

Biologische Schädlingsbekämpfung in Mühlen und Lagern: Nützlinge und ihre Einsatzmöglichkeiten

Sabine Prozell und Dr. Matthias Schöller, Berlin, und Dr. Bernd Wührer, Pfungstadt

Einleitung

Mit den im Frühjahr steigenden Temperaturen beginnt die Aktivität verschiedener Insekten in Vorratslagern und Mühlen. Neben den aus der Diapause erwachenden Larven der Dörrobstmotte können zunehmend umherkrabbelnde Käfer beobachtet werden. Aber nicht nur den Schädlingen bieten die Vorräte Nahrung und Lebensraum, auch deren zahlreiche Gegenspieler können sich hier ansiedeln. Dies reicht i. d. R. jedoch nicht aus, um den Befall zu kontrollieren. Zur biologischen Schädlingsbekämpfung durch gezielte Freilassungen werden die räuberische Wanze *Xylocoris flavipes* sowie verschiedene parasitische Hautflügler (*Hymenoptera*) in Deutschland produziert und angeboten.

Die in Mühlen hauptsächlich auftretenden Schädlingsgruppen – Motten und Käfer – können gut mit Nützlingen bekämpft werden [1]. Ein Nützlingseinsatz muss immer prophylaktisch erfolgen; empfohlen wird ein regelmäßiger Einsatz in der Hauptentwicklungszeit der Schädlinge von April bis Oktober. Eine nach der Lebensmittelhygiene-Verordnung geforderte Dokumentation des Monitorings erleichtert den rechtzeitigen Einsatz der Nützlinge. Wenn im Frühling die ersten Schädlinge in die aufgestellten Fallen gegangen sind, ist der Zeitpunkt gekommen, mit der Nützlingsfreilassung zu beginnen.

Grundlagen der biologischen Schädlingsbekämpfung mit Nützlingen

Der kombinierte Einsatz von verschiedenen Nützlingen im Rahmen eines Integrierten Pest Managements (IPM) erfüllt die Vorgaben der Reduktion von chemisch-synthetischen Insektiziden und des Arbeitsschutzes. Durch ein gutes Monitoring und Hygieneprogramm werden hierbei auch bauliche Schwachpunkte

erfasst und können durch einen gezielten Nützlingseinsatz ausgeglichen werden [2]. Das Monitoring mithilfe von Pheromonfallen sowie beköderten und unbeköderten Klebefallen zeigt die Aktivität der ersten Schädlinge im Frühjahr an, aber auch die Schwerpunkte des Auftretens in den unterschiedlichen Bereichen. Bei geeigneten Temperaturen kann mit den Freilassungen begonnen werden. Der Einsatz der Nützlinge ist nur bei bestimmten Umgebungstemperaturen möglich. Zwischen 5 und 15 °C überleben die meisten Nützlinge, bewegen sich aber nicht aktiv – ebenso die Schädlinge. Unter 5 °C kommt es zu erhöhter Sterblichkeit. Trotzdem können viele Nützlingsarten bei uns in ungeheizten Räumen überwintern, sodass sich auch im Herbst freigelassene Nützlinge im Frühjahr wieder zeigen. Allerdings ist die Zahl der angesiedelten Nützlinge oft nicht ausreichend. Damit sich das Verhältnis zugunsten der Nützlinge verschiebt und die Schädlinge erfolgreich bekämpft werden können, müssen Nützlinge in großen Mengen freigesetzt werden. Ziel der Massenfreilassung, auch inundative Applikation genannt, ist die Ausrottung des Schädlings. Auch wenn diese aufgrund von Zuflug bzw. Zuwanderung des Schädlings oder durch unvollständige Erfassung aller Entwicklungsstadien teils nicht erreicht wird, ist es möglich, den Befall unter eine wirtschaftliche Schadensschwelle zu drücken.

Die Bekämpfungsstrategie ist immer wieder eine Herausforderung, da sie von Lagergut, Vorbefall, baulichen Gegebenheiten und Temperatur abhängig ist und für jeden Betrieb neu entwickelt werden muss. Ein Nützlingseinsatz lässt sich mit vielen anderen Bekämpfungsmaßnahmen (z. B. Hitze, Kälte, inert oder nicht rückstandsbildenden giftigen Gasen) kombinieren, sofern die Nützlinge im Anschluss an diese Maßnahmen freigesetzt werden und so für eine andauernde Schädlingsfreiheit sorgen [3].

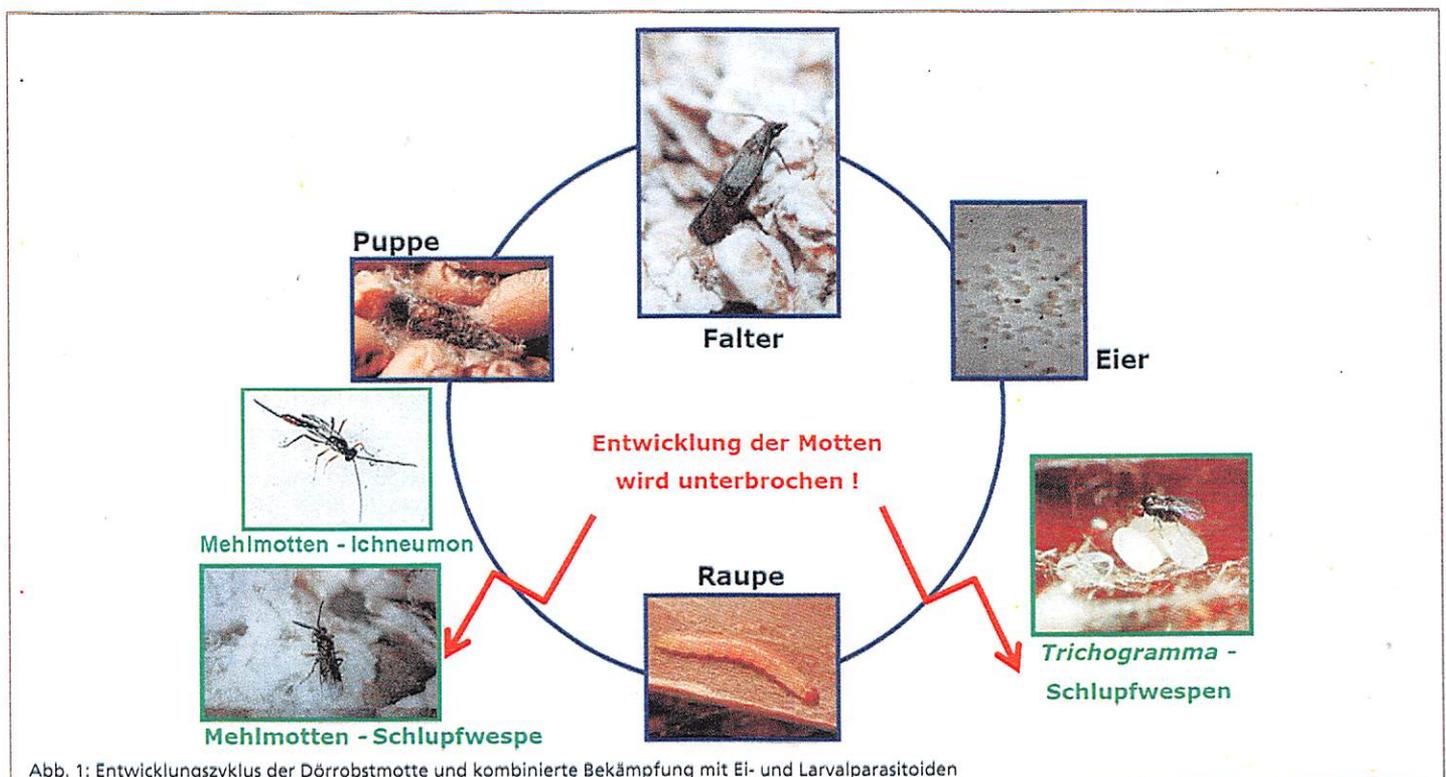


Abb. 1: Entwicklungszyklus der Dörrobstmotte und kombinierte Bekämpfung mit Ei- und Larvalparasitoiden

Mottenbekämpfung

Gegen die Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella*) und die Mehlmotte (*Ephestia kuehniella*) ist der Einsatz verschiedener Schlupfwespen zu empfehlen, um die einzelnen Stadien der Motten zu bekämpfen. Drei heimische und kommerziell verfügbare Hymenopteren können hierfür kombiniert werden.

1. Mehlmotten-Ichneumon *Venturia canescens* (Hymenoptera, Ichneumonidae)

Venturia canescens ist der im Zusammenhang mit der Mehlmotte am häufigsten natürlich auftretende Nützlichling. Dementsprechend findet man ihn in Mitteleuropa vor allem in Mühlen und Bäckereien. Hier gibt es nur weibliche Schlupfwespen, sodass sie sich leicht etablieren. Die etwa 10 mm großen, schwarz-rot gezeichneten Schlupfwespen legen ihre Eier in die Mottenlarven hinein. Die Schädlinge entwickeln sich zunächst weiter, werden dann aber vor der Verpuppung abgetötet. Pro Mehlmottenraupe schlüpft eine Schlupfwespe. Der Entwicklungszyklus dauert 21–28 Tage; die Lebensdauer der Adulten beträgt ca. 1–3 Wochen. In dieser Zeit kann ein Weibchen bis zu 150 Eier ablegen. In seinem Aktivitätsbereich von 18–35 °C ist das Mehlmotten-Ichneumon sehr flugaktiv [4]. Zu den Wirten zählen neben den Larven der Mehlmotte auch jene von Dörrobstmotte, Speichermotte, Tropischer Speichermotte (*Cadra cautella*) und Dattelmotte (*Cadra figulilella*). Das Mehlmotten-Ichneumon hat das beste Flugvermögen aller Mottenparasitoide; es kann mehrere Kilometer weit fliegen. Leider werden diese Nützlinge oft nicht erkannt und getötet, obwohl sie die Mühlenprodukte vor Schädlingsbefall schützen können.

2. Mehlmottenschlupfwespe *Habrobracon hebetor* (Hymenoptera, Braconidae)

Habrobracon hebetor ist weltweit verbreitet und häufig in Lagern mit vorratsschädigenden Motten zu finden. Die etwa 3–4 mm großen, gelb-braun gezeichneten Weibchen paralyisieren die Mottenlarven mit einem Stich, welcher einen sofortigen Fraß- und Entwicklungsstopp des Schädlings bewirkt. Anschließend werden mehrere Eier außen an die Larven gelegt. Innerhalb von etwa 10–12 Tagen entwickeln sich die Mehlmottenschlupfwespen-Larven auf der Wirtslarve, um sich dann in kleinen Seidenkokons zu verpuppen. Die gestochenen Mottenlarven sterben auch dann ab, wenn keine Nützlingeier an ihnen abgelegt werden. Die Lebensdauer der Adulten beträgt ca. 3–4 Wochen. In dieser Zeit kann ein Weibchen bis zu 100 Eier ablegen. In ihrem Aktivitätsbereich von 16–35 °C sind Mehlmottenschlupfwespen sehr mobil und flugaktiv. Zu den Wirten zählen neben den Larven der Dörrobstmotte auch die der Mehl- und der Speichermotte [5]. Mottenlarven, die sich im Korn entwickeln

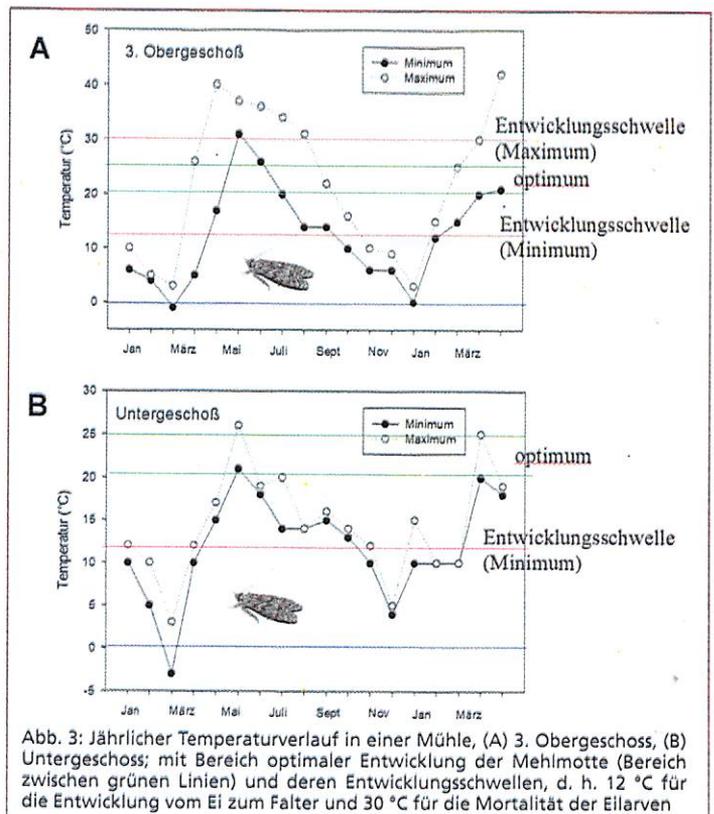
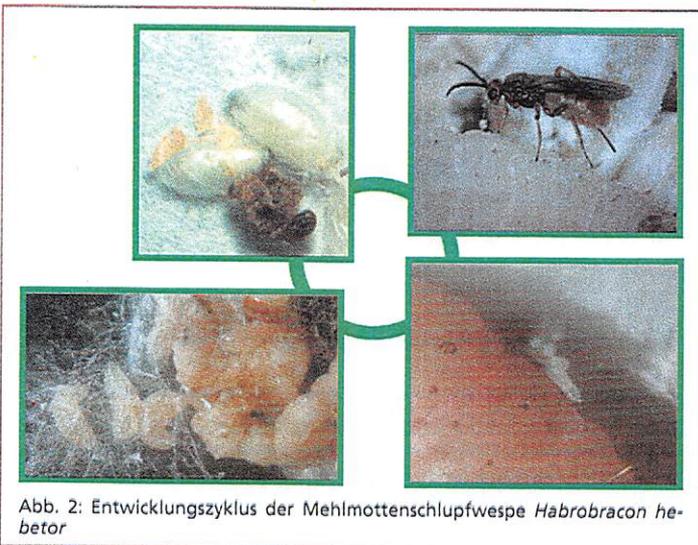
(z. B. jene der Getreidemotte *Sitotroga cerealella*), werden von den Brackwespen nicht erfasst. *H. hebetor* wird schon seit vielen Jahren erfolgreich zur biologischen Mottenbekämpfung in Mühlen und Getreidelagern eingesetzt. Durch ihr gutes Flugvermögen können diese Nützlinge auch die im Gebälk versteckten Wanderlarven erreichen und abtöten.

3. Zwergwespe *Trichogramma evanescens euproctidis* (Hymenoptera, Trichogrammatidae)

Eiparasiten der Gattung *Trichogramma* sind natürliche Gegenspieler zahlreicher vorratsschädigender Falter (*Lepidoptera*). Weltweit sind mehr als 160 Arten mit unterschiedlichen Präferenzen gegenüber ihren Wirten bekannt. *T. evanescens euproctidis* ist in Europa verbreitet und belegt bevorzugt Eier vorratsschädigender Motten (u. a. von Dörrobst-, Mehl- und Speichermotte) mit ihren eigenen Eiern. Innerhalb des Wirtseies entwickelt sich *Trichogramma* abhängig von der Temperatur in 1–2 Wochen. Ohne Nahrung überlebt die 0,4 mm große, hellbraune bis braunschwarze Schlupfwespe nur wenige Tage im Lager; ein Weibchen kann dabei bis zu 60 Eier parasitieren. Die optimale Temperatur für *Trichogramma* liegt bei etwa 27 °C. Limitierend sind Werte <14 °C, denn dann sind die Schlupfwespen inaktiv. Schädigungen erfolgen bei längerer Exposition >35 °C [6]. Die Tiere bewegen sich eher krabbelnd und fliegen nur selten. Sie suchen gezielt nach Geruchsstoffen der Schadmottenweibchen und sind daher relativ standorttreu. Aufgrund der guten Suchleistung, der Standorttreue und ihrer Fähigkeit, den Schädling bereits im Eistadium abzutöten, eignen sich *Trichogramma*-Schlupfwespen besonders für den Einsatz in Mühlen und Getreidelagern.

Mottenbekämpfung in der Mühle

Auch in geschlossenen Räumen kann die Entwicklung der Schädlinge in Abhängigkeit von der herrschenden Temperatur sehr unterschiedlich verlaufen. Abb. 3 zeigt den jährlichen Temperaturverlauf in einer Mühle, (A) 3. Obergeschoss, (B) Untergeschoß; mit Bereich optimaler Entwicklung der Mehlmotte (Bereich zwischen grünen Linien) und deren Entwicklungsschwellen, d. h. 12 °C für die Entwicklung vom Ei zum Falter und 30 °C für die Mortalität der Eilarven



der optimalen Entwicklung der Mehlmotte eingetragen (Bereich zwischen grünen Linien); ebenso die Entwicklungsschwellen, d. h. 12 °C für die Entwicklung vom Ei zum Falter und 30 °C für die Mortalität der Eilarven als obere Entwicklungsschwelle [3]. Die untere Entwicklungsschwelle entspricht in etwa der Minimaltemperatur, ab der Mehlmottenschlupfwespe und Zwergwespe aktiv sind bzw. eingesetzt werden können. Im Beispiel dieser Mühle liegen die Temperaturen etwa neun Monate lang oberhalb der Entwicklungsschwelle der Mehlmotte; deshalb können auch neun Monate lang Nützlinge eingesetzt werden. Im Untergeschoss liegen die Temperaturen jedoch nur etwa zwei Monate lang im für die Mehlmotte optimalen Bereich. In dieser Zeit sind Reinigungsmaßnahmen und Nützlingseinsatz besonders wichtig. In den mittleren Mühlengeschossen (hier nicht abgebildet) entwickelt sich die Mehlmotte von April bis Oktober gut. Im 3. Obergeschoss liegen die Temperaturen ebenfalls nur etwa zwei Monate lang im optimalen Bereich; von Mai bis Oktober kann für die Mottenraupen tödliche Hitze im Raum herrschen. Auch die Nützlinge sterben bei Temperaturen >40 °C ab (Mehlmottenschlupfwespe: 43 °C, Zwergwespe *T. evanescens euproctidis*: 40 °C) [6].

Käferbekämpfung

Aber auch gegen die in Mühlen und Vorratslagern auftretenden Käfer gibt es eine Auswahl an natürlichen Gegenspielern zur Bekämpfung [3]. Schlupfwespen sind oft Spezialisten und parasitieren nicht alle Käferarten, daher ist eine Bestimmung des Schädlings elementar. Zusätzlich kann auch der räuberische Lagerpirat gegen verschiedenste Schädlinge eingesetzt werden.

4. Lagererzwespe *Lariophagus distinguendus* (Hymenoptera, Pteromalidae)

Die Lagererzwespe ist ein natürlich vorkommender Gegenspieler verschiedener häufiger Vorratskäfer, etwa des Kornkäfers, des Brotkäfers sowie einiger Samenkäferarten. Die 2–3 mm große, schwarz gefärbte Lagererzwespe parasitiert im Verborgenen lebende Larven. Hierzu bohrt sie mit ihrem Legebohrer ein Loch in ein befallenes Korn, paralyisiert die Schädlingslarve und belegt sie mit ihrem eigenen Ei. Die

20-tägige Larvenentwicklung und die Puppenruhe des Nützlings finden am Wirt im Korn statt – die schlüpfende Wespe nagt anschließend ein Loch in das Korn, um dieses zu verlassen. Während der Lebensdauer von 1–2 Wochen legt ein Weibchen bis zu 200 Eier. Dazu kann es mehrere Meter tief in geschüttetes Getreide eindringen und befallene Körner aufspüren. Das ausgeprägte Suchverhalten mit der guten Fähigkeit zur Wirtsfindung macht diesen Nützling zu einem idealen Werkzeug für die Käferbekämpfung [7].

Die Lagererzwespe kann hierfür mit den nahe verwandten, heimischen Maiskäfererzwespen *Anisopteromalus calandrae* (Hymenoptera, Pteromalidae) und Fühlererzwespen *Theocolax elegans* (Hymenoptera, Pteromalidae) kombiniert werden. Die Maiskäfererzwespe ist toleranter gegenüber hohen Temperaturen; die Fühlererzwespe parasitiert auch den Getreidekapuziner *Rhyzopertha dominica* und wird im geschütteten Getreide eingesetzt [3].

5. Ameisenwespen *Cephalonomia tarsalis* (Hymenoptera, Bethyridae)

Das Ameisenwespen parasitiert Larven des Getreideplattkäfers *Oryzaephilus surinamensis*. Dieser ist einer der bedeutendsten Schädlinge nicht nur im Getreidelager, sondern auch in der Lebensmittelindustrie, u. a. bei Haferflocken und weiteren verarbeiteten Produkten. Der nahe verwandte Erdnussplattkäfer *Oryzaephilus mercator* wird ebenfalls angenommen. Das schlanke, ca. 1,5 mm lange, schwarz glänzende Wespen ist sehr langlebig. Bei 21 °C leben die Weibchen bis zu 85 Tage und legen zwischen 50 und 115 Eier an die zuvor paralyisierten Larven des Schädlings. Aktiv sind die Nützlinge in einem Temperaturbereich von 15–37 °C [8]. Die holometabole Entwicklung vollzieht sich vom Ei, das einzeln oder paarweise an der Wirtslarve abgelegt wird, über die immobilen Larvenstadien, die an der Wirtslarve fressen und einen Seidenkokon zur Verpuppung spinnen, bis hin zum Puppenstadium und schließlich zum flugfähigen Vollinsekt. Die Entwicklung vom Ei bis zur Imago beträgt dabei zwischen zwei und vier Wochen. Dank seiner langen Lebensdauer und der Fähigkeit, Wirtslarven anhand ihrer Kotkrümel über große

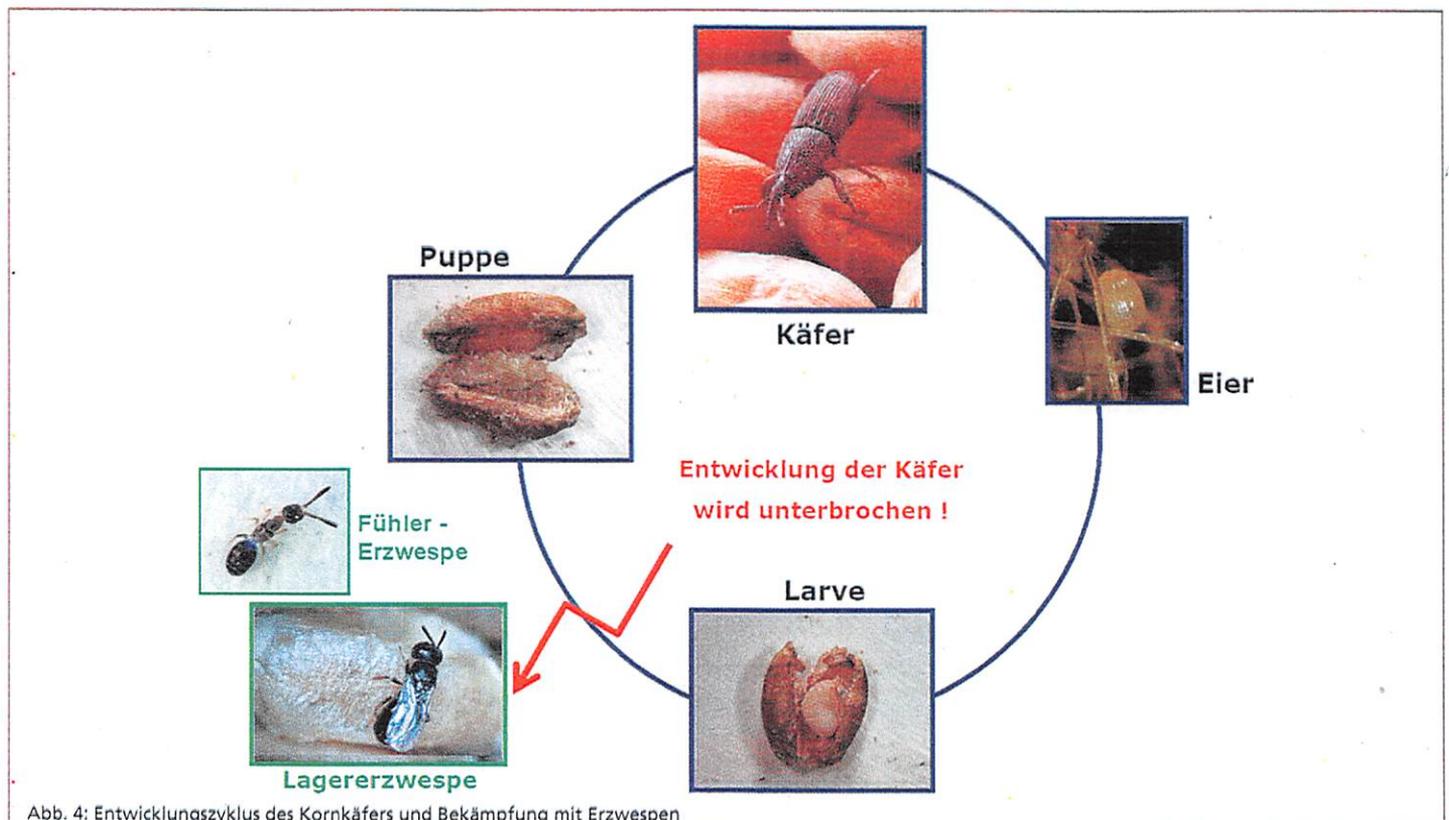


Abb. 4: Entwicklungszyklus des Kornkäfers und Bekämpfung mit Erzwespen

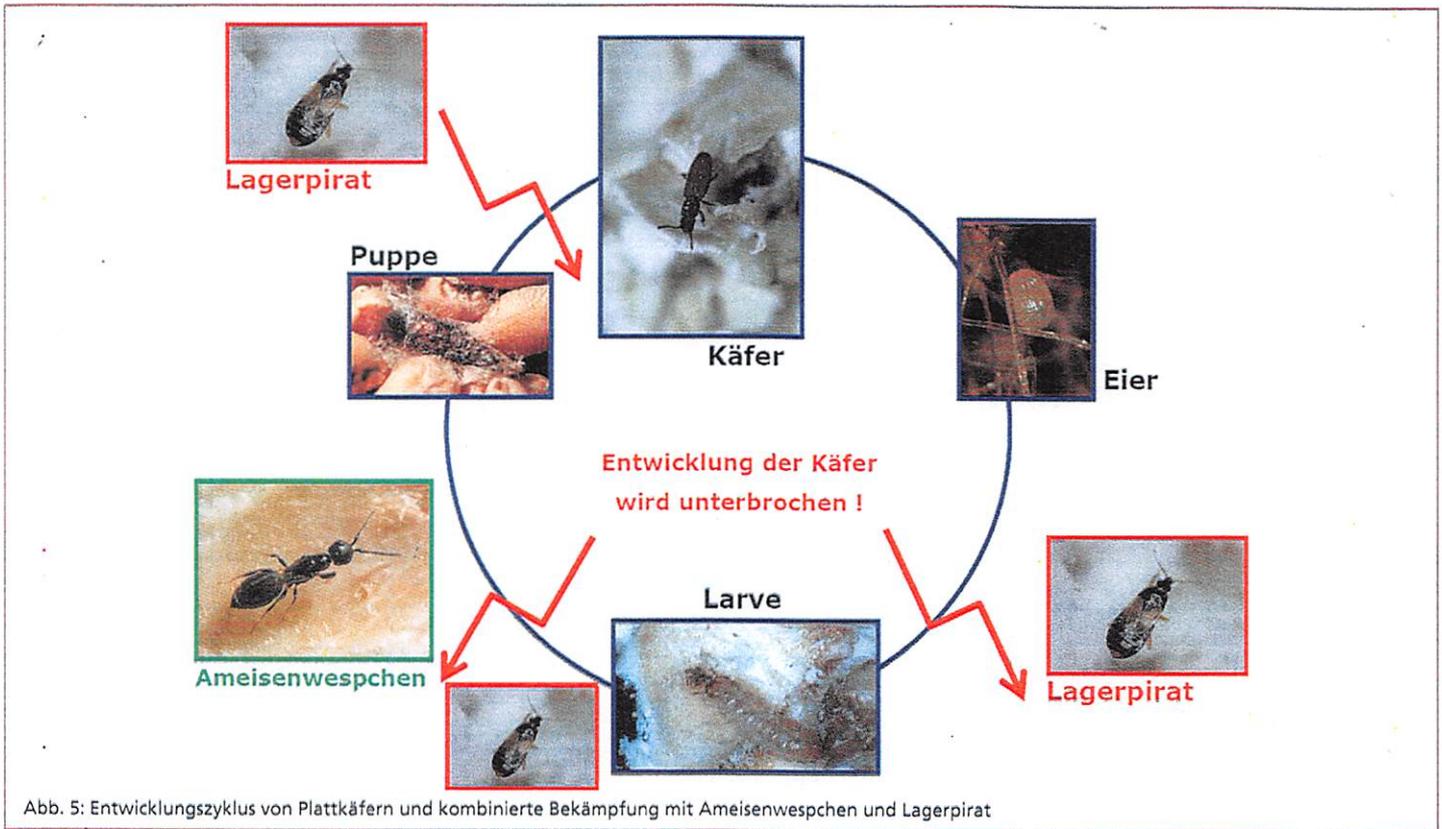


Abb. 5: Entwicklungszyklus von Plattkäfern und kombinierte Bekämpfung mit Ameisenwespen und Lagerpirat

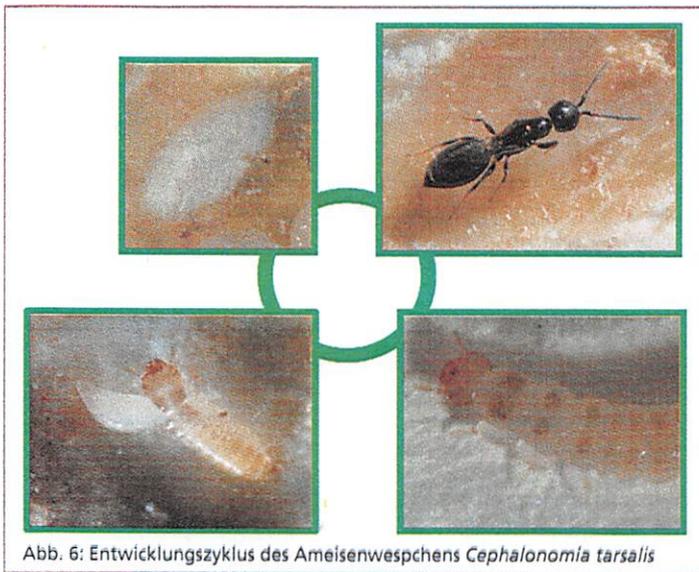


Abb. 6: Entwicklungszyklus des Ameisenwespens *Cephalonomia tarsalis*

Distanzen zu lokalisieren, kann das Ameisenwespen den Getreideplattkäfer sehr erfolgreich bekämpfen [9].

6. Lagerpirat *Xylocoris flavipes* (Hemiptera, Anthocoridae)

Der Lagerpirat ist in Europa beheimatet und gehört zur Familie der Blumenwanzen. Für seine Entwicklung vom Ei zum erwachsenen Tier benötigt der Lagerpirat ca. 16 Tage bei 32 °C. Dabei durchläuft er fünf Nymphenstadien, bis er als adulte Raubwanze eine Länge von 2–3 mm erreicht. Mit seinen stechend-saugenden Mundwerkzeugen vertilgt dieser Nützlichling ein breites Spektrum unterschiedlicher Vorratschädlinge, wobei bevorzugt Eier und Jugendstadien verschiedener Käfer, Motten, Staubläuse und Milben angenommen werden. Puppenhüllen sowie die starke Panzerung (Sklerotisierung) größerer Larven behindern dagegen den Anstich und das Aussaugen der Beute. Die Färbung des Lagerpiraten reicht von einem sehr hellen Rotbraun der Nym-

phenstadien bis zu einem kräftigen Rotbraun bis Schwarz bei den Adulten. Die erwachsenen Weibchen legen während ihrer relativ langen Lebensdauer von ca. 3 Wochen etwa 150 Eier, aus denen nach wenigen Tagen die nächste Generation der Nützlinge schlüpft [10]. Auch auf dünnen Mehlschichten werden Schädlinge abgetötet [11]. Durch sein breites Wirtsspektrum, seine lange Lebensdauer und eine vergleichsweise kurze Entwicklungsdauer eignet sich dieser Nützlichling für die biologische Bekämpfung verschiedener Schädlinge, insbesondere bei den von ihm bevorzugten höheren Temperaturen.

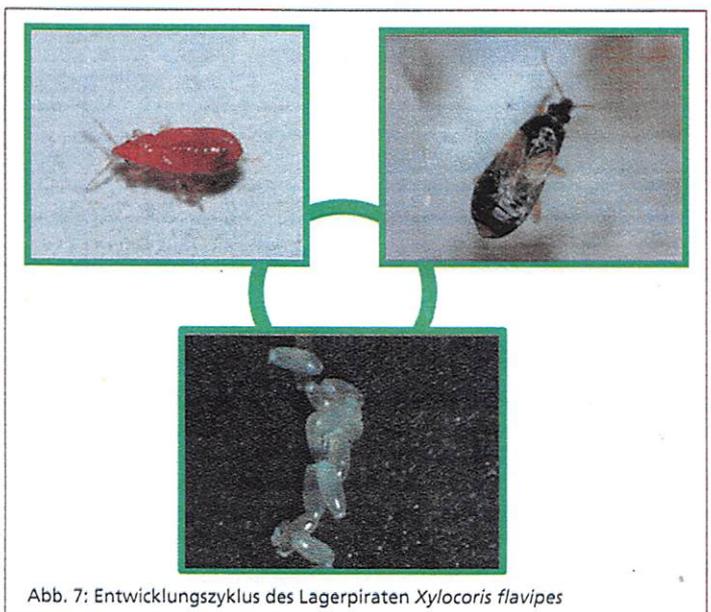


Abb. 7: Entwicklungszyklus des Lagerpiraten *Xylocoris flavipes*

Zusammenfassung

Nach Bestimmung der Schädlinge können im Frühjahr die ersten Nützlinge gegen Käfer und Motten freigelassen werden. Da in

Mühlen wie auch in Lagern ganzjährig neue Ware angeliefert wird, muss dort immer mit einem Befall der Produkte durch Schadinsekten gerechnet werden. Solange Lagerware vorhanden ist oder neue Rohstoffe angeliefert werden, ist daher eine regelmäßige Freilassung zu empfehlen. Im Frühjahr ist zur Motenbekämpfung eine kombinierte Freilassung verschiedener Parasitoide ratsam, um auch die überwinternden Diapause-Stadien zu erreichen. Ab Mai können dann bis zum Herbst Eiparasitoide eingesetzt werden, um die Entwicklung von Moteneiern zu verhindern. Im Herbst sollte bei noch annehmbaren Temperaturen durch Freilassung der Mehlmottenschlupfwespe die Überwinterung der Motten unterbunden werden. Gegen Käfer können auch im Frühjahr die ersten Parasitoide zum Einsatz kommen, um die Weiterentwicklung der Larve zum Käfer und dessen Schlupf zu verhindern. Entsprechend den Entwicklungszyklen der auftretenden Käfer müssen dann im Laufe des Jahres die passenden Gegenspieler eingesetzt werden, vor allem nach der Einlagerung von neuen Waren.

Ausblick

Der Klimawandel führt in Mühlen und im Lagerbereich auch zu einer Ansiedelung neuer Schädlinge. Zum einen können neue, wärmeliebende Arten von Süden einwandern und aufgrund höherer Temperaturen hier auch überwintern; zum anderen etablieren sich mit internationalen Warentransporten eingeschleppte Schadinsekten häufiger. Hinzu kommt die Möglichkeit der Ausbildung zusätzlicher Generationen. So beträgt die für die Entwicklung der Dörrobstmotte notwendige Temperatursumme ca. 500 Gradtage. Berücksichtigt werden hierbei Temperaturen >12 °C, unterhalb derer praktisch keine Entwicklung von Ei, Larve und Puppe stattfindet. Während früher (bzw. in gekühlten Lagern) zumeist zwei Generationen pro Jahr auftraten, sind es heute häufig drei oder sogar vier. Ein weiteres Beispiel ist der Getreidekapuziner *Rhyzopertha dominica*. Dieser Schädling tritt in den letzten Jahren verstärkt in Getreidelagern auf, wobei er sich von Süden nach Norden ausbreitet. Auch bei den Käfern kommt es durch die ansteigenden Temperaturen zu einer Verschiebung von Entwicklungszeiten und Aktivität – selbst im November sind einige von ihnen noch aktiv.

Als Konsequenz der veränderten Schädlingsfauna werden auch neue Nützlinge auftreten. Aus dem Freiland ist bekannt, dass Nützlinge ihren Wirten „folgen“ oder gemeinsam mit diesen verschleppt werden. Hier sind jedoch weitergehende Forschungen zu Einsatz und Zucht notwendig. Die Entwicklung eines Einsatzkonzeptes mit Etablierung von Zuchtmethoden und Freilassungseinheiten dauert etwa zehn Jahre. Erschwerend kommt hinzu, dass nicht alle Nützlinge für die Massenzucht geeignet sind und kommerziell eingesetzt werden können. Allerdings werden bei der biologischen Schädlingsbekämpfung auch keine Resistenzen beobachtet. Ein gut geplanter, regelmäßiger Nützlingseinsatz, verbunden mit einem Hygienekonzept und Monitoring, führt zur erfolgreichen Bekämpfung der Schädlinge.

Literatur

1. Prozell, S., und M. Schöller: Biologische Schädlingsbekämpfung in Mühlen. - Mühle + Mischfutter 151 (2014) 3, S. 70-74
2. Prozell, S., und M. Schöller: Biologische Bekämpfung von Schädlingen in der Lebensmittel verarbeitenden Industrie. - In: Lebensmittelchemische Gesellschaft (Hrsg.): Schädlingsbekämpfung in der Lebensmittelproduktion. - Behr's Verlag Hamburg (2005), S. 105-110
3. Adler, C., M. Schöller, S. Preißel-Reckling, S. Prozell und S. Kühne: Vorräte richtig schützen und lagern in Landwirtschaft, Verarbeitung und Handel. - Verlag Euge Ulmer (2021)
4. Eliopoulos, P. A: Life Tables of *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae) parasitizing the Mediterranean Flour Moth (Lepidoptera: Pyralidae). - Journal of Economic Entomology 99 (2006) 1, p. 237-243
5. Schöller, M., und S. Prozell: Die Mehlmottenschlupfwespe *Habrobracon hebeti* (Hymenoptera: Braconidae) als Antagonist vorratsschädlicher Motten. - Gesunc Pflanze 53 (2001) 3, S. 82-89
6. Schöller, M., S. Prozell, S. Juillet, S. Niedermayer, B. Wührer und J. L. M. Steidle Parasitoide Hymenopteren zur biologischen Bekämpfung von Vorratsschädlingen während der Langzeitlagerung von Getreide. - Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie 20 (2015), S. 221-225

7. Niedermayer, S., M. Pollmann, and J. L. M. Steidle: *Lariophagus distinguendus* - Past, presence, and future. The history of a biological pest control method using *L. distinguendus* (Hymenoptera: Pteromalidae) against different storage pests. - Insects 7 (2016) 39; doi:10.3390/insects7030039
8. Eliopoulos, P. A: Life table parameters of the parasitoid *Cephalonomia tarsalis* (Hymenoptera: Bethyilidae) and its host, the saw-toothed grain beetle *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae). - Journal of Plant Protection Research 59 (2019) 4, p. 544-551
9. Amante, M., P. Suma, M. Schöller, and A. Russo: The Bethyilidae (Hymenoptera): a tool for biological control programmes in food industries. - Integrated Protection of Stored Products IOBC. - WPRS Bulletin 130 (2018), p. 135-138
10. Russo, A., G. E. Cocuzza, and M. C. Vasta: Life tables of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) feeding on *Tribolium castaneum* (Coleoptera: Tenebrionidae). - Journal of Stored Products Research 40 (2004), p. 103-112
11. Schöller, M., and S. Prozell: Potential of *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) to control *Tribolium confusum* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Central Europe. - In: Athanassiou, C. G., C. Adler, and P. Trematerra (eds.): Working Group „Integrated Protection of Stored Crops“. Proceedings of the meeting at Campobasso (Italy), June 29-July 2, 2009. - IOBC/wprs Bulletin 69 (2011), p. 163-168