

**Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von *Trogoderma granarium* EVERTS, *Trogoderma angustum* (SOLIER) und *Anthrenus verbasci* L. (Coleoptera, Dermestidae) mit dem Larvalparasitoiden *Laelius pedatus* (SAY) (Hymenoptera, Bethylinidae)**



Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor rerum agriculturalarum  
(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der  
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
(Dipl. -Ing. agr., Abdul Gabbar Sultan Al-Kirshi)  
(Geboren am 02.09.62, Taiz Jemen)

Präsident  
der Humboldt-Universität zu Berlin:  
Prof. Dr. Dr. h. c. H. Meyer

Dekan der  
Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät:  
Prof. Dr. Dr. h. c. E. Lindemann

Gutachter: 1. Prof. Dr. Dr. h. c. H. Bochow  
2. Dr. Ch. Reichmuth, Dir. u. Prof., Institut für Vorratsschutz  
der Biologischen Bundesanstalt für Land- und  
Forstwirtschaft, Berlin.

Tag der mündlichen Prüfung: 13.07.1998

DEN JEMENITISCHEN BAUERN GEWIDMET

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mir im Laufe der Anfertigung meiner Arbeit mit Rat und Tat geholfen haben und so zu dem Abschluß der Dissertation beigetragen haben:

- Herrn Prof. Dr. F. A. Schulz für die Überlassung dieses interessanten und aktuellen Themas, sein unerwarteter Tod verwehrte ihm, die Ergebnisse weiter verfolgen zu können.
- Herrn Prof. Dr. Dr. H. Bochow für die weitere Übernahme der wissenschaftlichen Betreuung und für die stete Diskussionsbereitschaft.
- Herrn Prof. Dr. Ch. Reichmuth, dem Direktor des Institutes für Vorratsschutz der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin, für die wertvollen fachlichen Gespräche und die umfangreiche Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.
- Herrn Prof. Dr. W. E. Burkholder, dem damaligen Leiter von „Stored Products Insects Research Unit, USDA-ARS“, Universität Wisconsin, Madison, USA, für die Lieferung des Nützlings *L. pedatus* und wertvolle Literatur, sowie für das Interesse an Versuchsergebnissen.
- Meinen Arbeitskollegen M. Schöller und S. Prozell für die zahlreichen Hinweise sowie für die bereitwillige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.
- Herrn Dr. C. Adler für die ständige Gespräche und die Korrektur des Manuskriptes.
- Herrn Dr. J. Helbig für die Hinweise auf die praxisorientierten Versuche.
- Herrn Dr. E. Moll, BBA- Kleinmachnow, für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Versuche.
- allen Mitarbeitern des Fachgebietes Phytomedizin der Humboldt Universität zu Berlin sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Vorratsschutz für die kollegiale Atmosphäre und ihre Hilfe.
- dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für das Promotionsstipendium.
- der Fazit-Stiftung für das Promotionsabschluß-Stipendium.

## ABSTRACT

Dermestide pests of stored products are widely distributed throughout the world. They infest stored animal and plant products and frequently cause great damage and losses. Even a wide range of materials can be damaged or destroyed by Infestation with dermestides.

Infestations by dermestids are usually controlled by treatments with insecticides. However, insecticides may cause hazards to man and the environment. Especially in the storage of small subsistence farmers in the tropics the use of insecticides may be dangerous and their costs prohibitive. Hence, there is a need for the development of alternative methods such as biological control, an efficient component in integrated pest management.

The present study was designed to assess the efficacy of the larval parasitoid *L. pedatus* in controlling *T. granarium*, *T. angustum* and *A. verbasci*.

The parasitoid wasp has desirable characteristics to control these pests.

The following results on the biology, behaviour and the potential of the wasp were obtained:

### Biological characteristics of *L. pedatus*

- Most egg-laying activity occurred at temperatures of 25° C and 28° C. Oviposition was not possible at 15° C and below.
- The egg-laying activity occurred at both low and high relative humidity. The average numbers of eggs laid at extremely low humidity levels below 10 % and at high humidity levels above 90 % at a temperature of 28° C were  $62 \pm 12,6$  eggs and  $25 \pm 8$  eggs per female, respectively (n = 4).
- At 28° C and 50 -60 % relative humidity about 80 % of deposited eggs (n = 107) developed to adults. This number indicated, by consideration of the natural mortality of the larval and pupal stages, that the eggs hatching rate higher than 80 %.
- At 28° C and 50 -60 % relative humidity the total developmental time from eggs to adults was  $34,7 \pm 1,8$  days (n = 150)
- A mated female was able to deposit fertilised eggs for a maximum period of 14 days after copulation. After that the female produced only unfertilised eggs, developing into male wasps.
- Longevity of the female wasp increased with decreasing temperature down to 15° C and could also be prolonged by supplying the wasp with a diet of honey. The average life time of normally fed female lasted from 3 weeks at 35° C up to till 16 weeks at 20° C.

### Potential of *L. pedatus*

- During its life span a female wasp paralysed  $74 \pm 20$  larvae of *A. verbasci* compared to  $44 \pm 10$  larvae of *T. granarium*.
- On average, only one third of the paralysed larvae of *A. verbasci* were used for Oviposition.
- The venom of *L. pedatus* caused 100 % larval mortality in *A. verbasci* and *T. angustum* within 3 weeks.
- The venom of *L. pedatus* caused only 60 % larval mortality in the Khapra beetle. The rest of the paralysed but not parasitised larvae of *T. granarium* survived the venomous effect after 4 to 5 weeks and continued their development to adults
- This temporarily paralysing effect on the larvae of *T. granarium* is also important since the pest larvae are not active and therefore cannot cause any damage during this time.
- Direct parasitisation of the host larvae through the parasitoid larvae caused 100 % mortality in all three dermestids.
- At 28° C and 50 - 60 % relative humidity a single female was able to deposit  $52,3 \pm 6,3$  eggs on  $36,8 \pm 5,8$  larvae or  $46 \pm 12,5$  eggs on  $23,0 \pm 6,0$  larvae of *T. angustum* or *A. verbasci*, respectively (n = 4).
- The average number of eggs per female wasp and day was  $1,42 \pm 0,2$  if larvae of *T. angustum* were used as host (n = 15).
- The female of *L. pedatus* also accepted larvae which have already been paralysed by other females for it's own egg-laying. This may lead to fights between females for the same host.
- The wasp was found to penetrate into wheat and successfully parasites host larvae of *T. granarium* in a depth of 90 cm.
- At a parasitoid : host ratio of 1 : 25, *L. pedatus* reduced two populations of *T. granarium* (Yemen field strain and culture strain of the Institute for stored Product Protection BBA Berlin) by 75 - 80 % within 6 - 8 weeks.

The observed biological characteristics of *L. pedatus* render the wasp a suitable agent to control *T. granarium*, *T. angustum* and *A. verbasci*. However, field investigations in the store are needed to verify these results.

### Keywords:

Biological control. *Trogoderma granarium*. *Trogoderma angustum*. *Anthrenus verbasci*. *Laelius pedatus*

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorrats- und materialschädlichen Speckkäfer (Dermestidae) erlangen in vielen Ländern ein besonderes Interesse auf Grund ihrer wirtschaftliche Bedeutung in Verbindung mit den ständig wachsenden Schwierigkeiten bei ihrer Bekämpfung.

Der Khaprakäfer *Trogoderma granarium* beispielsweise ist ein wirtschaftlich bedeutender Vertreter der Vorratsschädlinge, der in den Tropen und Subtropen vorwiegend in gelagertem Getreide vorkommt und in vielen Ländern als Quarantäne-schädling geführt wird. Der Schädling verursacht dort auf Grund der klimatischen Verhältnisse insbesondere in bäuerlichen Betrieben sehr große Verluste.

Konventionelle Bekämpfungsmethoden gegen *T. granarium* sind wegen der Widerstandsfähigkeit der Larven gegen tiefe Temperaturen, Trockenheit und ihrer Neigung der Resistenzbildung gegen Insektizide mit erheblichen Problemen verbunden.

Neben *T. granarium* wächst im Vorratsschutz die Bedeutung anderer Dermestiden wie *T. angustum* und *A. verbasci*. Die Bedeutung von *Trogoderma angustum* wächst in Europa, da dieser Schädling in den letzten Jahrzehnten eine besondere Stelle als Schädling in den Vorräten, in den Wohnungen, in Geschäftsräumen und in Museen erlangte. Der Kabinettkäfer *A. verbasci* verursacht Beschädigungen bei eine lange Reihe von Produkten tierischer und pflanzlicher Herkunft sowie bei den Insekten-sammlungen in Museen.

Ziel dieser Arbeit war die Suche nach alternativer Bekämpfungsmöglichkeit gegen diese Schädlinge unter der Verwendung des ektoparasitischen Gegenspielers *L. pedatus*. Als Grundlage zur Charakterisierung des möglichen Bekämpfungs-erfolges beim Einsatz des Gegenspielers wurden Laboruntersuchungen zur Biologie und zum Verhalten von *L. pedatus* durchgeführt.

### Zur Biologie von *L. pedatus*

- Das Weibchen von *L. pedatus* legt bei 15° C noch keine Eier. Der optimale Temperaturbereich, für die höchste Anzahl abgelegter Eier, liegt zwischen 25°C und 28° C.
- Das Weibchen ist in der Lage sowohl bei extrem niedriger als auch bei sehr hoher relative Feuchte Eier abzulegen. Bei Feuchte unterhalb von 10 % lag die durchschnittliche Eianzahl bei etwa  $62 \pm 12.6$  Eier je Weibchen, während bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit diese Anzahl etwa  $25 \pm 8$  Eier je Weibchen betrug ( $n = 4$ ).
- Bei 28° C und 50 - 60 % r. F. entwickelten sich ca. 80 % abgelegter Eier ( $n = 107$ ) zu Imaginesi. Bei Berücksichtigung der natürlichen Mortalität in der Puppen- und Larvenstadien deutet diese daraufhin, daß die Schlüßfrate der Eier höher als 80 % ist.
- Bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. betrug die durchschnittliche Entwicklungsdauer vom Ei bis zur Imago  $34,7 \pm 1.1,8$  Tagen ( $n = 150$ ).
- Ein begattetes Weibchen kann maximal zwei Wochen lang befruchtete Eier legen. Danach werden nur unbefruchtete Eier abgelegt, so daß sich aus diesen Eiern nur noch Männchen entwickeln.
- Die Lebensdauer der Tiere verlängert sich bei niedrigen Temperaturen und bei zusätzlicher Versorgung der Tiere mit Nahrung. So konnten die Weibchen bei 20° C und Versorgung mit Wirtslarven und Honig bis zu 16 Wochen überleben, während bei 35° C die Lebensdauer des Weibchens weniger als drei Wochen betrug.

### Zum Leistungsvermögen von *L. pedatus*

- Die Unterdrückung des Populationswachstums der Schädlinge durch *L. pedatus* resultiert vor allem aus:
  - a) der Lähmung und
  - b) der Parasitierung der Wirtslarven.
- Das Weibchen kann durchschnittlich  $44 \pm 10$  Larven von *T. granarium* im Vergleich zu  $74 \pm 20$  Larven von *A. verbasci* lähmen.
- Im Durchschnitt wurden nur ca. ein Drittel der gelähmten Larven für die Eiablage benutzt.
- Die Giftwirkung führte bei den gelähmten Wirtslarven von *A. verbasci* und *T. angustum* innerhalb von 3 Wochen zum Tod, während nur 60 der gelähmten Larven von *T. granarium* dadurch zugrunde gehen. Der Rest der Larven von *T. granarium* erholten sich innerhalb von 4 bis 5 Wochen nach der Lähmung und setzte seine weitere Entwicklung bis zum Käfer fort.
- Die 5wöchige Lähmwirkung auf *T. granarium* ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Larven in dieser Zeit nicht aktiv sind und dadurch keine Verluste von Lagerprodukten verursachen.
- Die Parasitierung der Wirtslarven durch die parasitoiden Larven führte zur 100ige Mortalität.
- Die gesamte Anzahl der parasitierten Wirtslarven je Weibchen über 5 Wochen betrug durchschnittlich bei *T. angustum*  $36,75 \pm 5,75$  und bei *A. verbasci*  $23,0 \pm 6,0$ . Diese werden jeweils mit  $52,25 \pm 6,25$  bzw.  $46 \pm 12,5$  Eier belegt.
- Insgesamt läßt sich errechnen, daß das Weibchen von *L. pedatus* die Larve von *A. verbasci* mit durchschnittlich  $1,9 \pm 0,1$  Eier und die Larve von *T. angustum* mit durchschnittlich  $1,5 \pm 0,1$  belegen kann.
- Die durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier pro Weibchen und Tag betrug  $1,42 \pm 0,2$  bei der Verwindung von *T. angustum* als Wirt ( $n = 15$ ).
- Ein Weibchen von *L. pedatus* ist in der Lage, eine von anderen Weibchen gelähmte oder schon mit Eiern

- belegte Wirtslarve für ihre eigene Eiablage zu benutzen.
- *L. pedatus* ist in der Lage, tief in die Weizenschüttung einzudringen und die Wirtslarven in einer Tiefe von 90 cm erfolgreich zu parasitieren.
  - Bei einem Parasit - Wirt Verhältnis von 1 : 25 unterdrückte *L. pedatus* den Zuwachs an Nachkommen von *T. granarium* beim jemenitischen Stamm innerhalb von zwei Monaten um ca. 80 % und beim BBA-Stamm innerhalb von sechs Wochen um 75 %.

Diese Laborergebnisse deuten darauf hin, daß die biologische Bekämpfung von *T. granarium*, *T. angustum* und *A. verbasci* mit dem Larvalparasitoiden *L. pedatus* erfolversprechend ist.

**Schlagwörter:**

Biologische Bekämpfung, *Trogoderma granarium*, *Trogoderma angustum*, *Anthrenus verbasci*, *Laelius pedatus*.

	Seite
<u>Inhaltsverzeichnis</u>	I - III
<b>1 Einleitung, Literaturübersicht und Aufgabenstellung</b> .....	1
1.1 Einleitung .....	1
1.2 Literaturübersicht .....	3
1.2.1 Der Khaprakäfer <i>Trogoderma granarium</i> Everts .....	3
1.2.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung in den Tropen und Subtropen .....	3
1.2.1.2 Biologie und Verhalten .....	5
1.2.1.3 Bekämpfungsprobleme .....	6
1.2.2 <i>Trogoderma angustum</i> (SOLIER) .....	7
1.2.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung .....	7
1.2.2.2 Morphologie und Biologie .....	8
1.2.3 Der Kabinettkäfer <i>Anthrenus verbasci</i> (L.) .....	10
1.2.3.1 Nahrung und wirtschaftliche Bedeutung .....	10
1.2.3.2 Biologie und Verhalten .....	11
1.2.4 Biologische Schädlingsbekämpfung als wichtige Komponente der integrierten Verfahren im Vorratsschutz .....	12
1.2.4.1 Definition .....	12
1.2.4.2 Einsatz von Entomophagen im Vorratsschutz .....	14
1.2.4.2.1 Nützlingsauswahl .....	15
1.2.4.2.2 Handhabung und Freilassungsmethoden .....	15
1.2.4.2.3 Eignung traditioneller Läger in den Tropen für den Einsatz von Nützlingen. ....	17
1.2.4.2.4 Unterdrückung des Populationswachstums .....	18
1.2.5 Bedeutung der Bethyriden als Parasitoide im Vorratsschutz .....	20
1.2.5.1 Systematische Stellung der Gattung <i>Laelius</i> innerhalb der Familie der Bethyridae .....	22
1.2.5.2 Verbreitung der Gattung <i>Laelius</i> .....	24
1.2.5.3 Der Parasitoid <i>Laelius pedatus</i> (SAY) .....	26
1.2.5.3.1 Morphologie und Verhalten .....	26
1.2.5.3.2 Angriffsfähigkeit des Parasitoiden .....	29

	Seite
1.2.5.3.3	Verteidigungsmechanismus des Wirtes ..... 30
1.2.5.3.4	Vorbereitung des Wirtes für Eiablage..... 31
1.3	Aufgabenstellung ..... 34
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b> ..... 36
2.1	Versuchsplanung ..... 36
2.2	Zucht der Versuchstiere ..... 39
2.3	Untersuchungen zur Biologie von <i>L. pedatus</i> als Grundlage für den Einsatz im Vorratsschutz ..... 43
2.3.1	Eiablage ..... 43
2.3.1.1	Einflußfaktoren auf die Eiablage ..... 43
2.3.1.1.1	Temperatur ..... 43
2.3.1.1.2	Relative Luftfeuchtigkeit ..... 45
2.3.1.1.3	Nahrung der Imagines ..... 46
2.3.1.1.4	Wirtsgröße ..... 46
2.3.2	Entwicklungsdauer ..... 47
2.3.3	Lebensdauer ..... 48
2.3.4	Geschlechterverhältnis ..... 49
2.4	Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid ..... 50
2.4.1	Einfluß der Dichte des Parasitoiden ..... 50
2.4.2	Einfluß der Dichte des Wirtes ..... 51
2.4.3	Akzeptanz bereits vorbereiteter Wirtslarven für die Parasitierung ... 52
2.5	Praxisorientierte Untersuchungen zum Leistungspotential von <i>L. pedatus</i> ..... 53
2.5.1	Lähmungspotential und Mortalität gelähmter Wirtslarven ..... 53
2.5.2	Parasitierungspotential (Anzahl der Wirtslarven mit belegten Eier) . 55
2.5.3	Eindringtiefe von <i>L. pedatus</i> in das Getreide ..... 56
2.5.4	Populationsunterdrückung der Schädlinge ..... 58
2.6	Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse ..... 58

	Seite
<b>3. Ergebnisse</b> .....	59
3.1 Zuchtergebnisse .....	59
3.2 Zur Biologie von <i>L. pedatus</i> .....	62
3.2.1 Einflußfaktoren auf die Eianzahl .....	68
3.2.1.1 Temperatur .....	68
3.2.1.2 Relative Luftfeuchtigkeit .....	70
3.2.1.3 Nahrung der Imagines .....	71
3.2.1.4 Wirtsgröße .....	72
3.2.2 Entwicklungsdauer .....	73
3.2.3 Lebensdauer .....	75
3.2.4 Geschlechterverhältnis .....	75
3.3 Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid .....	77
3.3.1 Dichte des Parasitoiden .....	77
3.3.2 Dichte des Wirtes .....	79
3.3.3 Akzeptanz von zuvor gelähmten Wirtslarven und von Wirtslarven mit zuvor belegten Eiern .....	80
3.4 Potentielle Leistung von <i>L. pedatus</i> .....	81
3.4.1 Potentielle Lähmung und Mortalität gelähmter Wirtslarven .....	81
3.4.2 Potentielle Parasitierungsleistung .....	83
3.4.3 Eindringtiefe der Wespen in geschütteten Weizen .....	88
3.4.4 Populationsunterdrückung der Schädlinge .....	88
<b>4 Diskussion</b> .....	90
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	101
<b>6 Summary</b> .....	105
<b>7 Literaturverzeichnis</b> .....	108
Danksagung .....	118

# 1 Einleitung, Literaturübersicht und Aufgabenstellung

## 1.1 Einleitung

Die konventionellen Bekämpfungsverfahren gegenüber Vorratsschädlingen sind auf Grund der Resistenzbildung gegen viele chemische Schädlingsbekämpfungsmittel und der Rückstände der Chemikalien auf den behandelten Produkten sowie dem relativ hohen Kostenaufwand chemischer Bekämpfungsmittel mit erheblichen Problemen verbunden.

Die Probleme bei der konventionellen Bekämpfung beispielsweise von *Trogoderma granarium* EVERTS (1898) haben ihre Ursachen in der Widerstandsfähigkeit der Larven gegen tiefe Temperaturen (ZACHER, 1933; HINTON, 1945), Trockenheit (HADWAY, 1956), Nahrungsmangel (BRANES und GROVE, 1916; HINTON, 1945) und ihrer Widerstandsfähigkeit gegen verschiedene Insektizide (EL-LAKWAH, 1977a; 1977b). Deshalb ist dieser Schädling in vielen Ländern als Quarantäneschädling eingestuft.

Die oben genannten Gründe machen die Suche nach alternativen Wegen im Rahmen der integrierten Bekämpfungsverfahren notwendig. In diesem Zusammenhang gewinnt die Anwendungsmöglichkeit biologischer Gegenspieler, wie Prädatoren, Parasiten und Parasitoiden besonderes Interesse. Ziel ist die Verringerung des Wachstums der Schädlingspopulationen und damit die Verlustsenkung von gelagerten Produkten.

Die Einsatzmöglichkeiten von Parasitoiden zur Bekämpfung von *Trogoderma* spp. wurden bislang nicht ausreichend untersucht. Im Hinblick auf die Parasitierung von *T. granarium* liegen nur wenige Laboruntersuchungen zur Eignung von Hymenopteren als Parasitoide vor (KAPIL und CHAUDHARY, 1973). KLEIN und BECKAG (1990) führten eine vergleichende Untersuchung zwischen *T. variabile* BALLION und *T. glabrum* (HERBST) bezüglich ihrer Eignung als Wirt für die kleine Wespe *Laelius pedatus* durch. Der Parasitierungserfolg wurde an Hand der gesamten Anzahl der abgelegten Eier auf den Wirt, der Schlupfrate der adulten

Wespen sowie der Wirkung ihres Giftes bei beiden *Trogoderma*-Arten gemessen. Der Parasitierungserfolg war bei *T. variabile* erheblich größer als bei *T. glabrum*. Nach KLEIN et al.(1991) ist der Parasitierungserfolg dabei sehr stark vom Gewicht und von der Größe des Wirtes abhängig.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Erforschung der Einsatzmöglichkeiten des Parasitoiden *Laelius pedatus* (SAY, 1836) (Ameisenwespen, Bethyridae) zur Bekämpfung von Vorrats- und Materialschädlingen der Gattung *Trogoderma* im Vergleich zu dem normalen Wirt *Anthrenus verbasci* L. Als Vertreter der Vorratsschädlinge wurde der Khaprakäfer *T. granarium* gewählt, der erhebliche Schäden, insbesondere bei gelagerten Getreideprodukten in den kleinbäuerlichen Betrieben der warmen Länder hervorruft. Vertreter der Materialschädlinge wurde auf Grund seiner wachsenden Bedeutung als Schädling in Wohnungen, Geschäftsräumen, Apotheken und Museen *Trogoderma angustum* (SOLIER, 1849) gewählt.

## **1.2 Literaturübersicht**

### **1.2.1 Der Khapprakäfer *Trogoderma granarium* EVERTS**

Der Khapprakäfer *T. granarium* ist ein Vorratsschädling, der vorwiegend im Lager vorkommt. Der Schädling verursacht große Verluste, insbesondere an gelagertem Getreide in den bäuerlichen Betrieben der Tropen und Subtropen. Die große wirtschaftliche Bedeutung von *T. granarium* regte Forscher zu umfangreichen Studien über seine Biologie, Morphologie, Verhalten usw. an.

#### **1.2.1.1 Wirtschaftliche Bedeutung in den Tropen und Subtropen**

Die Larven des Khapprakäfers sind die Verursacher der Schäden an Vorräten in den Tropen und Subtropen und führen dort zu hohen Verlusten. Sie ernähren sich von Getreide und Getreideprodukten, insbesondere Weizen, Gerste, Reis, Hirse und Mais sowie von toten Insekten und von anderen Produkten tierischer und pflanzlicher Herkunft, wie Haferflocken, Datteln, trockenen Feigen, Sojabohnen, Kokosnüssen, Milchpulver, Luzerne, trockenem Blut usw. (LINDGREN und VINCENT, 1959; NOON, 1958; HOPKINS, 1955).

Die Getreidekörner werden bis auf die Schale durch die Larven ausgefressen, wodurch die Voraussetzungen auch für den Befall durch Sekundärschädlinge geschaffen werden können. Außerdem werden Verpackungsmaterialien verschiedener Art wie Papier, Textilien, Holz usw. angefressen (STEIN, 1986).

Die Larven von *T. granarium* fressen auch die Fasermaterialien der Getreidesäcke, so daß viele Löcher entstehen und bei langen Lagerungszeiten und starkem Befall dieses zu einem Zusammenstürzen gestapelter Säcke führen kann (HAYWARD, 1984). Diese Gefahr besteht besonders bei gelagertem Getreide vieler bäuerlicher Familien in den Entwicklungsländern. Von der gesamten Getreideernte, die etwa 1 bis 5 Tonnen pro Familie ausmacht, werden in vielen afrikanischen und arabischen Ländern mindestens 50 % für den eigenen Verbrauch gelagert. Der Rest wird verkauft.

Die Verluste an gelagertem Getreide, die durch *T. granarium* verursacht werden, sind in den tropischen und subtropischen Ländern auf Grund der klimatischen, lagertechnischen und sozialen Bedingungen sehr groß. Die Gewichtsverluste von Getreide wurden für eine Lagerungsperiode von 12 Monaten in der afrikanischen Sahelzone beispielsweise auf 20 % geschätzt (HAYWARD, 1984). Befallene Produkte werden auf Grund der schlechten Qualität in der Regel nicht mehr für die menschliche Ernährung, sondern nur noch als Tierfutter verwendet. Für die Republik Jemen berichtete GEISTHARDT (1992), daß dort mehr als 6000 Säcke (Ein Sack = 50 kg) Weizen in einem bäuerlichen Gemeinschaftslager durch einen starken Befall mit *T. granarium* in einer Lagerungszeit von 9 bis 12 Monaten für die menschliche Ernährung unbrauchbar gemacht wurden. Diese Verluste betrug 22 % der gesamten Weizenernte dieser bäuerlichen Gemeinschaft (ANONYMUS, 1993).

Die Käfer können ohne Nahrungsaufnahme ihre normale Eizahl produzieren (BARNES und GROVE, 1916). Die Larven vermögen trotz eines Nahrungsmangel sehr lang zu überleben. Überlebenszeiten der Larven von *T. granarium* bis zu einigen Jahren ohne Nahrung sind bekannt (HINTON, 1945). Die fakultative Diapause der Larven kann neben Nahrungsmangel durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden, z. B. tiefe Temperaturen, extreme Feuchtigkeitswerte, Übervölkerung und Anreicherung von Ausscheidungen der Tiere (HINTON, 1945; HADWAY, 1956).

Auf Grund des thigmotaktischen Verhaltens von *T. granarium* kann man die Larven gruppenweise an verschiedenen Stellen in den Lagerräumen wie beispielsweise zwischen gestapelten Säcken sowie zwischen den Säcken und der Lagerwand, finden. Die Larven können sogar in Risse und Öffnungen in den Wänden der Läger, die überwiegend aus Lehm und Holz gebaut sind, eindringen und dort ohne Nahrung für einige Jahre überleben (HAYWARD, 1984).

### 1.2.1.2 Biologie und Verhalten

#### Temperaturen und Feuchtigkeit.

*T. granarium* ist ein wärmeliebendes Insekt. Die Larven können aber bei Adaptierung auch sehr tiefe Temperaturen tolerieren, so daß sie selbst bei -10° C einige Tage lang überleben können (ZACHER, 1933). Sie stellen keine großen Ansprüche an Luft - und Substratfeuchtigkeit. Auch bei sehr trockenen Lagerprodukten können die Verluste sehr hoch sein (HAYWARD, 1984).

Für seine normale Entwicklung benötigt *T. granarium* Temperaturen zwischen 25° C und 35°C. Die untere Grenze für die Massenvermehrung liegt bei 21° C und 1 % relative Luftfeuchtigkeit (WEIDNER; 1983). Aus diesem Grund kommt der Käfer in trockenen und warmen Gebieten häufig vor. In den gemäßigten Gebieten findet man *T. granarium* vor allem in Räumen, in denen längere Zeit höhere Temperaturen über 25° C herrschen, z. B. in Mälzereien sowie in Silos mit eingelagertem Getreide (STEIN, 1986).

#### Licht

Obwohl die Weibchen des Khaprakäfers ihre Eier sowohl im Dunkeln als auch bei Licht legen können, wirkt eine Dauerbelichtung auf die Eiablage teilweise negativ (STEIN, 1986).

#### Eiablage

Die Imagines von *T. granarium* leben nur kurze Zeit, und die Weibchen legen sämtliche Eier innerhalb von wenigen Tagen. Die Kopulation findet gleich nach dem Schlüpfen der Käfer statt. Die Anzahl abgelegter Eier ist temperaturabhängig und liegt bei optimalen Lebensbedingungen (30° C und 30 bis 40 % rel. Luftfeuchtigkeit) im Bereich von 30 bis 80 Eiern pro Weibchen (HADAWAY, 1956). Bei Temperaturen unter 20° C ist das Weibchen nicht aktiv und legt keine Eier (HADAWAY, 1956). Die Eiablage der Weibchen kann dagegen in allen Luftfeuchtigkeitsbereichen erfolgen, wobei höhere Luftfeuchtigkeiten bevorzugt werden.

### 1.2.1.3 Bekämpfungsprobleme

Die konventionellen Bekämpfungsverfahren gegen *T. granarium* sind wegen der Widerstandsfähigkeit der Larven gegen tiefe Temperaturen und lange Hungerperioden (LINDGREN und VINCENT, 1959) sowie gegen Insektizide (EL-LAKWA, 1977a; 1977b; WOHLGEMUTH et al., 1987) mit Problemen verbunden.

Bei ungünstigen Lebensbedingungen gehen die Larven von *T. granarium* in ein Ruhestadium (Diapause) über, können bis zu 4 Jahre in diesem Ruhestand bleiben und bei günstigen Bedingungen die Entwicklung weiter fortsetzen (WEIDNER, 1983). Der Stoffwechsel der Diapauselarven ist stark reduziert, dadurch sind sie gegen Begasung mit normaler Dosis unempfindlich (WEIDNER, 1983). Die Widerstandsfähigkeit der Larven gegenüber Insektiziden und niedrigen Temperaturen wird noch verstärkt durch das Überstehen längerer Hungerperioden (LINDGREN und VINCENT, 1959).

Die Eier des Khaparakäfers sind ebenfalls widerstandsfähig gegenüber höheren Temperaturen, so daß für eine 100 %ige Mortalität bei 50° C Einwirkzeit von 4 Stunden erforderlich waren, während innerhalb von 3 Minuten das gleiche Resultat erst bei Temperaturen oberhalb von 58° C erreicht werden konnte (LINDGREN und VINCENT, 1959).

Aus den genannten Gründen ist die konventionelle Bekämpfung des Khaparakäfers häufig mit Schwierigkeiten verbunden. In den letzten Jahren sind zahlreiche Forschungen zur Entwicklung neuer Strategien für die Bekämpfung des Schädling vorgenommen worden. In Indien wurde beispielsweise die Wirkung pflanzlicher Stoffe, wie Neem (*Azadirachta indica*) in Form von Neemölextrakten aus Kernen und/oder Blättern; Extrakten aus Zitrusblättern (*Citrus limon*); Knoblauch (*Allium sativum*) und Ährenminze-Blättern (*Mentha spicata*) auf die Befallsminderung des Khaparakäfers in Weizen und in Sorghum untersucht (JOOD et al., 1993 sowie 1996). Über die Eignung von Parasitoiden zur Bekämpfung von *T. granarium* liegen nur wenige Angaben vor (KAPIL und CHAUDHARY, 1973).

## **1.2.2 *Trogoderma angustum* (SOLIER)**

### **1.2.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung**

Mehrere Autoren haben in den letzten Jahrzehnten über die südamerikanische Art *T. angustum* und seine wachsende Bedeutung als Material- und Vorratsschädling in Europa in Wohnungen, Museen, Apotheken und Lagerräumen berichtet (KEMPER und DÖHRING, 1963; WEGELIUS, 1965; WOHLGEMUTH, 1967; WOHLGEMUTH, 1975, KLASCHKA und JUNG, 1975). Die Art wurde in den 20iger Jahren dieses Jahrhunderts von Chile über die Vereinigten Staaten nach Polen und Deutschland eingeschleppt. In Stettin wurde sie erstmals 1921 gefunden (HORION, 1960). Der Schädling konnte sich aber jahrelang nicht über bestimmte Gebiete hinaus verbreiten und kommt vor allem in Berlin und Hamburg vor. Nach GEISTHARDT (1982) ist die Verbreitung der Art heute in Deutschland nicht mehr auf Berlin und Hamburg beschränkt.

Funde aus anderen Gebieten Deutschlands wie Frankfurt, Köln, Mainz und Wiesbaden belegen in den letzten Jahren eine weitere Verbreitung (GEISTHARDT, 1982). In Süddeutschland wurde *T. angustum* auch Anfang der achtziger Jahre beobachtet (KÜNST, mündliche Mitteilung). KÖHLER und KLAUSNITZER (1998) berichteten über die Verbreitung von *T. angustum* in ganz Deutschland mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern.

In warmen Jahreszeiten können die Käfer oft im Inneren von Häusern an den Fenstern beobachtet werden. Das ist ein Zeichen, daß sie zeitweilig positiv phototaktisch reagieren und ins Freie streben (KEMPER und DÖHRING, 1963).

Die wachsende Bedeutung dieses Insekts als Schädling, insbesondere in den oben genannten Einrichtungen, erfordert noch mehr Kenntnisse über seine Biologie, sein Verhalten und die Suche nach neuen geeigneten Bekämpfungsverfahren zur Beschränkung der hervorgerufenen Schäden.

Wie bei *T. granarium* nehmen auch die Imagines von *T. angustum* fast keine Nahrung im Lager auf und sind deswegen als Schädlinge unbedeutend. Die Larven dagegen sind für Schädigungen an Lebensmitteln, Verpackungen und wissenschaftlichen zoologischen Sammlungen verantwortlich.

### **1.2.2.2 Morphologie und Biologie**

Eine ausführliche Beschreibung von *T. angustum*, zum Aussehen des Käfers, zum Geschlechtsdimorphismus und zu den verschiedenen Entwicklungsstadien sowie zu seinen Lebens- und Fraßgewohnheiten ist aus den Veröffentlichungen von KEMPER und DÖHRING (1963), KEILBACH (1966), PHILIPP (1968) und WEIDNER (1982) zu entnehmen. Das Männchen ist etwa 2-3 mm und das Weibchen 3-4 mm lang. Sie ernähren sich im Freien an Doldenblütlern und anderen Blütenpflanzen (KEMPER und DÖHRING, 1963; PHILIPP, 1968). Bei Temperaturen unter 10° C legen die Weibchen keine Eier, während bei 15° C die Eiablage des Weibchens bereits durchschnittliche Werte wie bei höheren Temperaturen erreichen kann (WOHLGEMUTH 1967). Die Verpuppung erfolgt in der letzten Larvenhaut.

Die Larven sind stark beborstet (Abb.1). Die Larvenhaare sind von größerer Bedeutung bei der Verteidigung gegen natürliche Feinde, wie Parasiten, Parasitoide und Räuber (siehe Abschnitt 1.2.5.3.3). Anhand des Vorhandenseins oder des Fehlens von Pfeilhaaren an den Tergiten der Segmente des Abdomens können die unterschiedlichen Larvenstadien bestimmt werden (PHILIPP, 1968).



Abb. 1: Larve von *T. angustum*, ein Material- und Wohnungsschädling

Die Larven von *T. angustum* entwickeln sich auf einem breiten Nahrungsspektrum. Die Entwicklungsdauer wird aber sehr stark von der Temperatur und der Art der Nahrung beeinflusst.

WOHLGEMUTH (1967) gab folgende Mindestentwicklungszeiten an:

Bei 20°C und 60 % rel. Luftfeuchtigkeit betragen die Mindestentwicklungszeiten auf Erdnußexpeller 108 Tage, auf Mais 121 Tage und auf Malz 125 Tage. Bei 25° C und 60 % rel. Luftfeuchtigkeit betragen die Mindestentwicklungszeiten auf Haferflocken 53 Tage, auf Mais 92 Tage.

WOHLGEMUTH (1967) fand die beste Entwicklung der Larven auf Weizen, Haselnußkernen, süßen Mandeln, Erdnußexpellern, Trockenerbsen und Pollen.

PHILLIP (1968) gab die folgende Reihenfolge für eine optimale Entwicklung der Larven auf pflanzlicher Nahrung an:

Weizen, Roggen, Gerste, Reis, Mais, Haselnußkerne und Hafer.

Diese stimmt mit der Liste von KEMPER und DÖHRING (1963) zum größten Teil überein. Als tierische Nahrung verzehrten die Larven tote Insekten, Vogelfedern, getrocknete sezierte Mäuse, Taubenfleisch und getrocknetes Rindfleisch (WOHLGEMUTH, 1967; PHILIPP, 1968). Die Larven können ohne Nahrung mehr als drei Monate überleben (KLASCHKA und JUNG, 1975).

### **1.2.3 Der Kabinettkäfer *Anthrenus verbasci* (L.)**

Der Kabinettkäfer *A. verbasci* ist auch unter der deutschen Bezeichnung Wollkrautblütenkäfer bekannt. Der Käfer ist 1,7- 3,2 mm lang und 1,1- 2,2 mm breit. Die Larve wird bis zu 4,5 mm lang, ist an der Oberseite braun und unten gelblich weiß gefärbt. Die Puppe bleibt in der Larvenhaut und ist etwa 2- 3 mm lang. Sie bleibt fast immer in der letzten Larvenhaut. Die Verbreitung der Art erstreckt sich über die ganze Welt (KEMPER, 1935).

#### **1.2.3.1 Nahrung und wirtschaftliche Bedeutung**

Die Nahrung der Larven besteht aus Wollwaren aller Art und anderen trockenen tierischen Stoffen. In Mehl konnten die Tiere ebenfalls ihre Entwicklung durchlaufen (KEMPER, 1935). In Wohnungen befallen sie in der Regel die Teppiche. Bei gleichzeitigem Angebot von toten Insekten und Wolle bevorzugen die Larven jedoch die toten Insekten (KUNIKE, 1938), was sie zu gefürchteten Schädlingen an Insektensammlungen in Museen macht (ZACHER, 1927).

Die Larven des Kabinettkäfers zerstören ein breites Spektrum tierischer Produkte wie Wolle, Pelze und Leder sowie Produkte aus diesen Materialien (ZACHER, 1932; KUNIKE, 1938,1939; GRISWOLD, 1941). YAMADA (1955) berichtete, daß *A. verbasci* in Japan der wichtigste Schädling in der Wollindustrie ist. Die Larven findet man in dem Nestmaterial von Vögeln (KEMPER, 1950). In Wohnungen halten sich die Larven unter den Teppichen und in dunklen Ecken von Kleiderschränken auf. Die Larven zerstören auch Seidenstoffe (BACK, 1923; YOKOYAMA, 1929).

### **1.2.3.2 Biologie und Verhalten**

Die Käfer sind von April bis August auf den Blüten bestimmter Pflanzen wie Spiraeen, Weißdorn und Eberesche zu finden (KEMPER, 1950). Dort ernähren sich die Käfer bei Tageslicht von den Pollenkörnern und Blütennektar (KEMPER, 1950). Die Kopulation erfolgt auch auf den Blüten (GRISWOLD, 1941). Zur Eiablage suchen die Käfer Vogelnester, tote Tiere, Wolle, Ställe und auch menschliche Behausungen auf (ZACHER, 1932; YAMADA, 1955; WEIDNER, 1983). Die Eianzahl sowie die Dauer der Eientwicklung sind temperaturabhängig. Das Weibchen legt durchschnittlich 30 Eier, wobei ihre durchschnittliche Entwicklung bei 29° C etwa 10 Tage dauert (GRISWOLD, 1941; HINTON, 1945). Die aus dem Ei schlüpfende Larve und fängt sofort an, Nahrung aufzunehmen (GRISWOLD, 1941). Die Anzahl der Larvenstadien ist abhängig von der Nahrung, der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit (HINTON, 1945). Bei Zimmertemperaturen kann die vollständige Entwicklung der Larven bis zu einem Jahr dauern (GRISWOLD, 1941). Die Puppe bleibt in der letzten Larvenhaut. Das Puppenstadium dauert bei 29° C etwa 7 Tage (GRISWOLD, 1941).

## **1.2.4 Biologische Schädlingsbekämpfung als wichtige Komponente der integrierten Verfahren im Vorratsschutz**

### **1.2.4.1 Definition**

Die biologische Schädlingsbekämpfung ist ein Teil des biologischen Pflanzenschutzes. Der biologische Pflanzenschutz schließt nach HOFFMANN et al. (1994) Verfahren ein, die sich unmittelbar gegen den Erreger richten, wie auch solche, die auf den Wirt gerichtet sind.

FRANZ (1961) definierte die biologische Schädlingsbekämpfung wie folgt:

" Alle Maßnahmen, die darauf hinzielen, mit Hilfe der Antagonisten den gegenwärtigen oder bevorstehenden Anstieg der Dichte einer wirtschaftlich unerwünschten Tier- oder Pflanzenart abzubremsen und das Dichteniveau dieses Schädlings unterhalb der Schadensschwelle zu halten".

Der Begriff „Biologische Bekämpfung“ beinhaltet die Verwendung von Antagonisten zur Unterdrückung bzw. Vernichtung von Schädlingen, die mit dem Menschen und seinen Haustieren um die Nahrung konkurrieren. Antagonisten können Insektengegenspieler wie Prädatoren, Parasiten und Parasitoiden oder Pathogene, wie Pilze, Bakterien und Viren sein. Die Verwendung biologischer Gegenspieler ist im Grunde genommen nicht neu. Gegenwärtig erlangt diese Technik jedoch mehr an Interesse wegen der wachsenden Umweltbelastungen auch durch den Umfang des Einsatzes von Agro-Chemikalien.

Darüber hinaus verfolgt eine biologische Schädlingsbekämpfung folgende Ziele (Vergl. FRANZ, 1961):

- Verwendung von Lebewesen zur aktiven Begrenzung der Populationsdichte schädlicher Tiere oder Pflanzen.
- Reduktion von Insektenpopulationen durch natürliche Feinde wie entomophage Insekten und Insektenpathogene.
- Folgeschäden sollen durch Einsatz von Antagonisten mit möglichst engem Einsatzbereich und hoher Spezifität vermieden werden.

- Die Schadenswahrscheinlichkeit soll durch die Verwendung von Nutzorganismen verringert oder verhindert, nicht jedoch der Schaderreger ausgerottet werden.

In der Natur hat jeder lebende Organismus seine Gegenspieler. Diese halten das biologische Gleichgewicht durch die Vernichtung eines Teils der Population jenes Organismus unter Kontrolle (STEIN; 1986).

Durch den umfangreichen Einsatz von Pestiziden werden diese biologischen Gleichgewichtsreaktionen stark beeinflusst. Die Vernichtung von Schädlingen und Nützlingen führte unter anderem dazu, besonders wenn Schädlinge noch Resistenz gegen die chemischen Mitteln gebildet haben, daß beim Fehlen der entsprechenden Nützlinge, es zu einer Steigerung der Population der Schädlinge kommt.

Bei einer Existenz zahlreicher Gegenspielern in einer Lebensgemeinschaft mit den Schädlingen, bleibt die Wahrscheinlichkeit einer ungestörten Massenvermehrung der Schädlinge gering (STEIN, 1986). Das ist aber nicht der Fall im Vorratslager, wo normalerweise eine artenarme Gemeinschaft herrscht (STEIN, 1986). Dies gilt nicht bei den traditionellen Vorratslagern in den Tropen (HEINES, 1984, AL-KIRSHI 1996b), wo viele Arten auftreten.

Der Einsatz von biologischer Verfahren im Vorratsschutz beinhaltet die folgenden Aspekte (vergl. ARBOGAST, 1984):

- a) Einführung exotischer Gegenspieler zur Bekämpfung eines exotischen Schädlings (klassische Biologische Bekämpfung)

Die Einführung exotischer Gegenspieler setzt neben der hohen Leistungsfähigkeit auch die Anpassungsfähigkeit der Gegenspieler-Art an die neuen Umweltbedingungen und ihre Harmlosigkeit gegenüber Nicht-Zielorganismen voraus. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Einführung von *Teretriosoma nigrescens* LEWIS nach Afrika zur Bekämpfung des Großen Kornbohrers *Prostephannus truncatus* (HORN).

#### b) Haltung und Vermehrung einheimischer Nützlingsarten

Die Vermehrung einheimischer Arten von Gegenspielern hat den Vorteil, daß sie schon ein Teil der einheimischen Fauna sind. Hier soll die Population der Nützlinge gefördert und gezielt freigelassen werden, z. B. Freilassung von Insektenantagonisten oder Spritzen von mikrobielle Antagonisten.

Ein optimales Ausnutzen biologischer Gegenspieler im Vorratsschutz sollte besonders in einem integrierten Schädlingsbekämpfungssystem realisiert werden. Für den Vorratsschutz wurde dies von REICHMUTH (1996) wie folgt definiert:

„Ein integriertes Schädlingsbekämpfungssystem (Integrated Pest Management) [IPM] in Vorratsschutz beinhaltet hygienische, technische, technologische und biotechnologische Methoden sowie biologische und chemische Bekämpfungsmaßnahmen. Dabei wird dem Schutz der menschlichen Gesundheit wie auch der Umwelt höchste Priorität eingeräumt. Darüber hinaus ist die entsprechende Wirtschaftspolitik ein weiteres Element von IPM im Vorratsschutz“

#### 1.2.4.2 Einsatz von Entomophagen im Vorratsschutz

Ausreichende Informationen über die Biologie und das Verhalten der Gegenspieler sowie der Schädlinge sind Voraussetzung für einen wirksamen Einsatz von biologischen Verfahren zur Bekämpfung von Vorratsschädlingen. Die potentielle Leistung des Gegenspielers hängt aber auch von den im Vorratslager vorherrschenden abiotischen Bedingungen ab.

In Abhängigkeit von ihrem Ernährungsverhalten sind die Parasitoiden und die Prädatoren entweder Generalisten oder Spezialisten (BISCHOFF, 1927; SCHÖLLER et al., 1997). Die Generalisten parasitieren verschiedene Wirtsarten, die systematisch weit entfernt stehen können. Die Prädatoren töten ihre Beute sofort und sind meistens Generalisten. Im Vorratsschutz sind zwei Prädatoren intensiv erforscht. Der erste ist die Wanze *Xylocoris flavipes* (REUTER), die sowohl die Eier als auch die Larven verschiedener Vorratsschädlinge parasitiert (ABDEL-RAHMAN et al., 1978 - 1979; ARBOGAST et al., 1977, 1983; AWADALLAH und TAWFIK,

1972; ARBOGAST, 1975, 1976, 1978, 1979; BROWER und PRESS, 1988, 1992; BROWER und MULLEN, 1990). Der zweite ist der Käfer *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (REES, 1985, 1987, 1990; HELBIG et al., 1992a ; HELBIG et al., 1992b; HELBIG 1995; HELBIG und SCHULZ, 1996; MUTLU, 1994; PÖSCHKO et al., 1992; PÖSCHKO 1994; BÖYE et al., 1992), der ein großes Wirtsspektrum besitzt (PÖSCHKO, 1993).

Die Spezialisten dagegen attackieren Wirtstiere, die sehr nahe verwandt sind. So attackiert *L. pedatus* beispielsweise nur Larven einiger Dermestidenarten wie *Anthrenus* und *Trogoderma*.

#### **1.2.4.2.1 Nützlingsauswahl**

In Abhängigkeit von den Lagerbedingungen sowie den gelagerten Produkten erfolgt die Auswahl geeigneter Gegenspieler für die Bekämpfung von Vorratsschädlingen. Gelagerte Waren, die durch einen oder mehrere nahe verwandte Schädlinge befallen sind, sollten durch einen spezifischen Gegenspieler geschützt werden. Für die Bekämpfung vorratsschädlicher Motten scheinen beispielsweise die Freilassung von *Habrobracon hebetor* SAY, *Trichogramma evanescens* WESTWOOD oder *Venturia canescens* (GRAVENHORST) geeignet (BUCHWALD und BERLINER, 1910; PRESS et al., 1977; PROZELL et al., 1995, 1996; SCHÖLLER et al., 1997). Bei Befall der Waren durch Schädlingsarten, die systematisch weit auseinander liegen, ist bei biologischer Bekämpfung die Kombination der Freilassung von Spezialisten und Generalisten erforderlich (PRESS et al., 1982; BROWER und PRESS, 1992).

#### **1.2.4.2.2 Handhabung und Freilassungsmethoden**

Der Umgang mit Nützlingen wie Parasitoiden und Prädatoren setzt umfangreiche Grundkenntnisse über die Biologie des Nützlings voraus. Die Nützlinge, die für die Bekämpfung des Schädlings in Frage kommen, müssen erst aus der einheimischen Fauna oder aus dem Ausland beschafft werden. Dann erfolgt die Züchtung, die Vermehrung und die Freilassung des Nützlings. Bei der Zucht spielen abiotische Faktoren, wie z. B. die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit sowie die

Nahrung eine entscheidende Rolle. Da die Massenzucht von Nützlingen einige Wochen dauert, ist die Schädlingsprognose von Bedeutung. Der Einsatz von Pheromonfallen zur Früherkennung der Schädlinge kann eine erste Warnung für einen bevorstehenden Massenbefall liefern. Beim ersten Fang von Schädlingen in den Pheromonfallen soll von der Erhaltungszucht der Nützlinge möglich schnell eine Massenzucht aufgebaut werden. Die optimale Vermehrung der Nützlinge erfolgt in der Regel auf dem Wirtstier, welches von den einzelnen Nützlingsarten bevorzugt wird. Die Erhöhung der Anzahl der Nützlingsindividuen bei gleich bleibender Anzahl der Individuen des Schädlings führt zur Erhöhung der Vermehrung des Nützlings bis zum optimalen Nützling-Wirt-Verhältnis. Danach führt eine weitere Erhöhung der Anzahl der Nützlingsindividuen zur Senkung der Vermehrungsrate des Nützlings (HELBIG, 1993; WEN und BROWER, 1994). Das Beute-Räuber-Verhältnis von 100 : 10 bei *Prostephanus truncatus* und *Teretriosoma nigrescens* ermöglicht beispielsweise die besten Vermehrungsmöglichkeit für *T. nigrescens* (HELBIG, 1993).

Je nach dem Leistungsvermögen der einzelnen Nützlinge und der Befallsstärke des Schädlings erfolgt die Bestimmung der Anzahl der Individuen, die freigelassen werden müssen. Dabei gibt es wiederum ein optimales Schädlings-Nützlings-Verhältnis. Für den Prädator *Teretriosoma nigrescens* und den Schädling *Prostephanus truncatus* beträgt das optimale Beute-Räuber-verhältnis, welches zu einer optimalen Verminderung der Anzahl der Schädlingsindividuen führen kann, unter den Bedingungen Togos 100 : 15 (HELBIG, 1993).

Die Freilassungsmethoden, die im Gewächshaus zur Bekämpfung der Weißen Gewächshausfliege *Trialeurodes vaporariorum* mit der Schlupfwespe *Encarsia formosa* praktiziert werden (SCHNELLER, 1994), können auch im Vorratslager ihre Anwendung finden. Karten mit Eiern des Eiparasitoiden *Trichogramma evanescens* werden in Berlin für die Bekämpfung von Motten im Kleinhandel eingesetzt (PROZELL et al., 1995). Über die Freilassung von *Teretriosoma nigrescens* in der praktischen Bekämpfung von *Prostephanus truncatus* in Afrika berichteten mehrere Autoren (HELBIG, 1993; MUTLU, 1994; RICHTER et al., 1997).

Für eine erfolgreiche Schädlingsbekämpfung sollten die biologischen Verfahren mit anderen, konventionellen Methoden verträglich sein. Die Kombination von Pestiziden und Gegenspielern ist von HEINSE (1984) diskutiert worden. Die effektive Wirkung von *H. hebetor* im Lager, mit geringerem Anteil (< 2,0 ppm) an Malathion, wurde von KEEVER et al. (1986) festgestellt. BAKER und WEAVER (1993) fanden gegenüber Malathion resistente Stämme von *Anisopteromalus calandrae* (HOWARD).

SMITH (1993) berichtete über die Freilassung und die Wirksamkeit von *A. calandrae* insbesondere bei hohen Temperaturen. FLINN und HAGSTRUM (1996) gaben weitere Beispiele für die Integration des Einsatzes von Gegenspielern in Verbindung mit anderen Bekämpfungsmethoden.

#### **1.2.4.2.3 Eignung traditioneller Läger in den Tropen für den Einsatz von Nützlingen**

Der Einsatz biologischer Verfahren, wie die Anwendung von Parasitoiden zur Bekämpfung von Vorratsschädlingen findet seine Effektivität besonders dort, wo die konventionellen Bekämpfungsverfahren nicht oder sehr begrenzt praktikabel sind, wie z. B. bei den kleinbäuerlichen Betrieben in den Tropen und Subtropen. Die Baustruktur der Läger, deren Wände, Fenster und Türen nicht ausreichend dicht sind, erschwert so den Einsatz von Begasungsverfahren.

Aufgrund der begrenzten Kenntnisse der Landwirte über die Biologie der Schädlinge sowie wegen der Armut auf dem Lande scheitern meistens die Empfehlungen zum Aufbau moderner Vorratsläger. Von den meisten Landwirten wird der Befall und das Schädlingsauftreten als eine natürliche und unvermeidliche Tatsache angesehen. Wegen des Ausbleibens chemischer Verfahren ist das Vorkommen einheimischer Gegenspieler relativ hoch (HEINES, 1984).

Diese Bedingungen unterstützen die Überlegungen zur Förderung des Einsatzes von Parasitoiden im Vorratsschutz in den Tropen zur Verhinderung des Populationswachstums der Schädlinge.

#### 1.2.4.2.4 Unterdrückung des Populationswachstums

Der Einsatz biologischer Gegenspieler hat das Ziel, die Schädlingspopulation unterhalb einer wirtschaftlichen Schadensschwelle zu halten. Das erfolgt entweder über die Verhinderung des Populationswachstums oder die Unterdrückung der Population der Schädlinge. Tabelle 1 zeigt die Verminderung der Populationen einiger Vorratsschädlinge durch den Einsatz von Gegenspielern. Die Daten wurden in Feld- oder Laboruntersuchungen gewonnen. Die Verminderung des Populationswachstums schwankt zwischen 20 % bis über 95 % in Abhängigkeit vom Leistungsvermögen der einzelnen Nützlinge sowie den Schädlingsarten und Untersuchungsmethoden. *Teretriosoma nigrescens* konnte beispielsweise die Population von *P. truncatus* im Maislager um 73 % bzw. 80 % in zwei nacheinander folgenden Lagerungsperioden (MUHLTU, 1994) unterdrücken. Das Populationswachstum von *Sitophilus zeamais* konnte durch den Einsatz von *Anisopteromalus calandrae* bis zu 50 % unterdrückt werden (WILLIAMS und FLOYED, 1971). Dagegen konnte der Prädator *Xylocoris flavipes* die Schädlingspopulation von *Oryzaephilus surinamensis* vollständig auslöschen (ARBOGAST, 1976). Ähnlich hohe Resultate wurde bei der Speichermotte *Ephestia cautella* durch den Einsatz von *Habrobracon hebetor* oder durch *Venturia canescens* erzielt (PRESS et al., 1982).

Tab. 1: Unterdrückung des Populationswachstums einiger Vorratsschädlinge durch den Gegenspieler im Vergleich zum Wachstum der Schädlingspopulation ohne Gegenspieler (Nach verschiedenen Autoren)

Schädling	Nützling	Verhältnis Parasit : Wirt	Populations- unterdrückung in %	Autor
<i>Ephestia cautella</i>	<i>Habrbracon hebetor</i> <i>Venturia canescens</i>	- -	97 92	PRESS et al., 1982
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	<i>Xylocoris flavipes</i>	-	97 bis 99	ARBOGAST, 1976
<i>Plodia interpunctella</i>	<i>Habrbracon hebetor</i>	-	74	PRESS et al., 1974
<i>Prostephanus truncatus</i>	<i>Teretriosoma nigrescens</i>	-	73 bis 80	MUTLU, 1994
<i>Rhyzopertha dominica</i>	<i>Choetospila elegans</i>	-	88	FLINN et al., 1994
<i>Sitophilus oryzae</i>	<i>Anisopteromalus calandrae</i>	1 : 240 1 : 24	47 95	PRESS et al., 1984 Zit. aus: CLINE et al., 1985
<i>Sitophilus zeamais</i>	<i>Anisopteromalus calandrae</i>	- -	25 bis 50  > 90	WILLIAMS & FLOYD, 1971 WEN & BROWER, 1994
<i>Sitophilus zeamais</i>	<i>Choetospila elegans</i>	-	> 50	WILLIAMS & FLOYD, 1971
<i>Tribolium castaneum</i>	<i>Xylocoris flavipes</i>	-	20 bis 80	PRESS et al., 1975
<i>Trogoderma granarium</i>	<i>Laelius pedatus</i>	1 : 25	ca. 73	AL-IRSHI et al., 1996a

### 1.2.5 Bedeutung der Bethyriden als Parasitoide im Vorratsschutz

Die Imagines der auch als Ameisenwespen bezeichneten Familie der Bethyridae, sind kleine Insekten mit einer Körpergröße von 1 bis 10 mm (EVANS, 1964). Die Imagines ernähren sich von der Hämolymphe des Wirtstieres. Deswegen lähmen einige Arten ihre Beute nur für Ernährungszwecke (EVANS, 1964), obwohl die Lähmung des Wirtes bei den meisten Arten auch die Eiablage vorbereitet (siehe Abschnitt 1.2.5.3.4). BISCHOFF (1927) hat den allgemeinen Körperbau der Ameisenwespen mit den folgenden Sätzen beschrieben: " Kopf meist prognath, Aderung reduziert, Flügel häufig fehlend. Mittelsegment lang....".

Die Wespen besitzen ein charakteristisches Aussehen, so daß man sie von den anderen Hymenopteren leicht unterscheiden kann. Diagnostische Merkmale der Bethyridae (nach KIEFFER, 1914) sind:

- Auge nie ausgerandet, gewöhnlich länglich,
- Mund normalerweise am Vorderrand des Kopfes und
- Antenne nicht geknickt, borstenförmig, oder distal allmählich und sehr wenig verdickt, seltener ästig.

Vertreter der Bethyridae können 10 gliedrige Antennen haben, entweder dicht vor dem Clypeus entspringend, wobei der Mund am Vorderrande des Kopfes liegt oder sehr weit vom Clypeus entfernt, wobei der Mund ventral nahe am Hinterrande des Kopfes liegt. Arten der Bethyridae können auch 11- 13 gliedrige Antennen haben, die dann dicht hinter dem Clypeus entspringen.

- Thorax länglich oftmals sehr gestreckt. Pronotum entweder lang und schmal oder so breit wie das Mesonotum. Metathorax groß
- Flügel in der Ruhe nicht gefaltet, oft verkümmert oder fehlend.

Für viele Gattungen sind die Flügel bei den Männchen normal entwickelt und fehlen bei dem Weibchen

Beispiele einiger Gattungen der Familie der Bethylidae, die für den Vorratsschutz von Bedeutung sind, sind aus der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Einige Gattungen der Familie der Bethylidae mit besonderer Bedeutung im Vorratsschutz

Gattung	Wirt	Vorkommen	Literatur
<i>Cephalonomia</i>	<i>Cryptolestes spp.</i> <i>Oryzaephilus spp.</i>	Europa, Hawaii, Serilanka und Nordamerika	KIEFFER, 1914 KURIAN, 1954; EVANS, 1964
<i>Holepyris</i>	<i>Lepidoptera</i> <i>Coleoptera</i>	Europa, Hawaii und Nordamerika	KURIAN, 1954; EVANS, 1964
<i>Scleroderma</i>	<i>Anobiidae spp.</i> <i>Bruchidae spp.</i>	Hawaii, Japan	YAMADA, 1955
<i>Epyris</i>	<i>Tenebrionidae</i>	Afrika, Hawaii	YAMADA, 1955
<i>Laelius</i>	<i>Dermestidae</i> vor allem <i>Anthrenus</i> und <i>Trogoderma</i> <i>spp.</i>	Nord- und Südamerika, Europa, Nordafrika, Nah- und Fernost	KIEFFER, 1914 KURIAN, 1954, EVANS, 1964 und GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>Goniozus</i>	<i>Lepidoptera</i>	Indien, Philipien, Hawaii, Japan	KURIAN, 1954

### 1.2.5.1 Systematische Stellung der Gattung *Laelius* innerhalb der Familie der Bethylidae

BRIDWELL (1920) hat die Bethylidaen nach ihren Ernährungsgewohnheiten und ihrem Verhalten in drei Gruppen gegliedert:

1. Die *Epyris*-Gruppe ernährt sich sowohl von süßen Säften als auch von den Körperflüssigkeiten des Wirtes. Charakteristisch bei dieser Gruppe ist, daß das Weibchen nur ein Ei pro Wirtstier ablegt und das gelähmte Wirtstier in ein Versteck fortgeschleppt wird. Vertreter dieser Gruppe stammen aus den Gattungen *Epyris*, *Holepyris* usw.
2. Die *Goniozus*-Gruppe, deren Vertreter Schmetterlingsraupen attackieren, legen normalerweise mehr als ein Ei auf das Wirtstier. Die Wirtslarven werden nicht von der Wespe fortgeschleppt. Die Wespen ernähren sich von zuckerhaltigen Säften. Vertreter dieser Gruppe sind Arten aus den Gattungen *Goniozus*, *Perisierola*, *Sierola*, ***Laelius*** usw.
3. Die *Sclerodermus*-Gruppe. Die Imagines dieser Gruppe ernähren sich ausschließlich von dem fließenden Saft aus der Stichwunde des Wirtes. Die attackierte Beute verbleibt dort, wo sie angegriffen wurde und wird nicht verschleppt. Es werden auf einem Wirtstier mehrere Eier abgelegt. Vertreter sind Arten aus den Gattungen *Cephalonomia*, *Scleroderma*, *Allepyris* usw.

Nach KIEFFER (1914) unterscheidet sich die Gattung *Laelius* von der Gattung *Allepyris* nur durch folgende Merkmale:

„Auge kahl bei den europäischen Arten, behaart bei den nordamerikanischen. Mediansegment mit 1-5 Längsleisten. Flügel ohne Pterostigma..“

Bei seiner Gliederung der französischen Bethylidaen wurde die Gattung *Laelius* nach BERLAND (1928) zusammen mit den Gattungen *Allepyris*, *Scleroderma*, *Parascleroderma*, *Glenosema*, *Cephalonomia* und *Ateleopterus* der Unterfamilie der Scleroderminae zugeordnet.

Die Stellung der Gattung *Laelius* innerhalb der amerikanischen Bethylidaen ist aus der Abbildung 2 zu beziehen.

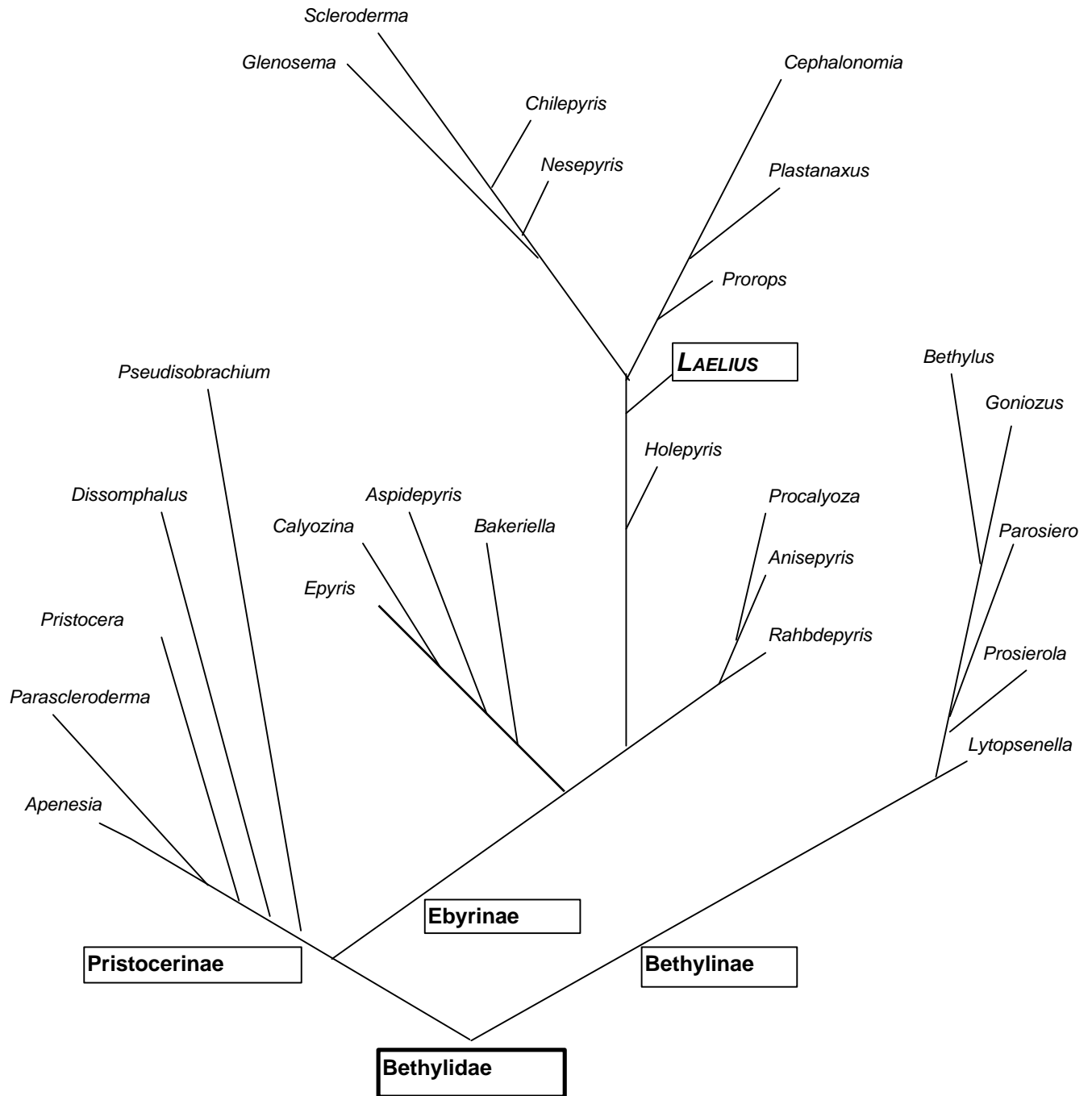


Abb. 2: Die Stellung der Gattung *Laelius* innerhalb der amerikanischen Bethylidaen (Nach EVANS, 1964, verändert)

### 1.2.5.2 Verbreitung der Gattung *Laelius*

Nach GORDH und MÓCZÁR (1990) ist die Gattung *Laelius* in Europa (8 Arten), in Nordamerika (6 Arten), in Südamerika (3 Arten), in Indien (2 Arten), in Algerien (1 Art) und in Israel (1 Art) verbreitet. Auf Grund des Fehlens faunistischer Erhebungen in vielen Ländern ist zu erwarten, daß die Gattung *Laelius* an anderen Orten der Welt vorhanden, insbesondere dort wo die Wirte *Anthrenus* und *Trogoderma* vorkommen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Verbreitung der Gattung *Laelius* in der Welt.

Tab. 3: Die Verbreitung von *Laelius* spp. in der Welt.

Art	Vorkommen	Wirt	Literatur
<i>L. anfractuusus</i> BENOIT, 1952	Algerien	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. agraensis</i> KURIAN, 1955	India	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. anthrenivorus</i> TRANI, 1909	Frankreich, Italien, Rumänien	<b>Dermistidae:</b> <i>Anthrenus museorum</i> (L.), <i>Anthrenus verbasci</i> (L.)	VANCE und BARKER, 1932
<i>L. bipartitus</i> KIEFER, 1906	Frankreich	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>Bethylus centratus</i> SAY, 1836	Kanada, Mexiko und USA	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. trogodermais</i> ASHMEAD, 1893	Kolumbien	unbekannt	MUESEBECK, 1939
<i>L. occidentalis</i> WHITTAKER, 1929	Chile, Colombien und Kanada	<b>Dermestidae:</b> <i>Anthrenus pimpinellae</i> (FAB.), <i>Trogoderma tarsale</i> , <i>Trogoderma parabile</i> BEAL. <i>T. simplex</i> JAYNE, <i>T. inclusum</i> LECONTE ( <i>T. versicolor</i> CREUTZER)	KIEFFER, 1914; MUESEBECK, 1939; EVANS, 1964; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. elisae</i> RUSSO, 1938	Italien	<b>Scolytidae:</b> <i>Leperisinus fraxini</i> (PANZER) <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> (BERN.)	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>Bethylus femoralis</i> FÖRSTER, 1860	Deutschland, Schweden und Finnland	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. fulvipes</i> KIEFER, 1906	Israel, Italien, Rumänien und Spanien	unbekannt	KIEFFER, 1914; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. nudipennis</i> BRUES, 1933	Fossil in Baltischen Bernstein an dem Oligozän	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990

## Fortsetzung zur Tab. 3:

<i>L. pallidus</i> BRUES, 1933	Fossil in Baltischen Bernstein an dem Olgozän	unbekannt	GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>Bathylus pedatus</i> SAY, 1836	Brasilien, Kanada, Mexiko, USA	<b>Dermestidae:</b> <i>Anthrenus verbasci</i> (L.), <i>Anthrenus vorax</i> WATERH., <i>Trogoderma angustum</i> (SOLIER), <i>T. variabile</i> BALLION, <i>T. glabrum</i> (HERBST) <i>T. granarium</i> EVERTS, <i>T. inclusum</i> LÉCONTE = ( <i>T. versicolor</i> CREUTZER), <i>Trogoderma parabile</i> BEAL	MUESEBECK, 1939; MERTINS, 1980; KLEIN und BEKAGE, 1990, AL-KIRSHI et al., 1995, AL-KIRSHI et al., 1996a,
<i>L. perrisi</i> KIEFER, 1906	Frankreich	unbekannt	BERLAND, 1928; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>Bethylus rufipes</i> FÖRSTER, 1860	Deutschland, Frankreich	unbekannt	BERLAND, 1928; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. simplex</i> EVANS, 1978	USA	<b>Dermestidae:</b> <i>Trogoderma simplex</i> JAYNE	EVANS, 1978; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. tibialis</i> KIEFER, 1906	Frankreich	unbekannt	BERLAND, 1928; GORDH und MÓCZÁR, 1990
<i>L. utilis</i> COCKERELL, 1920	Kanada, Schweden, USA	<b>Bruchidae:</b> <i>Bruchus</i> <i>brachialis</i> FARH. <b>Dermestidae:</b> <i>Anthrenus</i> <i>fuscus</i> OLIVER, <i>Anthrenus</i> <i>flavipes</i> LÉCONTE, <i>Anthrenus</i> <i>verbasci</i> (L.), <i>T. variabile</i> BALLION, <i>T. inclusum</i> LÉCONTE = ( <i>T. versicolor</i> CREUTZER)	MUESEBECK 1939; EVANS 1964; EVANS, 1978; MERTINS, 1985
<i>L. voracis</i> MUESEBECK, 1939	Indiana, USA	<b>Dermestidae:</b> <i>Anthrenus</i> <i>verbasci</i> (L.), <i>Anthrenus</i> <i>vorax</i> (WATERHOUSE) <i>Attagenus</i> spp.	MUESEBECK, 1939; BACK, 1940; AYYAPPA und CHEMA, 1952; GORDH und MÓCZÁR, 1990

### 1.2.5.3 Der Parasitoid *Laelius pedatus* (SAY)

In der Familie der Bethyridae leben zahlreiche Arten als entomophag (BISCHOFF, 1927). Die Parasitierung wird aber nicht von den vollentwickelten Imagines, sondern vielmehr von Individuen der einzelnen Larvenstadien vorgenommen. Parasitierung durch die Parasitoidenlarven führt zwangsläufig zum Absterben des Wirts. Im Unterschied zu Parasiten, deren Wirte nicht unbedingt durch die Parasitierung absterben, bezeichnete REUTER (1913, Zit. aus BISCHOFF, 1927) Individuen, die den Wirt durch die Parasitierung abtöten als „Parasitoide“.

#### Synonyme für *L. pedatus*

Bei MUESEBECK (1939) sowie bei GORDH und MÓSZÁR (1990) findet man folgende Synonyme:

*Bethylus pedatus* Say, 1836.

*Ateleopterus nubilipennis* ASHMEAD, 1887.

*Laelius tricarinatus* ASHMEAD, Bull. U. S. Natl. Mus. 45 : 51, 1893.

*Laelius rufipes* ASHMEAD, Bull. U. S. Natl. Mus. 45 : 51, 1893.

*Laelius nigripilosus* ASHMEAD, Bull. U. S. Natl. Mus. 45 : 52, 1893.

*Bethylus constrictus* ASHMEAD, Bull. U. S. Natl. Mus. 45 : 53, 1893.

*Laelius ashmeadi* KIEFFER, 1908.

*Laelius fumipennis* BRUES, Bull. Wisc. Soc. Nat. Hist. 8 (1) : 45, 1910.

*Laelius foersteri* KIEFFER, 1914.

#### 1.2.5.3.1 Morphologie und Verhalten

*L. pedatus* ist eine kleine Wespe mit glänzend schwarzem Körper (Abb. 3) und mit durchschnittlicher Körpergröße von ca. 3 mm bei den Weibchen und ca. 2,3 mm bei den Männchen (MERTINS, 1980). Männchen und Weibchen sind beide geflügelt. Es ist sehr einfach, die beiden Geschlechter wegen ihres Sexualdimorphismus mit bloßem Auge zu unterscheiden. Bei den Männchen bedecken die Flügel das ganze

Abdomen, während diese bei den Weibchen viel kürzer sind. Am Thorax, Abdomen und zum Teil auch am Kopf befinden sich harte glänzende Borsten. Die Flügel sind mit vielen Adern und Borsten versehen. Die radialen Adern an den Flügeln sind sehr kurz (Abb. 4). Der maxillare Palpus besteht aus sechs Segmenten, der basale und der labiale Palpus jeweils nur aus drei sehr kurzen Segmenten (EVENS, 1978).



Abb. 3: Das Weibchen *L. pedatus* attackiert die Larve von *T. angustum*

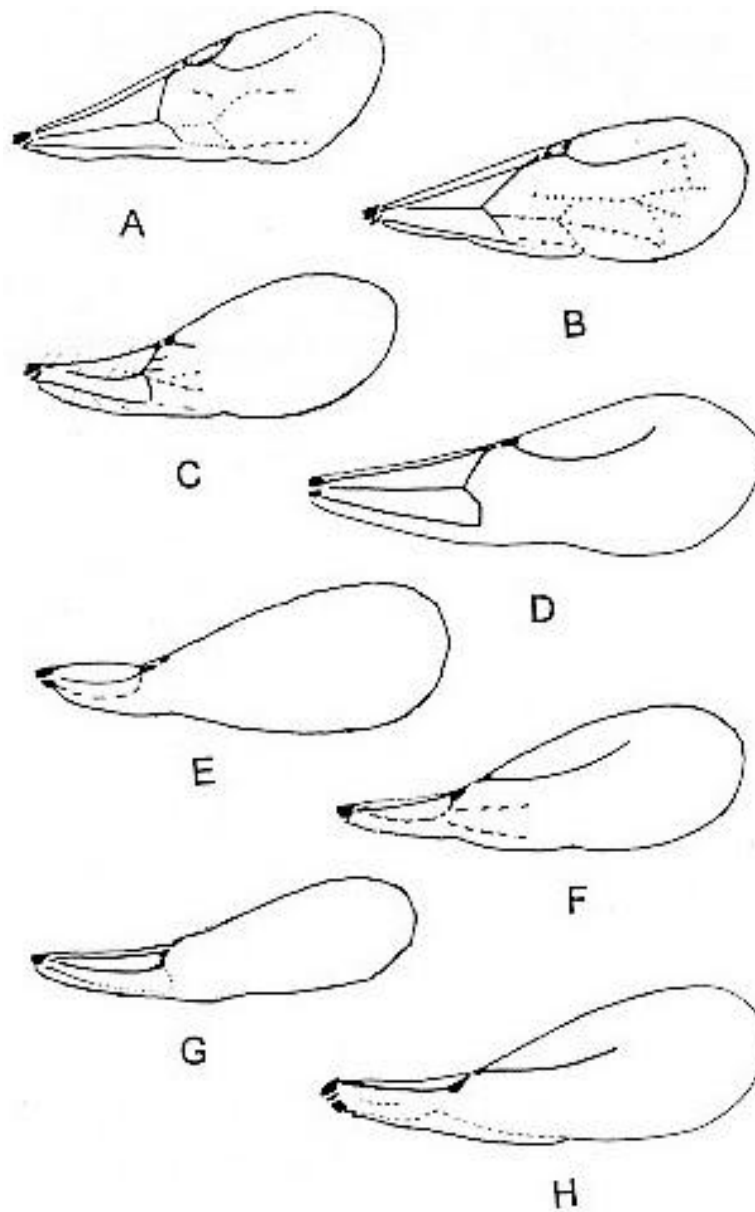


Abb. 4: Flügel von *L. pedatus* im Vergleich zu anderen Arten von Bethylidaen (Aus: EVENS, 1978)

A= *Pristocera armifera* (SAY)

B= *Pseudisobrachium prolongatum* (PROVANCHER)

C= ***Laelius pedatus*** (SAY)

D= *Glenosema crandalli* EVENS

E= *Cephalonomia tarsalis* (ASHMEAD)

F= *Plastanoxus laevis* (ASHMEAD)

G= *Scleroderma macrogaster* (ASHMEAD)

H= *Prorops nasuta* WATERSTON

Einen Schlüssel zur Beschreibung von *L. pedatus* mit den morphologischen Unterschieden zu anderen *Laelius*- Arten findet man in EVANS (1978). Einen morphologischen Vergleich von *L. pedatus* gegenüber *L. utilis* COCKERELL finden wir bei MERTINS (1985).

Erste Untersuchungen zum Entwicklungszyklus von *L. pedatus* und zum Aussehen der verschiedenen Entwicklungsstadien wurden von MERTINS (1980) veröffentlicht. Er verwendete bei seiner Untersuchung den Wollkrautblütenkäfer *Anthrenus verbasci* als Wirtstier.

YAMADA (1959) untersuchte ausführlich die Biologie und das Verhalten von *Allepyris microneurus* KIEFFER. Seine Beschreibungen über Biologie und Verhalten sowie das Aussehen der verschiedenen Entwicklungsstadien dieser Art ähneln Angaben über *L. pedatus*.

Die normalen Wirte dieser Wespen stammen aus der Familie der Dermestiden wie die Gattungen *Anthrenus* (VANCE und PARKER, 1932; MUESEBECK, 1939; BACK, 1940; AYYOPPA, 1952; MERTINS 1980, 1982, 1985) und *Trogoderma* (MUESEBECK, 1939; KLEIN und BECKAGE, 1990; KLEIN et al., 1991; AL-KIRSHI et al., 1996a) sowie *Thaumaglossa* (IWASKI et al., 1996). KIEFFER (1914) berichtet über 3 französische Arten von *Laelius* und deren mögliche Akzeptanz andere Wirte unter den Coleopteren, wie Bostrichiden, Anaboiiden und Cerambyciden.

Eine ausführliche Beschreibung zur Biologie von *L. pedatus* wird im Abschnitt 3.2 auf Seite 62 ff. gegeben.

#### **1.2.5.3.2 Angriffsfähigkeit des Parasitoiden**

Sowohl das begattete als auch das unbegattete Weibchen von *L. pedatus* attackieren ihre Wirtslarven gleich nach dem Schlüpfen aus dem Kokon (AL-KIRSHI, unveröffentlicht). Die Antennen befinden sich ständig in Bewegung, insbesondere wenn ein Wirt sich an der Nähe der Wespe befindet.

Die Wirtserkennung wird vom Weibchen vermutlich durch bestimmte Geruchstoffe des Wirtes vollzogen (QI und BURKHOLDER, 1990). *Attagenus fasciatus* THUNBERG und

*Dermestes maculatus* DE GEER werden beispielsweise von vornherein von den Weibchen nicht berührt (AL-KIRSHI, unveröffentlicht).

Nach dem Schlüpfen aus dem Kokon begibt sich das Weibchen von *L. pedatus* gleich auf die Suche nach dem Wirt. Sobald das Weibchen ein geeignetes Wirtstier findet, springt die Wespe auf den Rücken des Wirtes und befestigt sich dort mit ihren 6 Tarsi und den Mandibeln (MERTINS, 1980). Die Wespe beißt sich mit den Mandibeln an den Antennen des Wirtes fest, krümmt ihr Abdomen sehr stark ventral zur Unterseite des Wirtes und sticht in die Thoraxregion. Durch das Stichen wird eine Giftsubstanz im Körper des Wirtes gespritzt, wodurch zum Lähmen des Wirtes führt.

#### **1.2.5.3.3 Verteidigungsmechanismus des Wirtes**

Der Wirt versucht, diesem Angriff zu entkommen und kämpft um sein Überleben, indem er mit seiner Körperunterseite, an der ein großes Büschel von Pfeilhaaren befestigt ist, den Parasitoid kräftig schlägt.

Die Larvenhaare vieler Dermestiden haben die Hauptfunktion, die Larven in den verschiedenen Entwicklungsstadien gegen Räuber, Parasiten und Parasitoide zu schützen. Bereits REITTER (1911) erwähnte die dorsalen, gegliederten Pfeilspitzhaare (Hastisetæ), welche in der Ruhe schräg nach innen und hinten gerichtet sind und strahlenförmig ausgebreitet werden können. Bei der geringsten Berührung richtet sich das Abdomen der Larve auf den Angreifer, führt schlagende Bewegungen aus und versucht den Feind mit den Haarbüscheln kräftig zu schlagen (NUTTING und SPANGLER, 1969; MA et al., 1978), so daß sich die Pfeilhaare leicht in Massen lösen (Abb.5). Da die Hastisetæ öfter und in großen Mengen aus dem Körper der Larven gelöst werden, zieht ein Haar durch Verhaken das folgende mit sich, so daß sie zusammen Netze bilden, die ein Problem für Feinde, insbesondere kleine Räuber sein können. Die Räuber verwickeln sich in den Haaren, wodurch zu ihrem Absterben führen kann. Die Haare gelangen auch an Mundwerkzeuge und Beine räuberischer Insekten, die sich ihrer nur schwer entledigen können (HORION, 1949; NUTTING und SPANGLER, 1969). Die Pfeilhaare besitzen also eine Abwehrfunktion gegen Parasiten und kleinere Prädatoren.

Diese Schutzfunktion verliert auch bei den anderen Entwicklungsstadien nicht ihre Bedeutung, weil die Verpuppung bei der Übergang zum Imaginalstadium bei vielen Dermestiden in der letzten Larvenhaut stattfindet (HINTON, 1945).



Abb. 5: Das Weibchen *L. pedatus* verwickelt mit einem Büschel von Haaren der Wirtslarven

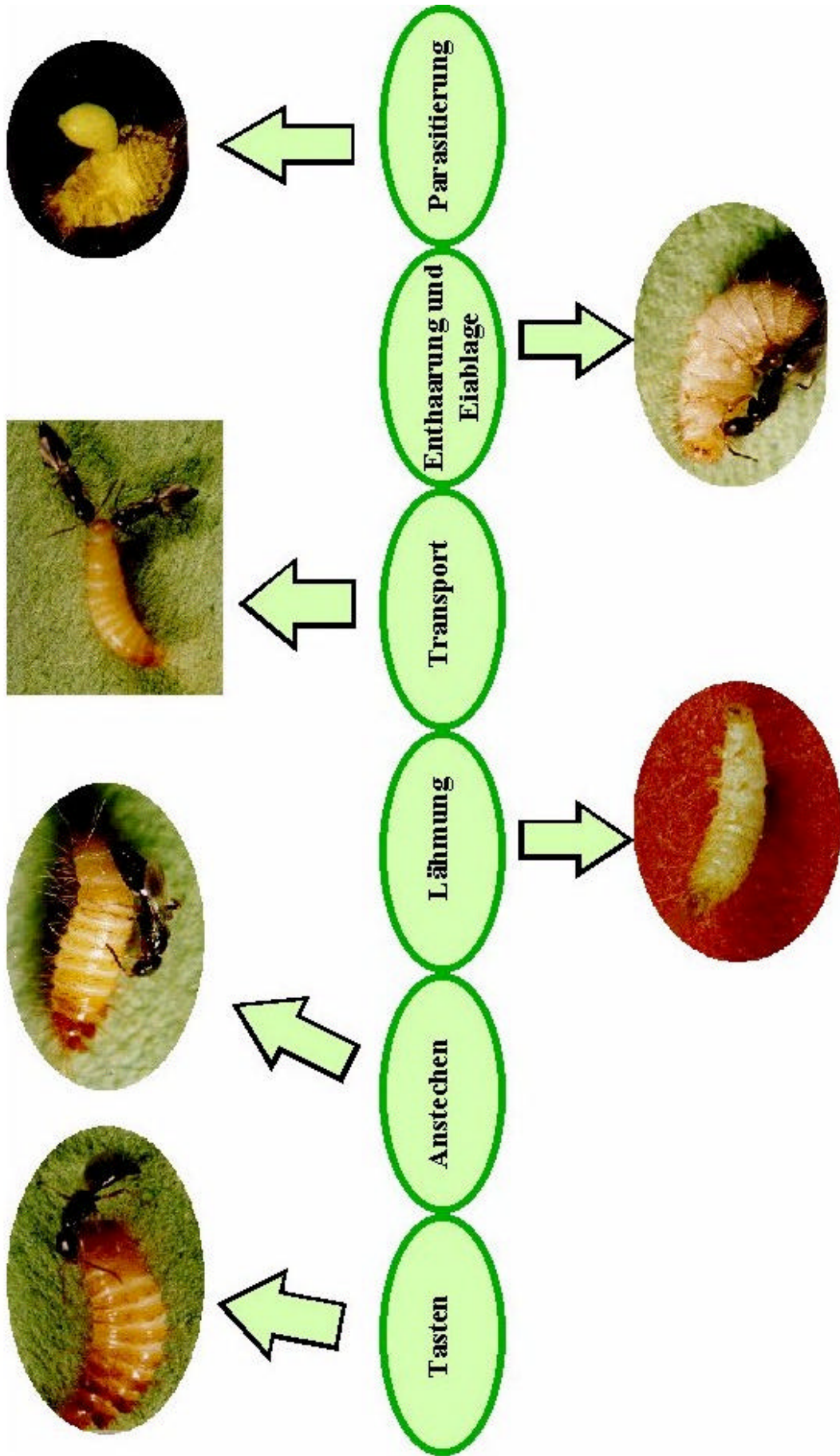
#### 1.2.5.3.4 Vorbereitung des Wirtes für Eiablage

Nach dem Überwältigen des Wirtes, bereitet die Wespe den Wirt für die Eiablage vor. Abb. 6 zeigt den Verlauf der Vorbereitung der Wirtslarve für die Eiablage. Mit dem Stich wird eine Substanz in den Körper des Wirtes gespritzt, wodurch eine Lähmung des Wirtes hervorgerufen wird. Diese Lähmung durch *Laelius spp.* und durch nahe verwandte Wespen führt meistens zur Abtötung der Wirtslarven (AYYAPPPA, 1952, YAMADA, 1955). Nach der Lähmung erfolgt ein Abtransport des Wirtes. Das Weibchen beißt sich weiter an den Antennen des Wirtes fest und läuft dabei wegen der schweren Last\* rückwärts bis sie eine geeignete Stelle für die weitere

---

\* Das durchschnittliche Gewicht von *L. pedatus* beträgt ca. 0,6 mg, von einer mittleren Larve von *T. angustum* ca. 3,5 mg und von *A. verbasci* ca. 2,7 mg.

Vorbereitung des Wirtes findet. Das nächste Vorgehen bei der Vorbereitung für die Eiablage ist die lokale Enthaarung des Wirtes an der Stelle, wo die Eier abgelegt werden sollen. Diese Stelle befindet sich an der Unterseite des Wirtes zwischen dem dritten Toraxsegment und dem fünften Segment des Abdomens. Es wurde beobachtet, daß eine größere Stelle enthaart wird, als für die Eiablage erforderlich ist. Die Eier werden dann normalerweise an den ersten drei Abdominal-segmenten abgelegt.



**Abb. 6: Verlauf der Vorbereitung der Wirtslarve für die Eiablage und anschließende Parasitierung**

### 1.3 Aufgabenstellung

Die potentielle Leistung der ektoparasitischen Wespe *L. pedatus* sollte im Zusammenhang mit dem möglichen Einsatz zur biologischen Bekämpfung von vorrats-schädlichen Demestiden der Gattungen *Trogoderma* und *Anthrenus* untersucht werden. In der Literatur findet man einige Informationen über die Biologie und das Verhalten des Parasitoiden (MERTIN, 1980; KLEIN und BECKAGE, 1990; KLEIN et al., 1991). Es liegen bisher jedoch noch keine Untersuchungen über das Leistungsvermögen des Parasitoiden im Hinblick auf einen möglichen Einsatz für die Bekämpfung der genannten Vorratsschädlingen vor.

Die vorliegenden Untersuchungen befassen sich deshalb mit nachstehenden Versuchsfragen:

**Inwieweit kann der Parasitoid *L. pedatus* für die Bekämpfung von *Trogoderma granarium* und *T. angustum* eingesetzt werden ?**

Um eine Antwort für diese Versuchsfrage zu finden, müssen eine Reihe von Untersuchungen zur Biologie und zum Verhalten des Parasitoiden sowie zur Wechselbeziehung zwischen Parasitoiden und Wirten durchgeführt werden.

Zielstellung der Arbeit war von Anfang an die biologische Bekämpfung des Khaprakäfers *T. granarium* und des nahe verwandten Käfers *T. angustum*.

Dadurch stellten sich zwangsläufig die zwei folgenden Hauptfragen:

1. Werden *Trogoderma granarium* und *T. angustum* überhaupt als Wirte für den Parasitoid *Laelius pedatus* akzeptiert?
2. Wie ist die Parasitierungsleistung von *L. pedatus* bei beiden Wirtstieren im Vergleich zu *Anthrenus verbasci*, der in der Literatur von der Wespe als bevorzugtes Wirtstier angegeben wird (MERTINS, 1980)?

Folgende Nebenfragen bedurften der Klärung:

- Wieviel Wirtslarven kann ein Weibchen des Parasitoiden *L. pedatus* im Laufe seiner Lebensdauer lähmen ?
- Wie hoch ist die potentielle Lähmwirkung auf die Mortalität der Wirte ?
- Wieviel Wirtslarven kann ein Weibchen des Parasitoiden *L. pedatus* im Laufe der Lebensdauer mit Eiern belegen?
- Wie wirken die Umweltfaktoren auf die Biologie und damit auf die Leistung von *L. pedatus* ?. Hierbei sollen auch die folgende Faktoren getestet werden.
  - Einfluß der Temperatur
  - Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit
  - Einfluß der Nahrung
- Wie wird die Leistung von *L. pedatus* durch dessen Dichte und durch die Dichte des Wirtstiers beeinflusst ?
- Wie ist die Leistung von *L. pedatus* in praxisnahen Untersuchungen?
  - Eindringtiefe des Weibchens in Getreide
  - Populationsunterdrückung des Wirtes im Getreide

In der Literatur ist zu finden, daß das Weibchen von *L. pedatus* seine Wirte erst durch einen oder mehrere Stiche lähmt, bevor diese zur Eiablage vorbereitet werden (siehe Abschnitt 1.2.5.3.4). Das Leistungspotential der Wespe im Hinblick auf Bekämpfungserfolge bei den Schädlingen soll deshalb durch folgende Aspekte charakterisiert werden:

- die Lähmung der Wirtslarven
- Zeitdauer der Lähmung sowie die Mortalität gelähmter Larven
- die Parasitierung der Wirte durch die Parasitoiden-Larven
- das Geschlechtsverhältnis von *L. pedatus*
- Entwicklungs- und Lebensdauer von *L. pedatus*

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Versuchsplanung

Vor dem Einstieg in die Versuche wurden Überlegungen für ihre Durchführung angestellt. Diese sind in den Abbildungen 7a, 7b, 7c, 7d und 7e schematisch wiedergegeben. Die Abbildung 7a zeigt die Versuchstiere sowie die dazu verwendeten Versuchsgefäße. Hierfür dienten in den einzelnen Versuchen sowie bei der Zuchtmethoden der Tiere, Plastikpetrischalen, Marmeladengläser mit einem Volumen von ca. 0,25 Liter sowie Gläser mit einem Volumen von 3 Litern.

Die meisten in den Versuchen verwendeten Gefäße waren Plastikpetrischalen. Der Durchmesser einer Schale betrug 9 cm. Für die ständige Versorgung der Tiere mit frischer Luft und Feuchte wurde mit Hilfe eines heißen Metallstäbchens durch den Deckel der Petrischale eine Öffnung von 20 mm Durchmesser gebohrt. Auf diese Öffnung wurde dann eine Gaze geklebt. Auf den Boden der Petrischale wurde weißes Filterpapier gelegt. Um während der Versuchsdurchführung eine möglichen Flucht der Tiere zu verhindern, wurden die Deckel der Schalen mit Parafilm am Unterteil fixiert.

Die Versuche zur Biologie von *L. pedatus* sind in der Abbildung 7b schematisch dargestellt. In der Abbildung 7c ist der Versuchskomplex zur Ermittlung der Wirtsakzeptanz dargestellt. Hier kamen Arten aus der Gattungen *Trogoderma* und *Anthrenus* sowie andere vorratsschädliche Dermestiden wie *Anthrenus vorax*, *Attagenus fasciatus* und *Dermestes maculatus* in Betracht. Versuche zur Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid in Zusammenhang mit der jeweiligen Populationsdichte des Wirtes und des Parasitoiden sowie die Wiederakzeptanz von bereits vorbereiteten Wirtslarven sind Voraussetzungen zur Bestimmung des Leistungspotentials von *L. pedatus* (Abb. 7d). Diese Faktoren zur Erstellung des Leistungspotentials sind in der Abbildung 7e dargestellt.

Die Versuche wurden in Laboratorien des Instituts für Vorratsschutz der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) Berlin sowie an der Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet Phytomedizin, durchgeführt.

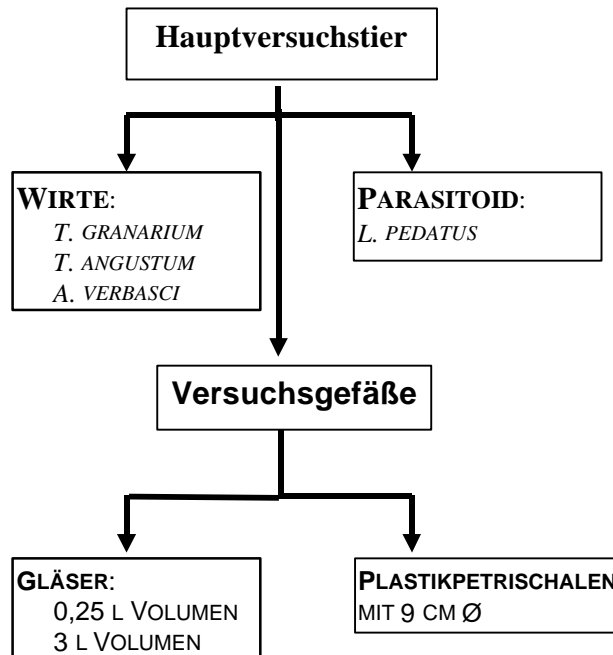
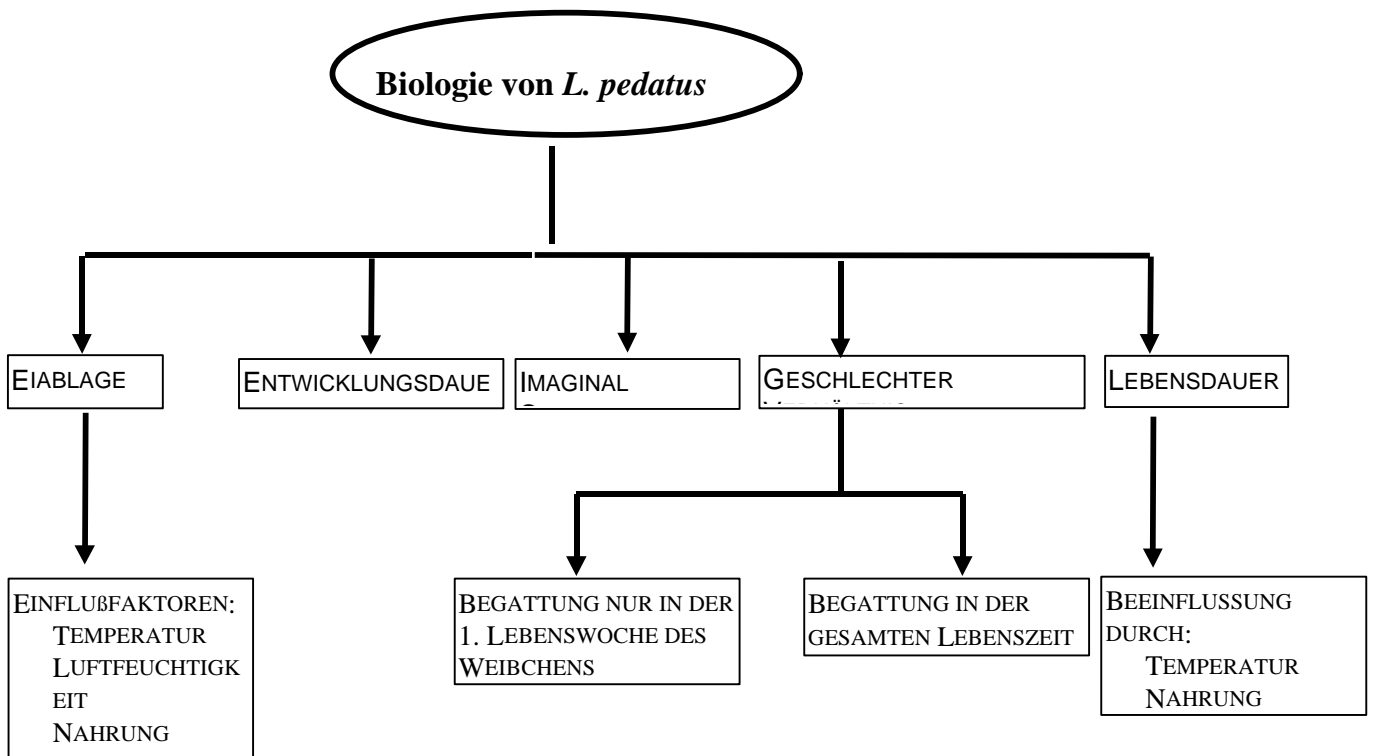


Abb. 7a: Die Versuchstiere und die Versuchsgefäße

Abb. 7b: Planschema zu den Versuchen zur Biologie von *L. pedatus*

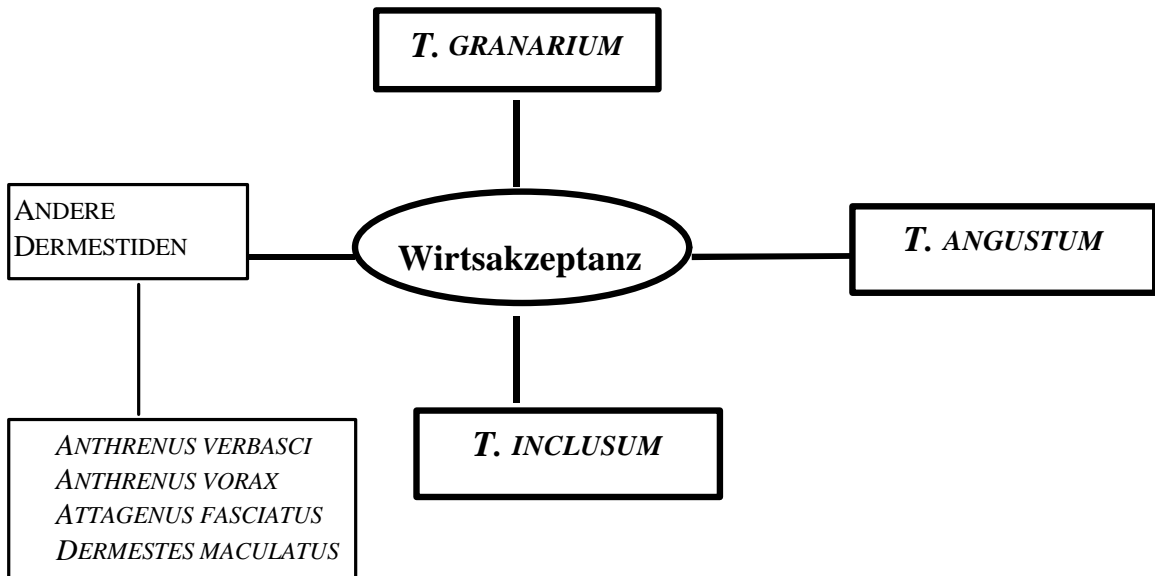


Abb. 7c: Tiere Wirtsakzeptanz durch das Weibchen von *L. pedatus*

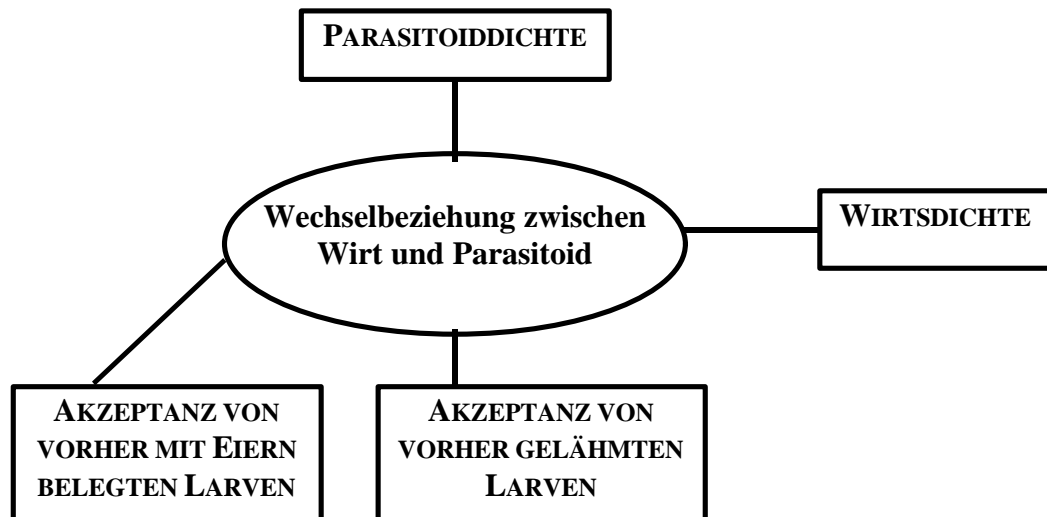


Abb. 7d: Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid

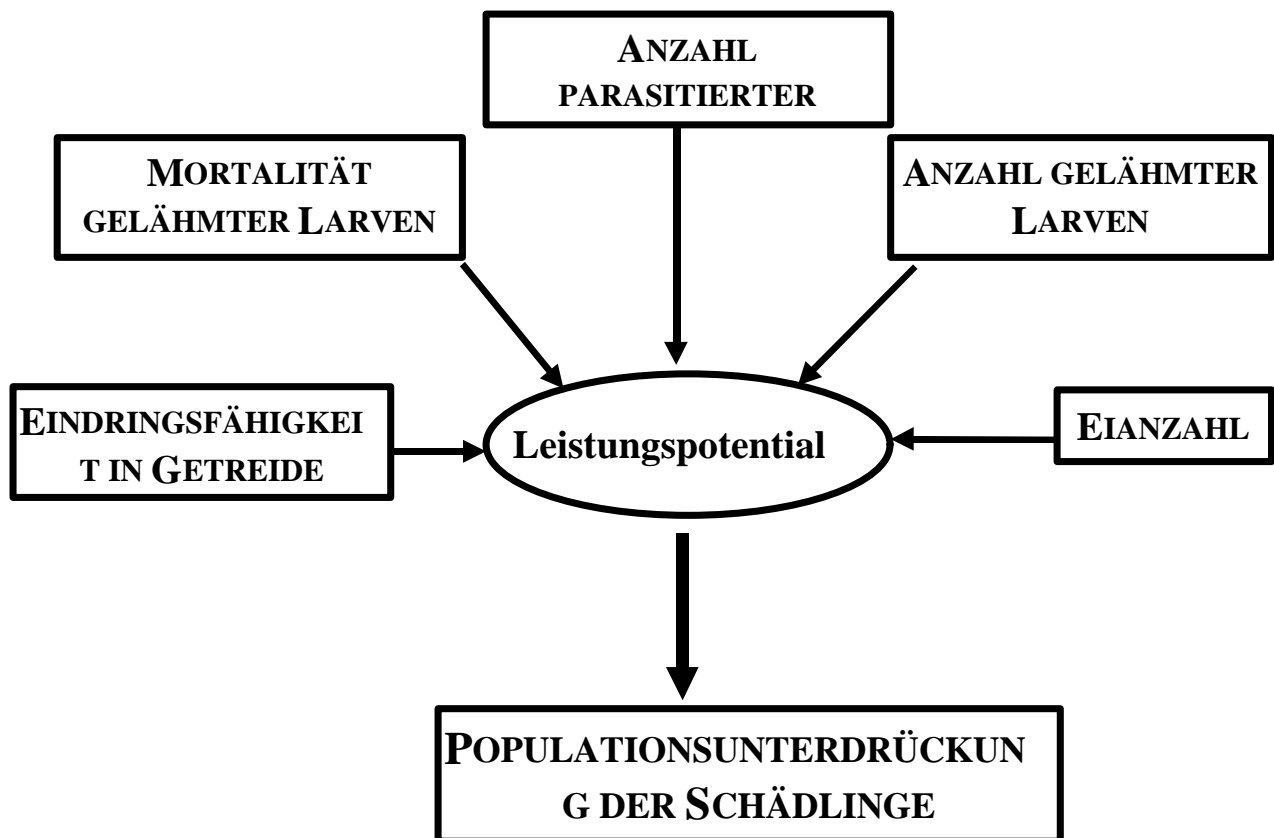


Abb. 7e: Planschema zur Ermittlung des Leistungspotentials von *L. pedatus*

## 2.2 Zucht der Versuchstiere

Die Versuchstiere wurden vor den Versuchen gezüchtet, um für jeden Versuch den gewünschten Tierzustand, wie Alter, Stadium und Geschlechterverhältnis zu gewinnen.

Es gab keine Probleme bei der Massenzuchten der Wirtslarven von *T. granarium* und *A. verbasci*, so daß bei der Zuchtdurchführung keine Veränderungen im Vergleich zu den Erhaltungszuchtmethoden des Instituts für Vorratsschutz der BBA vorgenommen wurden. Bei der Art *T. angustum* bestand die Schwierigkeit, genügend Wirtslarven für die Versuche zu erhalten. Diese Art neigt, im Vergleich zu den anderen *Trogoderma*-Arten, nicht zur Bildung vieler Larven. Die Gründe dafür sind in der geringeren Anzahl abgelegter Eier je Weibchen, in der Ablage vieler tauber Eier

sowie in der Art der Nahrung und der herrschenden Temperatur zu suchen (Kemper und Döhring, 1963; Wohlgemuth, 1967). Deshalb wurde die Art im Vergleich zur Erhaltungszucht in verschiedenen Nährsubstraten gezüchtet.

### ***T. granarium***

Für die Untersuchungen wurden zwei Stämme des Khapprakäfers *T. granarium* verwendet. Der erste Stamm, der in den meisten Versuchen verwendet wurde, ist ein Feldstamm und wurde aus einem Lager einer bäuerlichen Familie aus dem Jemen gewonnen. Dieser wurde dann im Institut für Vorratsschutz der BBA auf Weizen bei Temperaturen von 30° C und relativen Feuchten von 40- 50 % gehalten. Für die Versuche wurde die Zucht dieses Stammes weiter aufgebaut.

Je 500 Larven wurden in Gläser mit einem Volumen von 3 Liter gegeben, die je 1 kg Weizen enthielten. Die Gläser wurden mit Gaze und Gummiringen verschlossen und in einer Klimakammer bei 30° C und 40 bis 50 % r. F. aufbewahrt. Alle 4 bis 5 Wochen wurden die Tiere abgesiebt und in neue Gläser übertragen, die auch jeweils 1 kg Weizen enthielten. Dadurch standen für die Versuche ständig gleiche alte Wirtslarven zur Verfügung.

Der zweite Stamm wurde aus den Zuchten des Instituts für Vorratsschutz der BBA entnommen und ständig auf Weizen bei Temperaturen von 25° C und 50- 60 % r. F. gehalten.

### ***T. angustum***

Das Ausgangsmaterial der Versuchstiere von *T. angustum* wurde aus der Stammzucht des Instituts für Vorratsschutz der BBA entnommen. Da die Entwicklungsdauer von der Eilarve bis zum Käfer sehr stark von der Nahrungsart abhängig ist (Kemper und Döhring, 1963; Wohlgemuth, 1967), wurden für die Versuche Zuchten auf verschiedenen Nährsubstraten angesetzt. Dadurch standen für die Versuche ständig Larven zur Verfügung.

Es wurden folgende Nährsubstrate für den Zucht von *T. angustum* verwendet:

Fischmehl, Haferflocken, Mazinger Hundeflocken, Maismehl, Sorghum, Weizenkeime, fein geschroteter Weizen und grob geschroteter Weizen.

Je 40 mittlere bis große Wirtslarven von *T. angustum* wurden aus der Stammzucht entnommen und in ein Marmeladenglas überführt. Die Gläser enthielten jeweils 200g der oben genannten Nährsubstrate. Nach 60 Tagen, sowie nach 100 Tagen wurden die Nachkommen in den Gläsern ausgesiebt, gezählt und danach in die Gläser zurück gesetzt. Die Tiere wurden dann für die Versuche weiter bebrütet. Dieser Zuchtaufbau wurde im Brutschrank bei einer Temperatur von 28° C und einer relativen Feuchte von 50- 60 % durchgeführt.

### ***A. verbasci***

Die Larven von *A. verbasci* wurden aus der Erhaltungszucht des Instituts für Vorratsschutz der BBA gewonnen. Dort wurde die Art ständig auf einer Nahrungsmischung von Weizenschrot, Fischmehl und Wolle bei 20° C und 65 - 70 % r. F. gehalten. Für die Versuche wurde eine eigene Zucht aufgebaut, indem die Tiere auf der gleichen Nahrungsmischung, aber einer Temperatur von 28° C und einer relativen Feuchte von 50 - 60 % gezüchtet wurden. Die Temperatur-erhöhung hatte das Ziel, eine schnellere Entwicklung der Tiere zu gewährleisten.

## ***L. pedatus***

Die aus den USA stammenden Puppen von *L. pedatus* wurden anfänglich auf den Wollkrautblütenkäfern *Anthrenus verbasci* und später auf *T. angustum* gezüchtet.

Verschiedene Zuchtmethoden wurden erprobt, um optimale Fortpflanzungsergebnisse zu erhalten. Auf *T. angustum* wurden die folgenden drei Zuchtmethoden erprobt:

### **Erste Zuchtmethode**

In drei Wiederholungen wurden vier Weibchen und zwei Männchen von *L. pedatus*, die ein bis sechs Tage alt waren, zu 40 Wirtslarven von *T. angustum* für die Eiablage und die Fortpflanzung in Plastikpetrischalen gegeben. Die Petrischalen wurden dann in den Brutschrank bei 28° und 40 - 50 % r. F. gestellt und wöchentlich kontrolliert. Nach dem Absterben aller Wespen wurde dann diese Zuchtmethode ausgewertet, wobei die Imagines, die Eier, die Larven und die Puppen von *L. pedatus* zusammen gezählt wurden.

### **Zweite Zuchtmethode**

Zu ein Weibchen und einen Männchen von *L. pedatus*, welches ein bis sechs Tage alt war, wurden in sechs Wiederholungen zehn Wirtslarven von *T. angustum* für die Eiablage und die Fortpflanzung in Petrischalen gegeben. Die Petrischalen wurden dann in den Brutschrank bei 28° und 40 - 50 % r. F. aufgestellt und nach 24 Stunden und anschließend wöchentlich kontrolliert. Dann wurde diese Zuchtmethode wie die vorhergehende Methode ausgewertet.

### **Dritte Zuchtmethode**

Frisch geschlüpften Wespen von *L. pedatus* wurden paarweise zehn Wirtslarven von *T. angustum* angeboten. Alle sieben Tage wurden die Wespen in neue Petrischalen übertragen und wieder zehn Wirtslarven angeboten. Die Wespen wurden bis zum Absterben auf neue Wirtslarven übertragen. Die Petrischalen wurden bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. im Brutschrank aufbewahrt. Die abgelegten Eier wurden wöchentlich gezählt.

## **2.3 Untersuchungen zur Biologie von *L. pedatus* als Grundlage für den Einsatz im Vorratsschutz**

Da nur begrenzte Informationen über die Biologie von *L. pedatus* in der Literatur zu finden sind (MERTINS 1980; KLEIN und BECKAGE, 1990), wurden hier Untersuchungen zur Erhaltung von grundlegenden Kenntnissen der Wespe durchgeführt. In Bezug auf die Eiablagekapazität des Weibchens liegen beispielsweise keine konkreten Angaben vor. Man findet in der Literatur weder Angaben über die mittlere Eizahl von *L. pedatus* und die damit verbundenen Anzahl parasitierter Wirtslarven noch über die potentielle Wirkung des eingespritzten Giftes auf die Mortalität der Wirtslarven. Aus diesen Gründen wurden eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, um das Leistungspotential des Weibchens von *L. pedatus* quantifizieren zu können.

### **2.3.1 Eiablage**

Das Weibchen legt die Eier auf die Bauchunterseite des Wirtstieres (Siehe Abb. 10 S. 62). Nach dem Schlüpfen der Eilarven des Parasitoiden ernähren sich die Larven ektoparasitisch. Diese Parasitierung führt zwangsläufig zum Tod der Wirtslarven. In Abhängigkeit von der gesamten Anzahl abgelegter Eier auf die Wirtslarven pro Weibchen wird der Parasitierungsgrad von *L. pedatus* charakterisiert. Daher ist es von Bedeutung, von vornherein die Eiablagekapazität des Weibchens unter verschiedenen Einflußfaktoren zu untersuchen. Weiterhin ist es notwendig, die Entwicklungsrate sowie die Entwicklungs- und Lebensdauer der Imagines unter verschiedenen Einflußfaktoren zu erfassen.

#### **2.3.1.1 Einflußfaktoren auf die Eiablage**

##### **2.3.1.1.1 Temperatur**

Die Temperatur übt einen großen Einfluß auf den Stoffwechsel und der Fortführung der Lebensvorgänge von Lebewesen aus. Da die Insekten, wie alle Wirbellosen, zu den wechselwarmen Tieren gehören, spielt die Temperatur bei der Aktivität, Fortpflanzung und Entwicklung eine besondere Rolle (WEBER, 1966). Auf die

Anzahl abgelegter Eier bei Insekten hat die Temperatur einen entscheidenden Einfluß. Sie beeinflußt die tägliche Eiproduktion sowie die Gesamtzahl der Eier durch ihren Einfluß auf Aktivität und Lebensdauer der Insekten (WEBER, 1966). Es gibt einen optimalen Bereich für die Eiablage, wobei die Legetätigkeit der Insekten unterhalb oder oberhalb des optimalen Bereiches sehr stark beeinflußt wird und bei extremen Werten zum Legestillstand führt.

Daten über den Einfluß der Temperatur auf die Eiablage von *L. pedatus* sind wichtige Voraussetzungen für den geplanten Einsatz des Parasitoiden zur Bekämpfung von *Trogoderma*- und *Anthrenus*-Arten unter in der Praxis herrschenden Temperaturbedingungen. Daher ist die Erfassung des optimalen Temperaturbereiches für die potentielle Legeleistung von *L. pedatus* notwendig.

Die Eiablage wurde in Brutschränken mit einer konstanten rel. Luftfeuchtigkeit von 75 % und den folgenden Temperaturen untersucht:

15° C, 20° C, 25° C, 28° C und 35° C.

Je ein frisch geschlüpftes Weibchen und ein Männchen von *L. pedatus* wurden zusammen mit zehn mittleren bis großen Wirtslarven von *T. angustum* in eine Petrischale gegeben. Die Petrischalen wurden dann in je vier Wiederholungen in die Brutschränke mit der jeweiligen Temperatur gestellt.

Alle sieben Tage wurden die Wespen in neue Petrischalen übertragen und zehn neue Wirtslarven angeboten. Die Anzahl abgelegter Eier wurde auf diese Weise wöchentlich bis zum Absterben des Weibchens ermittelt. Die Anzahl der Eier in Abhängigkeit von der Temperatur wurde dann als durchschnittliche Summe der abgelegten Eier für die gesamte Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus* ermittelt.

### 2.3.1.1.2 Relative Luftfeuchtigkeit

Neben der Temperatur ist auch der Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Eiablage der Insekten sowie auf die Entwicklung der Eier bis zum adulten Tier von Bedeutung. Es war deshalb notwendig, den Einfluß der relativen Feuchte auf die Eiablage und auf die Entwicklung des Parasitoiden *L. pedatus* zu untersuchen.

Die Eiablage sowie das Schlüpfen der adulten Tiere wurden in folgenden Luftfeuchtigkeiten untersucht:

< 10 %, 30 bis 35 %, 75 bis 80 % und > 90 %.

Die Versuche wurden in Exsikkatoren mit den entsprechenden Luftfeuchten durchgeführt. Die Luftfeuchtigkeitsbereiche wurden unterschiedlich eingestellt. Extrem niedrige relative Feuchte unter 10 % konnte durch Zugabe von Trocknungssubstanz in Form von blaugefärbtem Kieselgel (Trockenperlen Blau mit 3-4 mm Durchmesser) in die Exsikkatoren erreicht werden. Extrem hohe Feuchte oberhalb von 90 % wurde durch Abgabe von Wasser erreicht. 30 bis 35 % r. F. wurde durch Lösung von Kaliumazetat (Kac) hergestellt und 75 bis 80 % r. F. durch Lösung von Natriumchlorid (NaCl) (WINSTON und BATES, 1960).

15 mittlere bis große Wirtslarven von *T. angustum* wurden zusammen mit einem Pärchen von *L. pedatus*, das maximal eine Woche alt war, in Plastikpetrischalen belassen. Durch den Deckel der Petrischale wurde eine Öffnung von 20 mm Durchmesser gebohrt und diese mit Gaze und Klebstoff verschlossen. Dadurch entsprach die Feuchtigkeit in den Petrischalen der im Exsikkator. Die Petrischalen wurden in die Exsikkatoren mit der jeweiligen Luftfeuchtigkeit gestellt. Ein kleines Hygrometer wurde in jeden Exikkator gestellt, um eventuelle Luftfeuchtigkeitsänderungen wahrzunehmen. Die Exsikkatoren wurden in einen Brutschrank bei 28° C überführt. Die Wespen wurden wöchentlich in neue Petrischalen mit je 15 neuen Wirtslarven übertragen. Auf diese Weise wurde wöchentlich die Eianzahl für die gesamte Lebensdauer der Wespen ermittelt.

Die abgelegten Eier wurden weiter beobachtet, um den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung von *L. pedatus* vom Ei bis zur Imago zu charakterisieren.

#### **2.3.1.1.3 Nahrung der Imagines**

Um den Einfluß der Nahrung der Imagines auf die Eiablage zu überprüfen, wurde ein Versuch mit *T. angustum* als Wirt angesetzt. Ziel des Versuches war zu erkennen, ob die zusätzliche Fütterung der Weibchen von *L. pedatus* die Anzahl abgelegter Eier steigern kann. Diese Möglichkeit ist vor allem für die Zucht der Nützlinge sowie für ihr Leistungspotential von Bedeutung.

15 mittlere bis große Wirtslarven von *T. angustum* wurden zusammen mit einem Pärchen von *L. pedatus*, das maximal eine Woche alt war, in Plastikpetrischalen belassen. Als zusätzliche Nahrung wurde verdünnter Honig angeboten, der im Verhältnis 1 : 1 mit Wasser verdünnt wurde. Kleine Stücke mit dieser Nahrung gesättigter Baumwollwatte wurden einzeln in die Petrischalen gegeben. Die Wespen wurden wöchentlich in neue Petrischalen mit je 15 neuen Wirtslarven übertragen. Dadurch konnte wöchentlich die Eianzahl für die gesamte Lebensdauer der Wespen ermittelt werden. Der Versuch wurde bei 28° C und 50 - 60 % r. F. in Brutschrank durchgeführt.

#### **2.3.1.1.4 Wirtsgröße**

Die Anzahl abgelegter Eier der ektoparasitischen Wespen hängt auch von der Größe des Wirtes ab (AYYAPPA und CHEEMA, 1952; KLEIN et al. 1991). Um diese Aussage für *L. pedatus* zu überprüfen, wurden Larven von *T. angustum* mit unterschiedlicher Größenordnung dem Weibchen von *L. pedatus* angeboten. Mit CO<sub>2</sub> wurden die Wirtslarven betäubt und unter dem Binokular gemessen. Es wurde nach folgenden Größenordnungen klassifiziert:

- >2 mm, < 3 mm
- 3 - 4 mm
- > 4 mm

Je einem frisch geschlüpften Weibchen von *L. pedatus* wurden zehn Wirtslarven von *T. angustum* der entsprechenden oben genannten Größenordnungen in Plastikpetrischalen angeboten. Der Versuch wurde in je vier Wiederholungen durchgeführt. Die Weibchen wurden eine Woche lang für die Eiablage auf den Wirtslarven gelassen. Anschließend wurden die Wespen entfernt und die Anzahl abgelegter Eier je Weibchen in Abhängigkeit von der Größe der Wirtslarve ermittelt. Der Versuch wurde bei 28° C und 50 - 60 % r. F. in Brutschrank durchgeführt.

### 2.3.2 Entwicklungsdauer

Die Entwicklungsdauer von Parasitoiden ist ein sehr wichtiges Kriterium für die Charakterisierung der Parasitierungsleistung

Für die Bestimmung der Entwicklungsdauer von *L. pedatus* war es notwendig, zahlreiche abgelegte Eier in kurzer Zeit zu erhalten. Dies wurde durch die Verwendung mehrerer Weibchen mit gleichem Alter erreicht. In Versuche mit 15 frisch geschlüpfte Weibchen wurde die Entwicklungsdauer der F<sub>1</sub>-Generation ermittelt. Die Wespen wurden in 5 Plastikpetrischalen zur Eiablage wie folgt gruppiert:

- ein Weibchen und ein Männchen
- zwei Weibchen und ein Männchen
- drei Weibchen und ein Männchen
- vier Weibchen und ein Männchen
- fünf Weibchen und ein Männchen

In jeder Petrischale befanden sich auch jeweils fünf mittlere bis große Wirtslarven von *T. angustum*. Nach zwei Bruttagen wurden die Wespen entfernt und je Gruppe wieder auf fünf Wirtslarven in neuen Petrischalen für die Dauer von zwei Tagen zur weiteren Eiablage übertragen. Dieses Vorgehen wurde über die gesamte Lebensdauer von *L. pedatus* wiederholt. Die Entwicklungsdauer der Imagines wurde dadurch auch in Abhängigkeit vom Alter der Muttertiere ermittelt. Die gesamte Entwicklungsdauer wurde am Ende des Schlupfes der Imagines ermittelt. Berechnet wurde dann der mittlere Zeitpunkt des Imaginalschlupfes der Nachkommen. Der Versuch wurde bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. im Klimaschrank durchgeführt.

### 2.3.3 Lebensdauer

Die Lebensdauer der Insekten wird hauptsächlich von zwei Faktoren beeinflusst, von der Temperatur und von der Nahrung. Kenntnisse über die Lebensdauer von Parasiten und Parasitoiden sind für die Bestimmung des Parasitierungsgrades unentbehrlich. Das methodische Vorgehen zur Ermittlung des Einflusses der Temperatur auf die Lebensdauer von *L. pedatus* wurde bereits unter dem Abschnitt 2.3.1.1.1 beschrieben.

Um den Einfluß der Nahrung auf die Lebensdauer von *L. pedatus* untersuchen zu können, wurden folgende Versuche durchgeführt:

Für den Versuch wurden neu geschlüpfte Wespen verwendet, deren Alter unter sieben Tagen lag. Die Lebensdauer der Wespen wurde unter folgenden Ernährungsbedingungen untersucht:

- a) Ohne Nahrung
- b) Versorgung der Wespen nur mit verdünntem Honig im Verhältnis 1:1 (Honig : Wasser). Das Honigangebot erfolgte durch ein kleines Stück mit der Lösung gesättigter Baumwollwatte.
- c) Versorgung der Wespen nur mit Wirtslarven. Dabei wurden Larven von *T. granarium* verwendet.
- d) Versorgung der Wespen gleichzeitig mit Wirtslarven und verdünntem Honig.

Die Versuche wurden in Plastikpetrischalen durchgeführt, in deren Deckel ein Loch gebohrt wurde und die mit Gaze verschlossen wurde. Es wurden bei jedem Versuch acht Wiederholungen durchgeführt, wobei in jeder Wiederholung ein Weibchen untersucht wurde. Einige Honigtropfen wurden im Laufe der Versuche bei den Versuchsvarianten 2 und 4 auf die Baumwollwatte gegeben, um das Trocknen der Honiglösung zu verhindern. Bei den Versuchsvarianten 3 und 4 wurden im Laufe der Versuche nur ein mal zusätzlich zehn Wirtslarven in die Petrischalen gegeben. Die Versuche wurden bei 20° C in Brutschrank durchgeführt. Die Wespen wurden zweimal in der Woche kontrolliert und die Anzahl der gestorbenen Wespen notiert.

### 2.3.4 Geschlechterverhältnis

Auf Grund der arrhenotoken Geschlechtsbestimmung bei den Hymenopteren (bei parasitischen Hymenopteren entstehen aus unbefruchteten Eiern Männchen und aus befruchteten Eiern beide Geschlechter) war es von Bedeutung, das Geschlechterverhältnis von *L. pedatus* in Abhängigkeit von der Befruchtung der Eier zu untersuchen. Deshalb war es notwendig, das Verhältnis der Nachkommenschaft sowohl aus den befruchteten als auch aus den unbefruchteten Eiern zu erfassen. Weiterhin war es auch notwendig, die Dauer der Wirkung des Samenvorrates bei Befruchtung nur in der ersten Lebenswoche des Weibchens zu untersuchen. Die Ergebnisse sollten Informationen zur Erhaltungs- und Massenzucht von *L. pedatus* liefern.

Die Bestimmung des Geschlechterverhältnisses erfolgte durch das weitere Bebrüten der abgelegten Eier, die in Abschnitt 2.3.1.1.2, bei 30 bis 35 % r. F. und 28° C beschrieben wurden.

## **2.4 Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid**

### **2.4.1 Einfluß der Dichte des Parasitoiden**

Sowohl für den direkten Einsatz von *L. pedatus* in der praktischen Bekämpfung von *Trogoderma*- und *Anthrenus*-Arten als auch für die Massenzucht des Parasitoiden ist es von Bedeutung zu wissen, inwiefern die Dichte des Parasitoiden einen Einfluß auf die Legetätigkeit hat. Es wurde beobachtet, das die Weibchen von *L. pedatus* manchmal gegeneinander kämpfen (Abb. 8) und sich gegenseitig um die Wirtslarven konkurrieren.

Für die Bestimmung eines möglichen Konkurrenzeffektes wurden zwei Versuche angelegt. Ziel des ersten Versuchs war es, die optimale Anzahl der angesetzten Weibchen von *L. pedatus* zu ermitteln, die zu einer maximalen Anzahl abgelegter Eiern bei konstanter Anzahl angebotener Wirtslarven in der Raumeinheit führen. Ziel des zweiten Versuches war die Bestimmung des Einflusses der Dichte der Wespen auf ihre Mortalität sowie diesen Einfluß auf die Anzahl abgelegter Eier.

#### **Einfluß der Dichte des Parasitoiden auf die Eiablage**

Je ein, zwei, drei, vier und fünf frisch geschlüpften Weibchen, die ein bis drei Tage alt waren, wurden je fünf große Wirtslarven von *T. angustum* angeboten. Die Wespen wurden alle 24 h für fünf Tage in neue Petrischalen mit je fünf neuen Wirtslarven übertragen. Die abgelegten Eier wurden täglich gezählt. Der Versuch wurde bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. im Brutschrank durchgeführt

#### **Einfluß der Dichte des Parasitoiden auf ihre Mortalität**

Es wurden fünf Gruppen mit jeweils verschiedener Anzahl frisch geschlüpfter Weibchen gebildet. Je ein, zwei, drei, vier und fünf Weibchen, die ein bis fünf Tage alt waren, wurden je eine konstante Anzahl von 30 mittleren bis großen Wirtslarven von *A. verbasci* in Plastikpetrischalen angeboten. Der Lebenszustand der Wespen wurde nach sieben und nach 14 Tagen kontrolliert, wobei nach der ersten Auswertung noch zehn neue Wirtslarven bei allen Gruppen dazu gegeben wurden,

um ausreichende Nahrung für die Wespen zur Verfügung zu stellen. Der Versuch wurde in Klimakammern bei 30° C und 50 bis 60 % rel Luftfeuchtigkeit durchgeführt..



Abb. 8: Konkurrenzkampf der Weibchen von *L. pedatus*

#### 2.4.2 Einfluß der Dichte des Wirtes

Es konnte beobachtet werden, daß die Weibchen von *L. pedatus* die Wirtslarven eine nach der anderen erst stechen und lähmen, bevor sie anfangen, auf die Wirtslarven Eier abzulegen. Es ist deshalb von Bedeutung, den Einfluß der Wirtsdichte auf die Legetätigkeit und auf die Anzahl der Nachkommenschaft von *L. pedatus* zu erfassen.

Ziel des folgenden Versuchs ist es, die optimale Anzahl von Wirtslarven zu erfassen, die für die Erzeugung einer maximalen Anzahl von Nachkommen von *L. pedatus* notwendig ist.

Je 5, 10, 15, 20 oder 25 Wirtslarven von *A. verbasci* wurden je einem frisch geschlüpften Weibchen von *L. pedatus* in Plastikpetrischalen mit 9 cm Durchmesser angeboten. Jeder Versuch wurde in 4 Wiederholungen angesetzt. Nach einer Woche wurden die Wespen in neue Petrischalen mit neuen entsprechenden Anzahlen von Wirtslarven übertragen. In dieser Weise wurde während der gesamten

Lebensdauer der Wespen vorgegangen. Die parasitierten Wirtslarven in den alten Petrischalen wurden weiter bis zum Schlüpfen der Imagines inkubiert. Dadurch wurde der Einfluß der Dichte der Wirtslarven auf die Nachkommenschaft ermittelt. Die Nachkommenschaft wurde anhand der Anzahl der geschlüpften Imagines der F<sub>1</sub>-Generation bestimmt. Diese Versuche wurden bei 30° C und 50 - 60 % rel. Luftfeuchtigkeit in Klimakammer durchgeführt.

### **2.4.3 Akzeptanz bereits vorbereiteter Wirtslarven für die Parasitierung**

#### **Akzeptanz bereits gelähmter Wirtslarven**

Da die Weibchen von *L. pedatus* ihre Wirtslarven erst durch Anstechen lähmen, bevor sie die Larven dann für die Eiablage verwenden, war es von Bedeutung zu testen, ob das Weibchen die von anderen Weibchen gelähmten Wirtslarven für ihre Eiablage akzeptiert. Es ist zu erwarten, daß bei Akzeptanz solcher Wirtslarven die Anzahl abgelegter Eier auf den Wirtslarven zunimmt, auf Grund der Energieeinsparung bei der Vorbereitung der Wirtslarven durch das Weibchen.

Für die Gewinnung gelähmter Wirtslarven wurden 10 mittlere bis große Larven von *T. granarium* in Plastikpetrischalen mit 9 cm Durchmesser zusammen mit einem frisch geschlüpften Weibchen von *L. pedatus* belassen. Alle vier Tage wurden die Wirtslarven kontrolliert, die gelähmten Larven entfernt und für den Versuch in andere Petrischalen überführt. Je 15 gelähmte Wirtslarven wurden neuen frisch geschlüpfte Wespen von *L. pedatus* zur Eiablage angeboten. Alle drei Tage wurde die Anzahl abgelegter Eier ermittelt. Wirtslarven, die mit Eiern belegt waren, wurden entfernt und durch neue gelähmte Larven ersetzt. Die Ermittlung der Anzahl abgelegter Eier erfolgte für die gesamte Lebensdauer der Weibchen.

#### **Akzeptanz von Wirtslarven mit vorher belegten Eiern**

Zur Prüfung der Eiablage von *L. pedatus* auf vorher mit Eiern belegte Wirtslarven, wurden die Eier, die bereits auf Wirtslarven von *T. granarium* gelegt worden waren,

aus diesen Larven entfernt und die Larven dann neuen Wespen für die Eiablage wieder angeboten. Diese Larven, die bereits mit Eiern belegt waren, wurden nun mit neuen Wespen bebrütet und auf Eiablage kontrolliert.

Beide Versuche wurden bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. im Klimaschrank durchgeführt.

## **2.5 Praxisorientierte Untersuchungen zum Leistungspotential von *L. pedatus***

Für den Einsatz von *L. pedatus* in der Praxis war es notwendig, bestimmte Untersuchungen durchzuführen, die Basisinformationen für den späteren Einsatz der Wespe in der Praxis liefern können. Insbesondere waren solche Informationen notwendig, die im engen Zusammenhang mit der Leistung des Weibchens als biologischem Gegenspieler stehen. Die wichtigsten Leistungsmerkmale in diesem Zusammenhang sind die folgenden:

Erfassung der optimale Anzahl gelähmter Wirtslarven pro Weibchen sowie die Mortalität dieser Larven, welche durch die Giftwirkung der Wespe verursacht wird. Eine tödliche Wirkung des eingespritzten Giftes ist die erste praktische Nutzung der Wespe zur Bekämpfung von Vorratsschädlingen der Gattungen *Trogoderma* und *Anthrenus*.

Es ist notwendig, die Anzahl der Wirtslarven zu ermitteln, die durch das Weibchen von *L. pedatus* mit Eiern belegt werden.

Von besonderer Bedeutung ist es zu wissen, ob das Weibchen in der Lage ist, tief in das Getreide einzudringen und die Wirtslarven in verschiedenen tiefgelegenen Stellen zu erreichen und dort erfolgreich zu parasitieren.

### **2.5.1 Lähmungspotential und Mortalität gelähmter Wirtslarven**

Die Charakterisierung des Lähmungspotentials eines Weibchens von *L. pedatus* erfolgte anhand der Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl gelähmter Wirtslarven, während das Parasitierungspotential anhand der Anzahl der Wirtslarven, die durch das Weibchen mit Eiern belegt wurden.

Es wurde bereits erwähnt, daß die Weibchen von *L. pedatus* die Wirtslarven stechen und lähmen bevor sie anfangen sie für die Eiablage zu benutzen. Für die Charakterisierung des Lähmungspotentiales des Weibchens von *L. pedatus* wurden die folgenden Versuchsansätze vorgenommen.

### **Anzahl gelähmter Wirtslarven in der gesamten Lebensdauer des Weibchens**

Für die Ermittlung der durchschnittlichen Anzahl gelähmter Wirtslarven in der gesamten Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus* wurde ein Versuch unter der Verwendung von Larven von *A. verbasci* im Vergleich zu *T. granarium* angelegt.

10 mittlere bis große Wirtslarven von *T. granarium* wurden zusammen mit einem frisch geschlüpften und begatteten Weibchen von *L. pedatus*, das auf *T. granarium* gezüchtet war, in Plastikpetrischalen mit 9 cm Durchmesser belassen. Alle vier Tage wurden die Wirtslarven kontrolliert, die gelähmten Larven wurden entfernt, gezählt und ersetzt. Dieses Vorgehen wurde während der gesamten Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus* fortgesetzt. Der Versuch wurde bei 28° C und 50 bis 60 % rel. Luftfeuchte im Klimaschrank durchgeführt.

Das gleiche Vorgehen wurde bei der Verwendung von *Anthrenus verbasci* als Wirt durchgeführt.

### **Mortalität gelähmter Wirtslarven**

Die Mortalität der Wirtslarven durch die Giftwirkung als Folge des Anstechens und der Gifteinjektion des Weibchens von *L. pedatus* wurde bei *T. granarium*, *A. verbasci* und *T. angustum* getestet.

Die Wirtslarven wurden vier Tage dem Weibchen von *L. pedatus* zur Lähmung angeboten. Gelähmte Wirtslarven, die noch nicht mit Eiern belegt worden waren, wurden dann gesammelt (n = 80 bei *T. granarium*, n = 20 bei *T. angustum* und n = 20 bei *A. verbasci*). Die gelähmten Wirtslarven wurden durch ihre Bewegungslosigkeit und ihre Enthaarung charakterisiert. Diese Larven wurden dann weiter bebrütet und ihren Zustand wöchentlich auf Mortalität beobachtet. Dieser Versuch wurde ebenfalls bei 28° C und 50 bis 60 % r.. F. im Klimaschrank durchgeführt.

## 2.5.2 Parasitierungspotential (Anzahl der Wirtslarven mit belegten Eiern)

Die Parasitierung der Wirtslarven erfolgt hauptsächlich durch die Larven des Parasitoiden *L. pedatus* kurz nach deren Schlupf aus den Eiern. Die Vorbereitung der Wirtslarven für die Parasitierung wurde unter Abschnitt 1.2.5.3.4 beschrieben. Die Anzahl der Wirtslarven, die von den Weibchen von *L. pedatus* mit Eiern belegt werden, gibt Auskunft über die Parasitierungsleistung der Wespe. Die mögliche Anzahl abgelegter Eier je Weibchen wurde sowohl auf dem Wollkrautblütenkäfer *A. verbasci*, welcher in der Literatur als normaler Wirt für *L. pedatus* angegeben wurde (MERTINS, 1980), als auch auf *T. angustum*, einem neu nachgewiesenen Wirt der Wespe, ermittelt.

Für die Bestimmung der Anzahl der Wirtslarven, die durch das Weibchen von *L. pedatus* mit Eiern belegt werden, wurde der folgende Versuch durchgeführt:

Je ein Paar frisch geschlüpfter und unerfahrener *L. pedatus* wurde in Plastikpetrischalen 15 Wirtslarven *T. angustum* angeboten. Nach 7 Tagen wurden die Wespen in neue Petrischalen, die wiederum auch jeweils 15 Wirtslarven enthielten, übertragen. Die abgelegten Eier sowie die Wirtslarven, die mindestens mit einem Ei belegt waren, wurden wöchentlich gezählt. Dieses Vorgehen wurde bis zum Absterben der Wespen durchgeführt. Dadurch konnten sowohl die parasitierten Wirtslarven als auch die Eianzahl auf diesen Larven wöchentlich für die gesamte Lebensdauer der Wespe ermittelt werden. Es wurden bei jedem Versuch jeweils 4 Wiederholungen angelegt. Die Versuche wurden sowohl bei einer zusätzlichen Zufütterung für die Mutterwespen mit verdünntem Honig in Verhältnis 1 : 1 (Wasser : Honig) als auch ohne zusätzliches Futter durchgeführt. Die gleichen Untersuchungen erfolgten bei der Verwendung von *A. verbasci* als Wirt, bei 28° C und 40 - 50 % r. F. im Brutschrank.

Es wurde auch ein Vergleich der Anzahl parasitierter Wirtslarven bei zusätzlicher Zufütterung der Wespen mit Honiglösung (Honig : Wasser 1 : 1) und ohne zusätzliche Zufütterung durchgeführt.

### 2.5.3 Eindringtiefe von *L. pedatus* in das Getreide

Ein Vorteil der Bekämpfung von Vorratsschädlingen mit gasförmigen Chemikalien ist das leichte Eindringen der Stoffpartikel in die mit Schädlingen befallenen Produkte und der schnelle Kontakt mit den Schädlingen. Viele Parasitoide haben ebenfalls die Fähigkeit in das zu behandelnde Produkt einzudringen, die Schädlinge zu lokalisieren und sie zu attackieren.

Um zu überprüfen, wie tief die Wespen von *L. pedatus* auf ihrer Suche nach ihrem Wirt in das Getreide eindringen, wurden Versuche bei 30°C und 60 % rel. Feuchte in einem mit Weizen gefüllten, 100 cm hohen und 20 cm weiten Plexiglaszylinder durchgeführt (Abb.9). Im Abstand von jeweils 10 cm wurden je 30 Khaparakäferlarven in nur für *L. pedatus* durchlässige Drahtgazekäfige (0,75 mm Maschenweite) eingebracht. 30 Weibchen von *L. pedatus* wurden auf der Getreideoberfläche freigesetzt. Nach drei Wochen erfolgte die Entnahme und die Auswertung der Insektenkäfige.

In einem weiteren Versuch unter gleichen klimatischen Bedingungen befanden sich die Wirtslarven nur 90 cm tief unter der Weizenoberfläche. Auf der Weizenoberfläche wurden ca. 50 Wespen frei gelassen. Die Versuchsauswertung erfolgte auch hier nach 3 Wochen.



Abb.9: Plexiglaszylinder zur Ermittlung der Eindringtiefe von *L. pedatus*

### **2.5.4 Populationsunterdrückung der Schädlinge**

Zwei begattete Weibchen von *L. pedatus* wurden in fünffacher Wiederholung auf 50 kleine Wirtslarven von *T. granarium* (jemenitischer Stamm) in Marmeladengläsern mit 200 g Weizen gehalten. Die Gläser wurden bei 30° C und 50-60 % rel. Luftfeuchte in Klimazellen für zwei Monate belassen. Danach wurde der Versuch unterbrochen und die Populationsdichte im Vergleich zu den Kontrollen ermittelt. Ein zweiter Versuch wurde mit dem BBA- Stamm durchgeführt, wobei 8 Weibchen von *L. pedatus* mit 200 Larven des Khaparakäfers bei 30° C auf 1 kg Weizen für 6 Wochen gehalten wurden.

Bei beiden Versuchen wurde das Parasit-Wirt Verhältnis konstant gehalten, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

### **2.6 Statistische Auswertung der Versuchsergebnissen**

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit den Computerprogrammen SAS® und Excel®. In den meisten Grafiken wurde der arithmetische Mittelwert (MW) mit der Standardabweichung (SD) eingezeichnet.

Zur Prüfung, ob sich Mittelwerte von unabhängigen, normalverteilten Datensätzen signifikant voneinander unterschieden, wurde der einfachen t-Test angewendet, während der multiple t-Test für den Vergleich mehrerer Datensätze verwendet wurde.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Zuchtergebnisse**

Von den Tieren, die in diese Arbeit einbezogen waren, wurden für *T. angustum* und *L. pedatus* spezielle Zuchtmethoden eingeführt. Deshalb werden im Folgenden nur die Ergebnisse der Zuchten dieser beiden Tierarten dargestellt.

#### **Zuchtergebnisse von *T. angustum***

Die Resultate der Zuchten können hier einen Überblick über den Einfluß der Nahrung auf die Anzahl der Nachkommen von *T. angustum* darstellen. Eine Absicherung dieser Zuchtergebnisse bedarf jedoch der mehrfachen Wiederholung der Versuche.

Die Tabelle 4 zeigt die Anzahl der Nachkommen von *T. angustum* nach mindestens zwei aufeinander folgenden Generationen. Es ist zu ersehen, daß die Nährsubstrate Hundekuchen, Maismehl, Fischmehl und Sorghum am besten für den Zuchtaufbau geeignet waren. Die Larvenansätze von *T. angustum* mit diesen Substraten bildeten Quellen für die verwendeten Larven in den Versuchen.

Tab. 4: Einfluß der Nahrungsart auf die Anzahl der Nachkommenschaft von *T. angustum* (60 Tage sowie 100 Tage nach dem Ansatz von 40 Larven als Ausgangspopulation, bei 28° C 50 - 60 % r. F.)

60 Tagen nach Ansatz der Larven					
Nahrungsart	Anzahl der Individuen der einzelnen Stadien				
Art der Nahrung	lebende Imagines	tote Imagines	Larven	Puppen	Summe
Maismehl	3	26	125	-	<b>154</b>
Sorghum	3	20	156	-	<b>179</b>
Weizenschrot	3	29	47	-	<b>79</b>
Hundekuchen	2	29	83	-	<b>114</b>
Weizenkeime	3	24	75	1	<b>103</b>
Haferflocken	1	29	90	-	<b>120</b>
Kleie	7	22	5	1	<b>35</b>
Fischmehl	3	28	103	-	<b>134</b>

100 Tage nach Ansatz der Larven					
Nahrungsart	Anzahl der Individuen der einzelnen Stadien				
Art der Nahrung	lebende Imagines	tote Imagines	Larven	Puppen	Summe
Maismehl	45	13	125	12	<b>195</b>
Sorghum	41	37	70	-	<b>148</b>
Weizenschrot	21	11	27	-	<b>59</b>
Hundekuchen	73	213	23	14	<b>323</b>
Weizenkeime	6	68	15	1	<b>90</b>
Haferflocken	22	13	31	23	<b>89</b>
Kleie	6	26	18	-	<b>50</b>
Fischmehl	45	13	110	12	<b>180</b>

### Zuchtergebnisse von *L. pedatus*

Bei der ersten Zuchtmethode wurde in der dritten Woche festgestellt, daß alle Wespen in den drei Wiederholungen abgestorben waren. Das gleiche Ergebnis wurde bei der zweiten Zuchtmethode beobachtet.

Die Anzahl der Nachkommen pro Weibchen von *L. pedatus* bei den drei erprobten Zuchtmethoden ist aus der Tabelle 5 zu entnehmen. Es ist zu ersehen, daß die dritte Zuchtmethode sich bewährt hat, bei der je Weibchen von *L. pedatus* wöchentlich auf 10 neue Wirtslarven übertragen wurde. Diese Zuchtmethode wurde weiter für die Beschaffung der Zuchttiere angewendet. Durch die regelmäßige Übertragung der Weibchen auf neue Wirtslarven entwickelten sich auch kontinuierlich frisch geschlüpfte Wespen, die für die Versuch benutzt werden konnten.

Tab. 5: Anzahl der Nachkommen je Weibchen von *L. pedatus* in Abhängigkeit von 3 verschiedenen Zuchtmethoden (Mittelwert  $\pm$  SD, 28° C und 50 - 60 % r. F.)

Nummer der Zucht Methode.	1	2	3
Anzahl angesetztter Parasitoidenweibchen	4	1	1
Anzahl angesetztter Wirtslarven	40	10	10
Übertragung auf neue Wirtslarven	keine	keine	wöchentlich auf neue 10 Larven
Anzahl der Nachkommen je Weibchen	<b>4 <math>\pm</math> 1,4</b>	<b>15 <math>\pm</math> 4.7</b>	<b>31 <math>\pm</math> 4,6</b>

### 3.2 Zur Biologie von *L. pedatus*

Vor der Darstellung der Ergebnisse zur Biologie von *L. pedatus* ist es notwendig, einen kurzen Überblick zu den Entwicklungsstadien der Wespe zu geben (Vergleich auch MERTINS, 1980).

#### Das Ei

Die frisch abgelegten Eier sind glasig weiß mit einer Länge von etwa 0,45 mm und einer Breite von etwa 0,20 mm. Die Form der Eier ändert sich vor dem Ausschlüpfen. Sie werden an ihrer Befestigungsseite am Wirt dünner und dicker an der gegenüberliegenden Seite. Die durchschnittliche Inkubationszeit der Eier bei Zimmertemperatur (20 bis 25° C) dauert 3,7 Tage (MERTINS, 1980). Die Abbildung 10 zeigt ein frisch abgelegtes Ei auf die Wirtslarve *A. verbasci*.



Abb. 10: Ein frisch abgelegtes Ei von *L. pedatus* auf die Wirtslarve *A. verbasci*

## Die Larve

Die Larven von *L. pedatus* entwickeln sich sehr rasch, so daß eine Abgrenzung der verschiedenen Larvenstadien sehr schwer ist. Folgende drei Stadien kann man angeben:

### Erstes Stadium

Kurze Zeit nach dem Schlüpfen aus dem Chorion dringt die Larve mit ihrem Kopf in den Wirt ein und fängt an, die Wirtsflüssigkeit zu saugen. Dieses Larvenstadium ist ca. 0,8 mm groß und bleibt flach an der Stelle, wo das Ei abgelegt wurde.

### Zweites Stadium

Das zweite Stadium ist ca. 1,3 mm groß, wächst sehr schnell. Man kann anhand der Körpergröße erste Zeichen des Geschlechtes erkennen, wobei das Männchen ist kleiner als das Weibchen. Die Larvengröße ist das einzige Merkmal des zweiten Stadiums, ansonsten sind das erste und das zweite Larvenstadium sehr schwer voneinander zu unterscheiden. Die Farbe, die Form und die Position auf dem Wirt bleiben unverändert.

### Drittes Stadium

Es ist sehr einfach, das dritte Larvenstadium zu erkennen. Die Larven sind in der Mitte dicker und an den Körperenden dünner. Ihre Position zum Wirt ist jetzt etwa vertikal. Unter dem Binokular kann man die rasche Bewegung der Larvenmuskeln beobachten und sehen wie die Wirtsflüssigkeit wie von einer Pumpe aufgesaugt wird. Am Ende bleibt von dem Wirt nicht mehr übrig als die äußere Chitinhülle.

Die Abbildung 11 zeigt Larven von *L. pedatus* in verschiedenen Stadien.

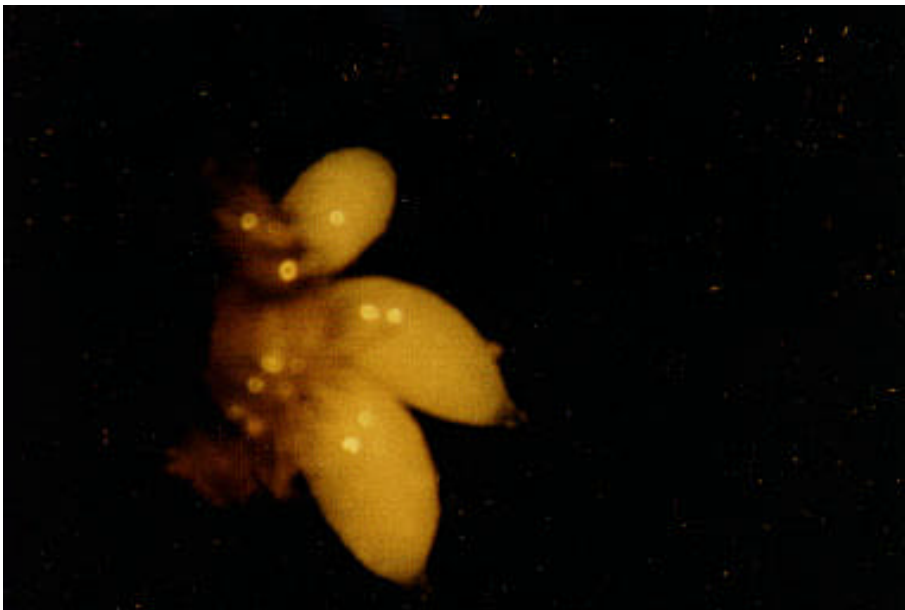


Abb. 11: Larven von *L. pedatus* verschiedener Stadien

## Das Kokon

Das dritte Larvenstadium verläßt den ausgefressenen Wirt und beginnt sich daneben einzuspinnen. Normalerweise bildet jede Larve einen Kokon für sich. Öfter beteiligen sich aber auch mehr als eine Larve, die sich in einer Wirtslarve entwickelt haben, bei der Bildung des Kokons. Sie werden aber am Ende des Aufbaus voneinander durch eine Kokonwand getrennt. Die Farbe des Kokons ist am Anfang schneeweiß und dunkelt mit fortschreitender Entwicklung allmählich nach (Abb. 12). Nach der vollständigen Konstruktion des Kokons können die Lebensvorgänge und die weitere Verwandlung der Larven nicht mehr beobachtet werden. Die durchschnittliche Zeitdauer für den Aufbau eines Kokons beträgt 3 Tage. Die Kokons der Weibchen sind mit  $3,2 \times 1,1$  mm größer als die der Männchen mit einer Größe von  $3,8. \times 1,5$  mm (MERTINS, 1980).



(a)



(b)

Abb. 12: Die Puppen von *L. pedatus* a) Frühpuppen und b) Puppen vor dem Schlupf der Imagines

## **Imaginalschlupf**

Erst ein bis zwei Tage vor dem Schlüpfen der Imagines aus dem Kokon kann man deren Bewegung mit bloßem Auge wahrnehmen. Kurz vor dem Schlüpfen dreht die Imago ihren Kopf im Kokon von einem Pol zum anderen, schneidet schließlich mit den Mandibeln ein Loch in der Nähe des Polendes und schlüpft mit Hilfe der Vorderbeine heraus. Das Ausschlüpfen erfolgt sowohl in der Dunkelheit als auch bei Tageslicht.

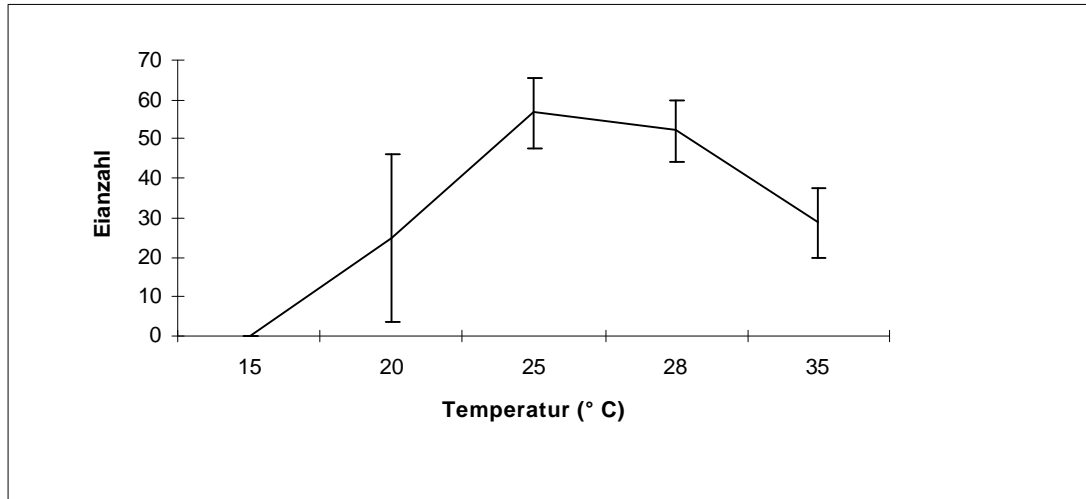
## **Begattung**

Nach dem Schlupf aus dem Kokon sind die Imagines sofort auf der Suche nach Geschlechtspartnern, wobei das Männchen aktiver in der Bewegung und auf der Suche nach dem Weibchen ist. Wenn das Männchen ein Weibchen trifft, macht es einen schnellen Sprung auf das Weibchen zu und versucht, sein Begattungsorgan in das Geschlechtsorgan des Weibchens einzuführen. Bei erfolgreicher Kopula verankert sich das Männchen mit seinem Begattungsorgan im Weibchen und kippt nach hinten. Jetzt beginnt die Kopula mit bestimmtem Rhythmus. Es wurden pro Kopula durchschnittlich 130 Stöße bei der Begattung gezählt (AL-KIRSHI, unveröffentlicht). Da das Männchen kleiner als das Weibchen ist, zieht das Weibchen während seiner Bewegung das Männchen vorwärts. Eine ausführliche Beschreibung der Begattung findet man auch bei MERTINS (1980).

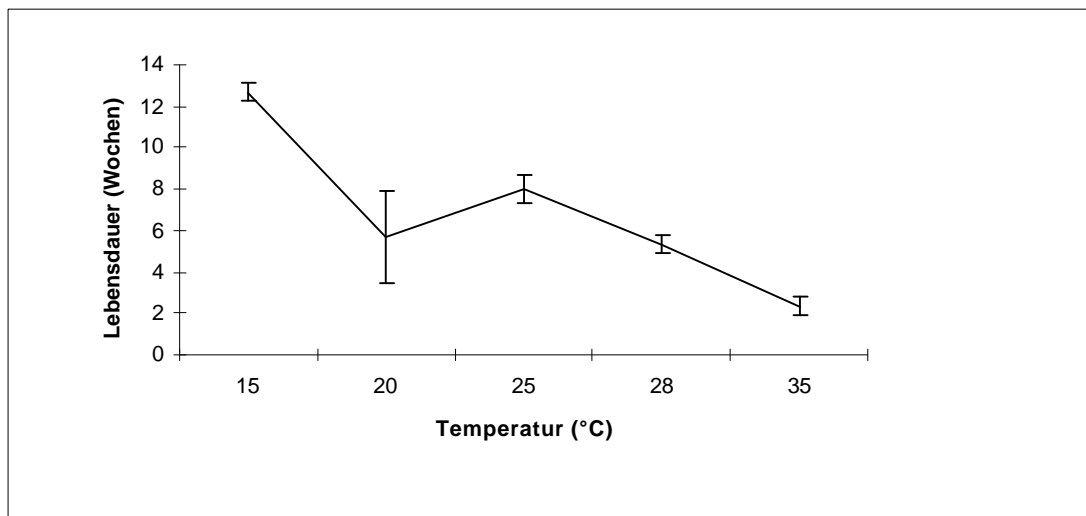
### 3.2.1. Einflußfaktoren auf die Eianzahl

#### 3.2.1.1 Die Temperatur

Der Einfluß der Temperatur auf die Anzahl der abgelegten Eier von *L. pedatus* ist in der Abbildung 13 (a) dargestellt. Es ist zu ersehen, daß das Weibchen von *L. pedatus* bei 15° C noch keine Eier legt. Mit steigender Temperatur oberhalb von 15° C steigt die Anzahl der Eier und erreicht den höchsten Wert bei ca. 25° C. Es läßt sich aber kein deutlicher Unterschied im Bezug auf die Anzahl abgelegter Eier bei Erhöhung der Temperatur von 25° C bis auf 28° C nachweisen. Mit weiter zunehmender Temperatur über 30° C nimmt die Anzahl abgelegter Eier ab. Die Temperatur hat auch einen entscheidenden Einfluß auf die Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus*. Aus der Abbildung 13 (b) ist zu ersehen, daß mit steigenden Temperaturen über 15° C die Lebensdauer abnimmt. Das Weibchen von *L. pedatus* lebt demnach bei 15° C bis zu 13 Wochen, während bei 35° C die Lebensdauer des Weibchens kürzer als drei Wochen ist. Die Anzahl abgelegter Eier wird auf die ganze Lebensdauer des Weibchens verteilt. Aus den beiden Abbildungen ist zu erkennen, daß der optimale Temperaturbereich für die höchste Anzahl abgelegter Eier zwischen 25° C und 28° C liegt. Während bei 25° C das Weibchen ca. 55 Eier innerhalb von 8 Wochen legt, wird fast die gleiche Anzahl von Eiern bei 28° C innerhalb von nur 5 Wochen abgelegt.



(a)



(b)

Abb. 13: Einfluß der Temperatur auf die Anzahl abgelegter Eier (a) sowie auf die Lebensdauer (b) des Weibchens von *L. pedatus* (75 % r. F. und *T. angustum* als Wirtslarven)

### 3.2.1.2 Die relative Luftfeuchtigkeit

Die durchschnittliche Anzahl der abgelegten Eier von *L. pedatus* in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit ist in der Abbildung 14 dargestellt. Es ist zu ersehen, daß die Feuchte im Bereich von < 10 % bis zu 80 % keinen großen Einfluß auf die Eiablage hat, während bei Feuchte oberhalb von 90 % die Eizahl sehr stark abnahm. Das Weibchen ist demnach in der Lage sowohl bei extrem niedriger als auch bei sehr hoher relativen Luftfeuchtigkeit Eier abzulegen. Bei Feuchte unterhalb von 10 % lag die durchschnittliche Eizahl bei etwa  $62 \pm 12,6$  Eier je Weibchen, während bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit diese Anzahl bei etwa  $25 \pm 8$  Eier je Weibchen lag. Bei Feuchte von 30 % bis 35 % und bei Feuchte von 75 % lagen die durchschnittlichen Anzahlen abgelegter Eier pro Weibchen jeweils bei etwa 64 und 52. Die Weibchen von *L. pedatus* konnten bei allen Feuchtigkeiten ca. Sechs Wochen leben.

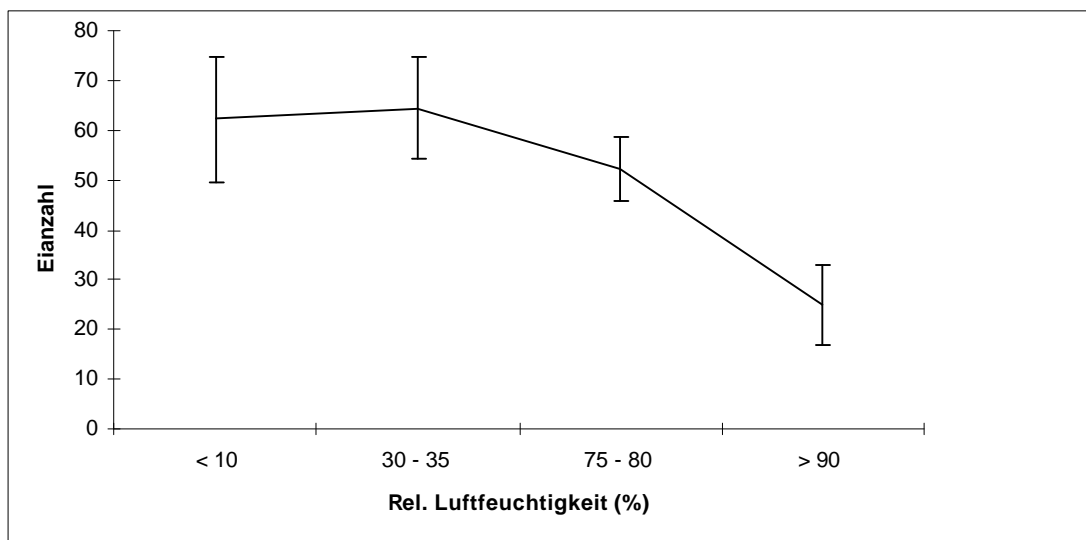


Abb. 14: Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Anzahl abgelegter Eier des Weibchens von *L. pedatus* (28° C und jeweils 4 Weibchen von *L. Pedatus* sowie 90 Wirtslarven von *T. angustum*)

Die Entwicklung der Eier von *L. pedatus* bis zu Imagines in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit ist aus der Tabelle 6 zu entnehmen. Es ist zu ersehen, daß die Eier von *L. pedatus* bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten sich normal entwickeln können. Die Schlupfrate der Imagines variierte zwischen ca. 73 und 98 %. Diese hohe Schlupfrate der Imagines deutet daraufhin, daß die Eier von *L. pedatus* eine sehr hohe Schlupfrate haben.

Tab. 6: Einfluß der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Schlupfrate der Imagines von *L. pedatus* (28° C, 7 Tage für Eiablage auf *T. angustum*)

relative Luftfeuchte in %	Anzahl abgelegter Eiern	Anzahl geschlüpfter Imagines	Schlupfrate %
< 10	13,3 ± 1,3	12,0 ± 1,0	90,6
30 - 35	18,5 ± 1,0	18,3 ± 0,8	98,7
70 - 75	13,8 ± 2,8	11,5 ± 2,5	83,6
> 90	14,8 ± 0,9	10,8 ± 2,4	72,9

### 3.2.1.3 Nahrung der Imagines

Der Einfluß der zugesetzten Nahrung auf die Eiablage von *L. pedatus* ist in Abb. 15 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß die zusätzliche Fütterung in den ersten zwei Lebenswochen keinen Einfluß auf die Anzahl abgelegter Eier hatte. Bei Ernährung der weiblichen Wespen nur mit Wirtslarven legen sie ihre Eier größtenteils in den ersten zwei Lebenswochen ab, während die Eiablage bei zusätzlicher Nahrung mit Honig auf die gesamten Lebensdauer verteilt wird. Mit fortschreitendem Alter der Weibchen nimmt die Eiablage ab. Ohne zusätzliche Nahrung sterben die Weibchen zwischen der 4. und der 5. Lebenswoche ab, während sich mit zusätzlicher Nahrung sowohl die Lebensdauer der Weibchen als auch die Zeit der Eiablage ausdehnen.

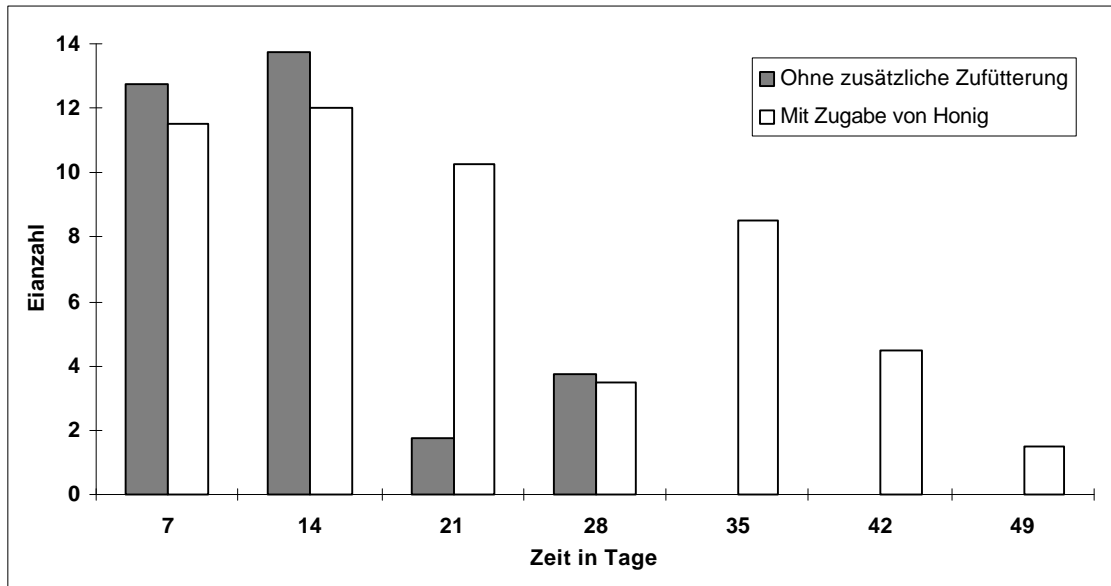


Abb. 15: Anzahl abgelegter Eier im Laufe der Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus* mit und ohne zusätzliche Nahrung (28° C, 50 - 60 % r. F. und *T. angustum* als Wirt)

### 3.2.1.4 Wirtsgröße

Die Weibchen von *L. pedatus* legen ihre Eier nur in Verbindung mit dem Vorhandensein des Wirtes ab. Es wurden bei allen drei getesteten Larvengrößen Eier abgelegt.

Die durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier des Weibchens von *L. pedatus* in Abhängigkeit von der Größe des Wirtes ist in Abbildung 16 dargestellt. Es ist zu ersehen, daß mit steigender Wirtsgröße die Anzahl abgelegter Eier pro Weibchen steigt. Bei kleinen Wirtslarven mit > 2mm und < 3mm wurden durchschnittlich  $4 \pm 1,5$  Eier pro Weibchen und Woche festgestellt. Dagegen stieg die wöchentliche Anzahl abgelegter Eier des Weibchens bei mittleren Wirtslarven (3 bis 4 mm) auf  $6,8 \pm 0,8$  und bei großen Larven (> 4mm) auf  $10,3 \pm 2,6$ .

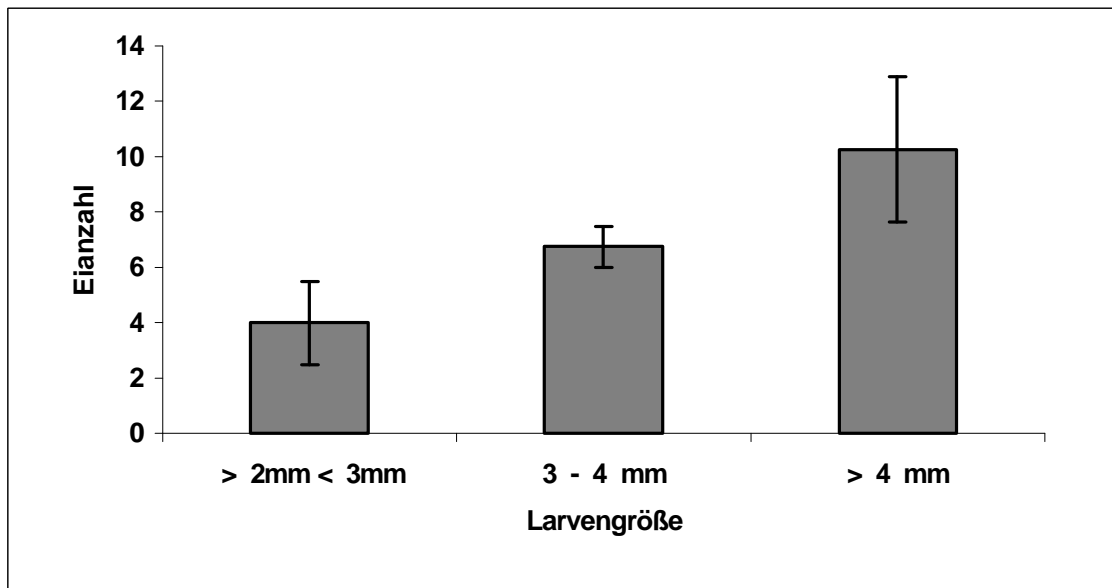


Abb. 16: Anzahl abgelegter Eier des Weibchens von *L. pedatus* im Laufe von 7 Tagen Legedauer in Abhängigkeit von der Larvengröße des Wirts (28° C, 50 - 60 % r. F. und *T. angustum* als Wirt)

### 3.2.2 Entwicklungsdauer

In der Abbildung 17 ist die Entwicklungsdauer der Nachkommen in Abhängigkeit vom Alter der Muttertiere dargestellt. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß die Entwicklungsdauer der Nachkommen, die von jüngeren Muttertiere stammten, um 2 - 3 Tage kürzer war als die Nachkommen, die von älteren Muttertieren. Bei fortschreitendem Alter der Muttertiere nahm die Entwicklungsdauer der Nachkommen wieder ab. Die durchschnittliche Entwicklungsdauer lag bei 34 Tagen.

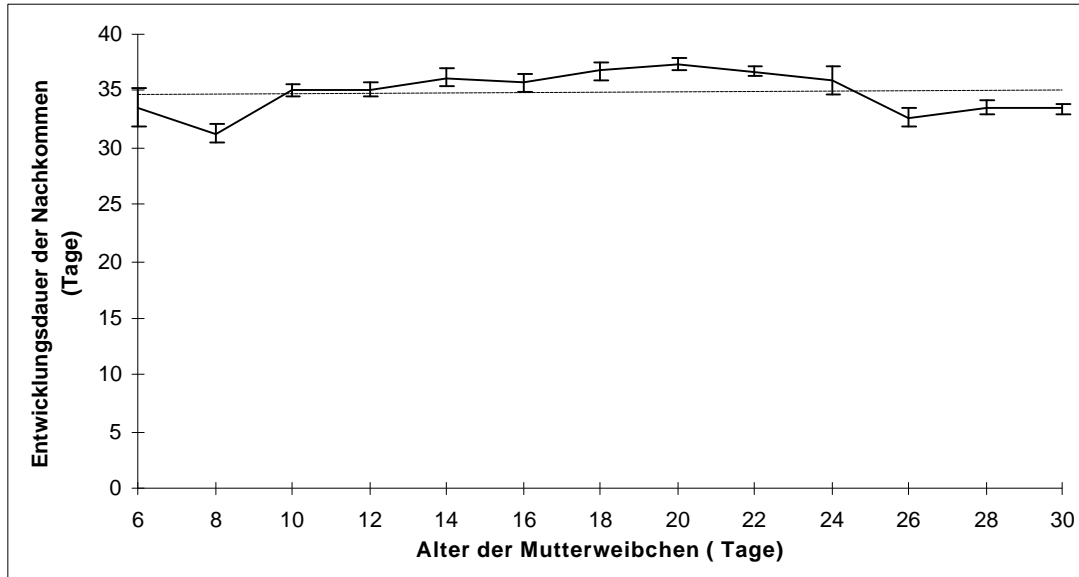


Abb. 17: Entwicklungsdauer von *L. pedatus* in Abhängigkeit vom Alter der Muttertiere (28° C, 50 - 60 % r. F. und n = 15 Wespen)

Die Entwicklung vom Ei bis zum Imago sowie die Schlupfrate der Imagines sind aus der Tabelle 7 zu entnehmen. Anhand der Werte ist zu erkennen, daß die Schlupfrate von *L. pedatus* bei den entsprechenden Versuchsbedingungen bei ca. 80 % lag. Dieser Wert deutet daraufhin, daß die Schlupfrate der Eier höher als 80 % ist.

Tab. 7: Die durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier pro Tag und Weibchen von *L. pedatus* sowie die Entwicklungsrate und die -dauer der Imagines (28° C, 50 - 60 % r. F. und Eier von 15 Wespen)

Anzahl abgelegter Eier pro Tag und Weibchen	Anzahl entwickelter Imagines	Entwicklungsrate (%)	Entwicklungsdauer in Tagen
<b>1,42 ± 0,76</b>	<b>1,12 ± 0,23</b>	<b>79,5 ± 16,8</b>	<b>34,2 ± 1,74</b>

### 3.2.3 Lebensdauer

Der Einfluß der Nahrung auf die Lebensdauer der Weibchen von *L. pedatus* ist in der Abbildung 18 dargestellt. Aus der Abbildung ist zu erkennen, daß die Lebensdauer des Weibchens ohne Nahrung unter zwei Wochen lag. Wurde den Wespen nur verdünnter Honig angeboten, so stieg die Lebensdauer und lag durchschnittlich zwischen 6 und 7 Wochen. Die gleichen Resultate wurden beim ausschließlichen Angebot von Wirtslarven als Nahrung erzielt. Wurden die Wespen mit Wirtslarven und verdünntem Honig gleichzeitig versorgt, so verlängerte sich die Lebensdauer sehr stark und lag durchschnittlich bei 16 Wochen.

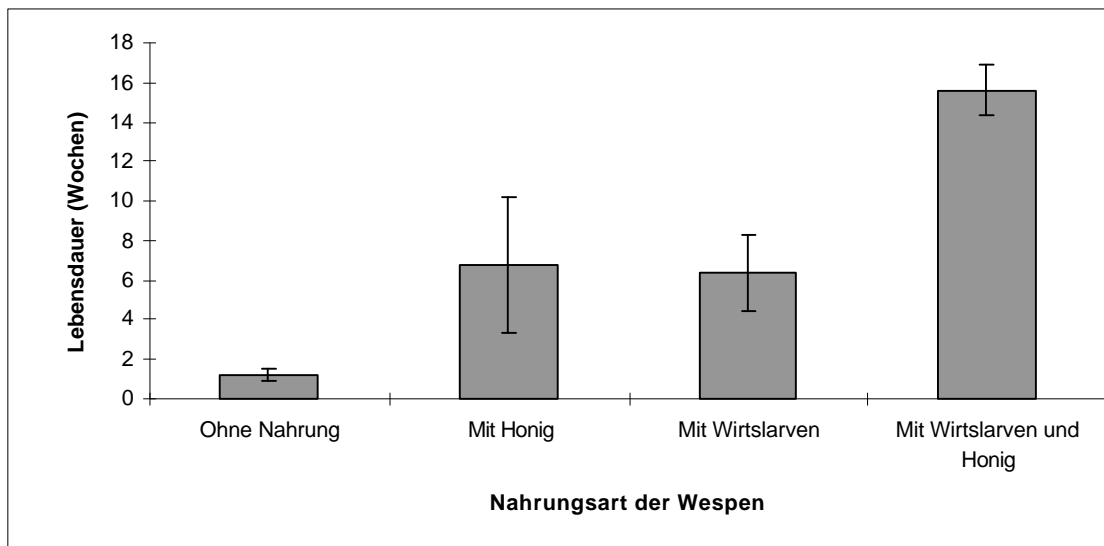


Abb. 18: Einfluß der Nahrungsart auf die Lebensdauer von *L. pedatus* (20° C und 50 bis 60 % r. F.)

### 3.2.4 Geschlechterverhältnis

Das Geschlechterverhältnis der Nachkommen von *L. pedatus* bei Begattung der Mutterweibchen nur in der ersten Lebenswoche ist aus der Tabelle 8 zu entnehmen. Das Geschlechterverhältnis aus Eiern, die in der ersten Lebenswoche abgelegt waren, lag demnach bei ca. 1 : 2,3 (Männchen : Weibchen). Mit fortschreitendem Alter des Weibchens und nicht wiederholte Begattung nimmt die Anzahl von weiblichen Nachkommen ab. Die Anzahl männlicher Nachkommen nimmt dagegen zu.

Tab. 8: Das Geschlechterverhältnis der Nachkommen von *L. pedatus* aus Eiern von drei nacheinander folgenden Lebenswochen der Mutterweibchen (28° C, 30 - 35 % r. F., *T. angustum* als Wirtslarven und Begattung der Mutterweibchen erfolgte nur in der ersten Lebenswoche)

Alter des Muttertieres	Eianzahl	Geschlüpfte Imagines	Geschlüpfte Weibchen	Geschlüpfte Männchen	Geschlechterverhältnis (Männchen : Weibchen)
1 Woche	18,5 ± 1,0	18,2 ± 0,8	12,7 ± 0,9	5,5 ± 0,5	1 : 2,3
2 Wochen	18,0 ± 4,5	16,7 ± 4,8	09,2 ± 2,1	7,5 ± 3,3	1 : 1,2
3 Wochen	11,2 ± 4,2	08,7 ± 2,8	00	8,7 ± 2,8	1 : 0.0

Die Änderung der Geschlechter der Nachkommen für die gesamte Lebenszeit der Wespen nach Begattung der Muttertiere nur in der ersten Lebenswoche ist in der Abbildung 19 dargestellt. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß das Weibchen von *L. pedatus* in der Lage ist, im Laufe seines gesamten Lebensdauer Eier abzulegen. Eine einmalige Begattung reicht aber maximal zwei Wochen aus, um das Weibchen befruchtete Eier ablegen zu können. Nach zwei Wochen von Begattungsbeginn werden nur noch unbefruchtete Eier abgelegt, so daß sich aus den Eiern nur noch Männchen entwickeln.

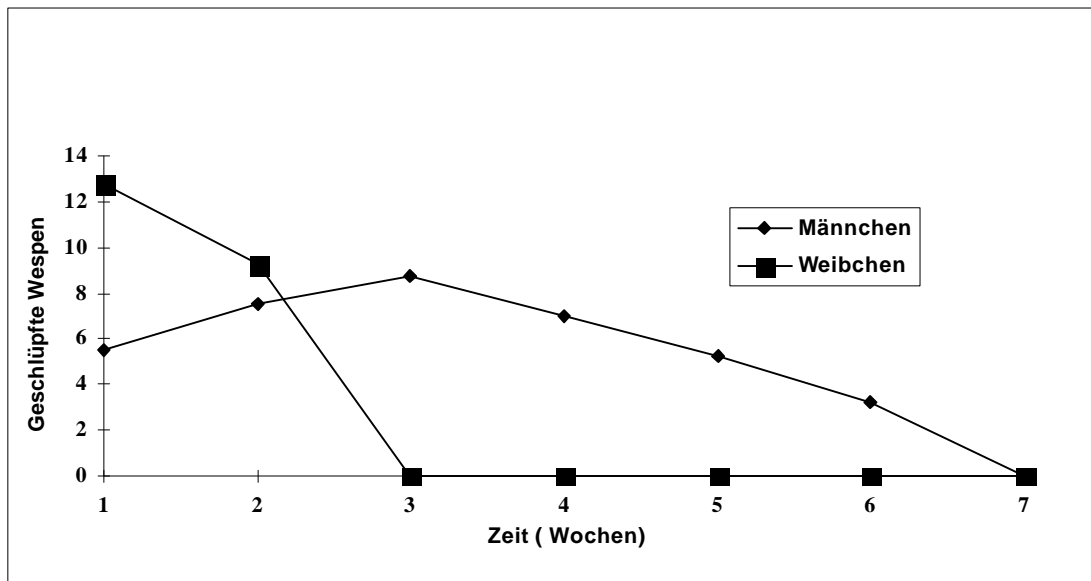


Abb. 19: Änderung der Geschlechter der Nachkommen von *L. pedatus* mit der Zeit nach Begattung der Muttertiere nur in der ersten Woche der Beobachtungszeit (28 ° C, 30 - 35 % r. F. und *T. angustum* als Wirtslarven)

### 3.3 Wechselwirkung zwischen Wirt und Parasitoid

#### 3.3.1 Dichte des Parasitoiden

##### Einfluß der Dichte des Parasitoiden auf dessen Eiablage

Der Einfluß der Dichte der Weibchen von *L. pedatus* auf deren Anzahl abgelegter Eier ist in der Abbildung 20 dargestellt. In Abhängigkeit von der Erhöhung der Anzahl der Weibchen läßt sich kein linearer Bezug auf die Anzahl abgelegter Eier je Weibchen herstellen. Während mit steigendem Weibchenbesatz von eins auf zwei die Anzahl abgelegter Eier zunahm, verminderte sich diese Anzahl bei weiter steigendem auf 3 Weibchen. Bei weiterer Erhöhung der Anzahl der Weibchen auf 4 und 5 bei gleichbleibender Anzahl von Wirtslarven nahm die Anzahl abgelegten Eier pro Weibchen wieder zu. Ein signifikanter Unterschied der Anzahlen abgelegter Eier wurde beim Vergleich der Besatzdichten der Wespen 1 zu 4, 1 zu 5 und 3 zu 5

festgestellt. Diese unlinearen Ergebnisse lassen sich durch den unterschiedlichen Grad der gegenseitigen Störung der Wespen erklären.

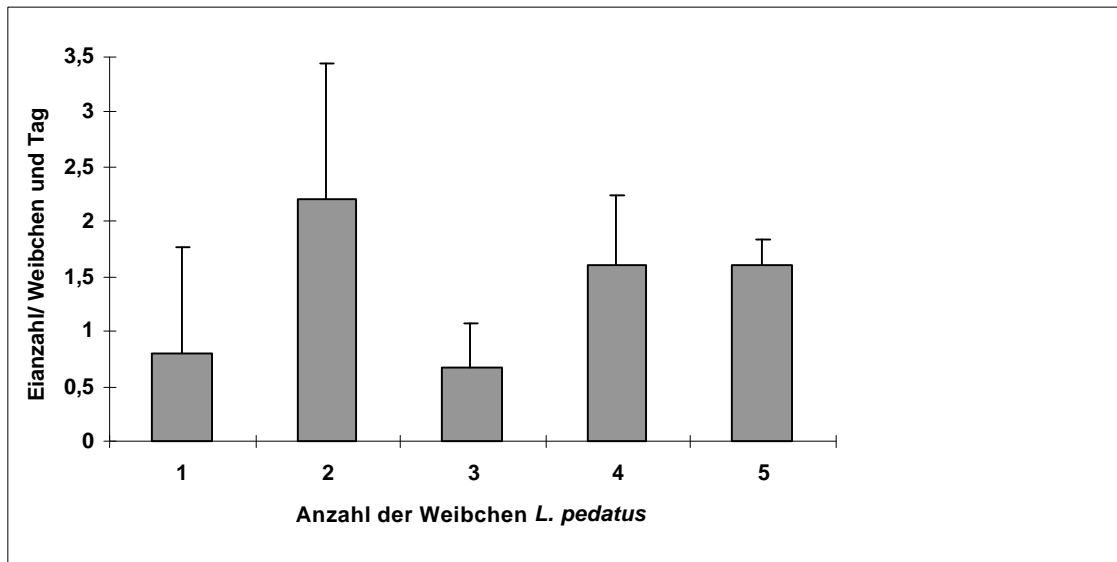


Abb. 20: Einfluß der Dichte der Weibchen von *L. pedatus* auf deren Anzahl abgelegter Eier (Versuch in Petrischalen mit je 9 cm Durchmesser, 28° C, 50 - 60 % r. F. und *T. angustum* als Wirtstier n = jeweils 4 Wiederholungen)

### Einfluß der Dichte des Parasitoiden auf dessen Mortalität

Die Dichte der Parasitoiden hatte ebenfalls einen negativen Einfluß auf die Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus*. Der Einfluß der Populationsdichte der Weibchen von *L. pedatus* auf ihre Lebensdauer und auf die Mortalität ist in der Abbildung 21 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß mit steigender Anzahl von Weibchen die Mortalität stieg. Nach 10 Tagen Versuchsdauer lag die Mortalität der Weibchen bei den Versuchsgruppen mit vier und fünf Weibchen bei etwa 40 %, während bei den Versuchsgruppen mit ein und zwei Weibchen noch keine tote Weibchen auftreten. Nach 14 Tagen stieg die Mortalität bei 2, 3, 4 und 5 Weibchen in der Reihenfolge auf etwa 25, 60 und 85 %, während bei der Versuchsgruppe mit einem Weibchen über 14 Tage keine Mortalität auftrat.

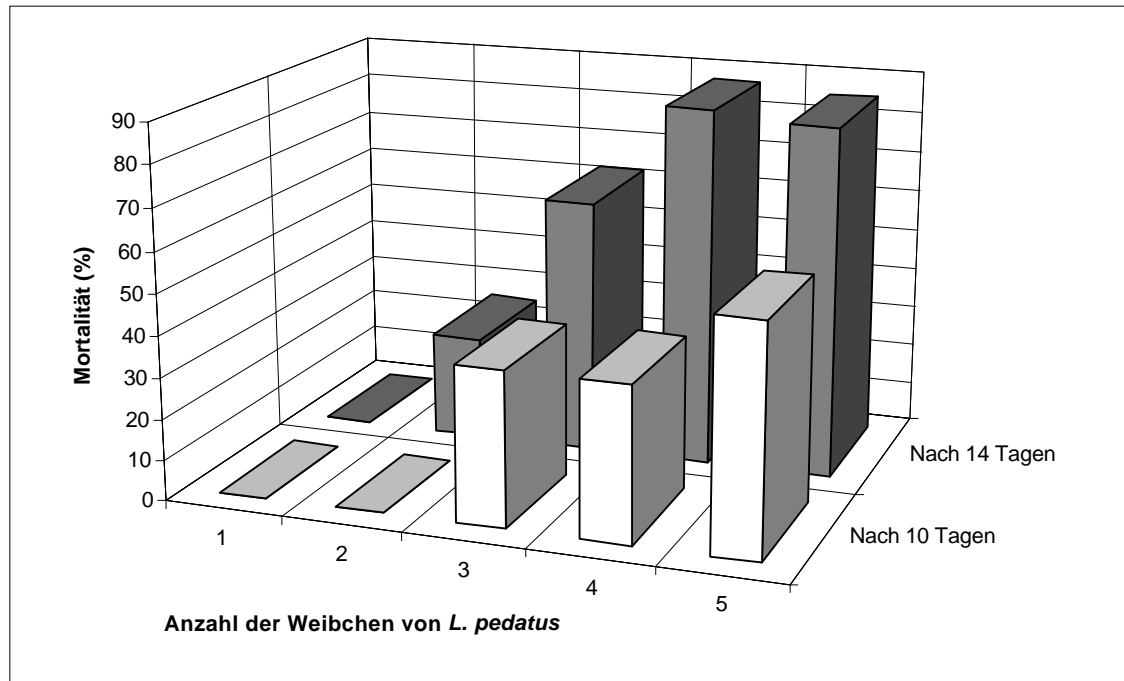


Abb. 21: Einfluß der Dichte der Weibchen von *L. pedatus* auf deren Mortalität (Versuch in Petrischalen mit je 9 cm Durchmesser, 30° C, 50 - 60 % r. F. und auf je 40 Larven *A. verbasci*)

### 3.3.2 Dichte des Wirtes

Die Wirkung der Wirtsdichte auf die Fortpflanzung von *L. pedatus* ist in Abbildung 22 dargestellt. Aus der Abbildung ist zu ersehen, daß mit steigender Wirtsdichte von 5 bis 20 Larven je Petrischale (9 cm Durchmesser) die Anzahl der geschlüpften Imagines zunahm. Mit weiter steigender Dichte sank dann die Anzahl der geschlüpften Imagines ab. Eine optimale Anzahl von Wirtslarven für die Erzeugung der höchsten Anzahl von Nachkommen bildet demnach eine Wirtsdichte von etwa 20 Larven pro Weibchen.

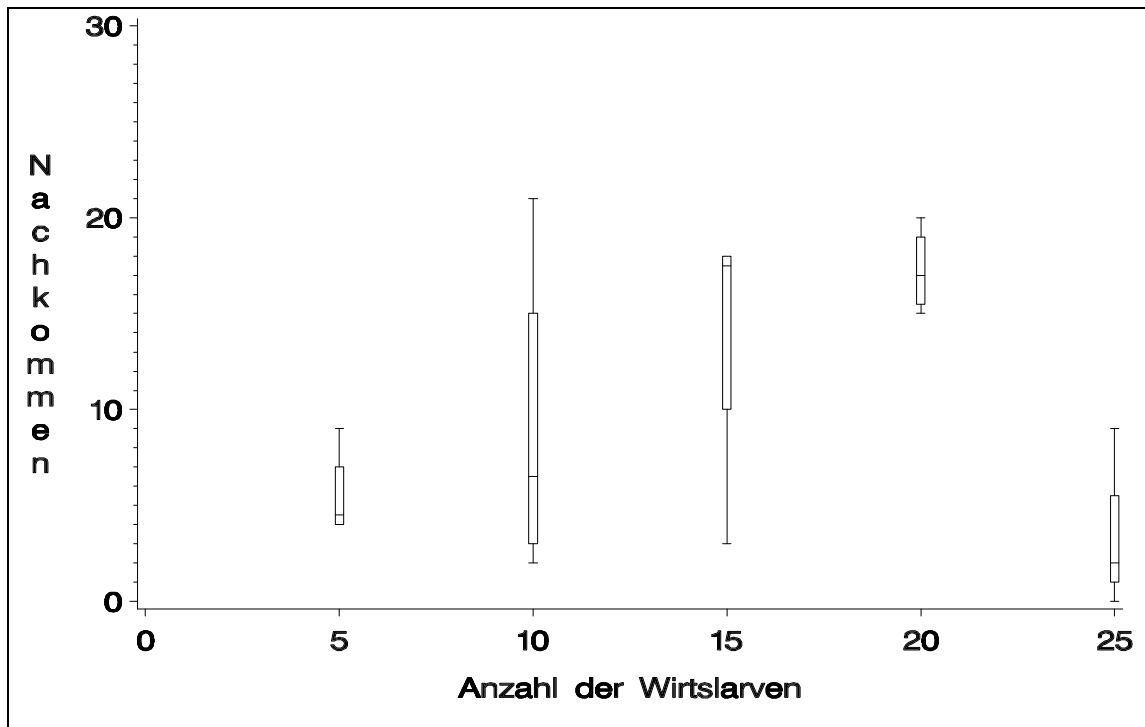


Abb. 22: Einfluß der Wirtsdichte von *A. verbasci* auf die wöchentliche Anzahl der Nachkommen eines Weibchens von *L. pedatus* (30° C, 50 - 60 % r. F. und n = jeweils 4 Weibchen)

### 3.3.3 Akzeptanz von zuvor gelähmten Wirtslarven und von Wirtslarven mit zuvor belegten Eiern

Aus der Tabelle 9 ist zu entnehmen, daß das Weibchen von *L. pedatus* in der Lage ist, von anderen Weibchen gelähmte Wirtslarven für ihre Eiablage zu verwenden. Die Lebensdauer des Weibchens auf solchen Wirtslarven ist jedoch verkürzt. Ein Weibchen konnte demnach auf diesen Wirtslarven durchschnittlich 14 Tage leben. Die Lebensdauer der Weibchen ist im Vergleich zu normalen Fällen, wo die Weibchen selbst ihre Eiablage vorbereiten, auf etwa 50 % herabgesetzt. Ein Weibchen konnte in dieser Zeit durchschnittlich etwa 19 Eier ablegen.

Das Weibchen von *L. pedatus* akzeptiert auch Wirtslarven mit zuvor von anderen Weibchen belegten Eiern. Nach der Entfernung der abgelegten Eier vom Wirtstiere werden die Larven noch einmal von anderen Weibchen für die Eiablage benutzt.

Tab. 9: Mittlere Lebensdauer und Anzahl abgelegter Eier eines Weibchens *L. pedatus* auf zuvor von anderen Weibchen gelähmten Wirtslarven (28° C und 50 bis 60 % r. F.)

Lebensdauer des Weibchens in Tagen (Mittelwert $\pm$ SD, n = 5)	Anzahl abgelegter Eier je Weibchen (Mittelwert $\pm$ SD, n = 5)
13,8 $\pm$ 3,4	18,8 $\pm$ 9,4

### 3.4 Potentielle Leistung von *L. pedatus*

#### 3.4.1 Potentielle Lähmung und Mortalität gelähmter Wirtslarven

Aus Abbildung 23 ist zu ersehen, daß ein Weibchen von *L. pedatus* in der Lage ist, während seiner gesamten Lebenszeit von ca. 40 Tagen wiederholt die Larven des Khaprakäfers anzustechen und zu lähmen. Unter den angegebenen Versuchsbedingungen wurden von einer weiblichen Wespe durchschnittlich  $43,6 \pm 10,9$  Larven von *T. granarium* oder  $73,9 \pm 19,8$  Larven von *A. verbasci* gelähmt (Tabelle 10).

Die Giftwirkung durch den Stich des Weibchens von *L. pedatus* führte nicht zum Absterben aller gelähmten *T. granarium* Larven. Von den beobachteten 80 gelähmten Larven erholten sich 40 % (Tab. 11) innerhalb von 4 bis 5 Wochen und setzen ihre weitere Entwicklung bis zum Käfer fort. Dagegen starben alle gelähmten Wirtslarven von *A. verbasci* und *T. angustum* innerhalb von 2 bis 3 Wochen.

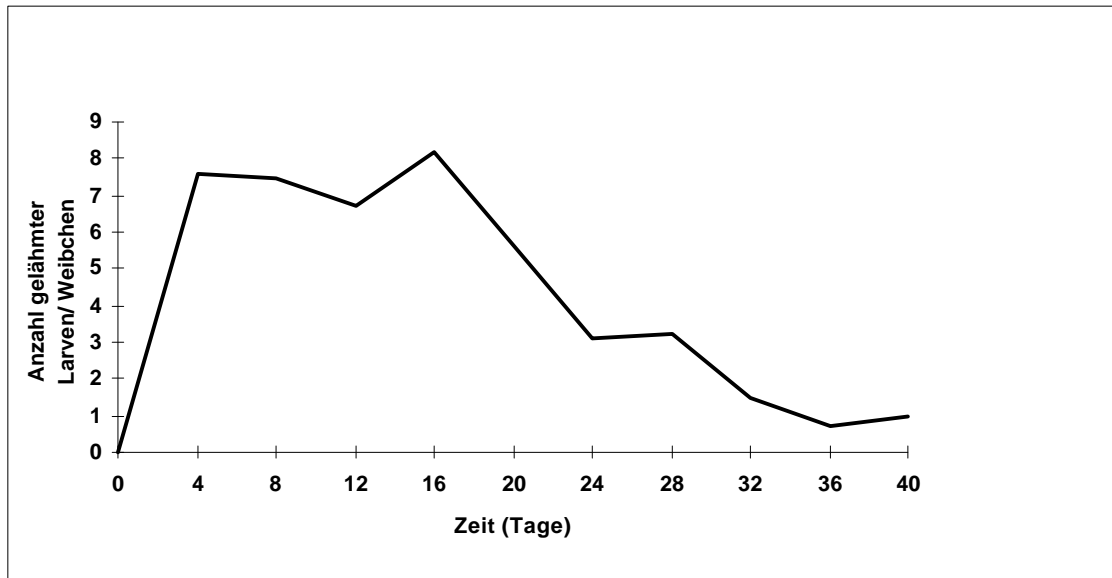


Abb. 23: Durchschnittliche Anzahl der von einem Weibchen von *L. pedatus* gelähmten *T. granarium* Wirtslarven (n = 10 Weibchen)

Tab. 10: Anzahl gelähmter Wirtslarven von *A. verbasci* und *T. granarium* durch das Weibchen *L. pedatus* im Laufe seiner Lebensdauer (28° C, 50 - 60 % r. F. und 4 - 5 Wochen Lebensdauer des Weibchens)

Wirt	Anzahl gelähmter Larven
<i>Anthrenus verbasci</i>	73,9 ± 19,8
<i>Trogoderma granarium</i>	43,6 ± 10,9

Tab. 11: Die Giftwirkung durch den Stich des Weibchens von *L. pedatus* auf die Mortalität der Wirtslarven von *A. verbasci*, *T. angustum* und *T. granarium* (28° C, 50 - 60 % r. F. und 4 - 5 Wochen Beobachtungszeit)

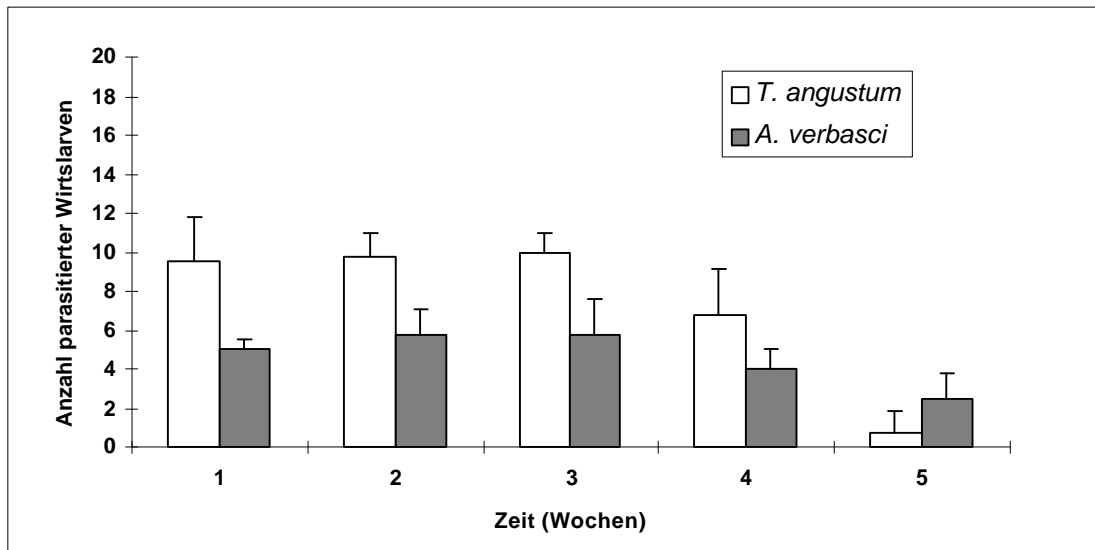
Wirt	Anzahl gelähmter Larven benutzt	Mortalität in (%)
<i>A. verbasci</i>	20	100
<i>T. angustum</i>	20	100
<i>T. granarium</i>	80	58

### 3.4.2 Potentielle Parasitierungsleistung

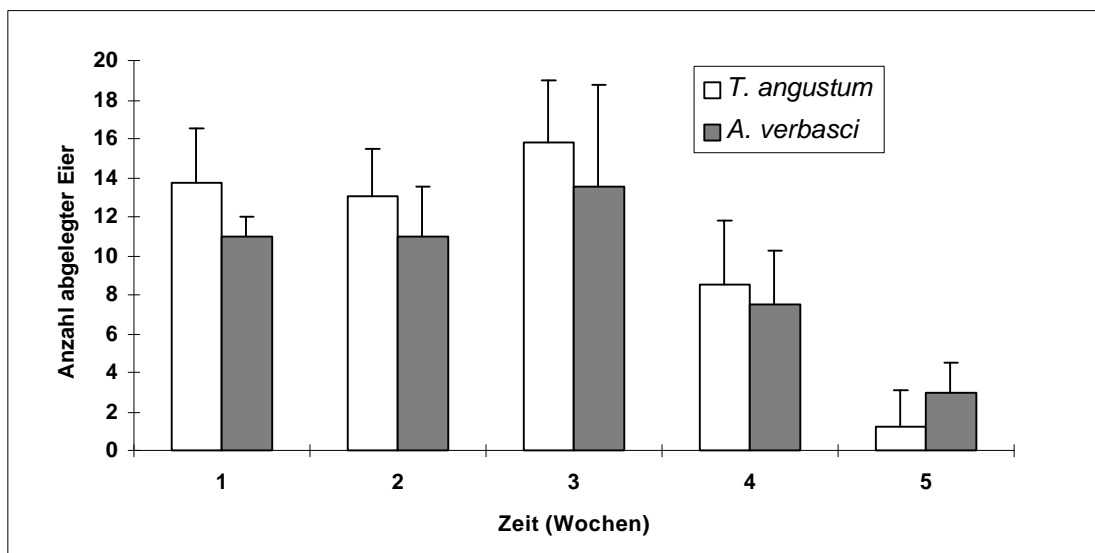
Die potentielle Eiablage von *L. pedatus* sowie die Anzahl der Wirtslarven, die durch das Weibchen mit Eiern belegt wurden, geben Auskunft über die Parasitierungsleistung des Weibchens. Die Ermittlung der Legeleistung in Verbindung mit der möglichen Anzahl parasitierter Wirtslarven wurde sowohl bei zusätzlicher Zufütterung der Wespen mit verdünntem Honig als auch ohne zusätzliches Futter vorgenommen.

Die Anzahl parasitierter Wirtslarven sowie die Anzahl abgelegter Eier der Wespe auf *T. angustum* und *A. verbasci* ohne zusätzliche Zufütterung sind in der Abbildung 24(a und b) dargestellt. Es wird deutlich, daß das Weibchen die Wirtslarven von *T. angustum* genauso für die Eiablage akzeptierte wie die von *A. verbasci*. Die Eiablage fand auf beiden Wirten während der gesamten Lebensdauer der Wespe statt. Es läßt sich kein signifikanter Unterschied im Bezug auf die wöchentlich Anzahl von abgelegten Eiern auf beiden Wirten ableiten, obwohl die durchschnittliche Eianzahl auf *T. angustum* in 4 Wochen nacheinander höher lag als auf *A. verbasci*. Aus der Abbildung 24a läßt sich ableiten, daß das Weibchen von *L. pedatus* für die Eiablage mehr Wirtslarven von *T. angustum* verwendete als Larven von *A. verbasci*. Die Wespen legten ihre Eier auf beide Wirte fünf Wochen lang ab und starben zwischen der 5. und 6. Lebenswoche.

Die statistische Auswertung der durchschnittlichen Anzahl abgelegter Eier für die gesamten 5 Wochen auf beiden Wirtstieren mit Hilfe der Kontingenztafelanalyse zeigte keine signifikanten Unterschiede. Ein klarer Unterschied besteht jedoch beim Vergleich der Zahlen der parasitierten Wirtslarven (Abb. 24a).



(a)

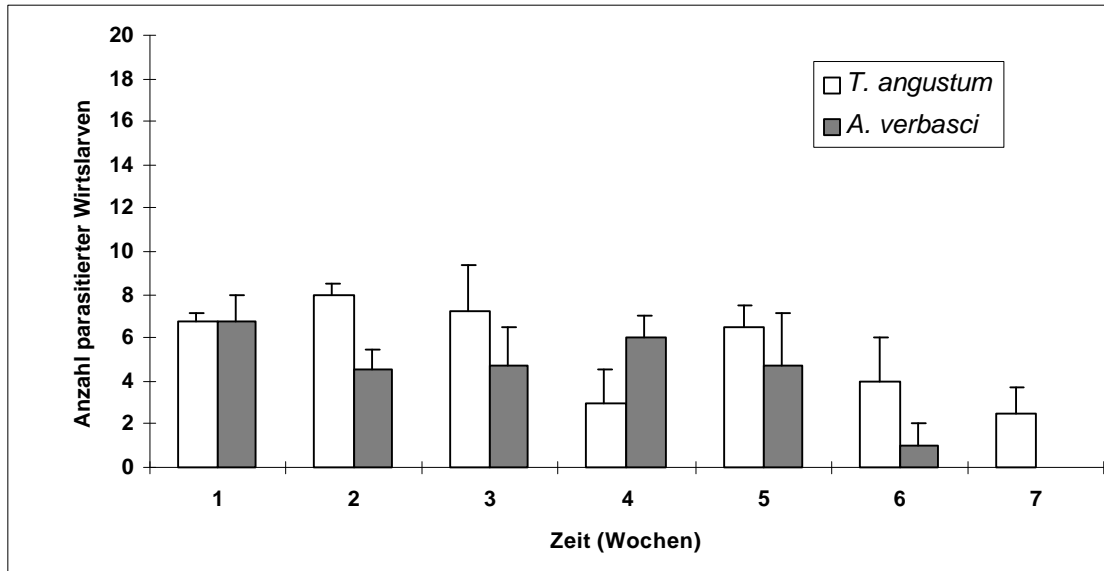


(b)

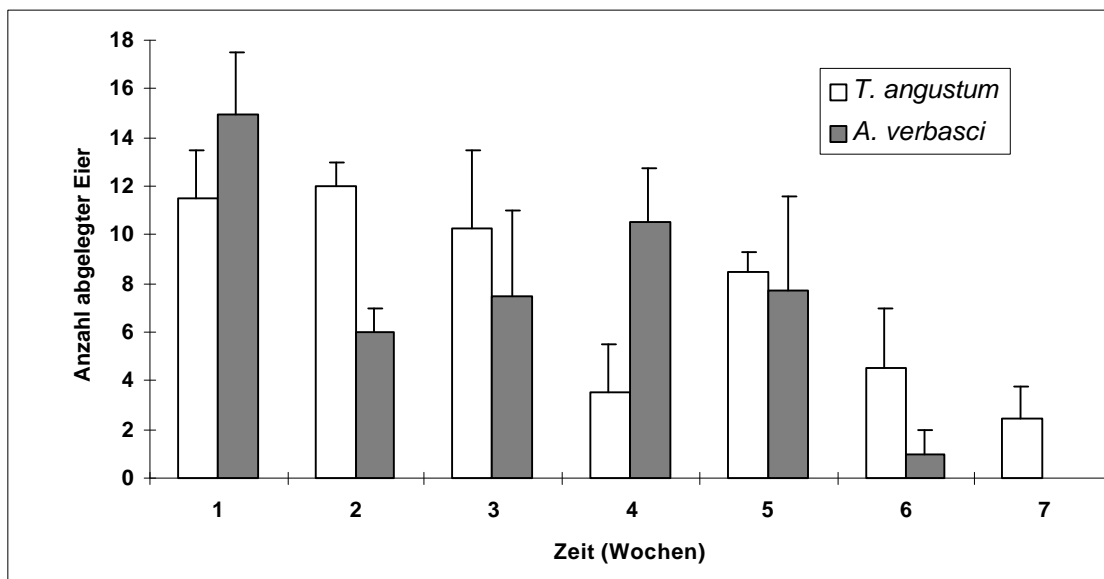
Abb. 24: Die wöchentliche Anzahl parasitierter Wirtslarven (a) sowie die Anzahl abgelegter Eier (b) eines Weibchens von *L. pedatus* auf *A. verbasci* und *T. angustum* (Mittelwert  $\pm$  SD, 28° C, 50 bis 60 % r. F. ohne zusätzliche Nahrung)

In der Abbildung 25 ist die wöchentliche Anzahl parasitierter Larven (22a) sowie die Anzahl abgelegter Eier (22b) bei beiden Wirtstieren mit zusätzlicher Nahrung dargestellt. Während in der ersten und in der vierten Lebenswoche die Anzahl der abgelegten Eier deutlich höher auf *A. verbasci* ist, ist die Eianzahl in der zweiten und sechsten Lebenswoche höher auf *T. angustum*. In der 3. und 5. Lebenswoche wurde kein deutlicher Unterschied im Bezug auf die Anzahl abgelegter Eier auf beiden Wirten sichtbar. In der 7. Woche wurden Eier nur auf *T. angustum* abgelegt.

Die Wespen starben dann zwischen der sechsten und siebenten Lebenswoche auf *A. verbasci* als Wirt und zwischen der siebenten und achten Lebenswoche auf *T. angustum*.



(a)



(b)

Abb. 25: Die wöchentliche Anzahl parasitierter Wirtslarven (a) sowie die Anzahl abgelegter Eier (b) eines Weibchens von *L. pedatus* auf *A. verbasci* und *T. angustum* (Mittelwert  $\pm$  SD, 28° C, 50 bis 60 % r. F. mit zusätzlicher Nahrung)

Die gesamte Anzahl parasitierter Wirtslarven sowie die Anzahl abgelegter Eier auf beiden Wirtslarven im Laufe der Lebensdauer des Weibchens von *L. pedatus* ist aus Tabelle 13 zu entnehmen.

Die gesamte Anzahl parasitierter Wirtslarven je Weibchen über 5 Wochen ohne zusätzliche Nahrung betrug durchschnittlich  $36,8 \pm 5,8$  Larven von *T. angustum* bzw.  $23,0 \pm 6,0$  Larven von *A. verbasci*. Diese werden jeweils mit  $52,3 \pm 6,3$  bzw.  $46 \pm 12,5$  Eiern belegt. Mit zusätzlicher Nahrung besteht keine deutliche Änderung weder in bezug auf die parasitierten Wirtslarven noch in bezug auf die abgelegten Eier (Tabell13).

Tab. 13: Die gesamte Anzahl abgelegter Eier im Laufe der Lebensdauer des Weibchens *L. pedatus* sowie die Anzahl der parasitierten Wirtslarven von *A. verbasci* und *T. angustum* mit und ohne zusätzliche Nahrung in Form von verdünntem Honig (Mittelwert  $\pm$  SD)

Nahrung	<i>A. verbasci</i>		<i>T. angustum</i>	
	Anzahl parasitierter Wirtslarven	Anzahl Abgelegter Eier	Anzahl parasitierter Wirtslarven	Anzahl Abgelegter Eier
Ohne zusätzliche Nahrung	$23,0 \pm 6,0$	$46,0 \pm 12,5$	$36,8 \pm 5,8$	$52,3 \pm 6,3$
mit verdünntem Honig	$27,8 \pm 1,8$	$50,3 \pm 05,3$	$38,0 \pm 4,5$	$52,8 \pm 5,3$

Insgesamt läßt es sich errechnen, daß das Weibchen von *L. pedatus* die Larve von *A. verbasci* mit durchschnittlich  $1,9 \pm 0,1$  Eiern belegen kann, während bei *T. angustum* die durchschnittliche Eianzahl je Larve  $1,5 \pm 0,1$  betrug.

### 3.4.3 Eindringtiefe der Wespen in geschütteten Weizen

Drei Wochen nach der Freilassung der Wespen auf der Weizenoberfläche befanden sich Wespen bzw. parasitierte Wirtslarven in allen getesteten Getreidetiefen.

*L. pedatus* drang auch dann 90 cm tief in das Getreide ein, wenn nur dort und nicht auch in geringeren Tiefen Wirtslarven angeboten wurden.

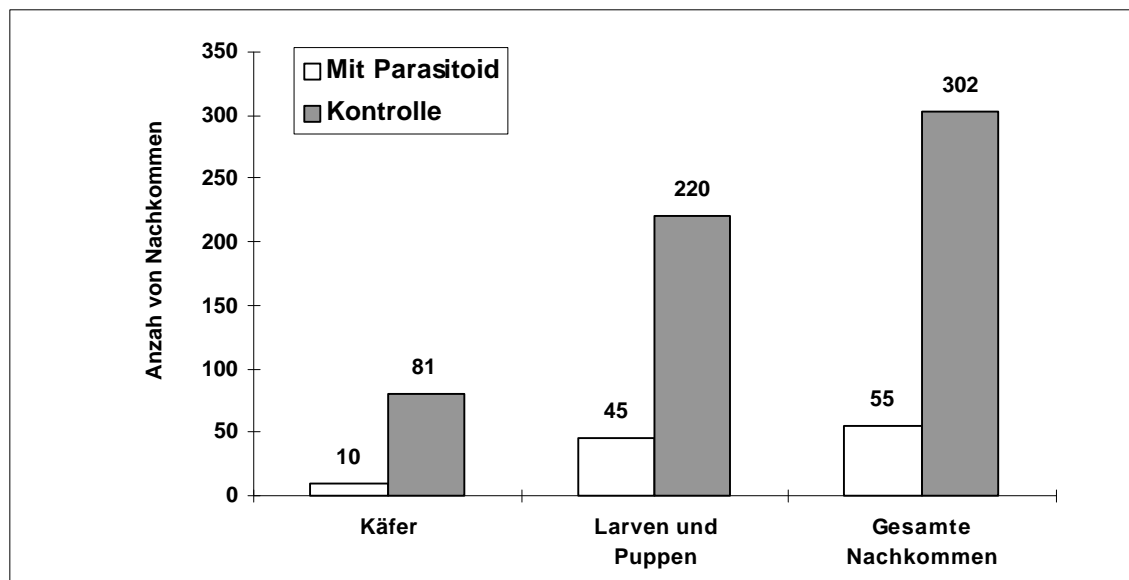


Abb. 26: Populationsunterdrückung von *T. granarium* durch den Parasitoid *L. pedatus* nach 2 Monaten Versuchsdauer (Ausgangspopulation = 50 Wirtslarven *T. granarium*, 2 Weibchen *L. pedatus*)

### 3.4.4 Populationsunterdrückung der Schädlinge

Die Unterdrückung der Population von *T. granarium* (jemenitischer Stamm) ist in Abbildung 26 dargestellt. Auf Grund der Parasitierung und der Lähmung der Wirtslarven durch den Parasitoid *L. pedatus* ist das Populationwachstum von *T. granarium* sehr stark unterdrückt. Nach zwei Monaten Versuchsdauer war die Populationsdichte der Imagines bei der Kontrolle achtfach größer als im

Fall einer Behandlung mit *L. pedatus*. Die Larven- und Puppennachkommen waren bei den behandelten Proben ebenfalls sehr stark vermindert.

Bei dem Versuch mit dem BBA-Stamm wurden ähnliche Ergebnisse festgestellt, obwohl die Auswertung der Proben bereits nach sechs Wochen erfolgte. Es wurden durchschnittlich 675 lebende Nachkommen des Wirtes gefunden. Ohne Wespen entstanden im Mittel 2552 Nachkommen.

Bei einem Parasit - Wirt Verhältnis von 1 : 25 unterdrückte *L. pedatus* demnach den Zuwachs an Nachkommen von *T. granarium* beim jemenitischen Stamm innerhalb von zwei Monaten um ca. 80 % und beim BBA-Stamm innerhalb von sechs Wochen um 75 %.

## 4 Diskussion

Der Parasitoid *L. pedatus*, der normalerweise die Larven des Kabinettkäfers *Anthrenus verbasci* als Wirtstier bevorzugt (MERTINS, 1980), parasitiert auch verschiedene Arten von *Trogoderma spp.*, wie *T. variabile*, *T. glabrum* (KLEIN und BECKAGE, 1990) sowie *T. angustum*, *T. granarium* und *T. inclusum* (AL-KIRSHI et al., 1995, AL-KIRSHI et al., 1996a). Die *Trogoderma spp.* werden von der Wespe jedoch unterschiedlich bevorzugt. Im Labor fanden KLEIN und BECKAGE (1990) beim Vergleich von *T. variabile* und *T. glabrum* hinsichtlich ihrer Eignung als Wirt, daß das Weibchen von *L. pedatus* zwar beide Arten attackieren kann, jedoch wurden die Larven von *T. variabile* von dem Weibchen zur Eiablage bevorzugt.

*L. pedatus* besitzt bedeutende biologische Eigenschaften, die für den Einsatz in der praktischen Bekämpfung von *Trogoderma*- und *Anthrenus*-Arten erfolgversprechend sind.

### Lähmung und Parasitierung

Das Weibchen sticht, lähmt und bereitet die Wirtslarven für die Eiablage vor. Im Laufe seiner Lebensdauer lähmte ein Weibchen von *L. pedatus* in Laborversuchen (Siehe Abschnitt 3.4.1 und 3.4.2) mindestens doppel soviel Wirtslarven wie anschließend für die Eiablage verwendet wurden. Das Weibchen konnte im Laufe einer Lebensdauer von rund 6 Wochen bei 28° C durchschnittlich 75 Larven von *A. verbasci* lähmen. Davon wurden aber nur ca. 25 Larven mit ca. 46 Eiern belegt.

Eine andre Art von *Laelius sp.*, konnte im Laufe ihrer Lebensdauer von rund 35 Tagen durchschnittlich 160 Larven von *Anthrenus vorax* WATERHOUSE lähmen und 39 Larven mit 64 Eiern belegen (AYYOPPA und CHEEMA, 1952). *L. anthrenivorus* TRANI paralyisierte ebenfalls mehr Wirtstiere als schließlich mit Eiern belegt wurden, wobei alle von dieser Wespe paralyisierten Larven abstarben (VANCE und PARKER, 1932).

Als funktionale Gründe für eine höhere Anzahl gelähmter Larven im Vergleich zu solchen, die dann für die Eiablage benutzt werden, können einerseits ein Schutz der

Beute mit den abgelegten Eiern gegen das Ausfressen durch die Artgenossen, in anbetracht des ausgeprägten Kannibalismus bei den Dermestiden angenommen werden. Andererseits werden die gelähmten Wirtslarven, die nicht anschließend mit Eiern belegt sind, für die Ernährung der Imagines aufbewahrt (AYYOPPA und CHEEMA, 1952).

Die Lähmung von *Anthrenus vorax* WATERHOUSE durch *Laelius* sp. führte ebenfalls zum Tod der Wirte, unabhängig davon, ob Eier auf die Wirte abgelegt wurden oder nicht (AYYOPPA und CHEEMA, 1952). Dagegen tolerierten die Larven von *T. glabrum* (HERBST) das Gift von *L. pedatus*, was zu einem Mißerfolg der Bekämpfung von *T. glabrum* mit *L. pedatus* führen kann (KLEIN und BECKAGE, 1990).

Die Wirtslarven der untersuchten Schädlinge reagierten auf die Lähmung von *L. pedatus* unterschiedlich. Während die Giftwirkung bei *T. angustum* innerhalb von 3 Wochen nach Lähmungsantritt zum Absterben aller gelähmten Larven führte, wirkte das Gift nur bei 60 % der gelähmten Larven von *T. granarium* tödlich (AL-KIRSHI et al., 1996a). Der Rest der Larven konnte sich innerhalb von vier bis fünf Wochen nach Lähmungsbeginn erholen und ihre Entwicklung normal fortsetzen. Das ist ein Zeichen einer Toleranz bei *T. granarium* gegenüber der Giftwirkung, während die Larven von *T. angustum* oder *A. verbasci* das Gift nicht tolerieren konnten.

Die Lähmwirkung von *T. granarium* für eine Periode von 5 Wochen ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Larven des Schädlings in dieser Zeit nicht aktiv sind und keine Verluste von Lagerprodukten verursachen.

Für die Bestimmung der potentiellen Leistung des Weibchens von *L. pedatus* als Gegenspieler für die Bekämpfung von *Trogoderma*- und *Anthrenus*-Arten ist es von besonderer Bedeutung, die Anzahl der tatsächlich parasitierten Wirtslarven zu erfassen.

Die Larven des Parasitoiden ernähren sich von der Hämolymphe des Wirtes (Parasitierung). Die Parasitierung der Wirtslarven durch den Parasitoidlarven führt zwangsläufig zum Absterben des Wirtes, da die gesamte Körperflüssigkeit aufgesaugt wird und nur die äußere Chitinhülle übrig bleibt. Werden mehrere Eier

auf einem Wirt abgelegt, beteiligen sich die geschlüpften Parasitoidlarven bei der Parasitierung des Wirtes.

Durch die Parasitierung wird ein Herausfließen von Wirtshämolymphe hervorgerufen, die auch durch die Parasitoidenweibchen (host-feeding) aufgenommen wird und zum Austrocknen des Wirtes und schließlich dessen Tod führen kann.

Die Unterdrückung des Populationswachstums von *T. granarium* durch *L. pedatus* ergibt sich demnach aus:

- a) der Lähmung der Wirtslarven und
- b) der Abtötung der Larven durch die Parasitierung

### **Strategie des Einsatzes von *L. pedatus* im Vorratsschutz**

Die Parasitoide suchen die mit Vorratsschädlingen befallene Produkte auf. Fernorientierung durch Kairomone wurde bei *L. pedatus* (QI und BURKHOLDER, 1990) nachgewiesen. Das gleiche Verhalten wurde bei *Habrobracon juglandis* und *Habrobracon hebetor* (MURR 1930, PARRA et al., 1996) sowie bei *Lariophagus distinguendus* (STEIDLE und SCHÖLLER, 1997) beobachtet und durch Olfaktometerexperimente nachgewiesen. In diesem Zusammenhang ist die Erhöhung der Parasitierungsleistung durch die Verwendung von Kairomonen bewertenswert, wie es bereits im Freiland bei *Trichogramma spp.* nachgewiesen wurde (LEWIS et al., 1975).

Für den Einsatz von Nützlingen zur Bekämpfung von Schädlingen ist es von Bedeutung eine Reihe von Untersuchungen durchzuführen, die das Leistungsvermögen des Gegenspielers charakterisieren. Unerwünschte mögliche Nebeneffekte können durch solche Untersuchungen frühzeitig erkannt bzw. ausgeschlossen werden.

Dabei sollen die folgende Anforderungen berücksichtigt werden (YAMADA, 1955; BÖYE et al., 1992):

- Der Nützling soll eine hohe Reproduktionsrate besitzen. Das ist aber nicht mit der Anzahl der abgelegten Eier identisch, sondern mit der Schlupfrate der Imagines.
- Die abiotischen Bedingungen der Läger müssen berücksichtigt werden.
- Einheimische Nützlinge sollen bei der Auswahl möglicher Gegenspieler bevorzugt werden.
- Wenn Nützlinge in ein anderes Faunengebiet eingeführt werden, so müssen die möglichen negativen Effekte auf die einheimische Fauna und Flora vorher sorgfältig untersucht werden.
- Die Handhabung und die Massenzucht des Nützlings soll einfach sein.

In diesem Zusammenhang können folgende Vorteile von *L. pedatus* im Bezug auf den möglichen Einsatz für die Bekämpfung von *T. granarium* hervorgehoben werden:

- Die Schlupfrate der Imagines von *L. pedatus* ist sehr hoch und liegt bei ca. 80 %.
- Die Wespe kann unter traditionellen Lagerungsbedingungen von Getreide in vielen Entwicklungsländern, wie im Jemen, ihre volle Leistung erbringen.
- *L. pedatus* ist langlebig und einfach in Labor zu handhaben.
- Negative Nebeneffekte sind nicht bekannt.

Vor Einführung von *L. pedatus* in die Tropen zur Bekämpfung von *T. granarium* sollten jedoch noch einige spezifische Untersuchungen durchgeführt werden.

*T. nigrescens* wurde nach Afrika eingeführt, nachdem festgestellt worden war (BÖYE et al., 1992), daß die Käfer:

- sich nicht an Pflanzenprodukten vermehren können,
- kein Risiko für andere Nützlinge darstellen,
- nicht die Kulturen von Seidenspinnern und Honigbienen gefährden sowie
- als ökologisch spezifischer Gegenspieler von *P. truncatus* anzusehen sind.

Die gleichen Anforderungen müssen auch für die mögliche Einführung von

*L. pedatus* zur Bekämpfung von *Trogoderma granarium* in den Tropen gelten.

Allerdings müssen die internationale Vorschriften für die Einführung und Freilassung von exotischen Individuen berücksichtigt werden (ANONYMUS, 1996).

Das Ziel sollte die Reduzierung der Populationsstärke des Schädling auf ein Niveau unterhalb der wirtschaftlichen Schadenschwelle sein.

Im Vorratsschutz dominiert die Vermehrung und die inundative Massenfreilassung der Nützlinge gegenüber den einmaligen Einbringen eines exotischen Gegenspielers. Dazu ist die Einstellung eines günstigen Verhältnisses zwischen Parasit und Wirt von besonderer Bedeutung (HELBIG, 1993, MARKHAM et al., 1994). Bei Nichtberücksichtigung dieses Verhältnisses kann der Bekämpfungserfolg z. B bei zu hoher Parasitoidendichte wegen der intraspezifischen Konkurrenz der Wespen beschränkt bleiben.

Bisher wurden wenige Praxisversuche zur Eignung von Nützlingen zur Bekämpfung von Schädlingen im Lager durchgeführt. PARKER und NILAKHE (1990) prüften in kommerziellen Silos die Verwendung von Räubern und Parasitoiden zur Bekämpfung von Schädlingen an Hirse. FLINN et al., (1994, 1996) führten Praxisversuche zur Bekämpfung von *Rhizopertha dominica* und *Cryptolestes* sp. in Weizen durch. Sie zeigten, daß eine relativ geringe Zahl von *Choetospila elegans* die Population des Getreidekapuziners *R. domonica* deutlich reduzieren kann. Daher ist es das Ziel, bei einer möglichst geringen Anzahl freigelassener Nützlinge eine möglichst hohe Wirksamkeit zu erzielen.

Es ist abzusehen, daß die biologische Bekämpfung von Vorratsschädlingen in Zukunft ein bedeutender Teil eines integrierten Bekämpfungsprogramms in der Praxis sein wird (MARKHAM et al. 1994, BROWER et al. 1996, SCHÖLLER et al. 1997). Nachteile und Vorteile der biologischen Bekämpfung zur Regulierung von Populationen von Vorratsschädlingen wurden dabei von ARBOGAST (1984) und SCHÖLLER et al. (1997) diskutiert.

## Umwelteinflüsse

Die Umwelteinflüsse, vor allem abiotische Faktoren haben eine bedeutende Wirkung auf die Parasitierungsleistung von entomophagen Insekten. Die Beeinflussung der Anzahl abgelegter Eier von *L. pedatus* durch diese Faktoren gibt Auskunft über den Leistungsbereich der Wespe. Die Temperatur hat einen entscheidenden Einfluß auf die Legetätigkeit und die Entwicklung der Insekten, so daß Angaben über die biologischen Eigenschaften, wie die Eianzahl, Entwicklungsdauer usw., beim Ignorieren dieser Faktoren bedeutungslos sind (WEBER, 1966). Es gibt stets ein Temperaturoptimum für die Anzahl abgelegter Eier. Bei *L. pedatus* liegt dieses Optimum bei etwa 28° C. Die untere Temperaturgrenze für die Eiablage liegt zwischen 15° C und 20° C. Bei 35° C ist das Weibchen noch in der Lage, die Wirtslarven anzugreifen und erfolgreich zu parasitieren. Diese Eigenschaft begünstigt der möglichen Einsatz der Wespe zur Bekämpfung des Khaparakäfers in den warmen Ländern, wo er hauptsächlich die größten Schäden verursacht.

Für Parasiten und Parasitoiden könnte neben dem Temperatureinfluß auch der Einfluß der rel. Luftfeuchtigkeit auf die Parasitierungsleistung besonders bedeutsam sein, da sie in verschiedenen Regionen mit unterschiedlichen Feuchtigkeiten eingeführt werden können. Aus den Ergebnissen läßt sich schlußfolgern, daß die Luftfeuchtigkeit jedoch nur einen sehr begrenzten Einfluß sowohl auf die Legetätigkeit als auch auf die Entwicklungsrate von *L. pedatus* hat. Selbst bei extrem niedriger rel. Luftfeuchtigkeit von < 10 % war die Anzahl abgelegter Eier gegenüber optimaler relativen Feuchte nicht reduziert. Diese biologische Charakteristik begünstigt einerseits die Einführung der Wespe in extrem trockene Gebiete der Tropen und Subtropen zur Bekämpfung des Khaparakäfers *Trogoderma granarium*. Andererseits könnte der Einsatz der Wespe auch bei feuchten Produkten, wie z. B. bei Produkten aus tierischer Herkunft, sinnvoll sein. Wenn diese Produkte von Dermestiden der Gattungen *Anthrenus* oder *Trogoderma* befallen sind, könnte der Einsatz von *L. pedatus* in Frage kommen, auch wenn die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebung sehr hoch ist.

Ähnliche Ergebnisse zum Einfluß der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit

fanden VAN HUIS et al. (1994) bei dem Eiparasitoiden *Uscana lariophaga* STEFFAN, der die Eier des Vierfleckigen Bohnenkäfers *Callosobruchus maculatus* parasitiert.

Präimaginalstadien von *Anisoptermalus calandrae* sowie *Theocolax elegans* überlebten eine Lagerung bei - 4° C über einen Zeitraum von 10 Tagen (WILLIAMS und FLOYED, 1971). Diese Eigenschaften sind bedeutsam unter anderem für die Zuchterhaltung von Nützlingen. *Trichogramma* spp. lassen sich ebenfalls bei kühlen Temperaturen lagern. Eine Übersicht gab NOLDUS (1989 Zit. aus. SCHÖLLER, 1998). Nützlinge können durch zusätzliches Futter mit Wirtslarven gefördert werden. Die Zugabe zusätzlicher Futterquellen kann die Population der Nützlinge in Zeiten mit geringer Wirtsverfügbarkeit erhalten (ARBOGAST, 1984; WÄCKERS, 1996)

Förderung und Konservierung sind meist nicht mit hohen Kosten verbunden und könnten demnach auch in Entwicklungsländern bedeutsam sein.

Für den Einsatz von *L. pedatus* in der Praxis ist die Beeinflussung der Lebens- und der Entwicklungsdauer von Bedeutung. Die Lebensdauer von *L. pedatus* ist ein wichtiges Kriterium sowohl für die Parasitierungsleistung als auch für die Erhaltungszucht. Wie bei den meisten Wirbellosen ist die Lebensdauer von *L. pedatus* stark temperatur- und nahrungsabhängig (WEBER, 1966). Bei 28° C leben die Weibchen etwa vier bis fünf Wochen auf *T. angustum* ohne zusätzliche Nahrung, während sich die Lebensdauer mit zusätzlicher Nahrung bis zu sieben Wochen ausdehnen läßt. Bei niedrigen Temperaturen von 15 bis 20° C und ausreichender Nahrung kann sich die Lebensdauer von *L. pedatus* vervielfachen.

Die saugend leckenden Mundwerkzeuge versetzen die Imagines in die Lage, flüssige Nahrung aufzunehmen. Die Imagines von *L. pedatus* ernähren sich sowohl aus den an den Saugstellen der Larven hervortretenden Säften des Wirtstiers als auch von zuckerhaltigen Substanzen wie Nektar, Honig usw. (Einfluß der Nahrung auf die Lebensdauer des Weibchens, siehe Abschnitt 3.2.3).

Neben der Temperatur ist auch die Art der Ernährung der Wespen für ihre Lebensdauer bedeutsam. Bei 20° C könnte eine Lebensdauer von mehr als 15 Wochen erreicht werden, wenn Wirtslarven und Honiglösung als Futterquelle bereitgestellt werden. Ältere Weibchen konnten in Versuchen erfolgreich begattet werden und befruchtete Eier ablegen. Die Möglichkeit der Verlängerung der

Lebensdauer ist bedeutsam für die Planung der Wespenzucht, da auf diese Weise Massenzuchten für einen gezielten Einsatz aufgebaut werden können. Die Erhaltungszuchten können aber dauernd bei niedrigen Temperaturen von 15 bis 20° C und einer Nahrungskombination von Wirtslarven und verdünntem Honig gehalten werden.

Über ähnliche Ergebnisse zur Lebensdauer und Fruchtbarkeit von Weibchen der nahe verwandten Art *Scleroderma domesticum* berichteten KÜHNE und BECKER (1974). Auch das Weibchen von *Habrobracon hebetor* lebte etwa drei Wochen, wenn Wirtslarven zur Verfügung standen und durchschnittlich etwa eine Woche ohne Nahrung (BENSON, 1974).

Durch die Bestimmung der Entwicklungsdauer von *L. pedatus* könnte man gewisse Informationen über die Anzahl der möglichen, nacheinander folgenden Generationen der Wespe erhalten. Bei 28° C dauerte die vollständige Entwicklung von der Eiablage bis zum Schlüpfen der Imagines im Durchschnitt etwa 5 Wochen. Da die Weibchen nach dem Schlüpfen aus den Kokons innerhalb von zwei bis drei Tagen für die Eiablage bereit sind (AL-KIRSHI, unveröffentlicht), ist bei 28° C mit mindestens 9 Generationen im Jahr zu rechnen. Bei 30° C verkürzte sich die gesamte Entwicklungsdauer um sechs Tage und lag durchschnittlich bei etwa vier Wochen. Es ist daher noch eine höhere Generationsanzahl pro Jahr zu erwarten. Bei Zimmertemperatur von 19° C produzierte *L. pedatus* mindestens zwei Generationen im Jahr, während bei niedrigeren Temperaturen die Larven in ihren Kokons für mehr als 200 Tage in Diapause gehen können (MERTINS, 1980).

### **Wirts- und Parasitoiddichte**

Der Parasit kann versagen, wenn er nicht optimal auf die Wirtsdichte eingestellt ist. Die Wirksamkeit der entomophagen Insekten hängt weitgehend von der Populationsdichte ihrer Wirte ab (FRANZ, 1961). Trotzdem ist auch die Verteilung und die Anzahl der je Raumeinheit vorhandenen Wirte in Verbindung mit dem Wirt- Parasit-Verhältnis sicher ein ganz entscheidender Faktor für den Bekämpfungserfolg.

Auf Grund des Kannibalismus bei Dermestidenlarven, versucht das Weibchen von

*L. pedatus* erst alle beweglichen und aktiven Wirtslarven zu lähmen, um ihre Eier gegen Ausfressen zu schützen. Mit zunehmendem Angebot von Wirtslarven nimmt die Eiablage und die Nachkommenschaft von *L. pedatus* bis zu einem Maximum zu. Dann schafft es das Weibchen nicht mehr, eine größere Anzahl von Wirtslarven für die Eiablage vorzubereiten. Die Folge ist eine abnehmende Anzahl abgelegter Eier und dadurch eine Verminderung der Nachkommenschaft.

Informationen über die intraspezifische Konkurrenz der Gegenspieler liefern Ausgangspunkte über die Anzahl von Individuen, die für die gezielte Bekämpfung frei gelassen werden müssen. Die Erhöhung der Anzahl der Nützlinge pro Raumeinheit bei gleichbleibender Anzahl von Wirtslarven führt nicht unbedingt zur Steigerung der Parasitierungsleistung. Die Konkurrenz zwischen den Parasitoiden Weibchen von *L. pedatus* kann zu starken Kämpfen führen, was zu zahlreichen Toten und abnehmender Parasitierungsleistung führt. Über die intraspezifische Konkurrenz von *Anisopteromalus calandrae*, einen Parasitoiden verschiedener Vorratsschädlinge, wurde von WEN und BROWER (1995) berichtet. Die Autoren fanden, daß die Mortalität von *Anisopteromalus calandrae* mit zunehmender Anzahl der verwendeten Parasitoiden zunimmt.

### **Strategie der Geschlechterverteilung**

Das Weibchen legt seine Eier auf die Wirtslarven entweder solitär (ein Ei je Larve) oder gregär (mehrere Eier je Larve). MAYHEW und GODFRAY 1997 untersuchten die Geschlechterverteilung in Abhängigkeit von der Wirtsgröße. Sie fanden, daß die Wespen auf kleinere Wirtslarven nur einzelne Eier ablegten.

Die Ausprägung des Geschlechts der Nachkommen der Wespen wird stark von der Wirtsgröße beeinflusst. Auf sehr kleine Larven werden einzelne Eier abgelegt, die sich überwiegend zu Männchen entwickeln, während aus den Eiern, die auf etwas größeren Wirtslarven abgelegt sind, Weibchen entstehen (MAYHEW und GODFRAY, 1997). KLEIN et al. (1991) fanden, daß bei Ablage mehrere Eier auf eine Wirtslarve sich aus diesen Eiern überwiegend nur Weibchen entwickeln oder lediglich ein Männchen, niemals jedoch mehr als ein Männchen pro Wirtslarve.

Auf Grund der Parthenogenese entwickeln sich die unbefruchteten Eier von *L. pedatus* zu Männchen (Arrenotokie). Der Samenvorrat bei Begattung des Weibchens in der ersten Lebenswoche reicht für maximal zwei Wochen aus, so daß das Weibchen in dieser Zeit noch befruchtete Eier legen kann. Danach muß das Weibchen nochmals begattet werden, um wieder befruchtete Eier legen zu können.

### **Eindringungsfähigkeit in das Lagergut**

Für den praktischen Einsatz von Parasitoiden im gelagerten Getreide ist auch ihre Eindringungsfähigkeit in Getreide zwischen die Körner von Bedeutung. Die Wespen von *L. pedatus* suchten von der Oberfläche des Getreides ausgehend nach ihrem Wirtstier, drangen in wenigen Tagen bis 90 cm tief in das Getreide ein und fanden und parasitierten dort Larven des Khaprakäfers. Weil selbst in 90 cm Tiefe zur Zeit der Auswertung schon Puppen von *L. pedatus* gefunden wurden, kann auf eine schnelle Parasitierung der Larven geschlossen werden. Der viel kleinere Parasitoid *Trichogramma evanescens* WESTWOOD konnte in einem ähnlichen Versuch bis 55 cm in Weizen eindringen, die Eier von *Ephestia kuehniella* in dieser Tiefe lokalisieren und erfolgreich parasitieren (SCHÖLLER et al., 1996).

### **Integration mit anderen Bekämpfungsverfahren**

Biologische Gegenspieler im Vorratsschutz stammen meist aus der Familie der Hymenopteren. Diese Wespen sind in der Regel anfälliger gegen Insektizide als ihre Wirte, so daß eine Kombination der Strategie der integrierten Bekämpfung mit chemischen Mitteln auf Schwierigkeiten stoßen könnte. Aus diesem Grund muß Einsatz von Parasitoiden in Verbindung mit chemischen Mitteln im Vorratsschutz vorher untersucht werden. Resistente Stämme der Gegenspieler können dann sorgfältig im Rahmen eines Integrationsprogrammes eingesetzt werden.

Das Fehlen chemischer Bekämpfungsmittel in vielen Entwicklungsländern sowie die Höhe der Preise für verfügbare Insektizide in Verbindung mit der mangelhaften Arbeitssicherheit beim Umgang der Bauern mit chemischen Bekämpfungsmitteln machen die verstärkte oder ausschließliche Verwendung von Nützlingen vorteilhaft.

Es existieren bereits Erfahrungen zur praktischen Verwendung von Nützlingen (HEINES, 1984; VAN HUIS, 1991; VAN HUIS et al., 1994; HELBIG, 1995)

### **Populationsunterdrückung**

Bei einem Parasit - Wirt Verhältnis von 1 : 25 in Laborversuchen konnte *L. pedatus* den Zuwachs an Nachkommen von *T. granarium* innerhalb von zwei Monaten bis um 80 % vermindern. Vergleichsweise konnte *Anisopteromalus calandrae* die Population des Reiskäfers *Sitophilus oryzae* um ca. 47 % bei einem Parasit - Wirt Verhältnis von 1 : 24 und um ca. 95 % bei einem Verhältnis von 1 : 240 unterdrücken (PRESS et al., 1984 Zit. aus: CLINE et al., 1985). Ähnliche Ergebnisse konnten in Praxisversuche mit dem Prädator *Teretriosoma nigrescens* bei der Unterdrückung der Population von *P. truncatus* in der Maislagerung in Togo festgestellt werden (MUTLU, 1994). Durch den Einsatz von *T. nigrescens* sank die Körnerbeschädigung von Mais um bis zu 93 % (RICHTER et al., 1996). Versuche in der Praxis wurden auch von FLINN et al. (1994) bei der Bekämpfung von *Rhizopertha dominica* mit *Choetospila elegans* durchgeführt, wonach der Parasitoid die Population von *R. dominica* bis auf 0,05 *R. dominica*/kg in Vergleich zu 2,06 *R. dominica*/kg im unbehandelten Lager reduzierte.

## 5. Zusammenfassung

Die vorrats- und materialschädlichen Speckkäfer (Dermestidae) erlangen in vielen Ländern ein besonderes Interesse auf Grund ihrer wirtschaftliche Bedeutung in Verbindung mit den ständig wachsenden Schwierigkeiten bei ihrer Bekämpfung.

Der Khaprakäfer *Trogoderma granarium* beispielsweise ist ein wirtschaftlich bedeutender Vertreter der Vorratsschädlinge, der in den Tropen und Subtropen vorwiegend in gelagertem Getreide vorkommt und in vielen Ländern als Quarantäne-schädling geführt wird. Der Schädling verursacht dort auf Grund der klimatischen Verhältnisse insbesondere in bäuerlichen Betrieben sehr große Verluste.

Konventionelle Bekämpfungsmethoden gegen *T. granarium* sind wegen der Widerstandsfähigkeit der Larven gegen tiefe Temperaturen, Trockenheit und ihrer Neigung der Resistenzbildung gegen Insektizide mit erheblichen Problemen verbunden.

Neben *T. granarium* wächst im Vorratsschutz die Bedeutung anderer Dermestiden wie *T. angustum* und *A. verbasci*. Die Bedeutung von *Trogoderma angustum* wächst in Europa, da dieser Schädling in den letzten Jahrzehnten eine besondere Stelle als Schädling in den Vorräten, in den Wohnungen, in Geschäftsräumen und in Museen erlangte. Der Kabinettkäfer *A. verbasci* verursacht Beschädigungen bei eine lange Reihe von Produkten tierischer und pflanzlicher Herkunft sowie bei den Insekten-sammlungen in Museen.

Ziel dieser Arbeit war die Suche nach alternativer Bekämpfungsmöglichkeit gegen diese Schädlinge unter der Verwendung des ektoparasitischen Gegenspielers *L. pedatus*. Als Grundlage zur Charakterisierung des möglichen Bekämpfungserfolges beim Einsatz des Gegenspielers wurden Laboruntersuchungen zur Biologie und zum Verhalten von *L. pedatus* durchgeführt.

### Zur Biologie von *L. pedatus*

- Das Weibchen von *L. pedatus* legt bei 15° C noch keine Eier. Der optimale Temperaturbereich, für die höchste Anzahl abgelegter Eier, liegt zwischen 25°C und 28° C.
- Das Weibchen ist in der Lage sowohl bei extrem niedriger als auch bei sehr hoher relative Feuchte Eier abzulegen. Bei Feuchte unterhalb von 10 % lag die durchschnittliche Eianzahl bei etwa  $62 \pm 12.6$  Eier je Weibchen, während bei extrem hoher Luftfeuchtigkeit diese Anzahl etwa  $25 \pm 8$  Eier je Weibchen betrug (n = 4).
- Bei 28° C und 50 - 60 % r. F. entwickelten sich ca. 80 % abgelegter Eier (n = 107) zu Imagines. Bei Berücksichtigung der natürlichen Mortalität in der Puppen- und Larvenstadien deutet dies daraufhin, daß die Schlüpftrate der Eier höher als 80 % ist.
- Bei 28° C und 50 bis 60 % r. F. betrug die durchschnittliche Entwicklungsdauer vom Ei bis zur Imago  $34,7 \pm 1.1,8$  Tagen (n = 150).
- Ein begattetes Weibchen kann maximal zwei Wochen lang befruchtete Eier legen. Danach werden nur unbefruchtete Eier abgelegt, so daß sich aus diesen Eiern nur noch Männchen entwickeln.
- Die Lebensdauer der Tiere verlängert sich bei niedrigen Temperaturen und bei zusätzlicher Versorgung der Tiere mit Nahrung. So konnten die Weibchen bei 20° C und Versorgung mit Wirtslarven und Honig bis zu 16 Wochen überleben, während bei 35° C die Lebensdauer des Weibchens weniger als drei Wochen betrug.

### Zum Leistungsvermögen von *L. pedatus*

- Die Unterdrückung des Populationswachstums der Schädlinge durch *L. pedatus* resultiert vor allem aus:
  - a) der Lähmung und
  - b) der Parasitierung der Wirtslarven.
  
- Das Weibchen kann durchschnittlich  $44 \pm 10$  Larven von *T. granarium* im Vergleich zu  $74 \pm 20$  Larven von *A. verbasci* lähmen.
  
- Im Durchschnitt wurden nur ca. ein Drittel der gelähmten Larven für die Eiablage benutzt.
  
- Die Giftwirkung führte bei den gelähmten Wirtslarven von *A. verbasci* und *T. angustum* innerhalb von 3 Wochen zum Tod, während nur 60 der gelähmten Larven von *T. granarium* dadurch zugrunde gehen. Der Rest der Larven von *T. granarium* erholten sich innerhalb von 4 bis 5 Wochen nach der Lähmung und setzte seine weitere Entwicklung bis zum Käfer fort.
  
- Die 5wöchige Lähmwirkung auf *T. granarium* ist auch deshalb von Bedeutung, weil die Larven in dieser Zeit nicht aktiv sind und dadurch keine Verluste von Lagerprodukten verursachen.
  
- Die Parasitierung der Wirtslarven durch die parasitoiden Larven führte zur 100igen Mortalität.
  
- Die gesamte Anzahl der parasitierten Wirtslarven je Weibchen über 5 Wochen betrug durchschnittlich bei *T. angustum*  $36,75 \pm 5,75$  und bei *A. verbasci*  $23,0 \pm 6,0$ . Diese werden jeweils mit  $52,25 \pm 6,25$  bzw.  $46 \pm 12,5$  Eier belegt.

- Insgesamt läßt sich errechnen, daß das Weibchen von *L. pedatus* die Larve von *A. verbasci* mit durchschnittlich  $1,9 \pm 0,1$  Eier und die Larve von *T. angustum* mit durchschnittlich  $1,5 \pm 0,1$  belegen kann.
- Die durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier pro Weibchen und Tag betrug  $1,42 \pm 0,2$  bei der Verwindung von *T. angustum* als Wirt (n =15).
- Ein Weibchen von *L. pedatus* ist in der Lage, eine von anderen Weibchen gelähmte oder schon mit Eiern belegte Wirtslarve für ihre eigene Eiablage zu benutzen.
- *L. pedatus* ist in der Lage, tief in die Weizenschüttung einzudringen und die Wirtslarven in einer Tiefe von 90 cm erfolgreich zu parasitieren.
- Bei einem Parasit - Wirt Verhältnis von 1 : 25 unterdrückte *L. pedatus* den Zuwachs an Nachkommen von *T. granarium* beim jemenitischen Stamm innerhalb von zwei Monaten um ca. 80 % und beim BBA-Stamm innerhalb von sechs Wochen um 75 %.

Diese Laborergebnisse deuten darauf hin, daß die biologische Bekämpfung von *T. granarium*, *T. angustum* und *A. verbasci* mit dem Larvalparasitoiden *L. pedatus* erfolgversprechend ist.

## 6. Summary

Dermestide pests of stored products are widely distributed throughout the world. They infest stored animal and plant products and frequently cause great damage and losses. Even a wide range of materials can be damaged or destroyed by Infestation with dermestides.

The Khapra beetle *T. granarium* causes serious damage and losses to grain and grain products particularly in the tropics. In many countries it is listed as a quarantine pest. The importance of *T. angustum* as a pest in stores, in dwelling houses, in shops and in museums increased in Europe during the last decades. *A. verbasci* infests a variety of animal products such as wool, fur, leather, feathers etc. It is also the most important pest of insect collections in museums.

Infestations by dermestids are usually controlled by treatments with insecticides. However, insecticides may cause hazards to man and the environment. Especially in the storage of small subsistence farmers in the tropics the use of insecticides may be dangerous and their costs prohibitive. Hence, there is a need for the development of alternative methods such as biological control, an efficient component in integrated pest management.

The present study was designed to assess the efficacy of the larval parasitoid *L. pedatus* in controlling *T. granarium*, *T. angustum* and *A. verbasci*.

The parasitoid wasp has desirable characteristics to control these pests.

The following results on the biology, behaviour and the potential of the wasp were obtained:

### **Biological characteristics of *L. pedatus***

- Most egg-laying activity occurred at temperatures of 25° C and 28° C. Oviposition was not possible at 15° C and below.
- The egg-laying activity occurred at both low and high relative humidity. The average numbers of eggs laid at extremely low humidity levels below 10 % and at high humidity levels above 90 % at a temperature of 28° C were  $62 \pm 12,6$  eggs and  $25 \pm 8$  eggs per female, respectively (n = 4).
- At 28° C and 50 -60 % relative humidity about 80 % of deposited eggs (n = 107) developed to adults. This number indicated, by consideration of the natural mortality of the larval and pupal stages, that the eggs hatching rate higher than 80 %.
- At 28° C and 50 -60 % relative humidity the total developmental time from eggs to adults was  $34,7 \pm 1,8$  days (n = 150)
- A mated female was able to deposit fertilised eggs for a maximum period of 14 days after copulation. After that the female produced only unfertilised eggs, developing into male wasps.
- Longevity of the female wasp increased with decreasing temperature down to 15° C and could also be prolonged by supplying the wasp with a diet of honey. The average life time of normally fed female lasted from 3 weeks at 35° C up to till 16 weeks at 20° C.

### **Potential of *L. pedatus***

- During its life span a female wasp paralysed  $74 \pm 20$  larvae of *A. verbasci* compared to  $44 \pm 10$  larvae of *T. granarium*.
- On average, only one third of the paralysed larvae of *A. verbasci* were used for Oviposition.

- The venom of *L. pedatus* caused 100 % larval mortality in *A. verbasci* and *T. angustum* within 3 weeks.
- The venom of *L. pedatus* caused only 60 % larval mortality in the Khapra beetle. The rest of the paralysed but not parasitised larvae of *T. granarium* survived the venomous effect after 4 to 5 weeks and continued their development to adults
- This temporarily paralysing effect on the larvae of *T. granarium* is also important since the pest larvae are not active and therefore cannot cause any damage during this time.
- Direct parasitisation of the host larvae through the parasitoid larvae caused 100 % mortality in all three dermestids.
- At 28° C and 50 - 60 % relative humidity a single female was able to deposit  $52,3 \pm 6,3$  eggs on  $36,8 \pm 5,8$  larvae or  $46 \pm 12,5$  eggs on  $23,0 \pm 6,0$  larvae of *T. angustum* or *A. verbasci*, respectively (n = 4).
- The average number of eggs per female wasp and day was  $1,42 \pm 0,2$  if larvae of *T. angustum* were used as host (n = 15).
- The female of *L. pedatus* also accepted larvae which have already been paralysed by other females for it's own egg-laying. This may lead to fights between females for the same host.
- The wasp was found to penetrate into wheat and successfully parasitised host larvae of *T. granarium* in a depth of 90 cm.
- At a parasitoid : host ratio of 1 : 25, *L. pedatus* reduced two populations of *T. granarium* (Yemen field strain and culture strain of the Institute for stored Product Protection BBA Berlin) by 75 - 80 % within 6 - 8 weeks.

The observed biological characteristics of *L. pedatus* render the wasp a suitable agent to control *T. granarium*, *T. angustum* and *A. verbasci*. However, field investigations in the store are needed to verify these results.

## 7. Literaturverzeichnis

- ABDEL-RAHMAN, H. A.; SHAUMRAR, N. F.; SOLIMAN, Z. A. & M. M. EL-AGOZE (1978 - 1979): Efficiency of the anthocorid predator *Xylocoris flavipes* (REUT.) in biological control of stored grain insects. Bull. Entomol. Soc. Egypt Econ. Ser. **11**, 27 - 34.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H. & Ch. REICHMUTH (1995): Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von Vorratsschädlingen der Gattung *Trogoderma* (Coleopteren: Dermestidae) mit dem Parasitoiden *Laelius pedatus* (Hymenopteren, Bethyilidae). Jahresbericht der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft **1995**, 178.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H.; BURKHOLDER W. E. & Ch. REICHMUTH (1996a): The biology of the parasitoid *Laelius pedatus* (SAY) (Hymenoptera: Bethyilidae), and its potential for the biological control of *Trogoderma granarium* Everts and *Trogoderma angustum* (Solier) (Coleoptera: Dermestidae). - In: Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Congress of Entomology, p. **554**, Florence, Italy.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW & Ch. REICHMUTH (1996b): Eignung traditioneller Läger in den Tropen für den Einsatz biologischer Gegenspieler wie Parasitoide zur Bekämpfung von Vorratsschädlingen. Mitt. d. Biol. Bundesanstalt **321**, 622.
- ANONYMUS (1993): Agricultural Statistics Year Book 1992, General Dept. of Statistics and Documentation, Rep. of Yemen.
- ANONYMUS (1996): Code of conduct for the import and release of exotic biological control agents. Part 1- Import regulations. FAO International standards for phytosanitary measures. Publication No. **3**.
- ARBOGAST, R. T.; LECATO, G. L. & M. CARTHON (1977): Longevity of fed and starved *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) under laboratory conditions. J. Georgia Ent. Soc. **12**, 56-58.
- ARBOGAST, R. T.; FLAHERTY, B. R. & J.W. PRESS (1983): Demography of the predaceous bug *Xylocoris sordidus* (REUTER). Am. Midland Naturalist **109**, 398-405.
- ARBOGAST, R. T. (1975): Population growth of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae): Influence of temperature and humidity. Env. Ent. **4**, 825-831.
- ARBOGAST, R. T. (1976): Suppression of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera, Cucujidae) on shelled corn by the predator *Xylocoris flavipes* (REUTER) (Hemiptera: Anthocoridae). J. Georgia Ent. Soc. **11**, 67-71.
- ARBOGAST, R. T. (1978): The biology and impact of the predatory bug *Xylocoris flavipes* (REUTER). Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Working Conf. Stored-Product Ent., Ibadan, Nigeria **1978**, 91-105.

- ARBOGAST, R. T. (1979): Cannibalism in *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae), a predator of stored-product insects. Ent. Exp. Appl. **25**, 128-135.
- ARBOGAST, R. T. (1984): Biological control of stored-product insects: Status and prospects. Agric.Res. Serv. Savannah,Georgia , 226-238.
- AWADALLAH, K. T. & TAWFIK, M. F. S. (1972): The biology of *Xylocoris* (= *Piezostethus*) *flavipes* (REUT.). Bull. Soc. Ent. Egypte **56**, 177-189.
- AYYAPPA, P. K. & CHEEMA, P. S. (1952): An ectoparasite on the larvae of *Anthrenus vorax* Waterhouse. Proc Indian Acad. Sci. **36 B**, 215-222.
- BACK, E. A. (1923): Carpet beetles and their control. Fmrs' Bull. U.S. Dep. Agric. 1346.
- BACK, E. A. (1940): A new parasite of *Anthrenus vorax* Waterhouse. Proc. Ent. Soc. Washington **42**, 110-113.
- BAKER, J. E. & WEAVER, D. K. (1993): Resistance in field strains of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae) and its host, *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae), to malathion, Chlorpyrifos-methyl, and pirimiphos-methyl. Biological Control **3**, 233-242.
- BENSON, J. F. (1974): Population dynamics of *Bracon hebetor* SAY (Hymenoptera: Braconidae) and *Ephestia cautella* (WALKER) (Lepidoptera, Phycitidae) in a laboratory ecosystem. J. Anim. Ecol. **43**, 71 - 86.
- BERLAND, L. (1928): Bethylidae. Faune de France, v. 19. Hyménoptères vespiformes II. Paris, Lechevalier, 96-137.
- BISCHOFF, H. (1927): Biologie der Hymenopteren. Verlag von Julius Springer. Berlin, 571 S.
- BÖYE, J.; LABORIUS, G. A. & F. A. SCHULZ (1992): Response of *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col., Histeridae) to the pheromone of *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col, Bostrichidae). Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz **56**, 153-157.
- BRANES, J. H. & GROVE, A. J. (1916): The insects attacking stored wheat in the Punjab, and the methods of combating them. India Dept. Agric. Mem. **4(6)**: 165-280.
- BRIDWELL, J.C. (1920): Some notes on Hawaiian and other Bethylidae (Hymenoptera) with discriptions of a new genus and species. 2nd paper. Proc. Havaiian Ent. Soc. **4**, 291-314.
- BROWER, J. H. & MULLEN, M. A. (1990): Effects of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) releases on moth populations in experimental peanut storages. J. Ent. Sci. **25**, 268-276.
- BROWER, J. H. & PRESS, J. W. (1988): Interactions between the egg parasite *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and a predator, *Xylocoris flavipes* (Hemiptera, Anthocoridae) of the almond moth, *Cadra cautella*, (Lepidoptera: Pyralidae). J. Ent. Sci. **23**, 342-349.

- BROWER, J. H. & PRESS, J. W. (1992): Suppression of residual populations of stored-product pests in empty corn bins by releasing the predator *Xylocoris flavipes* (REUTER). *Biol. Control* **2**, 66-72.
- BROWER, J. H.; SMITH, L.; VAIL, P. V. & FLINN, P. W. (1996): Biological control: In Subramanyam, B. H. & Hagstrum, D. W. (eds.) *Integrated Management of Insects in stored products*. 223-286. Marcel Dekker, New York.
- BUCHWALD, J. & BERLINER, E. (1910): *Habrobracon hebetor* Say. Ein Bundesgenosse im Kampf gegen die Mehlmotte. *Z. f. das ges. Getreidewesen* **2**, 1.
- CLINE, L. D.; PRESS, J. W. & B. R. FLAHERTY (1985): Suppression of Rice Weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae), inside and outside of burlap, woven polypropylene, and cotton bags by the parasitic wasp, *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). *J. Econ. Entomol.* **78**, 835-838.
- EL-LAKWAH, F. (1977a): Einfluß der relativen Feuchte auf die Wirkung von Methylbromid bei Khaprakäferlarven (*Trogoderma granarium* EVERTS), (Dermestidae: Coleoptera). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz* **50**, 81-83.
- EL-LAKWAH, F. (1977b): Untersuchungen zur Wirkung von Methylbromid besonders bei niedrigen Temperaturen gegen Khaprakäfer-Larven (*Trogoderma granarium* EVERTS) (Dermestidae: Coleoptera). *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz* **50**, 68-73.
- EVANS, H. E. (1964): A Synopsis of the American Bethyilidae (Hymenoptera: Aculeata). *Bull. Mus Comp. Zool., Harvard Univ.* **132**(1), 1-122.
- EVANS H. E. (1978): The Bethyilidae of America north of Mexico. *American Entomological Institute Memoir* **27**, Ann Arbor, Mich.
- FLINN, P. W.; HAGSTRUM, D. W. & W. H. MCGAUGHEY (1994): Suppression of insects in stored wheat by augmentation with parasitoid wasps. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Working Conf. Stored-product Prot. Canberra, Australia* **2**, 1103-1105.
- FLINN, P. W.; HAGSTRUM, D. W. & W. H. MCGAUGHEY (1996): Suppression of beetles in stored wheat by augmentative releases of parasitic wasps. *Environ. Entomol.* **25**, 505-511.
- FRANZ, J.M. (1961): Biologische Schädlingsbekämpfung. In: Sorauer: *Handbuch der Pflanzenkrankheiten* **VI**, 3. Liefg., 2. Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin. 1-302.
- GEISTHARDT, M. (1982): *Trogoderma angustum* (SOLIER 1849) in Hessen (Coleoptera: Dermestidae), *Mitteilungen des Internationalen Entomologischen Vereins* **6**(4). 74-78.

- GEISTHARDT, M. (1992): Report on a short term inquiry concerning stored product beetles in Yemen. -Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) Report, Eschborn, 30 S.
- GORDH, G. & MÓCZÁR, L. (1990): A Catalog of the World Bethyilidae (Hymenoptera: Aculeata). Memoirs of the American Entomological Institute. **46**.
- GRISWOLD, G.H. (1941): Studies on the biology of four common carpet beetles. Part I. The black carpet beetle (*Attagenus piceus* OLIV.), the varied carpet beetle (*Anthrenus verbasci* L.) and the furniture carpet beetle (*Anthrenus vorax* WATERH.). Mem. Cornell agric. Exp. Stat. **240**: 3-57, 70-75.
- HADAWAY, A. B. (1956): The Biology of the dermistid beetles *Trogoderma granarium* and *Trogoderma versicolor*. Bull. Ent. Res. **46**, 781-796.
- HAYWARD, L. A. W. (1984): The importance of *Trogoderma granarium* EVERTS in Sahelian countries. - In: Control of Infestation by *Trogoderma granarium* and *Prostephanus truncatus* to Stored Products. Proceedings of an international seminar held in Lome/Togo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn. 162 S.
- HEINES, C. P. (1984): Biological methods for integrated control of insects and mites in tropical stored products. III: The use of predators and parasites. Trop. Stored Prod. Inf. **84**, 17-25.
- HELBIG, J. (1993): Untersuchungen zur Ökologie und Biologie von *Prostephanus truncatus* (HORN) (Coleoptera, Bostrichidae) in Togo unter besonderer Berücksichtigung der Wechselbeziehung mit dem Prädator *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Coleoptera: Histeridae). Berlin, Technische Universität, Dissertation, 242 S.
- HELBIG, J. (1995): The ecology of *Prostephanus truncatus* in Togo with particular emphasis on interaction with the predator *Teretriosoma nigrescens*. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Eschborn, 111 S.
- HELBIG, J.; LABORIUS, G.-A. & F. A. SCHULZ (1992a): Untersuchungen zum Einfluß von *Teretriosoma nigrescens* auf die Populationsentwicklung von *Prostephanus truncatus* unter praxisnahen Bedingungen in Togo. Phytomedizin **22**, 17-18.
- HELBIG, J.; LABORIUS, G.-A. & F. A. SCHULZ (1992b): Untersuchungen zur Distanz der Anlockwirkung des synthetischen Pheromons des Großen Kornbohrers *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col., Bostrichidae) 'Trunc-call (1+2)' auf dessen Prädator *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col., Histeridae). J. Appl. Ent. **113**, 425-429.
- HELBIG, J. & SCHULZ, F. A. (1996): The potential of the predator *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col., Histeridae) to control *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col., Bostrichidae) on dried cassava wood. J. stored Prod. Res. **32**, 91-96.

- HINTON, H. E. (1945): The Histeridae associated with stored products. Bull. Ent. Res. **35**, 309-340.
- HOFFMANN, G. M.; NIENHAUS, F.; POEHLING, H.-M.; SCHÖNBECK, F.; WELTZIEN, H. C. und H. WILBERT (1994): Lehrbuch der Phytomedizin, 3. Auflage, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, 542 S.
- HOPKINS, L. (1955): Food preferences of the khapra beetle. - J. Econ. Entomol. **48**, 332-333.
- HORION, A. (1949): Käferkunde für Naturfreunde. Verlag V. Klostermann. Frankfurt, 292 S.
- HORION, A. (1960): Koleopterologische Neumeldungen für Deutschland. IV. Reihe. 7. Nachtrag zum Verzeichnis der mitteleuropäischen Käfer in Mitt. Münch. Entom. Ges. **50**, 141-142.
- HUIS, VAN A. (1991): Biological methods of bruchid control in the tropics: a review. Ins. Sci. Appl. **12**, 87-102.
- HUIS, VAN. A.; ARENDSE, P. W.; SCHILTHUIZEN, M.; WIEGERS, P. P.; HEERING, H. & N. K. KAASHOEK (1994): *Uscana lariophaga*, egg parasitoid of storage pests of cowpea in West Africa: the effect of temperature and humidity. Entomol. Exp. Appl. **70**, 41-53.
- IWASKI, T.; AOYAGI, M.; DODO, Y. & M. ISHII (1996): Life History of the first Generation of the Dermestid beetle, *Thaumaglossa rufocapillata*. Appl. Entomol. Zool. **31**, 389- 395.
- JOOD, S.; KAPOOR, A. C. & R. SINGH (1993): Evaluation of some plant products against *Trogoderma granarium* EVERTS in stored wheat and their effects on nutritional composition and organoleptic characteristics of treated grains. International Journal of Pest Management. **39**, 93-98.
- JOOD, S.; KAPOOR, A. C. & R. SINGH (1996): Evaluation of some plant products against *Trogoderma granarium* EVERTS in Sorghum and their effects on nutritional composition and organoleptic characteristics. J. stored Prod. Res. **32**, 345-352.
- KAPIL, R. P. & CHAUDHARY, J. P. (1973): Record of new Hymenopterous from Khapra beetle, *Trogoderma granarium* EVERTS (Coleoptera: Dermestidae), Indian Journal of Entomology **35**, 353-355
- KEEVER, D. W.; MULLEN, M. A.; PRESS, J. W. & R. T. ARBOGAST (1986): Augmentation of natural enemies for suppressing two major insect pests in stored farmers stock peanuts. Env. Ent. **15**, 767-770.
- KEILBACH, R. (1966): Die tierischen Schädlinge Mitteleuropas. G. Fischer, Jena, 784 S.
- KEMPER, H. (1935): Zur Lebensweise des Teppichkäfers und seine Bekämpfung. Über den Messingkäfer und seine Bekämpfung. Z. Gesundh. Tech. Städthyg. **27**(8-12), 355-358.

- KEMPER, H. (1950): Die Haus- und Gesundheitsschädlinge und ihre Bekämpfung, Duncker und Humblot/ Berlin, 344 S.
- KEMPER, H. & DÖHRING, E.(1963): *Trogoderma angustum* SOL. (Col., Dermestidae) als Wohnungsschädling. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz **63**, 26-30.
- KIEFFER, J. J. (1914): Bethyridae. Das Tierreich.**41**. Lieferung, 1-595.
- KLASCHKA, F. & JUNG, D.(1975): Sensibilisierung gegen *Trogoderma angustum* SOL. als Berufserkrankung. Z. Hautkr. **51**, 177-184.
- KLEIN, J. A.& BECKAGE, N. E. (1990): Comparative suitability of *Trogoderma variabile* and *T. glabrum* (Coleoptera: Dermestidae) as hosts for the ectoparasite *Laelius pedatus* (Hymenoptera: Bethyridae). - Ann. Ent. Soc. Am. **83**, 809-816.
- KLEIN, J. A.; BALLARD, D. K.; LIEBER, K. S.; BURKHOLDER, W. E. & N. E. BECKAGE (1991): Host developmental stage and size as factors affecting parasitization of *Trogoderma variabile* (Coleoptera: Dermestidae) by *Laelius pedatus* (Hymenoptera: Bethyridae). Ann. Ent. Soc. Am. **84**, 72-78.
- KÖHLER, F. & KLAUSNITZER, B (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands. Entomologische Nachrichten und Berichte. Beiheft **4**, 1-185.
- KÜHNE, H. VAN & BECKER, G. (1974): Zur Biologie und Ökologie von *Scleroderma domesticum* LATREILLA (Bethyridae: Hymenoptera), einem Parasiten holzzerstörender Insektenlarven. Z. ang. Ent. **76**, 278- 303.
- KUNIKE, G. (1938): Zur Lebensweise der Teppichkäfer. Nachrichtenbl. Deutsch. PflSchDienst **18**(9): 79-81.
- KUNIKE, G. (1939): Neuere Ergebnisse über die Eiablage und Generationsfolge der *Anthrenus*-Arten. Vorläufige Mitteilung. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz **15**(7): 80-84.
- KURIAN, C. (1954): Catalogue of oriental Bethyloidea. Agra univ. J. Res. **III**. 253- 288.
- LEWIS, W. J.; JONES, R.L.; NORDLUND, D.A. & A. N. SPARKS (1975): Kairomons and their use for management of entomophagous: I. Evaluation for increasing rates of parasitization by *Trichogramma* spp. in the field. J. Chem. Ecol. **1**, 343-347.
- LINDGERN, D. L. & VINCENT, L.E.(1959): Biology and control of *Trogoderma granarium* EVERTS. J. Econ. Entomol. **52**, 312- 319.
- MA, M.; BURKHOLDER, W. E. & S. D. CARLSON (1978): Supra-anal organ: a defensive mechanism of the Furniture Carpet Beetle, *Anthrenus flavipes* (Coleoptera: Dermestidae). Ann. Ent. Soc. Am. **71**, 718-723.
- MARKHAM, R. H.; BORGEMEISTER, C. AND MEIKLE, W. G. (1994): Can biological control resolve the larger grain borer crisis? Proc. 6<sup>th</sup> Int. Working Conf. Stored-product Prot., Canberra, Australia **2**, 1087-1097.

- MAYHEW, P. J., & GODFRAY, H. C. J. (1997): Mixed sex allocation strategies in parasitoid wasp. *Oecologia* **110**, 218-221.
- MERTINS, J. W. (1980): Life history and behaviour of *Laelius pedatus*, a gregarious bethylid ectoparasitoid of *Anthrenus verbasci*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* **73**, 686-693.
- MERTINS, J.W., (1982): Occurrence of *Anthrenus fuscus* OLIVIER (Coleoptera, Dermestidae) in Iowa. *Entomol. News* **93**, 139-142.
- MERTINS, J. W. (1985): *Laelius utilis* (Hym., Bethylidae, a parasitoid of *Anthrenus fuscus* (Col., Dermestidae) in Iowa. - *Entomophaga* **30**, 65-68.
- MUESEBECK, C. F. W. (1939): The North American species of the genus *Laelius* ASHMEAD (Hymen., Bethylidae). *Proc. Biol. Soc. Washington*, **52**, 171-176.
- MUTLU, P. (1994): Ability of the predator *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col.: Histeridae) to control larger grain borer (*Prostephanus truncatus*) (HORN) (Coleoptera: Bostrichidae) under rural storage conditions in the southern region of Togo. *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Working Conf. Stored-product Prot., Canberra, Australia* **2**, 1116-1121.
- NOON Jr Z. B. (1958): Food habits of the khapra beetle larva. - *J. Econ. Entomol.* **51**, 465-467.
- MURR, L. (1930): Über den Geruchsinn der Mehlmottenschlupfwespe *Habrobracon juglandis*, zugleich ein Beitrag zum Orientierungsproblem. *Z. Vergl. Physiol.* **2**, 210-270.
- NUTTING, W. L. & SPANGLER, H.G. (1969): The Hastate Setae of Certain Dermestid Larvae: an Entangling Defense Mechanism. *Ann. Ent. Soc. Am.* **62**, 763 -769.
- PARKER, R. D. & NILAKHE, S. S. (1990): Evaluation of predators and parasites and chemical grain protectants on insects pests of sorghum stored in commercial bins. *Proceeding of the 3<sup>rd</sup> National stored grain pests Management Training conference, Kansas City, Missouri, Oct. 20-25,1990*, 229-239.
- PARRA, J. R. P.; VINSON, S. B.; GOMES, S. M. & F. L. CONSOLI (1996): Flight response of *Habrobracon hebetor* (SAY) ( Hymenoptera: Braconidae) in a wind tunnel to volatiles associated with infestation of *Ephestia kuehniella* ZELLER ( Lipedoptera, Pyralidae). *Biological Control* **6**, 143-150.
- PHILIPP, E. (1968): Zur Kenntnis der Morphologie von *Trogoderma angustum* SOLIER, 1849 ( Coleoptera: Dermestidae). *Z. angew. Zoologie* **55**, 193- 256.
- PÖSCHKO, M. (1993): Biologie und Wirtsspezifität von *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Coleoptera: Histeridae). Berlin, Technische Universität, Dissertation, 128 S.
- PÖSCHKO, M. (1994): Host specificity of *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Coleoptera: Histeridae). *Proc. 6<sup>th</sup> Int. Working Conf. Stored-product Prot., Canberra, Australia* **2**, 1134-1141.

- PÖSCHKO, M.; LABORIUS, G. -A. & F. A. SCHULZ (1992): Ability of *Teretriosoma nigrescens* to survive and breed on stored product pests other than *Prostephanus truncatus*. In: BOEYE, J., WRIGH, M. & LABORIUS, G. -A.: Implementation of and further research on biological control of the Larger Grain Borer. Proc. FAO/GTZ Coord. Meet., Lomé, Togo, 85-95.
- PRESS, J. W.; FLAHERTY, B. R. & R. T. ARBOGAST (1974): Interactions among *Plodia interpunctella*, *Bracon hebetor*, and *Xylocoris flavipes*. *Env. Ent.* **3**, 183-184.
- PRESS, J. W.; FLAHERTY, B. R. & R. T. ARBOGAST. (1975): Control of the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, in a warehouse by a predaceous bug, *Xylocoris flavipes*. *J. Georgia Ent. Soc.* **10**, 76-78.
- PRESS, J. W.; FLAHERTY, B. R. & R. T. ARBOGAST (1977): Interactions among *Nemeritis canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae), and *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Kansas Ent. Soc.* **50**, 259-262.
- PRESS, J. W.; CLINE, L. D. & B. R. FLAHERTY (1982): A comparison of two parasitoids, *Bracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae) and *Venturia canescens* (Hymenoptera, Ichneumonidae), and a predator *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) in suppressing residual populations of the almond moth, *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Kans. Ent. Soc.* **55**, 725-728.
- PROZELL, S.; SCHÖLLER, M.; REICHMUTH, CH.; HASSEN, S. A. & B. WÜHRER (1995): Akzeptanz von *Trichogramma*-Freilassungen im Einzelhandel. Monitoring und Erfolgskontrolle. [Acceptance of *Trichogramma* releases in retail trade- monitoring and efficacy]. *Deutsche Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie Nachrichten* **9**, 121.
- PROZELL. S.; SCHÖLLER, M.; HASSEN, S. A. & Ch. REICHMUTH (1996): Release of *Trichogramma evanescens* as a component of an integrated pest management programme in organic food bakeries and stores (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Proceedings of the XX. International Congress of Entomology, Florence, Italy, August 25-31*, p. **555**.
- QI, Y., & BURKHOLDER, W. E. (1990): Attraction of larval kairomone of *Trogoderma* spp. to the parasitoid *Laelius pedatus* (Hymenoptera: Bethyridae). *Contrib. Shanghai Inst. Entomol.* **9**, 49-56.
- REES, D. P. (1985): Life history of *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col., Histeridae) and its ability to suppress populations of *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col., Bostrichidae). *J. stored Prod. Res.* **21**, 115-118.
- REES, D. P. (1987): Laboratory studies on predation by *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col.: Histeridae) on *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col., Bostrichidae) infesting maize cobs in the presence of other maize pests. *J. stored Prod. Res.* **23**, 191-195.

- REES, D. P. (1990): Ecology and predatory ability of *Teretriosoma nigrescens* LEWIS (Col., Histeridae), a potential bio-control agent for *Prostephanus truncatus* (HORN) (Col.: Bostrichidae). Proc. 5<sup>th</sup> Int. Working Conf. Stored Product Prot. Bordeaux, France **2**, 1281-1288.
- REICHMUTH, CH. (1996): Stored Product Protection with alternative methods. In: Proceeding of the International Forum on Stored Product Protection and Post-harvest treatment of Plant Products, Strasbourg, France, 7-8 November 1995, (Edited by the Council of Europe), 129-135..
- REITTER, E. (1911): Die Käfer des Deutschen Reiches, Bd. 3, K. G. Lutz Verlag, Stuttgart, 436 S.
- RICHTER, J.; BILIWA, A.; HELBIG, J. & S. HENNIG-HELBIG (1997): Impact of *Tretriosoma nigrescens* LEWIS (Coleoptera: Histeridae) on *Prostephanus truncatus* (HORN) (Coleoptera, Bostrichidae) and Losses in Traditional Maize Stores in Southern Togo. J. stored Prod. Res. **33**, 137-142.
- SCHNELLER, H. (1994): Nützlingseinsatz optimieren [Optimising the application of beneficials]. Phytomedizin **24**, 32-33.
- SCHÖLLER, M.; PROZELL, S.; AL-KIRSCHI, A.-G. & Ch. REICHMUTH (1997): Towards biological control as a major componenet of integrated pest management in stored product protection, J. stored Prod. Res. **33**, 81-97.
- SCHÖLLER, M. (1998): Biologische Bekämpfung vorratsschädlicher Arthropoden mit Räubern und Parasitoiden - Sammelbericht und Bibliographie. 100 Jahre Pflanzenschutzforschung., (Vorratsschutz). Zusammengest. Von REICHMUTH, Ch. Mitt. a. d. Biol. Bundesanstalt **342**, 85-189.
- SMITH, L. (1993): Host-size preference of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hym., Pteromalidae) on *Sitophilus zeamais* (Col., Curculionidae) larvae with a uniform age distribution. Entomophaga **38**, 225-233.
- STEIN, W (1986): Vorratsschädlinge und Hausungeziefer. Eugen Ulmer, Stuttgart, 287 S.
- VANCE, A. M. & PARKER H. L.(1932): *Laelius anthrenivorous* TRANI. Bethylid parasite of *Anthrenus verbasci* L. in France. Proc. Entomol. Soc. Wash. **34**: 1-7.
- WÄCKERS, F. L. (1996): Can food provision increase the efficacy of biological control agents in storage systems?. - In: Proceedings of the 20th International Congress of Entomology, p. 551, Florence, Italy.
- WEBER, H. (1966): Grundriss der Insektenkunde. 4. Auflage. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 428 S.
- WEGELIUS, A. (1965): *Trogoderma angustum* SOL. Found in Finland.- Notulae entomologicae **45**, 165.

- WEIDNER, H. (1982): Bestimmungstabellen der Vorratsschädlinge und des Hausungeziefers Mitteleuropas. 4. Auflage, G. Fischer Verlag, Stuttgart-New York, 251 S.
- WEIDNER, H. (1983): In Heinze: Leitfaden der Schädlingsbekämpfung. Band IV. Vorrats- und Materialschädlinge (Vorratsschutz). Wiss. Verlagsgesellschaft. Stuttgart. 348 S.
- WEN, B. & BROWER J. H. (1994): Suppression of maize weevil, *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) populations in drums of corn by single and multiple releases of the parasitoid *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera: Pteromalidae). J. Kansas Ent. Soc. **67**, 331-339.
- WILLIAMS, R. N. & FLOYD, E. H. (1971): Effect of two parasites, *Anisopteromalus calandrae* and *Choetospila elegans* upon populations of maize weevil under laboratory and natural conditions. J. Econ. Ent. **64**, 1407-1408.
- WINSTON, P. W. & BATES, D. H. (1960): Saturated solution for the control of humidity in biological research. Ecology, **41**, 232-237.
- WOHLGEMUTH, R. (1967): Über die Ei- und Larvenentwicklung von *Trogoderma angustum* SOL. (Dermestidae). Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz **40**, 83-91.
- WOHLGEMUTH, R. (1975): *Trogoderma angustum* SOL., ein neuer Schädling in Apotheken. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz und Umweltschutz **48**, 18-21.
- WOHLGEMUTH, R.; HARNISCH, R.; THIEL, R.; BUCHHOLZ, H. & A. LABORIUS (1987): Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung und Dauerwirkung von Insektiziden auf Vorratsschädlinge unter tropischen Bedingungen GTZ-Eigenverlag (mit englischer Übersetzung), 274 S.
- YAMADA, Y. (1955): Studies on the natural enemy of the woollen pest, *Anthrenus verbasci* LINNÉ (*Allepyris microneurus* Kieffer) (Hymenoptera: Bethyridae). Mushi **28**, 13 - 29.
- YOKOYAMA, K. (1929): Studies on the Japanese Dermestidae. II. Morphology and Biology of *Anthrenus* (*Nathrenus*) *verbasci* L. (In Japanese) Rep. seric. Exp. Sta. Japan **7**(9): 425-476.
- ZACHER, F. (1927): Die Vorrats-, Speicher- und Materialschädlinge und ihre Bekämpfung. Verlag Paul Parey, Berlin, 366 pp.
- ZACHER, F. (1932): Der Kabinettkäfer. Mitt. Ges. Vorratsschutz. **8**(1): 3-6.
- ZACHER, F. (1933): Haltung und Züchtung von Vorratsschädlingen. Sonderdruck aus: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Herausgegeben von ABDERHALDEN, E. Abt. IX, Teil **7**, 389-592.

### PUBLIKATIONEN AUS DER ARBEIT

- AL-KIRSHI, A.-G.; REICHMUTH, & CH SCHULZ, F. A.**(1995): ZUR BIOLOGISCHEN BEKÄMPFUNG VON *TROGODERMA ANGUSTUM* (solier) (COLEOPTERA, DERMESTIDAE) MIT DEM PARASITOID *LAELIUS PEDATUS* (Say) (HYMENOPTEREN, BETHYLIDAE). DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT. ENTOMOLOGEN- TAGUNG, GÖTTINGEN 27. MÄRZ - 1. APRIL 1995, KURZFASSUNGEN, 244.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H. & CH. REICHMUTH** (1995): UNTERSUCHUNGEN ZUR BIOLOGISCHEN BEKÄMPFUNG VON VORRATSSCHÄDLINGEN DER GATTUNG *TROGODERMA* (COLEOPTEREN: DERMESTIDAE) MIT DEM PARASITIDEN *LAELIUS PEDATUS* (HYMENOPTEREN, BETHYLIDAE). JAHRESBERICHT DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 178.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H.; BURKHOLDER W. E. & CH. REICHMUTH** (1996): THE BIOLOGY OF THE PARASITOID *LAELIUS PEDATUS* (Say) (HYMENOPTERA: BETHYLIDAE), AND ITS POTENTIAL FOR THE BIOLOGICAL CONTROL OF *TROGODERMA GRANARIUM* EVERTS AND *TROGODERMA ANGUSTUM* (SOLIER) (COLEOPTERA: DERMESTIDAE). - IN: PROCEEDINGS OF THE 20<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONGRESS OF ENTOMOLOGY, P. **554**, FLORENCE, ITALY.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW & CH. REICHMUTH** (1996): EIGNUNG TRADITIONELLER LÄGER IN DEN TROPEN FÜR DEN EINSATZ BIOLOGISCHER GEGENSPIELER WIE PARASITOIDE ZUR BEKÄMPFUNG VON VORRATSSCHÄDLINGEN. MITT. D. BIOL. BUNDESANSTALT **321**, 622.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW & CH. REICHMUTH** (1996): EIGNUNG DES LARVALPARASITOIDEN *LAELIUS PEDATUS* (Say) (HYMENOPTEREN, BETHYLIDAE) ZUR BEKÄMPFUNG DES KHAPRAKÄFERS *TROGODERMA GRANARIUM* EVERTS (COLEOPTERA, DERMESTIDAE). JAHRESBERICHT DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 164.
- SCHÖLLER, M.; PROZELL, S.; AL-KIRSHI, A.-G. & CH. REICHMUTH** (1997): TOWARDS BIOLOGICAL CONTROL AS A MAJOR COMPONENT OF INTEGRATED PEST MANAGEMENT IN STORED PRODUCT PROTECTION, J. STORED PROD. RES. **33**, 81-97.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H. & CH. REICHMUTH** (1997): BIOLOGISCHEN BEKÄMPFUNG VON VORRATSSCHÄDLICHEN DERMESTIDEN AUS DEN GATTUNGEN *TROGODERMA* UND *ANTHRENUS* MIT DEM PARASITIDEN *LAELIUS PEDATUS* (Say) (HYMENOPTEREN, BETHYLIDAE). JAHRESBERICHT DER BIOLOGISCHEN BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 178-181.
- AL-KIRSHI, A.-G.; BOCHOW, H. & CH. REICHMUTH** (1997): EIGNUNG DES LARVALPARASITOIDEN *LAELIUS PEDATUS* (Say) (HYMENOPTEREN, BETHYLIDAE) ZUR BEKÄMPFUNG DES KHAPRAKÄFERS *TROGODERMA GRANARIUM* EVERTS (COLEOPTERA, DERMESTIDAE) IN GETREIDE. MITT. DTSCH. GES. ALLG. ANGEW. ENT. **11**, 367-372.