

Cornel Adler, Christoph Reichmuth

## Untersuchungen zur Abtötung der Dörrobstmotte *Plodia interpunctella* und des Brotkäfers *Stegobium paniceum* mit Kälte bei $-10^{\circ}\text{C}$ , $-14^{\circ}\text{C}$ und $-18^{\circ}\text{C}$

Studies to control the Indianmeal moth *Plodia interpunctella* and the drugstore beetle *Stegobium paniceum* with subzero temperatures of  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$  and  $-18^{\circ}\text{C}$

110

### Zusammenfassung

Die Dörrobstmotte *Plodia interpunctella* und der Brotkäfer *Stegobium paniceum* sind zwei der meistverbreiteten Schadinsekten auf Trockenfrüchten, Nüssen, Getreideprodukten, Fruchtees und Gewürzen. Die Stadien dieser beiden Insektenarten wurden 5 Minuten bis 480 Minuten tiefen Temperaturen von  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$  und  $-18^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt. Für eine vollständige Abtötung aller Stadien der Motte genügten bei  $-10^{\circ}\text{C}$  503 Minuten (extrapoliert für die besonders widerstandsfähigen Eier), bei  $-14^{\circ}\text{C}$  283 Minuten und bei  $-18^{\circ}\text{C}$  70 Minuten. Im Gegensatz dazu waren die getesteten Eier, Larven, Puppen und Imagines des Brotkäfers widerstandsfähiger: bei  $-10^{\circ}\text{C}$  überlebten ca. 18% der Eier, ca. 34% der Larven, ca. 10% der Puppen und ca. 94% der Imagines die längste getestete Einwirkzeit von 480 Minuten; bei  $-14^{\circ}\text{C}$  starben alle Larven, Puppen und Imagines nach 240 Minuten und die Eier zu ca. 90% ab; bei  $-18^{\circ}\text{C}$  reichten 60 Minuten zur Abtötung aller Larven, Puppen und Imagines aus; die Mortalität der getesteten Eier betrug nach 60 Minuten Einwirkzeit bei dieser Temperatur 98%, nach 120 Minuten ca. 99%. Für die Motten wurden Regressionsfunktionen zur Bestimmung der Mortalität und letalen Einwirkzeit im Temperaturbereich von  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $-18^{\circ}\text{C}$  ermittelt.

**Stichwörter:** Dörrobstmotte, *Plodia interpunctella*, Brotkäfer, *Stegobium paniceum*, Kälte, Bekämpfung, Vorratsschutz

### Abstract

The Indianmeal moth *Plodia interpunctella* and the drugstore beetle *Stegobium paniceum* are two of the most common insects in dried fruits, nuts, grain products, herb teas or spices. The stages of both species were held at  $-10$ ,  $-14$  and  $-18^{\circ}\text{C}$  for 5 minutes to 480 minutes and the survival subsequently noted. The following times and temperatures were required to control all stages: *P. interpunctella*; 503 min at  $-10^{\circ}\text{C}$  (extrapolated for the most tolerant egg stage), 283 min at  $-14^{\circ}\text{C}$  and 70 min at  $-18^{\circ}\text{C}$ . All four stages of *S. paniceum* were more tolerant. At  $-10^{\circ}\text{C}$ , about 18%, 34%, 10% and 94% of eggs, larvae, pupae and adults survived 480 minutes of exposure, respectively.  $-14^{\circ}\text{C}$  were fully lethal towards all larvae, pupae and adults within 240 minutes. About 90% of the eggs died within this exposure time at  $-14^{\circ}\text{C}$ . At  $-18^{\circ}\text{C}$ , 60 minutes served to kill all larvae, pupae and adults. At this temperature, about 98% of the eggs did not survive 60 minutes treatment, only 1% of the eggs survived after 120 minutes of exposure. Regression functions were deter-

### Institut

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

### Kontaktanschrift

Dr. Cornel Adler, Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Königin-Luise-Straße 19, 14195 Berlin, E-Mail: cornel.adler@jki.bund.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

14. September 2012

mined for the moths for the determination of mortalities and lethal exposure periods for the temperature range between  $-10^{\circ}\text{C}$  and  $-18^{\circ}\text{C}$ .

**Key words:** Cold disinfestation, freezing, control, Indianmeal moth, *Plodia interpunctella*, drugstore beetle, *Stegobium paniceum*

## Einleitung

Die Dörrobstmotte *Plodia interpunctella* (Hübner) und der Brotkäfer *Stegobium paniceum* (L.) sind zwei der meistverbreiteten Schadinsekten auf Trockenfrüchten, Nüssen, Getreideprodukten, Fruchteees und Gewürzen. Wenn die Produkte im Freien getrocknet werden, kann man einen Insektenbefall schwer vermeiden. Für Jahrzehnte war die Begasung im Lager oder in Verarbeitungsbetrieben die übliche Bekämpfungsmethode. Nachdem Methylbromid weltweit vom Markt genommen wurde, nahm die Abhängigkeit von Phosphorwasserstoff stark zu. Gleichzeitig führten Berichte über die Resistenz von vorratsschädlichen Insekten einiger Arten gegen Phosphorwasserstoff (CHAUDRY, 1999; COLLINS, 2006) zu Bedenken und verstärkten die Suche nach Bekämpfungsalternativen für die Gase.

Künstliches Kühlen und Ausfrieren sind von diversen Autoren als mögliche Schädlingsbekämpfungsmaßnahme beschrieben worden (DAVID et al., 1977; EVANS, 1987; FIELDS, 1992; HAGSTRUM und FLINN, 1994; LASSERAN und FLEURAT-LESSARD, 1990; DOHINO et al., 1999; BURKS et al., 2000; ADLER, 2010). Frosten trockener Vorräte auf  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $-20^{\circ}\text{C}$  kann als eine Option zur schnellen Schädlingsbekämpfung hochwertiger Vorratsgüter angesehen werden. Zwar ist diese Methode schnell wirksam, hinterlässt keine chemischen Rückstände in den behandelten Gütern, hat keine oder nur geringe nachteilige Effekte auf die Warenqualität und ist vergleichsweise sicher für die Arbeiter. Die hohen Energiekosten für die Kühlung sind jedoch ein Nachteil, der einer Verbreitung dieser Technik derzeit entgegensteht. Eine Firma, die mit organisch produzierten Trockenfrüchten in der Türkei, den USA und in Deutschland handelt, behandelt jede Warenpartie vor der Weiterverarbeitung für 24 h in einer Kältekammer bei  $-20^{\circ}\text{C}$ . Auch ein deutscher Hersteller von Fruchteees und Gewürzen setzt seit 15 Jahren eine Kühlkammer ein, um alle ankommenden Produkte einer Eingangsbehandlung zu unterziehen, bis das Zentrum der Ware auf  $-18^{\circ}\text{C}$  abgekühlt ist (Abb. 1). Die Kühlung erfolgt in diesem Fall durch Einführung von Flüssigstickstoff, wobei die Kamertemperatur bis auf  $-80^{\circ}\text{C}$  absinken kann. Je nach Menge der Ware, Maß und der in Ballen gelagerten Produkte wird für 12 h bis 36 h gefrostet. Der Produktart und der Behandlungszeit entsprechend, werden  $3\text{ m}^3$  bis  $5\text{ m}^3$  flüssigen Stickstoffs für eine Behandlung eingesetzt. Die Kosten werden auf etwa 1000 €/t geschätzt (TALLAFUS, Fa. Guttroff, persönliche Mitteilung).

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Ermittlung der letalen Einwirkzeiten für alle Entwicklungsstadien



**Abb. 1.** Gedämmte Tiefkühlkammer der Firma Guttroff zum Frosten insbesondere von Tee und Gewürzen gegen vorratsschädliche Insekten; seit 1993 in Betrieb; gesackte Ware auf fahrbarem Gestell zum Befüllen der Kammer; Zieltemperatur im Kern der Ware  $-18^{\circ}\text{C}$ ; Einwirkzeit 12 Stunden bis 36 Stunden (je nach Wärmeleitfähigkeit des Produkts); ca.  $3\text{ m}^3$  bis  $5\text{ m}^3$  Flüssigstickstoff oder flüssige Luft pro Behandlung mit zeitweilig  $-80^{\circ}\text{C}$  außerhalb der Ware; Kosten bei ca. 1000 €/t; Zulassung nach Pflanzenschutzgesetz nicht erforderlich.

von *P. interpunctella* und *S. paniceum* bei tiefen Temperaturen von  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$  und  $-18^{\circ}\text{C}$ .

## Material und Methoden

### Insekten

Die Testinsekten entstammten den langjährigen Laborzuchten des Instituts für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, die dort bei  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  und  $65\% \pm 5\%$  relativer (rel.) Luftfeuchte gehalten werden.

Die Testinsekten wurden vor Versuchsbeginn nicht an tiefe Temperaturen adaptiert. Bei der Vorbereitung der Versuchsproben wurden Eier, Larven, Puppen und Imagines in getrennte Käfige eingezählt.

**Dörrobstmotte.** Imagines legten frische Eier in einem Eiablagegefäß. Ungefähr 500 Eier der Dörrobstmotte wurden wöchentlich auf eine Mischung aus 500 ml Weizenkleie und etwa 15 g Mandelbruch aufgesetzt, um die verschiedenen Entwicklungsstadien der Motten in mehreren Wochen in ausreichender Menge bereitzustellen.

50 bis zwei Tage alte Motteneier wurden in kleine Glasgefäße ( $\varnothing$ : 11 mm, Länge: 15 mm) eingezählt, die auf einer Seite mit einer aufgeklebten Nylongaze mit 0,2 mm Maschenweite und auf der anderen Seite mit einem Gummistopfen verschlossen wurden. Diese kleinen Glasgefäße wurden auf 5 ml Weizenkleie in kleine runde Drahtgazekäfige platziert ( $\varnothing$ : 16 mm, Länge: 50 mm) (Abb. 2), um dieselben geometrischen Abmessungen wie bei den Käfigen der anderen Stadien herzustellen.



**Abb. 2.** 50 Brotkäfer Eier auf schwarzem Filzstoff in kleinen Glasgefäßen (Ø 13 mm, Länge 15 mm), auf der Unterseite mit einer aufgeklebten Nylongaze mit 0,2 mm Maschenweite und auf der anderen Seite mit einem Gummistopfen verschlossen (rechts im Bild); für die Kältebehandlung wurden diese Glasgefäße in kleine runde Drahtgazekäfige (Ø 16 mm, Länge: 50 mm) mit 5 ml Weizenkleie gegeben. Diese Drahtgazekäfige wurden auch für Larven, Puppen und Imagines der Brotkäfer und die Brutstadien der Motte verwendet.

Auf diese Weise waren die Eier zur späteren Bestimmung der Schlupfrate getrennt vom Futtersubstrat. Schlüpfende Larven konnten durch die feinen Öffnungen in der Gaze kriechen und an der Kleie fressen. Die Wärmeisolierung war dadurch ähnlich wie bei den Proben mit den anderen Insektenstadien. 50 etwa vier Wochen alte Mottenlarven mit 5 ml Weizenkleie kamen direkt in Gaze Käfige. So wie für die Larven geschildert, wurden auch 50 etwa sechs Wochen alte Puppen mit Substrat in Käfige gezählt. 50 Junge Falter ohne Substrat in weiten Glasgefäßen mit 40 mm Durchmesser und 105 mm Länge, an den Enden mit Baumwolltuch und Gummibändern verschlossen, dienten als Proben für dieses Entwicklungsstadium (Abb. 3).

**Brotkäfer.** Etwa 200 Imagines des Brotkäfers wurden zur Eiablage für zwei Wochen auf 150 ml Weizenkleie gesetzt. Nach Entnahme der Käfer wurden weitere 200 ml Weizenkleie und ein getrocknetes Brötchen hinzu gegeben.

50 bis zu einem Tag alte Eier des Brotkäfers wurden in ein Glasröhrchen (Ø: 11 mm, Länge: 15 mm) gezählt, das auf der einen Seite mit 0,3 mm-maschiger Nylongaze – bedeckt mit schwarzem Filz – und auf der anderen mit einem Gummistopfen verschlossen wurde (Abb. 2, rechts). Wie bei den Motteneiern wurden die Gläser in einen Drahtgazekäfig mit etwas Substrat gegeben. Je 50 Larven und Imagines wurden mit 5 ml Weizenkleie in einen später – wie oben beschrieben – verschlossenen Drahtgazekäfig gegeben (Abb. 2). Die Puppen des Brotkäfers sind sehr empfindlich gegen mechanischen Stress, wenn sie z.B. zum Auszählen aus den Verspinnungen entfernt werden. Deshalb wurden zur Puppengewinnung je 80 bis zu drei Tage alte Eier auf 5 ml Substrat in einen Drahtgazekäfig eingezählt. Die Käfige blieben vor dem Versuchseinsatz für ca. sechs Wochen bei 25 °C und 65% rel.



**Abb. 3.** Je 50 Testfalter der Dörrobstmotte in Glasgefäßen, oben quer die unbehandelten Kontrollen, unten zwei Tage nach der Kälteexposition bei -14 °C für 10 min, 30 min, 60 min, 120 min und 240 min (von li. nach re.). Verschluss beidseitig mit Baumwollstoffbindung und Gummibändern.

Feuchte, bis sich die Mehrzahl der unbehandelten Kontrolltiere in Puppen entwickelt hatte. Ohne weiteres Zählen der Puppen gelangten diese Käfige in die Untersuchungen. Nach der Exposition wurden schlüpfende Käfer in den geöffneten Käfigen als Überlebende gewertet. Die Versuche mit Puppen wurden im Gegensatz zu den anderen Versuchen neunmal wiederholt, die dazugehörigen unbehandelten Kontrollproben umfassten zwischen 9 und 18 Wiederholungen.

#### *Untersuchung und Bewertung*

Die Kühlversuche erfolgten in einem Laborkühlschrank (Rumed 3501, Rubarth Apparate GmbH, Laatzen, D), der mit einem PT100 – Wärmewiderstand mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  ausgestattet war. Um beim Türöffnen Verluste gekühlter Luft zu minimieren, wurde die Kühlkammer mit einem Plastikvorsatz abgedichtet, der gerade noch Raum für das Tablett mit den Testproben und den Dataloggern ließ (Abb. 4).

Folgende Bedingungen wurden mit biologischen Proben untersucht:

bei -10 °C: Einwirkzeiten: 30, 60, 120, 240 und 480 Minuten,

bei -14 °C: Einwirkzeiten: 10, 30, 60, 120 und 240 Minuten und

bei -18 °C: Einwirkzeiten: 5, 10, 30, 60 und 120 Minuten.

Die Proben wurden nach den jeweiligen Einwirkzeiten aus dem Kühlschrank genommen.

**Motten.** Die kleinen Käfige mit Motteneiern wurden nach der Behandlung in kleine Glasgefäße mit 2 ml Weizenkleie gegeben, die anschließend mit insektendichter Plastikcappe aber nicht gasdicht verschlossen wurden.



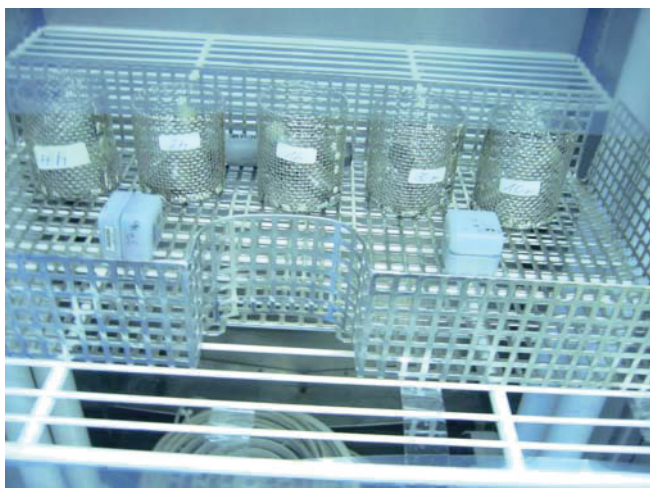


Abb. 4. Tablett mit fünf Testprobensätzen und zwei Dataloggern für die Kältebehandlung im Laborkühlschrank Rumed 3501.



Abb. 5. Larven des Brotkäfers, unbehandelte Kontrolle und nach letaler Kältebehandlung, jeweils 2 Tage nach Versuchsende.

Larvenschlupf aus diesen Eiern wurde als Überlebende gezählt. Kam es dagegen zu einer dunklen Verfärbung und zum Schrumpfen der Eier durch Wasserverlust, wurde dies nach sieben Tagen bei 25°C und 65 ± 5% rel. Feuchte als Mortalität gewertet. Larven und Weizenkleie wurden in Petrischalen deponiert. Puppen und ihr Substrat wurden jeweils in 200 ml Schraubdeckelgläser überführt. Bei Larven- und Puppenproben wurde jeweils der Falterschlupf zahlenmäßig erfasst. *P. interpunctella* Imagines blieben nach der Entnahme der Proben aus dem Kühlschrank in den mit Stoff verschlossenen Glasgefäßen. Alle adulten Testtiere wurden nach der Behandlung bei 25°C und 65 ± 5% rel. Feuchte gehalten und nach zwei Tagen auf Überlebende untersucht.

**Brotkäfer.** Eier des Brotkäfers wurden nach der Behandlung in kleine Petrischalen mit 35 mm Durchmesser überführt. Zur Validierung der Ergebnisse der Untersuchungen der Käfereier wurden weitere fünf Wiederholungen angesetzt. Die Anzahl der unbehandelten Kontrollproben wurde auf insgesamt 17 gesteigert. Ohne Zugabe weiteren Substrats wurden sie nach sieben und 14 Tagen bei 25°C und 65 ± 5% rel. Feuchte auf Larvenschlupf untersucht und die Larven gezählt. Im Falle der unbehandelten Kontrollproben wurden je 50 Eier direkt in kleine Petrischalen gezählt.

Larven wurden samt Substrat in kleine Petrischalen überführt und nach zwei und sieben Tagen auf Überlebende untersucht (Abb. 5). Da das Auszählen von Puppen vor den Versuchen zu hoher Mortalität geführt hatte, wurde über das Einzählen von 80 Eiern in Käfige, Vergleich mit der Entwicklung in unbehandelten Proben und entsprechend langes Warten ein eigenes Versuchsprogramm mit neun Wiederholungen für die getesteten fünf Einwirkzeiten bei den drei Temperaturen entwickelt. Die Puppen wurden nach Versuchsende vorsichtig mit dem Substrat aus den Käfigen genommen und in 200 ml Gläser mit Weizenkleie umgesetzt. Nach sieben und

14 Tagen wurden diese Proben auf geschlüpfte Imagines untersucht und zahlenmäßig erfasst.

Alle Versuchsergebnisse wurden im Verhältnis zu den lebenden Tieren in unbehandelten Kontrollproben in Mortalitätsprozente umgerechnet, wobei eine Korrektur nach ABBOTT (1925) für die abgestorbenen Tiere in der unbehandelten Kontrolle durchgeführt wurde. Für *S. paniceum* wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen errechnet und graphisch aufgetragen.

Mit den Ergebnissen für *P. interpunctella* wurden Regressionen für alle getesteten Bedingungen und Stadien durchgeführt und die  $Lt_{100}$  für diese Bedingungen berechnet (Tab. 1).

Die hier als  $Lt_{100}$  bezeichnete letale Dosis bezieht sich nach den Versuchsanstellungen jeweils auf 150 oder auch mehr Individuen. Streng genommen kann mit dieser Anzahl nur etwa eine 99%-ige, bzw. – wenn alle fünf getesteten Zeiten und die dreimalige Wiederholung einbezogen werden – maximal eine 99,9%-ige letale Dosis bestimmt werden. Die Daten wurden gegen die getesteten Temperaturen aufgetragen. Für die Abhängigkeit der  $Lt_{100}$  von der Temperatur im Bereich von –10°C bis –18°C wurden für die einzelnen Präimaginalstadien gut beschreibende e-Funktionen durch Excel berechnet. Mit TableCurve wurde auch für die Imagines eine entsprechende, etwas kompliziertere Funktion für die Abhängigkeit der  $Lt_{100}$  von der Temperatur berechnet.

## Ergebnisse

### *Stegobium paniceum*

Bei –10°C nahm die Sterblichkeit der Eier, Larven und Puppen des Brotkäfers mit wachsender Einwirkzeit insbesondere von 120 Minuten auf 480 Minuten deutlich zu (Abb. 6). Dennoch überlebten alle Stadien auch die längste geprüfte Einwirkzeit. Puppen erwiesen sich bei diesen Bedingungen als am empfindlichsten. Die Käfer

**Tab. 1. Mittelwerte der Mortalität mit Standardabweichung (Stabw) für alle Entwicklungsstadien der Dörrobstmotte *Plodia interpunctella* nach unterschiedlich langer Expositionszeit (EZ) bei  $-10^{\circ}\text{C}$  bis  $-18^{\circ}\text{C}$ ; mindestens drei Wiederholungen pro Mittelwert mit je 50 Individuen; Berechnung der 100%-ig letalen Einwirkzeit ( $Lt_{100}$ ) für die Stadien zu jeder getesteten Temperatur mit dem Regressionsprogramm TableCurve (Gleichungen 8013 bzw. 8074)**

	Mortalität in %							
	Eier	Stabw	Larven	Stabw	Puppen	Stabw	Imagines	Stabw
EZ(-10) in min								
30	1,1	1,8	32,1	16,0	23,9	21,3	15,0	18,6
60	6,3	4,8	54,3	14,5	25,0	15,3	17,0	10,1
120	46,7	28,2	57,7	17,4	67,9	14,9	96,9	3,8
240	79,9	7,4	97,3	2,3	97,7	4,0	100,0	0,0
480	98,9	1,8	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0
<b>Lt<sub>100</sub></b>								
<b>In min</b>	<b>503</b>		<b>373</b>		<b>315</b>		<b>257</b>	
EZ(-14) in min								
10	0	0	34	32,7	9	14,8	3	3,1
30	1	2	74	26,1	27	12,2	100	0,0
60	10	9	97	2,4	100	0,0	100	0,0
120	92	6	100	0,0	100	0,0	100	0,0
240	100	0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
<b>Lt<sub>100</sub></b>								
<b>In min</b>	<b>283</b>		<b>145</b>		<b>97</b>		<b>37</b>	
EZ(-18) in min								
5	1,8	3,6	42,2	10,1	14,4	10,2	0,0	0,0
10	4,9	9,8	83,2	8,8	42,0	17,4	9,4	5,7
30	69,1	30,6	100	0,0	100	0,0	100	0,0
60	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
120	100	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0
<b>Lt<sub>100</sub></b>								
<b>In min</b>	<b>70</b>		<b>36</b>		<b>34</b>		<b>24</b>	

waren mit nur ca. 5% Mortalität nach 480 Minuten Einwirkzeit erstaunlich widerstandsfähig.

Abb. 7 enthält die Ergebnisse der Untersuchungen bei  $-14^{\circ}\text{C}$ . Wiederum war für die Larven und Eier mit zunehmender Einwirkzeit eine Zunahme der Mortalität zu beobachten. Die Käfer hielten mit nur ca. 6% Mortalität dieser Kälte eine Stunde lang stand. Weitere Exposition führte nach 240 Minuten bei Larven, Puppen und Imagines zu vollständiger Abtötung der jeweils eingesetzten Versuchstiere. Ca. 10% der Eier überlebten 240 Minuten Einwirkzeit bei dieser Temperatur.

Weitere Abkühlung auf  $-18^{\circ}\text{C}$  führte in wesentlich kürzerer Einwirkzeit von 60 Minuten zu fast vollständiger Abtötung aller Individuen aller getesteten Stadien des Brotkäfers (Abb. 8). Bei kürzeren Einwirkzeiten waren wieder die Imagines das widerstandsfähigste Stadium, das auch nach 30 Minuten noch zu ca. 60% überlebte. Larven, Puppen und Eier starben nach dieser Einwirkzeit zu 99%, 85% bzw. 80% ab. Nach einer Stunde waren alle Testtiere der verschiedenen Stadien bis auf nur ca. 2%

der Eier tot. Die Verlängerung der Einwirkzeit um weitere 60 Minuten erhöhte die Abtötung der Eier um ein weiteres Prozent.

Fazit: Bei  $-10^{\circ}\text{C}$  reichte die längste getestete Einwirkzeit von 480 Minuten nicht zur Abtötung der Imagines und Entwicklungsstadien des Brotkäfers aus. Puppen waren am empfindlichsten, Imagines am widerstandsfähigsten.

Bei  $-14^{\circ}\text{C}$  führten 240 Minuten Einwirkzeit zur Abtötung aller Larven, Puppen und Imagines, die 120 Minuten alle noch in geringen Zahlen überlebt hatten. Einige Eier überlebten auch 240 Minuten Einwirkzeit bei dieser Temperatur.

Eine Stunde Einwirkzeit bei  $-18^{\circ}\text{C}$  reichte zur Abtötung von Larven, Puppen und Imagines dieses Käfers aus. Auch nach 120 Minuten Einwirkzeit blieb die Abtötung der Eistadien in Einzelfällen unvollständig. Während bei sechs Versuchsdurchläufen bereits 60 Minuten zu 100% Mortalität führten, überlebten einzelne Individuen in zwei Fällen auch 120 Minuten.

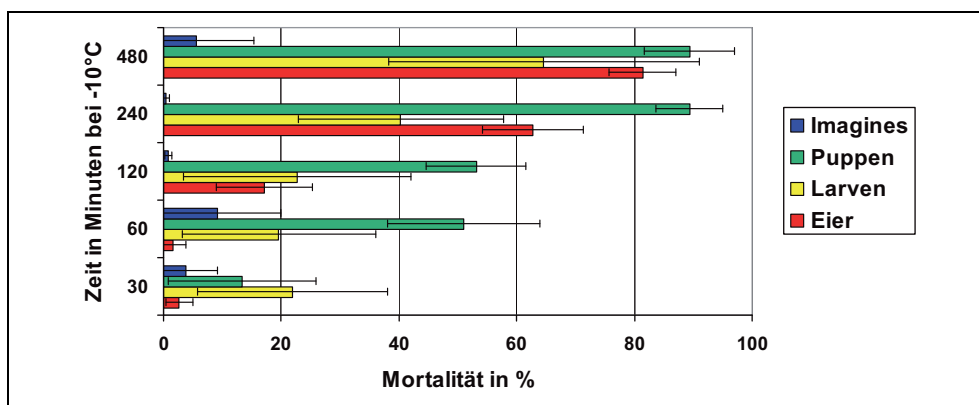


Abb. 6. Mittlere Mortalität mit Standardabweichungen der drei Entwicklungsstadien und Imagines des Brotkäfers *Stegobium paniceum* nach Exposition bei -10°C; drei Wiederholungen mit je 50 Individuen.

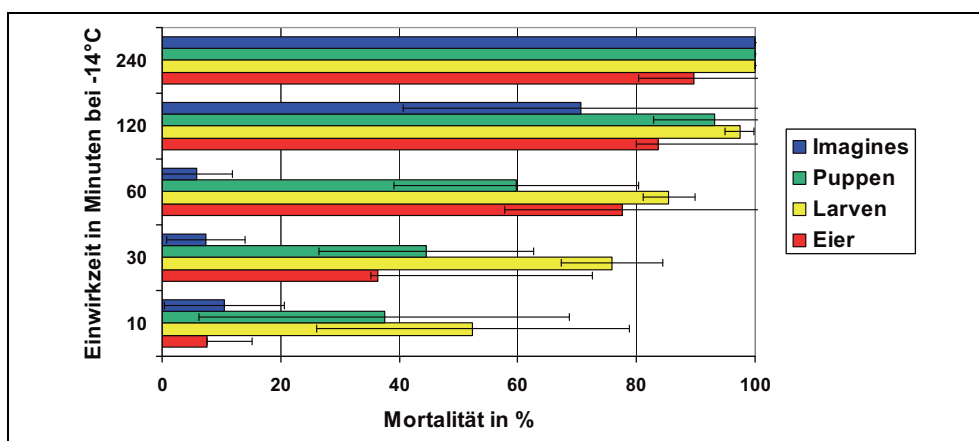


Abb. 7. Mittlere Mortalität mit Standardabweichungen der drei Entwicklungsstadien und Imagines des Brotkäfers *Stegobium paniceum* nach Exposition bei -14°C; drei Wiederholungen mit je 50 Individuen, bei Versuchen mit Puppen 9 Wiederholungen.

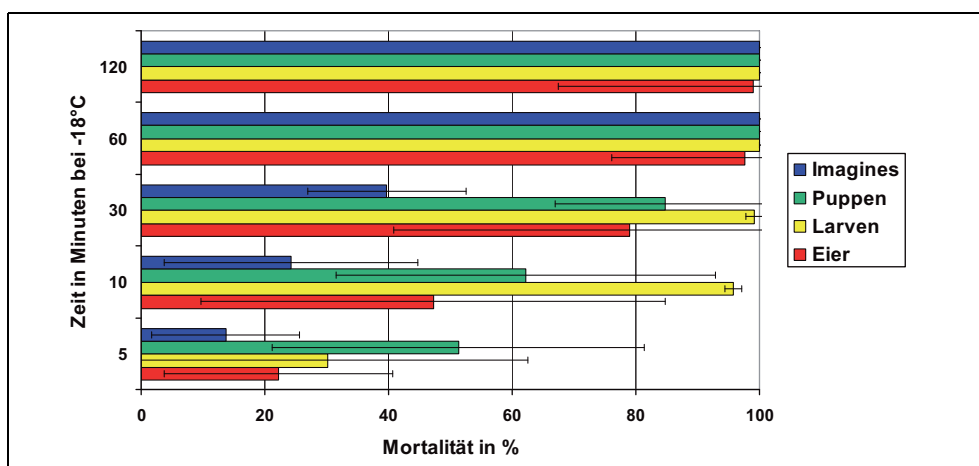


Abb. 8. Mittlere Mortalität mit Standardabweichungen der drei Entwicklungsstadien und Imagines des Brotkäfers *Stegobium paniceum* nach Exposition bei -18°C; drei Wiederholungen mit je 50 Individuen, bei Eiversuchen 12 Wiederholungen, bei Puppenversuchen 9 Wiederholungen.

Motten

Tab. 1 gibt alle Mortalitätsergebnisse mit Standardabweichungen im Überblick wieder. Die jeweils folgende Zeile auf die für jede Temperatur verschiedenen untersuchten Einwirkzeiten enthält die per nichtlineare Regression mit dem Programm TableCurve ermittelten letalen Einwirkzeiten ( $Lt_{100}$ ) für eine vollständige (100%ige) Abtötung der eingesetzten Stadien. Bei -10°C waren für eine vollständige Abtötung lediglich für die Eier etwas mehr als die gestesteten 480 Minuten erforderlich. Am

empfindlichsten erwiesen sich unter diesen Bedingungen die Imagines mit einer  $Lt_{100}$  von 257 Minuten, gefolgt von den Puppen mit 315 Minuten und den Larven mit 373 Minuten.

Diese Zeiten verkürzten sich bei Anwendung von -14°C auf 283 Minuten für die Eier, 145 Minuten für die Larven, 97 Minuten für die Puppen und nur 37 Minuten für die Imagines. -18°C waren am effektivsten von den drei getesteten Temperaturen. Eine halbe Stunde reichte für die Abtötung der Imagines aus. Die anderen Stadien

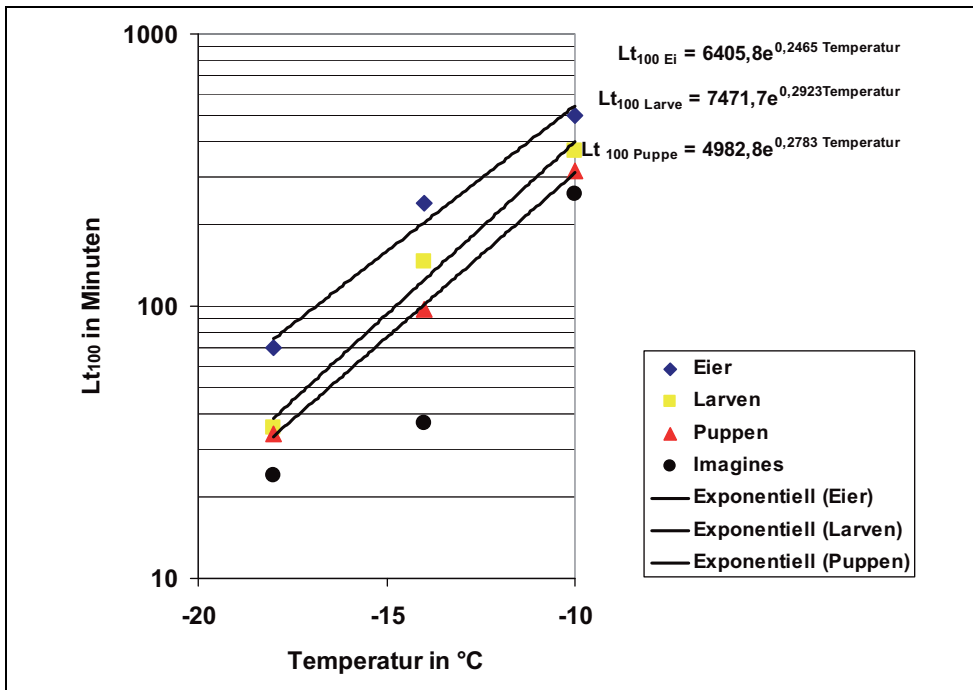


Abb. 9. Letale Einwirkzeit ( $Lt_{100}$ ) für eine vollständige Abtötung (100%) aller eingesetzten Individuen bei  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-14^{\circ}\text{C}$  und  $-18^{\circ}\text{C}$  für alle Entwicklungsstadien der Dörrobstmotte *Plodia interpunctella*; von Excel angegebene und in der Abbildung wiedergegebene Funktionen (Geraden im logarithmischen Maßstab der Ordinate) für den linearen Zusammenhang zwischen  $Lt_{100}$  und tiefer Expositionstemperatur für drei Stadien im geprüften Temperaturbereich.

widerstanden in der gleichen Reihenfolge etwas länger: 34 Minuten die Puppen, 36 Minuten die Larven und 70 Minuten die Eier.

In Abb. 9 sind die Ergebnisse zur  $Lt_{100}$  zusammengefasst wiedergegeben. Mit dem TableCurve-Programm wurde auch für die Imagines – wie mit Excel für die anderen Entwicklungsstadien der Dörrobstmotte – ein funktioneller Zusammenhang ermittelt:  $Lt_{100\text{Imago}} [\text{min}] = a + b e^{\text{Temperatur}}$ ; mit  $a = 28,4326$  und  $b = 5038647$  und dem Regressionskoeffizienten  $r^2 = 0,99885$ . Die logarithmische Darstellung der  $Lt_{100}$  gegen die Temperatur zeigt den nach der Ordinaten-Transformation linearen Zusammenhang für die Präimaginalstadien.

### Diskussion

Die Ergebnisse waren vermutlich etwas davon beeinflusst, dass entsprechend den Ergebnissen aus den mitgeführten Dataloggern etwa 15 Minuten vergingen, bevor die Tierproben auf die jeweilige Versuchstemperatur abgekühlt waren. Die tatsächlichen Einwirkzeiten zu den erzielten Mortalitäten waren dementsprechend wahrscheinlich etwas kürzer.

Bei  $-10^{\circ}\text{C}$  wurden die Stadien von *P. interpunctella* mit der längsten untersuchten Einwirkzeit von 8 Stunden nahezu abgetötet. In einer der drei Wiederholungen überlebten ein paar Eier. Deshalb sollten wahrscheinlich 10 bis 12 Stunden sichere Behandlungszeiten sein. Sicherheitshalber sollte dies aber vorher durch Experimente untermauert werden. Die Kälteadaptation kann die Kältetoleranz wesentlich vergrößern. Für jedes Entwicklungsstadium kann dieser Effekt unterschiedlich stark ausfallen. Unter ähnlichen Bedingungen fanden FIELDS und

TIMLICK (2010), dass das fünfte Larvenstadium von *P. interpunctella* nach 48 Stunden Einwirkzeit bei  $-10^{\circ}\text{C}$  zu 2% überlebte. Bei Kälteadaptation und Diapause erhöhte sich dieser Prozentsatz auf 12% nach 14-tägiger Exposition.

Stark kontrastierten zu diesen Daten mit der Dörrobstmotte die mit dem Brotkäfer bei  $-10^{\circ}\text{C}$  erzielten Ergebnisse; Imagines waren dabei am widerstandsfähigsten. Für dieses Stadium war keine offensichtliche Abhängigkeit zwischen Einwirkzeit und Mortalität erkennbar. In zwei von drei Proben trat nach 480 Minuten bei  $-10^{\circ}\text{C}$  keinerlei Mortalität auf! Die Mortalität bei den Ei- und Larvenstadien des Brotkäfers nahm dagegen deutlich mit der Einwirkzeit zu (Abb. 6). Daraus kann geschlossen werden, dass für eine vollständige Abtötung dieses Käfers bei  $-10^{\circ}\text{C}$  deutlich längere Einwirkzeiten erforderlich sind. RYAN (1995) berichtete über Kühlbehandlungen von Tabak gegen den Tabakkäfer *Lasioderma serricorne* (F.), einem engen Verwandten des Brotkäfers. Er beschrieb vollständige Abtötung des Tabakkäfers bei  $-10^{\circ}\text{C}$  nach 28-tägiger Behandlung. Aus Literaturdaten berechneten REICHMUTH et al. (2007) für den Tabakkäfer eine letale Einwirkzeit von 18–20 Tagen bei  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Bei  $-14^{\circ}\text{C}$  zeigten sich die Eier der Dörrobstmotte – wie bei den anderen Temperaturen auch – als besonders widerstandsfähig (Tab. 1). Nach 240 Minuten Einwirkzeit galt das auch für die Eier des Brotkäfers (Abb. 7). Eier von *P. interpunctella* besaßen nach Untersuchungen von CARRILLO und CANNON (2005) mit  $-24^{\circ}\text{C}$  den tiefsten Superkühlpunkt „supercooling point“ aller Stadien. Nach allen getesteten kürzeren Einwirkzeiten als 240 Minuten waren die Imagines des Brotkäfers z.B. mit ca. 29% Überlebenden nach 120 Minuten bei dieser Temperatur widerstandsfähiger als die Puppen mit ca. 7% Überleben-



den, die Eier mit ca. 16% Überlebenden und auch die Larven mit ca. 3% Überlebenden (vgl. Abb. 7). Nach 240 Minuten Kühlung veränderte sich die Reihenfolge der Widerstandsfähigkeit, alle Larven, Puppen und Imagines waren tot und ca. 10% der Eier (Abb. 7) überlebten. Dieses Ergebnis mag darauf hinweisen, dass mehrere verschiedene Faktoren den Kältetod der einzelnen Entwicklungsstadien von Insekten verursachen.

-18°C führten in 70 Minuten zum Tod der Eier von *P. interpunctella*. Die übrigen Stadien dieser Mottenart starben bereits nach etwa der Hälfte dieser Zeit ab. Eier des getesteten Käfers überlebten die 60-minütige Behandlung bei dieser Temperatur zu ca. 2%. Auch die längste, bei dieser Temperatur untersuchte Einwirkzeit von 120 Minuten überlebte noch etwa 1% der Versuchstiere. Mit noch weiteren Untersuchungen kann die  $L_{t100}$  besser bestimmt werden. Mehr als 50% der Käfer – mehr als jedes andere Stadium – überlebten eine 30-minütige Tiefkühlung bei -18°C. Bei längerer Einwirkzeit von 60 und 120 Minuten waren alle Käfer tot.

DOHINO et al. (1999) verglichen den Tiefkühleffekt auf diverse vorratsschädliche Käfer und Motten einschließlich *P. interpunctella*. Auch bei ihnen erwiesen sich die Motteneier als besonders widerstandsfähig. IMAI und HARADA (2006) untersuchten Tiefkühlbehandlungen bei verschiedenen Temperaturen gegen den Tabakkäfer *L. serricornis* und fanden, dass bei -15°C Eier nicht kälteadaptierter Käfer besonders widerstandsfähig waren und erst nach 5 Stunden Einwirkzeit abstarben. Dagegen beschrieben ABDELGHANY et al. (2010), dass Imagines und nicht Eier das kältewiderstandsfähigste Entwicklungsstadium seien. Streuungen in der Kältewiderstandsfähigkeit von Insekteneiern könnten womöglich auch von deren Alter und innerem Entwicklungsgrad abhängen. Die Motteneier der vorliegenden Studie waren 0–24 Stunden alt und damit recht jung. Die Eier der Brotkäfer waren 0 bis drei Tage alt.

Aus den vorgestellten Ergebnissen kann geschlossen werden, dass der Brotkäfer widerstandsfähiger gegen tiefe Temperaturen ist als die Dörrobstmotte. Verglichen mit den anderen Entwicklungsstadien erscheinen junge Eier besonders tolerant gegen niedrige Temperaturen von -10°C, -14°C und -18°C.

Tieffrosten mit flüssigem Stickstoff erscheint als besonders effektiv, weil dabei die äußeren Partien der gekühlten Ware noch tiefer abkühlen, bis im Zentrum der Ware die angestrebten -18°C erreicht sind. Messtechnische Erfassung der Temperaturcharakteristik beim Abkühlen und Aufwärmen zusammen mit eingebrachten und wieder entnommenen Tierproben unterstützt den Nachweis der Zuverlässigkeit dieser Methode zur Schädlingsbekämpfung.

## Danksagung

Unserer Assistentin Frau Katrin HEINDORF danken wir für die Durchführung der Versuche und die Datenaufbereitung.

## Literatur

- ABBOTT, W.S., 1925: A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology* **18**, 265-267.
- ABDELGHANY, A., S.S. AWADALLA, N.F. ABDEL-BAKY, H.A. EL-SYRAFI, P.G. FIELDS, 2010: The control of the drugstore beetle, *Stegobium paniceum* (Coleoptera: Anobiidae) with high and low temperatures. In: CARVALHO, O.M., P.G. FIELDS, C.S. ADLER, F.H. ARTHUR, C.G. ATHANASSIOU, J.F. CAMPBELL, F. FLEURAT-LESSARD, P.W. FLINN, R.J. HODGES, A.A. ISIKBER, S. NAVARRO, R.T. NOYES, J. RIUDAVETS, K.K. SINHA, G.R. THORPE, B.H. TIMLICK, P. TREMATERRA, N.D.G. WHITE (Eds.): Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Working Conference of Stored Product Protection, 27 June – 2 July 2010 in Estoril, Portugal. *Julius-Kühn-Archiv* **425**, 671-672.
- ADLER, C.S., 2010: Low temperature to control *Plodia interpunctella* and *Stegobium paniceum*. In: CARVALHO, O.M., P.G. FIELDS, C.S. ADLER, F.H. ARTHUR, C.G. ATHANASSIOU, J.F. CAMPBELL, F. FLEURAT-LESSARD, P.W. FLINN, R.J. HODGES, A.A. ISIKBER, S. NAVARRO, R.T. NOYES, J. RIUDAVETS, K.K. SINHA, G.R. THORPE, B.H. TIMLICK, P. TREMATERRA, N.D.G. WHITE (Eds.): Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Working Conference of Stored Product Protection, 27 June – 2 July 2010 in Estoril, Portugal. *Julius-Kühn-Archiv* **425**, 608-613.
- BURKS, C.S., J.A. JOHNSON, D.E. MAIER, J.W. HEAPS, 2000: Temperature. In: SUBRAMANYAM, B., D.W., HAGSTRUM (Eds.): Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM. New York, USA, Kluwer Academic, 73-104.
- CARRILLO, M.A., C.A. CANNON, 2005: Supercooling point variability in the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Stored Products Research* **41**, 556-564.
- CHAUDRY, M.Q., 1999: A review of the mechanisms involved in the action of phosphine as an insecticide and phosphine resistance in stored-product insects. *Pest Management Science* **49**, 213-228.
- COLLINS, P.J., 2006: Resistance to chemical treatments in insect pests of stored grain and its management. In: LORINI, I., B. BACALITCHUK, H. BECKEL, D. DECKERS, E.d.S.J.P. SUNDFELD, J.D. BIAGI, J. C. CELARO, L.R.D.A. FARONI, L.D.O.F. BORTOLINI, M.R. SARTORI, M.C. ELIAS, R.N.C. GUEDES, R.G. DA FONSECA, V.M. SCUSSEL (Eds.): Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Working Conference on Stored Product Protection, 15–18 October 2006 in Campinas, Brazil. Brazilian Post-harvest Association, Campinas, Brazil, 277-282.
- DAVID, M.H., R.B. MILLS, N.D.G. WHITE, 1977: Effects of low temperature acclimation on developmental stages of stored-product insects. *Environmental Entomology* **6**, 181-184.
- DOHINO, T., S. MASAKI, I. MATSUOKA, M. TANNO, T. TAKANO, 1999: Low temperature as an alternative to fumigation for disinfesting stored products. *Research Bulletin of the Plant Protection Service Japan* **35**, 5-14.
- EVANS, D.E., 1987: The survival of immature grain beetles at low temperatures. *Journal of Stored Products Research* **23**, 79-83.
- FIELDS, P.G., 1992: The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research* **28**, 89-118.
- FIELDS, P.G., B. TIMLICK, 2010: The effect of diapause, cold acclimation and ice-nucleating bacteria on the cold-hardiness of *Plodia interpunctella*. In: CARVALHO, O.M., P.G. FIELDS, C.S. ADLER, F.H. ARTHUR, C.G. ATHANASSIOU, J.F. CAMPBELL, F. FLEURAT-LESSARD, P.W. FLINN, R.J. HODGES, A.A. ISIKBER, S. NAVARRO, R.T. NOYES, J. RIUDAVETS, K.K. SINHA, G.R. THORPE, B.H. TIMLICK, P. TREMATERRA, N.D.G. WHITE (Eds.): Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Working Conference of Stored Product Protection, 27 June – 2 July 2010 in Estoril, Portugal. *Julius-Kühn-Archiv* **425**, 647-653.
- HAGSTRUM, D.W., P.W. FLINN, 1994: Survival of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae) in stored wheat under fall and winter temperature conditions. *Environmental Entomology* **23**, 391-395.
- IMAI, T., H. HARADA, 2006: Low-temperature as an alternative to fumigation to disinfest stored tobacco of the cigarette beetle, *Lasioderma serricornis* (F.) (Coleoptera: Anobiidae). *Applied Entomology and Zoology* **41**, 87-91.
- LASSERAN, J.C., F. FLEURAT-LESSARD, 1990: Aeration of grain with ambient or artificially cooled air: a technique to control weevils in temperate climates. In: FLEURAT-LESSARD, F., P. DUOCOM (Eds.): Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Working Conference on Stored-Product Protection, 9–14 September 1990 in Bordeaux, France, Volume 2. Bordeaux, France, Institut National de la Recherche Agronomique, 1221-1230.
- RYAN, L., (Ed.), 1995: Post-harvest Tobacco Infestation Control. London, UK, Chapman and Hall.
- REICHMUTH, C., M. SCHÖLLER, C. ULRICHS, 2007: Stored Product Pests in Grain. Bonn, Germany, AgroConcept Publishing Company, 170 pp.