Einfluss der Mutternahrung auf die Eivolumina. . . . .	38

## Zusammenfassung

Pränatales Lernen ist eine spezielle Form mütterlicher Effekte. Es bezeichnet vor der Geburt gemachte Erfahrungen, die nach der Geburt einen Kurz- oder Langzeiteffekt im Verhalten auslösen. Pränatales Lernen wurde schon bei vielen Tieren beobachtet, respektive beim Menschen, anderen Säugetieren, Amphibien und Vögeln. Bis zur Durchführung dieser und einer verwandten Diplomarbeit gab es hingegen keinen Nachweis für pränatales Lernen bei Arthropoden. In dieser Diplomarbeit wurde pränatales Lernen bei der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* untersucht. *N. californicus* ist ein Gegenspieler von Spinnmilben und anderen herbivoren Milben und Insekten und wird weltweit in der Biologischen Schädlingskontrolle eingesetzt.

Zur Untersuchung des pränatalen Lernens wurden die Mütter der im Experiment verwendeten Raubmilben mit drei verschiedenen Nahrungsarten — Spinnmilben (*Tetranychus urticae*), Thripse (*Frankliniella occidentalis*) oder einem Pollengemisch — gefüttert. Dadurch kamen die experimentellen Raubmilben bereits im Ei mit den Nahrungsmolekülen der Mutterdiät in Kontakt. Nachdem die geschlüpften Raubmilben das Protonymphenstadium erreicht hatten, wurden ihre postnatalen Nahrungsgewohnheiten in einem Wahl-Versuch und einem Nicht-Wahl-Versuch beobachtet. Im Wahl-Versuch wurden den Raubmilben vier Spinnmilben und vier Thripse und im Nicht-Wahl-Versuch sechs Spinnmilben oder sechs Thripse angeboten. Im Wahl-Versuch wurden die Zeit bis zur Erstattacke und die Prädationsrate innerhalb von zwölf Stunden beobachtet. Im Nicht-Wahl-Versuch wurden ebenfalls die Erstattacke und die Prädation innerhalb von 72 Stunden observiert. Zusätzlich wurden die Entwicklungsfähigkeit und das Geschlecht der Raubmilben bestimmt. Spinnmilben wurden im Vergleich zu Thripsen öfter als erste Beute im Wahl-Versuch attackiert. Es konnte ein Einfluss der mütterlichen Nahrung auf die Proportion der Thripse in der Gesamtprädation ausgemacht werden. Protonymphen, die von Thrips-gefütterten Müttern abstammten, inkludierten mehr Thripse in ihre Nahrung als Protonymphen, die von Spinnmilben- oder Pollen-gefütterten Müttern abstammten. Keine Unterschiede in der Prädationsrate wurden zwischen den unterschiedlichen Mutterdiäten gefunden. Spinnmilben wurden generell häufiger als Thripse attackiert. Beim Nicht-Wahl-Versuch wurde kein Effekt durch die Mutternahrung auf die Wahrscheinlichkeit einer Attacke und die Erstattacke entdeckt. Auch führte die Mutterdiät zu keinen unterschiedlichen Prädationsraten. Hingegen spielte die Beuteart und die Interdependenz zwischen Mutterdiät und Beute sowie zwischen Mutterdiät und Zeit eine Rolle für die Prädation der Protonymphen. Die mütterlichen Effekte nahmen im Laufe der 72 Stunden ab. Die Größen der Raubmilbeneier der unterschiedlich gefütterten Mütter wurden gemessen und differenzierten sich nicht; somit konnte eine körpergrößenabhängige Prädation ausgeschlossen werden.

In Summa kann die These aufgestellt werden, dass diese Diplomarbeit auf pränatales Lernen bei der Raubmilbe *Neoseiulus californicus* hinweist. Diese Lernfähigkeit könnte in der Biologischen Schädlingskontrolle zur Verbesserung der Effizienz der Raubmilben ausgenutzt werden.

**Schlagwörter:** *Neoseiulus californicus*, pränatales Lernen, mütterliche Effekte, Lernen als Embryo, *Frankliniella occidentalis*

# Abstract

Prenatal learning is a specific type of maternal effects and comprises experiences made before birth leading to short- or long-term behavioral changes after birth. Prenatal learning has been observed in a wide range of animals, like humans and other mammals, amphibians and birds. Until this and a related thesis there was no evidence of prenatal learning in arthropods.

In this diploma thesis, prenatal learning was tested in the predatory mite *Neoseiulus californicus*. *N. californicus* is a natural enemy of spider mites and other herbivorous mites and insects and is often used in biological control worldwide. The mothers of the experimental predatory mites were fed on three different diets: spider mites (*Tetranychus urticae*), thrips (*Frankliniella occidentalis*) or a mixture of pollen. Thus, the predators could already experience the molecules of the maternal diet in the embryonic stage inside the egg. After reaching the protonymphal stage, the postnatal feeding habits of the predators were observed in a choice test and a no-choice test. In the choice test, the predators were offered 4 spider mites and 4 thrips, whereas in the no-choice test 6 spider mites or 6 thrips were given. In the choice test, the timing of the first attack and prey consumption within 12 hours were observed. Similarly, in the no-choice test, the timing of the first attack and predation were monitored. Additionally, the chances to reach adulthood and the gender were identified.

In the choice test, the first attacks occurred more often on spider mites than on thrips. The evaluation of the proportion of thrips in the total consumption rate through time showed an influence of the maternal diet. Protonymphs derived from thrips-fed mothers included a higher proportion of thrips in their diet than protonymphs derived from spider mite-fed or pollen-fed mothers. There were no differences in the total consumption rate of the three different treatments. Spider mites were generally more likely attacked than thrips.

In the no-choice test, no effects of the maternal diet on the likelihood of occurrence and time of the first attack were found. No differences in the consumption rate among the maternal diets were discovered. However, the prey and the relationship between the maternal diet and the prey and also the maternal diet and time played a significant role. The maternal effects decreased in extent during the 72 hours experiment.

The volumes of the eggs produced by differently nourished mothers, were measured. No difference was found among treatments, allowing to exclude the possibility of size-assortative predation.

In conclusion, this diploma thesis suggests that prenatal learning occurs in the predatory mite *Neoseiulus californicus*. Biological control may take advantage of this learning ability to enhance the efficacy of these predatory mites in pest suppression.

**Key words:** *Neoseiulus californicus*, prenatal learning, maternal effect, embryonic learning, *Frankliniella occidentalis*

# Curriculum vitae

---

## Zur Person

<b>Name</b>	Andrea Ambichl
<b>Geburtstag</b>	12.01.1986
<b>Geburtsort</b>	St. Pölten
<b>Land</b>	Österreich
<b>Nationalität</b>	Österreich

---

## Ausbildung

<b>2004</b>	Matura am Gymnasium der Englischen Fräulein, St. Pölten
<b>2008</b>	Bakkalaureat Landschaftsplanung/Landschaftsarchitektur, Universität für Bodenkultur, Wien
<b>2013</b>	Master Phytomedizin, Universität für Bodenkultur, Wien

---

## Praktika

<b>2002</b>	Mikrofilmabteilung, Krankenhaus St. Pölten
<b>2003</b>	Verkehrsabteilung, Magistrat St. Pölten
<b>2005-2007</b>	Diözesanmuseum, St. Pölten
<b>2008</b>	Staudengärtnerei Hametner, Baumgarten

---

## Arbeitserfahrung

<b>2010-2012</b>	biohelp, Wien
<b>seit 2013</b>	Agrotech, Wien

---