

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem**

Heft 205

Dezember 1981



**Mottenbefall an Süßwaren - Entwicklung eines
Kühlverfahrens zur Bekämpfung von Eiern der
Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella*)**

Von

Heidemarie Stratil und Dr. Christoph Reichmuth

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für Vorratsschutz, Berlin-Dahlem

Berlin 1981

*Herausgegeben
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem*

Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61

ISSN 0067-5849

ISBN 3-489-20500-6

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Stratil, Heidemarie:

Mottenbefall an Süßwaren – Entwicklung eines Kühlverfahrens zur Bekämpfung von Eiern der Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella*) / von Heidemarie Stratil u. Christoph Reichmuth. Hrsg. von d. Biolog. Bundesanst. für Land- u. Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. – Berlin; Hamburg: Parey [in Komm.], 1981.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 205)

NE: Reichmuth, Christoph.; Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin, West; Braunschweig:

Mitteilungen aus der . . .

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, die für jedes vervielfältigte Blatt 0,40 DM beträgt.

1981 Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, Lindenstraße 44–47, D-1000 Berlin 61, Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, 1000 Berlin 62. Buchbinder: C.F. Walter, 1000 Berlin 61.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Bemerkungen zur Biologie der Dörrobstmotte (<i>Plodia interpunctella</i> Hbn.).....	7
3. Artenspektrum vorratsschädlicher Motten in Süßwarenfabriken	11
4. Wie kommt es in der Fabrik zu Mottenbefall an Süßwaren	17
4.1 Befallene Rohware	17
4.2 Überleben von Insekten bei der Verarbeitung befallener Rohware	17
4.3 Neubefall von Zwischen- und Fertigprodukten	18
5. Kühllagermöglichkeiten bei Süßwarenherstellern	20
6. Abkühlverhalten von palettierten Süßwarengebinden	22
6.1 Messungen in einer Schokoladenfabrik	23
6.2 Abkühlung von Süßwarengebinden unter stan- dardisierten Laborbedingungen	24
7. Kälteversuche mit Dörrobstmotteneiern	27
7.1 Kälteempfindlichkeit verschieden alter Dörrobst- motteneier (<i>Plodia interpunctella</i> Hbn.) im Temperaturbereich von +1°C bis +14°C	27
7.2 Einfluß der Vorbrüttemperatur auf die Kälte- empfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern	34
7.3 Einfluß allmählicher Abkühlung auf die Abtötung von Dörrobstmotteneiern durch eine Kältebehandlung ...	36
7.4 Kälteempfindlichkeit von Eilarven der Dörr- obstmotte	40
8. Zusammenfassende Bemerkungen für die Praxis	41

Zusammenfassung	45
Summary	45
Danksagung	46
Literaturverzeichnis	47
Abbildungen	

1. Einleitung

An Süßwaren, Dauerbackwaren und Knabberartikeln kommt es immer wieder zu Befall durch vorratsschädliche Motten (HEDDERGOTT 1974, LEHMENSICK u. LIEBERS 1938, v. SCHELHORN 1956, ZACHER 1926a, b). Die Schädlinge werden häufig mit befallenen Rohwaren in die Fabriken eingeschleppt und, wenn einige bis in die Herstellungsräume vordringen können, dann legen sie dort ihre Eier auf den fertigen Produkten ab. Nicht jeder Mottenbefall an Süßwaren stammt jedoch aus dem Herstellungswerk, vielfach findet der Befall auch erst auf dem Vertriebsweg oder beim Konsumenten statt. Dieser nachträgliche Befall wird am geeignetesten durch eine möglichst insektendichte Verpackung verhindert (SCHMIDT 1979, WOHLGEMUTH 1979).

Auf Süßwaren - insbesondere auf nuß- und mandelhaltigen Produkten - ist die Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella*) z.Zt. der wirtschaftlich wichtigste Schädling, es treten aber auch die häufig mit Kakaobohnen eingeschleppte Tropische Speichermotte (*Ephestia cautella*) sowie die in Deutschland auch in bäuerlichen Betrieben und Getreidelägern lebende Speichermotte (*Ephestia elutella*) auf.

Bis zum Verkauf an den Verbraucher entwickeln sich an den Süßwaren abgelegte Motteneier zu großen Larven, die an den Lebensmitteln fressen und sie mit ihren Exkrementen, Gespinsten und Exuvien verunreinigen. Die so befallenen Packungen erregen beim Kunden Ekel. Die Hersteller dieser Waren sind nicht so sehr aufgrund finanzieller Verluste durch Ersatzlieferung für reklamierte Packungen betroffen als vielmehr durch die Schädigung ihres Firmenrenomées bei den Kunden.

Der Einsatz von Insektiziden gegen vorratsschädliche Insekten auf Lebensmitteln ist wegen der Gefahr der Rückstandsbildung auf den behandelten Produkten problematisch und besonders zur Bekämpfung von Befall an verpackter Fertigware ungeeignet. Da jedoch viele Süßwarenhersteller ihre wärmeempfindlichen Fertigwaren zunächst in Kühllägern zwischenlagern und die Eier der ursprünglich in wärmeren Ländern heimischen Dörrobstmotte relativ

kälteempfindlich sind, bietet sich eine Kältebehandlung aller Fertigprodukte für ein nichtchemisches und somit rückstandsfreies Bekämpfungsverfahren an. Vereinzelt tote Eier auf den Süßwaren sind weder geschmacklich noch visuell wahrnehmbar und können als Ausnahmefälle toleriert werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollten für Eier der Dörrobstmotte praxisgerechte Kältebedingungen ermittelt werden, die möglichst ohne wesentlich höheren Energieaufwand als bisher aber dennoch mit hoher Sicherheit alle Motteneier abtöten.

Literaturrecherchen zur Lebensweise der Dörrobstmotte sowie Untersuchungen über die speziellen Befallsbedingungen in Süßwarenfabriken sollen einen Einblick in die Komplexität des Problems vermitteln. Für eine praxisgerechte Lösung mußten die besonderen Bedingungen, die sich aus dem betriebstechnischen Ablauf bei der Herstellung, Verpackung und Einlagerung von Süßwaren ergeben, besonders berücksichtigt werden.

2. Bemerkungen zur Biologie der Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella* Hbn.)

Die Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella* Hbn.) ist ein kosmopolitisch auftretender Vorratsschädling; unter anderem ist sie in Deutschland, England, Griechenland, Spanien, Portugal, Zypern, Marokko, Türkei, Kalifornien, auf den Bahamas, in Australien, Afrika und in Japan gemeldet worden (BRAASCH 1972, FREEMAN 1974, HEINRICH 1956, HERMS 1917, HILL 1928, HOPPE u. LEVINSON 1979, KAZUI 1919, POTTER 1935, PREVETT 1971, TSUJI 1960, TZANAKAKIS 1959 und ZACHER 1950). LEHMENSICK und LIEBERS (1938) sowie STRÜMPFEL (1969) nehmen an, daß sie ursprünglich in wärmeren Gebieten beheimatet war und erst mit dem Handel verbreitet wurde. WILLIAMS (1964) gibt an, daß Dörrobstmottenbefall an Importgütern aus 50 Ländern in allen Erdteilen gefunden wurde.

Im mitteleuropäischen Klimagebiet kommt die Dörrobstmotte in geschlossenen Räumen, wie z.B. Lagern und Fabriken, vor. Befall von Lebensmittel-verarbeitenden Betrieben erfolgt entweder durch Einlagerung befallener Waren oder durch Falterzuflug von in der Nähe liegenden Lagerräumen und Einzelhandelsbetrieben.

Dörrobstmotten sind extrem polyphag, ihre Larven fressen außer an Getreide, Trockenfrüchten, Nüssen, Kakaobohnen und Halb- und Fertigwaren aus diesen Rohstoffen auch an Sämereien, Gewürzen und Drogen (RICHARDS u. THOMSON 1932, WILLIAMS 1964, ZACHER 1950). Die Falter nehmen keine feste Nahrung auf; Flüssigkeitsaufnahme verlängert jedoch ihre Lebensdauer und erhöht die Eilegerate der Weibchen.

Die Größe der Dörrobstmottenfalter wird vom Futtersubstrat und der Aufzuchttemperatur der Larven beeinflußt (ZACHER 1950). HEINRICH (1956) gibt Flügelspannweiten zwischen 16 und 20 mm an, NOYES (1930) zwischen 12 und 15 mm. Die Spitzen der Vorderflügel sind rotbraun mit einem breiten hellgrauen bis ocker-gelben Querband am Thoraxansatz. Bei älteren Motten ist dieses für die Art charakteristische Muster oft nicht mehr erkennbar, da diese Zeichnung von Schuppen hervorgerufen wird, die nach einiger Zeit durch die heftigen Bewegungen der Flügel verloren gehen können.

Die weiblichen Dörrobstmotten legen nur nach Begattung durch Männchen entwicklungsfähige Eier. Unbegattete Weibchen legen zwar vereinzelt auch Eier ab, aus denen aber keine Larven schlüpfen (LEHMENSICK u. LIEBERS 1938).

Die Anzahl der abgelegten Eier pro Weibchen ist abhängig vom Futtersubstrat der Elterngeneration. HASSAN et al. (1962) geben für Dörrobstmottenweibchen, die auf Getreide gezogen wurden, als Durchschnitt ca. 53 Eier und als Maximum 211 Eier an. ZACHER (1938) beobachtete eine wesentlich höhere Eizahl bei einer Dörrobstmottenzucht auf Walnüssen; die durchschnittliche Anzahl Eier/Weibchen lag hier bei 431.

Die Dörrobstmotteneier sind ca. 0,5 mm lang, 0,3 mm breit und haben die Form eines Ellipsoids (MÜLLER 1938). Die Entwicklungsdauer der Eier bis zum Larvenschlupf ist temperaturabhängig. HASSAN et al. (1962) geben die mittlere Inkubationszeit bei Temperaturen, die zwischen 25°C und 30°C schwankten, mit 2,9 Tagen an mit einer Schwankungsbreite zwischen 1 und 6 Tagen. WOHLGEMUTH (1976) untersuchte die Entwicklungsdauer bei Temperaturen von +16°C bis +28°C; er beobachtete bei +28°C eine durchschnittliche Entwicklungszeit von ca. 3 Tagen und bei +16°C von ca. 42 Tagen.

Die Larven fressen an Lebensmitteln und hinterlassen dabei Spinnfäden, Exkreme und Exuvien. Befallene Fertigwaren sind für den menschlichen Verzehr ungeeignet. Auch die Rohware leidet durch Mottenbefall erheblich, weil sich Exkreme, Exuvien und tote Tiere ansammeln; außerdem verkleben die Waren durch Spinnfäden. Bei starkem Befall muß die Rohware vernichtet werden.

Die Larven häuten sich vier- bis sechsmal (MILES 1933). Das letzte Larvenstadium, die sogenannte Wanderlarve, verläßt meist das Futtersubstrat und sucht nach einem geeigneten Ort, wie z.B. einer Wandspalte, um sich dort einzuspinnen. Im Kckon entwickelt sich die Larve zunächst zur Puppe und dann zum Falter.

Bei bestimmten klimatischen Bedingungen während der Larvenentwicklung - bei Dörrobstmotten sind dies eine kurze Photoperiode (Tageslichtdauer) und ein Absinken der Temperatur (BELL 1976,

BELL u. WALKER 1973, TZANAKAKIS 1959) - kann die ausgewachsene, verpuppungsreife Larve zunächst in ein Ruhestadium, das Diapausestadium übergehen. Diapausierende Larven können die für andere Entwicklungsstadien letalen Wintertemperaturen in ungeheizten Lägern überleben (TZANAKAKIS 1959, ZACHER 1950) und sind auch gegen chemische Bekämpfungsmittel besonders widerstandsfähig (BELL 1977). In ungeheizten Räumen treten im mitteleuropäischen Klimabereich nach ZACHER (1950) 1 bis 3 Generationen auf, meist 2 Generationen (BRAASCH 1972). Die Wanderlarven der 2. Generation treten in das Diapausestadium ein und entwickeln sich erst im nächsten Frühjahr weiter. In geheizten Räumen kann der Entwicklungszyklus in wenigen Wochen vollendet sein und die Generationen folgen entsprechend schnell aufeinander ohne Verzögerung durch Ruhestadien.

Der vollständige Entwicklungszyklus von der Eiablage bis zum Falterschlupf kann nach Angaben von SILHACEK u. MILLER (1972) bei $+30^{\circ}\text{C}$ bereits nach 18 Tagen abgeschlossen sein. HASSAN et al. (1962), LEHMENSICK u. LIEBERS (1938), TOSI (1929) und ZACHER (1950) geben $+26^{\circ}\text{C}$ als optimale Entwicklungstemperatur an, bei der sie - allerdings auf anderen Futtersubstraten als SILHACEK u. MILLER - eine Entwicklungsdauer von ca. 30 Tagen beobachteten. Das Temperaturoptimum für die Entwicklungsgeschwindigkeit ist nach ZACHER (1939) nicht gleichzeitig auch das Optimum für eine Massenvermehrung. Er nimmt an, daß bei diesen Temperaturen bereits Schädigungen eintreten; die größte Massenentwicklung erwartet er bei Temperaturen zwischen $+20^{\circ}\text{C}$ und $+24^{\circ}\text{C}$. HOWE (1965) dagegen gibt $+28^{\circ}\text{C}$ bis $+32^{\circ}\text{C}$ als den für die Vermehrung günstigsten Temperaturbereich an.

Bei niedrigen Temperaturen dauert der gesamte Entwicklungszyklus sehr lange, bei $+12,9^{\circ}\text{C}$ sollen es bis zu 285 Tage sein (TOSI 1929). Eine bei diesen Temperaturen eingeschobene Diapause kann diese Zeit noch verlängern.

Die Angaben für den unteren Temperaturgrenzwert, bis zu dem Dörrobstmotten sich entwickeln können, schwanken beträchtlich. TOSI gibt den Entwicklungsnullpunkt mit $+11,1^{\circ}\text{C}$ an, während HOWE (1965) ihn eher bei $+18^{\circ}\text{C}$ vermutet.

Eines der empfindlichsten Entwicklungsstadien ist das Ei, in dem während der Entwicklung erhebliche physiologische und morphologische Veränderungen vor sich gehen (MÜLLER 1938, MASCHLANKA 1938). HASSAN et al. (1962) beobachteten bei Eiern eines ägyptischen Dörrobstmottenstammes schon bei $+18^{\circ}\text{C}$ keinen Larvenschlupf mehr. BELL (1975) berichtete, daß sich Eier eines englischen Dörrobstmottenstammes bei $+15^{\circ}\text{C}$ nicht bis zum Schlupf weiterentwickelten, sondern noch als Eier abstarben. Nimmt man bei WOHLGEMUTHs Untersuchungen (1976) über die Entwicklungsgeschwindigkeiten von Dörrobstmotteneiern bei unterschiedlichen Temperaturen eine lineare Beziehung auch für den unteren Temperaturgrenzbereich an, so war der Entwicklungsstillstand bei $+14^{\circ}\text{C}$ erreicht. In eigenen Versuchen fand in Übereinstimmung mit WOHLGEMUTHs Ergebnissen bei einem deutschen Stamm unterhalb von $+14^{\circ}\text{C}$ kein Larvenschlupf mehr statt. ZACHER (1939) beobachtete, daß auch die Eiablage nur bei Temperaturen über $+14^{\circ}\text{C}$ erfolgte.

Abweichende Werte für den Entwicklungsnullpunkt von Dörrobstmotteneiern können unter anderem auch durch unterschiedliche Zuchttemperaturen der Elterngeneration bedingt sein. So gibt ZACHER (1939) an, daß Dörrobstmottenweibchen bereits bei Temperaturen von durchschnittlich $+16^{\circ}\text{C}$ bis $+17^{\circ}\text{C}$ derart geschädigt wurden, daß sie keine entwicklungsfähigen Eier ablegten.

Bei Temperaturen von $+35^{\circ}\text{C}$ und höher waren Dörrobstmotteneier bei Untersuchungen von HASSAN et al. (1962) ebenfalls nicht mehr entwicklungsfähig. ZACHER (1950) schrieb, daß sogar schon bei $+32^{\circ}\text{C}$ kein Larvenschlupf mehr auftrat, obwohl sich die Embryonen in den Eihüllen noch entwickeln konnten; oberhalb von $+32^{\circ}\text{C}$ wurden nach ZACHERs Angaben (1939) keine Eier mehr gelegt.

Zusammenfassung:

Die Dörrobstmotte ist ein kosmopolitischer Schädling und tritt auf vielen Lebensmitteln und deren Rohwaren auf. Im mitteleuropäischen Klimabereich können sich in ungeheizten Lagerräumen meist 2 Faltergenerationen im Jahr entwickeln. In geheizten Räumen können Dörrobstmotten ihren Entwicklungszyklus bei optimalen Bedingungen bereits innerhalb von 18 Tagen durchlaufen.

Unterhalb von ca. $+15^{\circ}\text{C}$ ist eine vollständige Entwicklung nicht mehr möglich; vor allem die Eier reagieren sehr empfindlich auf niedrige Temperaturen.

3. Artenspektrum vorratsschädlicher Motten in Süßwarenfabriken

Vorratsschädliche Motten werden häufig mit befallenen Rohwaren eingeschleppt, so z.B. die Tropische Speichermotte (Epehestia cautella Walk.) mit Kakaobohnen und die Dörrobstmotte (Plodia interpunctella Hbn.) mit Nüssen und Trockenfrüchten. Speichermotten (Epehestia elutella Hbn.), Mehlmotten (Epehestia kühniella Zell.) und Dörrobstmotten können in mitteleuropäischen Klimaverhältnissen auch in ungeheizten Räumen im Winter überleben und daher auch von außen in die Fabriken zufliegen. Die Tropische Speichermotte überlebt und entwickelt sich in ungeheizten Räumen nur im Sommer.

Die drei Epehestia-Arten sind mit bloßem Auge kaum zu unterscheiden. Junge Dörrobstmottenfalter können auf Grund ihrer charakteristischen Flügelzeichnung leicht von den anderen Mottenarten unterschieden werden; nach einigen Tagen aber verlieren die Falter einen Teil ihrer Flügelschuppen und das Muster verblaßt. Die älteren Dörrobstmottenfalter ähneln dann in ihrem Aussehen den Epehestia-Arten. Von Praktikern werden die Motten wegen der schwierigen Artbestimmung häufig ohne Rücksicht auf die wissenschaftliche Nomenklatur nach den Vorratsgütern bezeichnet, auf denen sie vorwiegend auftreten, z.B. Motten auf Trockenfrüchten als Dörrobstmotten und auf Kakaobohnen als Kakaomotten. Da diese Mottenarten jedoch unterschiedliche ökologische Bedingungen zum Überleben und Vermehren benötigen, sollte vor einer Beurteilung der Befallssituation sowie der adäquaten Gegenmaßnahmen zuerst die Schädlingsart bestimmt werden.

Die Speichermotte (Epehestia elutella) wurde von ZACHER (1926a,b) als der Hauptschädling in der Süßwarenindustrie angesehen. In Untersuchungen von 1938 bis 1942 (ZACHER 1960) waren von insgesamt 30 eingesandten Süßwarenreklamationen 16 mit Speichermotten, 11 mit Dörrobstmotten, 6 mit Mehlmotten und 4 mit Tropischen Speichermotten befallen. Auf Rohstoffen war jedoch die Dörrobst-

motte wesentlich häufiger vertreten; so waren von insgesamt 39 Schadensfällen 20 auf Dörrobstmotten zurückzuführen.

Durch die Weiterentwicklung der Technik bei Transport, Lagerung und Verarbeitung der Rohwaren und die Erschließung weiterer Erzeugerländer kann sich das Schädlingsspektrum in den Süßwarenfabriken und bei reklamierten Fertigwaren verändern. Neuere Untersuchungen von BRAASCH (1972) und HOPPE u. LEVINSON (1979) zeigten, daß in den Süßwarenfabriken und deren Rohwarenlägern Dörrobstmotten, Speichermotten und Tropische Speichermotten auftraten, jedoch keine Mehlmotten. In den warmen Produktionsräumen wurden nur sehr wenige Falter gefangen, so daß kein Rückschluß auf das anteilmäßige Vorkommen der einzelnen Arten möglich ist. BRAASCH nahm jedoch an, daß die wärmeliebende Dörrobstmotte häufiger in diese Räume vordringt als die Speichermotte.

In eigenen Versuchen mit pheromonbeköderten Klebefallen wurden in einer Schokoladenfabrik und deren Umgebung zunächst ausschließlich Dörrobstmotten gefangen. Bei späteren Untersuchungen in anderen Betrieben wurden jedoch auch immer wieder Speichermotten und Tropische Speichermotten gefunden.

Die Artenhäufigkeit auf Fertigprodukten wurde anhand von Untersuchungen an Süßwaren, die von Konsumenten wegen Schädlingsbefalls reklamiert worden waren, ermittelt.

Wenn die Ware noch lebenden Befall enthielt, konnte der Befallszeitpunkt grob bestimmt werden. Hierzu wurden Erfahrungswerte über die Entwicklungsgeschwindigkeiten in ungeheizten Lagerräumen herangezogen. Dabei konnte davon ausgegangen werden, daß die Ware nicht länger in einem Kühllager gelegen hatte, da der Befall sonst kaum überlebt hätte. In stark geheizten Räumen werden Süßwaren schon aus Gründen der Qualitätserhaltung nicht für längere Zeit gelagert.

In unserem Klimabereich dauert die Entwicklung vom Ei bis zum Falter in nicht klimatisierten Räumen im Sommer ca. 2 Monate, in den kälteren Jahreszeiten wesentlich länger. In der Regel erfolgt der Befall durch Eiablage von Faltern oder aber auch durch Eindringen von Eilarven in die Packungen. Ältere Larven verlassen ihr Nahrungssubstrat erst wieder als ausgewachsene, verpuppungs-

reife Larven (sog. Wanderlarven).

Die Artbestimmung der Motten wurde entweder an den Larven aufgrund der Beborstung und Lage der Stigmen (nach HINTON, 1943) oder aber bei Faltern durch Präparation und mikroskopische Betrachtung der Genitalorgane (nach ROESLER, 1966) durchgeführt. In der Tabelle 1 sind die Anzahlen der Reklamationen aufgeführt, die auf die verschiedenen Mottenarten entfallen. Durch Vergleich des grob bestimmten Befallsdatums mit dem Herstellungsdatum konnte in vielen Fällen geklärt werden, ob der Befall bereits in der Fabrik während der Herstellung oder aber erst längere Zeit später auf dem Vertriebsweg stattgefunden hatte.

Viele tote Motten konnten wegen ihres schlechten Zustandes nicht mehr bestimmt werden, die überwiegende Anzahl der noch bestimm- baren Motten waren Dörrobstmotten. Mehrere reklamierte Packun- gen waren jedoch auch mit Speichermotten oder Tropischen Spei- chermotten befallen. Nur in einer Packung wurden Mehlmotten (Ephesia kühniella) festgestellt; dieser Befall war jedoch erst längere Zeit nach der Produktion eingetreten, also wahrschein- lich auf dem Vertriebsweg. Bei Dauerbackwaren kann dieser Schäd- ling eine wesentlich wichtigere Rolle spielen als bei Schokola- denerzeugnissen, da er häufig in Mühlen und auf verschiedenen Getreideprodukten vorkommt. Nur eine von 68 Süßwarenreklamatio- nen war nicht von Motten verursacht; es handelte sich in diesem Falle um Larven eines Käfers (Trogoderma angustum), der auch häufig in Privathaushalten vorkommt.

Für einen Teil der mit Dörrobstmotten bzw. Tropischen Speicher- motten befallenen Waren war vermutlich die Fabrik der Befalls- ort, während der Befall durch Speichermotten in 4 von 5 Fällen erst längere Zeit nach der Herstellung eintrat. Allgemein muß aber auch mit einem Befall der Fertigware durch Speichermotten bereits in der Fabrik gerechnet werden, da Falter dieser Art in den Herstellungsräumen und Zwischenlagern auftreten (BRAASCH 1972, HOPPE u. LEVINSON 1979).

In Tabelle 2 sind die Herstellungsmonate von 51 reklamierten Süßwarenpackungen angegeben, deren Befallsort entweder vermutlich das Herstellungslager war oder aber nicht geklärt werden konnte.

Tabelle 1: Artenspektrum in Süßwarenpackungen, die von Konsumenten aufgrund von Schädlingsbefall reklamiert worden sind

Schädlingsart Be- fallsort	Plodia inter- punctella	Ephestia eluteilla	Ephestia cauteilla	Ephestia kühneilla	Motten (Art nicht be- stimmbar)	Sonstige Insekten
vermutlich in der Fabrik	9	0	2	0	1	0
unbestimmt	9	1	3	0	20	1 (Tiro- goderma sp.)
vermutlich auf dem Ver- triebsweg	5	4	0	1	11	0
insges.: 67	23	5	5	1	32	1

Tabelle 2: Verpackungsdaten von reklamierten Süßwaren

Monat Befallsort	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
vermutlich in der Fabrik	0	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
unbekannt	0	0	5	2	2	2	6	4	7	5	3	6

Diese Herstellungsdaten sind über das ganze Jahr verteilt, reklamierte Süßwaren einer Firma wurden jedoch gehäuft in den Monaten Februar, März und April hergestellt. Wahrscheinlich konnte sich zu dieser Zeit in den geheizten Räumen eine kleine Mottenpopulation halten, deren Falter saisonunabhängig im Winter schlüpfen.

In der Produktion der Spätsommer- und Herbstmonate zeigt sich ein geringfügiger Befallsanstieg. Diese Zeit korreliert mit der Flugzeit der Herbstgeneration der Dörrobst- und Speichermotten (BRAASCH 1972) in ungeheizten Lägern. Dabei kommt es offenbar zu einem verstärkten Zuflug von Faltern aus benachbarten Rohwarenlägern in die Fabrikationsräume. Erstaunlich ist die geringe Befallshäufigkeit in den Monaten Mai, Juni und Juli, in die nach Angaben von BRAASCH in Norddeutschland die Flugzeit der zahlenmäßig stärksten Faltergeneration der Dörrobstmotte fällt.

Von weiteren 115 Schädlingsreklamationen einer Süßwarenfirma sind die Eingangsmonate im Verlauf von 3 Jahren in Abbildung 1 dargestellt. Die meisten Schadensfälle wurden jeweils in den Monaten Dezember und Januar gemeldet. Diese Häufung ist jedoch sicherlich bedingt durch einen traditionell höheren Absatz von Süßigkeiten in der Advents- und Weihnachtszeit und allenfalls z. T. durch eine saisonale Befallshäufung. Auffällig ist der Anstieg der Reklamationen im Laufe der Jahre, die Gründe hierfür konnten jedoch nicht ermittelt werden.

Zusammenfassung:

In den Fabrikräumen und Rohwarenlägern von Süßwarenherstellern treten vorwiegend 3 vorratsschädliche Mottenarten auf: die Dörrobstmotte (Plodia interpunctella), die Speichermotte (Ephestia elutella) und die Tropische Speichermotte (Ephestia cautella). Um den Anteil jeder Art an dem in der Fabrik verursachten Schädlingsbefalls zu ermitteln, wurden Konsumentenreklamationen mehrerer Süßwarenhersteller ausgewertet. Die Dörrobstmotte trat dabei am häufigsten auf; die Speichermotte und die Tropische Speichermotte verursachen jedoch auch immer wieder Reklamationen.

4. Wie kommt es in der Fabrik zu Mottenbefall an Süßwaren

4.1 Befallene Rohware

Importwaren zur Herstellung von Süßwaren werden oftmals schon in den Erzeugerländern von Motten befallen (FREEMAN 1974, NOYES 1930). Auch zunächst insektenfreie Ware wird häufig bei Transport und Lagerung befallen, wenn sie zusammen mit befallener Ware gelagert wird oder die Transportmittel (Schiffe, Waggons, Förder-systeme und Säcke) und Lagerräume verseucht sind.

Offensichtlich befallene Rohware sollte vor dem Einlagern behandelt oder sogar zurückgewiesen werden. Leichter Befall wird jedoch häufig übersehen und die Rohware wird ohne spezielle Vorkehrungen eingelagert. NOYES (1930) schlug eine allgemeine Hitzebehandlung sämtlicher Rohwaren bei der Einlagerung vor, um die Lagerräume und damit auch die Fabrikräume vollständig von Motten zu befreien; abgesehen von den technischen Schwierigkeiten bei der Durchführung und einem nicht unerheblichen Kostenfaktor kann ein Erfolg nur dann gewährleistet werden, wenn auch der Zuflug von Faltern aus in der Nähe liegenden Lagerräumen, Einzelhandelsgeschäften und Scheunen verhindert wird, was praktisch nicht möglich ist.

4.2 Überleben von Insekten bei der Verarbeitung befallener Rohware

Die meisten Rohwaren sind bei der Verarbeitung Prozessen unterworfen, die Insektenbefall vollständig abtöten (LEHMENSICK u. LIEBERS 1938, NOYES 1930), wie z. B. das Rösten von Nüssen und Kakaobohnen. Einige Rohwaren, z. B. Rosinen, werden bei der Verarbeitung allenfalls sortiert, nicht jedoch einer für die Abtötung aller Stadien ausreichenden Behandlung, wie Hitze oder mechanischer Bearbeitung, ausgesetzt. Diese Rohwaren enthalten gelegentlich Motteneier und kleine Larven, die bei der Weiterverarbeitung mit Schokoladenkuvertüre überzogen oder in eine Schokoladenmasse eingearbeitet werden.

LEHMENSICK u. LIEBERS (1938) und NOYES (1930) haben bei Versuchen mit Speichermotten bzw. Dörrobstmotten beobachtet, daß

Motteneier auch dann nicht überlebten, wenn sie nur teilweise in Berührung mit flüssiger Schokolade kamen. Eier, die in abgeschlossenen, luftgefüllten Hohlräumen lagen, konnten sich zwar bis zum Larvenschlupf weiterentwickeln, starben dann aber ab. In Hohlräumen, die nicht von der Außenluft abgeschnitten waren, konnten sich Eier jedoch normal entwickeln. Für Eilarven sind bisher keine entsprechenden Versuche durchgeführt worden, vermutlich ergeben sich aber ähnliche Resultate.

4.3 Neubefall von Zwischen- und Fertigprodukten

Viele Süßwarenfirmen lagern ihre Rohwaren auf demselben Gelände, auf dem sich die Herstellungsräume befinden; bei einigen sind die Räume für die Lagerung und Produktion sogar in demselben Gebäude untergebracht. Vor allem während der Hauptflugzeiten im Frühsommer und im Herbst (BRAASCH 1972) dringen Falter immer wieder von den Lagerräumen bis in die Herstellungsräume vor. Je dichter die Rohwarenläger bei der Fabrik liegen, umso größer ist die Gefahr des Falterzufluges aus befallenen Rohwaren. Die Fenster der Herstellungsräume können mit Gaze falterdicht verschlossen werden, die Türen müssen jedoch für einen normalen Arbeitsverlauf leicht passierbar sein und werden entweder offenstehen gelassen oder oftmals nur unvollkommen mit nicht dicht anliegenden, flexiblen Plastiktüren verschlossen.

Zur Eiablage suchen die Weibchen oft gezielt, angelockt durch Gerüche, solche Substrate auf, die den Larven als Nahrung dienen können (HOPPE 1981, LEHMENSICK u. LIEBERS 1938). Dörrobstmottenfalter bevorzugen dabei nuß-, mandel- und trockenfruchthaltige Produkte; reine Schokolade wird von dieser Art nur selten befallen. Einen Teil ihrer Eier legen die Mottenweibchen ungezielt im Raum ab. Sobald die Eilarven geschlüpft sind, suchen sie selbst nach geeigneter Nahrung. So kann in seltenen Fällen auch frisch produzierte Ware, bei deren Herstellung zunächst jeglicher Befall abgetötet wurde, nicht nur mit jungen Motteneiern, sondern auch mit Eilarven befallen sein.

Eier und Eilarven gelangen nicht nur auf Zwischen- und Fertigprodukte, sondern auch in schlecht zugängliche Teile von Maschinen. Wenn sich dort Reste von Rohstoffen angesammelt haben,

kann sich in den Herstellungsräumen innerhalb kurzer Zeit eine Mottenpopulation entwickeln, deren Entwicklungszyklus nicht mehr von jahreszeitlichen Temperaturveränderungen abhängt. Infolgedessen muß dann während des ganzen Jahres mit Falterflug und Befall von Fertigware gerechnet werden.

Das letzte Larvenstadium, die sogenannte Wanderlarve, kann - wenn auch nicht so gut wie die Falter - ebenfalls große Entfernungen überwinden; ihr Aktionsradius beträgt nach LEHMENSICK u. LIEBERS (1938) mehrere hundert Meter. Sie sucht sich jedoch nicht - wie die Falter zur Eiablage - ein geeignetes Futtersubstrat, sondern spinnt sich an Wänden und Decken ein, bevorzugt in kleinen, dunklen Mauerspaltten. Erst die daraus schlüpfenden Falter sind wieder eine Gefahr für die Süßwaren.

Die Fertigwaren werden vorwiegend während der Arbeitsunterbrechungen befallen, wenn die Fließbänder stillstehen und Reste unverpackter Ware offen liegen bleiben. Auch bereits verpackte Ware kann befallen werden. Hier legen die Falter ihre Eier bevorzugt an angeraute oder sogar perforierte Stellen der Verpackung, wie z. B. an der Datumseinstanzung, ab (LEHMENSICK u. LIEBERS 1938). An diesen Schwachstellen können die kleinen Eilarven besonders leicht in die Packungen eindringen (WOHLGEMUTH 1979).

Tafelware wird zumeist noch am Tag der Herstellung verpackt und auf Paletten gestapelt. Ware, die nicht so bald ausgeliefert werden kann, wird meist sofort in ein Fertigwarenlager gebracht. Sie kann also bei der Einlagerung - abgesehen von den seltenen Fällen, in denen kleine Eilarven die Ware befallen - nur entwicklungsmäßig ganz junge Motteneier enthalten. Pralinen werden aus betriebstechnischen Gründen an verschiedenen Tagen produziert und bis zur Vervollständigung eines gesamten Warenspiegels in einem mäßig warmen Pralinenzwischenlager gesammelt. Auf den zuerst produzierten Pralinen können bis zur Verpackung und Einlagerung der Waren in ein gekühltes Fertigwarenlager wesentlich ältere Motteneier liegen als auf sofort eingelagerter Tafelware.

Die Entwicklung der Eier und damit ihre Alterung ist - wie bei allen poikilothermen Tieren - nicht nur von der Lagerzeit, sondern

auch von der Lagertemperatur abhängig. Eier, die mehrere Tage bei niedriger Temperatur lagen, können weniger entwickelt und damit jünger sein als Eier, die nur einen Tag bei hoher Temperatur gehalten wurden. Im folgenden ist mit dem Eialter immer der Entwicklungsstand und nicht das chronologische Alter gemeint.

Bei der Produktion von Dauerbackwaren werden durch die Hitze beim Abbacken des Teiges alle Mottenstadien abgetötet. Nachträglich auf Glasuren gestreute Zutaten, wie z. B. Nußstückchen, können jedoch auch hier einen Befall mit älteren Stadien enthalten. Dauerbackwaren werden wie Pralinen ebenfalls zur späteren Zusammenstellung von Kekssortimenten an verschiedenen Tagen produziert und erst nach teilweise tagelanger Zwischenlagerung verpackt.

Zusammenfassung:

Motten werden zumeist mit befallenen Rohwaren in die Läger der Süßwarenfabriken eingeschleppt; im Sommer können aber auch Falter zufliegen. Die Rohwaren werden zur Herstellung von fertigen Süßwaren zumeist Verarbeitungsprozessen unterworfen, bei denen alle Schädlinge abgetötet werden. Falter, die aus nahe gelegenen Rohwarenlägern zufliegen oder aber aus einer auf Verunreinigungen in den Fabrikationsräumen lebenden Mottenpopulation stammen, legen jedoch ihre Eier auch auf der Fertigware ab. Vereinzelt kann es auch zu Befall durch Eilarven kommen.

5. Kühlagermöglichkeiten bei Süßwarenherstellern

Viele Waren werden längere Zeit im voraus produziert, um Absatzspitzen zu Weihnachten und Ostern abzufuffern aber auch um trotz einer großen Sortenvielfalt rationell produzieren zu können. Zur Qualitätserhaltung der Ware während langer Lagerung werden viele Fertigwarenläger gekühlt.

Mit einer Fragebogenaktion bei Mitgliedern des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e.V. wurde ermittelt, wie viele Firmen über Kühlläger verfügen und auf welche Temperaturen diese geregelt werden. Dabei stellte sich heraus, daß viele Mitgliedsfirmen ausschließlich Halbfabrikate oder nur solche Waren

herstellen, die normalerweise nicht von Motten befallen werden, z.B. Speiseeis und Bonbons. Deshalb wurden bei den folgenden Angaben nur jene Firmen berücksichtigt, aus deren Antworten hervorgeht, daß sie Schokoladenartikel (inklusive Pralinen, Nougat usw.) oder Dauerbackwaren herstellen.

Von 74 Schokoladenartikel-Herstellern verfügen 61 (82 %) über gekühlte Fertigwarenläger, von 43 Dauerbackwaren-Herstellern jedoch nur 21 (49 %). Bei vielen Dauerbackwaren ist eine Kühlung zum Qualitätserhalt auch gar nicht erforderlich; nur Waren mit Schokoladenüberzug, Cremefüllung u.ä., die einen relativ niedrigen Schmelzpunkt haben, müssen ebenso wie Schokolade kühl gelagert werden.

Die Temperaturen in den Kühllägern werden auf sehr unterschiedlichem Niveau gehalten. Neun Schokoladenartikelfirmen mit einem überproportional großen Anteil an der Gesamtproduktion bleiben auch mit der maximal auftretenden Lagertemperatur unter $+14^{\circ}\text{C}$, dem Entwicklungsgrenzwert der Dörrobstmotteneier. Die Temperaturen in Fertigwarenlägern weiterer 28 Schokoladenartikel-Hersteller liegen nur geringfügig darüber; die maximal in diesen Lägern auftretende Temperatur ist nicht höher als $+18^{\circ}\text{C}$. In gekühlten Fertigwarenlägern der übrigen 24 Schokoladenartikel-Hersteller werden zumeist nur die Temperaturspitzen im Sommer auf Temperaturen von ca. $+20^{\circ}\text{C}$ abgepuffert; in einigen Lägern werden sogar bis zu $+25^{\circ}\text{C}$ zugelassen.

Von 21 Dauerbackwaren-Herstellern mit Kühllägern kühlt nur ein Hersteller, der außerdem auch Schokolade und Pralinen produziert, sein Lager auf $\leq +14^{\circ}\text{C}$. Weitere 7 Dauerbackwaren-Hersteller, von denen die meisten ebenfalls auch Schokoladenartikel herstellen, regeln die Temperaturen auf maximal $+18^{\circ}\text{C}$.

Die relative Luftfeuchte ist in gekühlten Lägern höher als in ungekühlten, da kalte Luft weniger Wasserdampf bis zur Sättigung aufnehmen kann als warme Luft. Zur Bekämpfung von Mottenbefall oder als unterstützende Maßnahme bei der Bekämpfung ist eine Regelung, d.h., eine Verminderung der relativen Luftfeuchte im Raum aber schon deshalb ungeeignet, weil ein veränderter absoluter Wassergehalt der Raumluft nicht so schnell wie Temperaturveränderungen bis in das Innere von Süßwarengebinden vordringt.

Bei Temperaturabfall im Gebinde steigt die relative Luftfeuchte in den Lufträumen sogar an und kann sich dort wegen des geringen Luftaustausches halten.

Zusammenfassung:

Eine Umfrage bei Süßwarenherstellern ergab, daß von 74 Schokoladenartikel-Herstellern 61 über gekühlte Fertigwarenläger verfügen. Neun - überwiegend große - Schokoladenartikelfirmen regeln die Lagertemperatur auf maximal $+14^{\circ}\text{C}$. Weitere 28 Herstellerfirmen lassen $+18^{\circ}\text{C}$ als höchste Lagertemperatur zu. Die restlichen Firmen puffern lediglich hohe Sommertemperaturen ab.

Dauerbackwaren-Hersteller verfügen meist nur dann über gut gekühlte Fertigwarenläger, wenn sie auch Schokoladenartikel herstellen.

Die relative Luftfeuchte wird in den meisten Lägern nicht geregelt.

6. Abkühlverhalten von palettierten Süßwarengebinden

Süßwaren werden nach der Herstellung verpackt und zur Lagerung zu großen Gebinden auf Holzpaletten gestapelt. Die meisten Firmen verwenden genormte, sogenannte Europapaletten, die 120 cm lang und 80 cm breit sind. Einige andere Firmen lagern ihre Waren auf Rollpaletten, die sich mit den Maßen 115 cm x 75 cm nur unwesentlich von den Europapaletten unterscheiden. Die Palettenmaße bestimmen die maximal mögliche Grundfläche der Süßwarengebinde.

Mehrere Einzelpackungen werden in Umkartons verpackt und dann so auf Paletten angeordnet, daß möglichst viele Packungen auf der Palettenfläche Platz haben. Die Umkartons werden zu mehreren Lagen gestapelt; einige Gebinde erreichen so bis zu ca. 140 cm Höhe. Zum Schutz gegen Verluste oder Beschädigungen werden die Gebinde bei einigen Firmen zusätzlich in Plastikfolien geschrumpft oder eingewickelt.

Bei der Einlagerung in ein Kühllager geben die großen Süßwarengebinde ihre Wärme nur langsam an die kalte Umgebung im Kühllager ab und besonders das Innere eines Gebindes bleibt relativ lange warm. Außer von den Temperaturen des Lagers und der Ware wird

die Abkühlung dabei beeinflusst von der Größe des Gebindes, der Masse der Ware, der spezifischen Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit von Ware und Verpackung, aber auch von der Luftkonvektion in Hohlräumen. Verschiedene Süßwarengebinde unterscheiden sich in mehreren dieser Parameter; auch Gebinde gleicher Warenart von verschiedenen Herstellern differieren in Verpackung, Anordnung auf der Palette, Gesamtgewicht und den Ausmaßen. Aus diesem Grund war es nicht möglich, den Einfluß jedes einzelnen Parameters auf die Abkühlung eines Gebindes exakt zu bestimmen.

Um einen Überblick über das Abkühlverhalten verschiedener Süßwarengebinde zu erhalten, wurde der jeweilige Temperaturverlauf im Inneren von 13 handelsüblichen, palettierten Süßwarengebinden gemessen.

6.1 Messungen in einer Schokoladenfabrik

Die ersten Messungen wurden in einer Schokoladenfabrik in einem Gebinde frisch produzierter Tafelschokolade durchgeführt. Sofort nach der Produktion wurde während der Verpackung ein Thermoelement in das Zentrum des Gebindes miteingebracht. Bei späteren Messungen in der Fabrik wurde ein Temperaturmeßgerät der Fa. Ultrakust mit einem Halbleiter verwendet.

Nachdem das Schokoladengebinde fertig gepackt war, wurde es aus dem $+19^{\circ}\text{C}$ warmen Verpackungsraum in ein gekühltes Fertigwarenlager gefahren, dessen Temperatur zwischen $+8^{\circ}\text{C}$ und $+12^{\circ}\text{C}$ geregelt wurde.

Die Abkühlkurve des Schokoladengebindes zeigte einen unerwartet niedrigen Ausgangswert im Inneren des Gebindes, der mit $+13,5^{\circ}\text{C}$ erheblich unter der Temperatur des Verpackungsraumes lag. Nachforschungen ergaben, daß die ca. $+30^{\circ}\text{C}$ warme Schokoladenmasse bei der Produktion in einem Maschinenteil bei $+6^{\circ}\text{C}$ bis $+8^{\circ}\text{C}$ zu Tafeln ausgeformt wird und dabei selbst auf ungefähr $+12^{\circ}\text{C}$ abkühlt. Wenn die Tafeln sofort verpackt und kühl gelagert werden, wärmen sie sich kaum auf.

Für eine weitere Messung wurde das Schokoladengebinde auf Zimmertemperatur ($+21^{\circ}\text{C}$) vorkonditioniert und anschließend auf Kühlla-

gertemperaturen abgekühlt, um sie mit dem Abkühlverhalten anderer Produkte mit derselben Anfangstemperatur vergleichen zu können. Entsprechende Messungen wurden mit einem Keksgebilde und einem Pralinengebilde durchgeführt, die fast doppelt bzw. eineinhalb-fach so hoch gepackt waren wie das Schokoladengebilde. Das kleinere, aber schwerere Schokoladengebilde kühlte langsamer ab als das größere Pralinen- bzw. Keksgebilde.

Die Vorkonditionierung der Gebinde auf eine einheitliche Ausgangstemperatur war in der Schokoladenfabrik nicht zu allen Jahreszeiten möglich. Deshalb wurden weitere Gebinde in klimatisierbaren Laborräumen vermessen.

6.2 Abkühlung von Süßwarengebinden unter standardisierten Laborbedingungen

Material und Methode

Unter standardisierten Laborbedingungen wurden weitere Abkühlkurven von mehreren handelsüblichen, palettierten Süßwarengebinden vermessen. Die Messungen wurden in zwei klimatisierbaren Kammern durchgeführt. Eine Kammer wurde zur Vorkonditionierung von Schokoladenerzeugnissen auf $+22^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) eingestellt. Wenn die Gebinde die Kammertemperatur homogen angenommen hatten, wurden sie in der zweiten Kammer auf $+10^{\circ}\text{C}$ abgekühlt. Dauerbackwaren wurden z.T. auch auf $+25^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) vorkonditioniert. Diese Temperatur entspricht bei Backwaren, die bei der Produktion stark erhitzt werden und auch in den Verpackungsräumen relativ warm liegen, den Praxisbedingungen. Einige Süßwarengebilde konnten wegen zu großer Ausmaße nicht von einer Klimazelle zur anderen befördert werden. Diese Gebinde wurden in derselben Kammer vorkonditioniert, in der sie später auch abkühlten. Dies bedeutete nur eine geringfügige Abkühlungsverzögerung, da die gewünschte Kühltemperatur in der Kammer innerhalb weniger Stunden erreicht wurde.

In die Gebinde wurden Widerstandsthermometer (Pt 100 1/3 Din) und ein Feuchtefühler der Fa. Vaisala eingebaut. Die Werte dieser Fühler sowie je eines Temperatur- und eines Feuchtefühlers in der Kühlkammer wurden von einem 12-Punkt-Schreiber (Polycomp, Fa. Hartmann & Braun) kontinuierlich registriert.

Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 3 sind die Zeiten angegeben, nach denen die jeweils am langsamsten abkühlende Meßstelle eines jeden Gebindes von $+22^{\circ}\text{C}$ (bzw. $+25^{\circ}\text{C}$) auf $+14^{\circ}\text{C}$ bei einer Raumtemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ abgekühlt war. Im allgemeinen nahm die Abkühldauer mit steigendem Gewicht zu. So kühlte ein Gebinde von 125 kg innerhalb eines Tages von ca. $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$, während ein Gebinde von 840 kg diesen Wert erst nach 4 Tagen erreichte (Abb.2).

Tabelle 3: Abkühlzeiten von Süßwarengebinden von $+22^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) bzw. $+25^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) auf $+14^{\circ}\text{C}$ bei einer Kühlraumtemperatur von ca. $+10^{\circ}\text{C}$ in Abhängigkeit von Gewicht und Packart.

Ware	Gesamtgew. ohne Verp. kg	Maße d. Ge- bindes, Län- ge, Breite, Höhe (cm)	Luftschächte im Gebinde	Abkühl- dauer (Tage) auf $+14^{\circ}\text{C}$
Pralinen	63	120 80 60	-	1
Käse-Gebäck	100	115 70 104	+	2*
Gebäck mit Cremefüllung	125	110 70 90	+++	1
Pralinen	135	105 65 135	-	1,5
Nuß-Gebäck	140	110 70 104	+	1,5*
Nuß-Gebäck	156	110 70 78	+++	1*
Gebäck	160	110 65 90	+	3,5*
Gebäck	160	110 65 90	+	3
Tafelschokolade	360	115 60 64	++	2
Schokolade	450	115 78 90	-	4
Tafelschokolade	840	120 80 112	+	4

* = Abkühlung von ca. $+25^{\circ}\text{C}$

- = keine Luftschächte i. Gebinde
 + = kleine " " "
 ++ = mittlere " " "
 +++ = große " " "

Hohlräume und durchgehende Luftschächte im Inneren der Gebinde

hatten einen bedeutenden Einfluß auf die Abkühlgeschwindigkeit. Ein mit großen Luftkanälen durchzogenes Gebinde Nuß-Gebäck kühlte trotz seines hohen Gewichtes von 156 kg innerhalb eines Tages von ca. $+25^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$ ab, während ein mit 160 kg nur unwesentlich schwereres, kompaktes Gebäckgebände über 3 Tage dazu brauchte (Abb. 3).

Ein Einschrumpfen oder Umwickeln der Gebindeseiten mit Plastikfolie hatte keine meßbare isolierende Wirkung. Die Abkühlkurven eines Pralinengebendes, das mit bzw. ohne Schrumpffolie vermessen wurde, verliefen ähnlich.

Von allen untersuchten Warengebinden vergleichbarer Größe kühlte Tafelschokolade wohl wegen ihrer hohen Masse am langsamsten ab. Da jedoch Tafelware beim letzten Produktionsgang bereits relativ stark abgekühlt wird, kann durch sofortiges Verpacken und Einlagern die Abkühlung durch eine niedrigere Ausgangstemperatur günstig beeinflußt werden. Abbildung 4 zeigt die Abkühlkurven eines Schokoladengebendes ausgehend von $+21^{\circ}\text{C}$, $+19^{\circ}\text{C}$ bzw. $+17,5^{\circ}\text{C}$. Die Abkühlung, die bei einer Temperatur von $+17,5^{\circ}\text{C}$ begann, erreichte wesentlich schneller den Bereich unter $+14^{\circ}\text{C}$ als die Abkühlungen von $+21^{\circ}\text{C}$ oder $+19^{\circ}\text{C}$ Ausgangstemperatur. Durch eine Verringerung der Warenmenge auf einer Palette konnte die Abkühlung erwartungsgemäß ebenfalls beschleunigt werden. Statt 5 Lagen wurden nur 3 Lagen Umkartons gefüllt mit Tafelschokolade auf eine Palette geschichtet. Dieses Gebinde war bereits nach 2 Tagen von ca. $+21^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$ abgekühlt, wofür ein vollständiges Gebinde ca. 3 Tage benötigte.

Die Erwärmung eines Gebindes verlief entsprechend der Abkühlung. Langsame Abkühlung eines Gebindes hatte auch langsame Wiedererwärmung und schnelle Abkühlung ebenso schnelle Erwärmung zur Folge.

Die relative Luftfeuchte in den Gebinden stieg bei Abkühlung mehr oder weniger stark an, da die Luft bei tieferen Temperaturen eine geringere absolute Menge Wasser in Dampfform bis zur völligen Sättigung aufnehmen kann als bei hohen Temperaturen. Der Anstieg der relativen Feuchte verlief jedoch bei den meisten Gebinden nicht annähernd entsprechend der bei Abkühlung physika-

lich erwarteten Erhöhung. Zum einen könnten einige Waren aufgrund ihres hohen Zuckeranteils oder auch das Verpackungsmaterial hygroskopisch sein, zum anderen könnten sich aber auch Änderungen der Raumluftfeuchte bis zur Meßstelle auswirken.

Bei der Wiedererwärmung wurde bei vielen Gebinden zunächst ein erheblicher Anstieg der relativen Luftfeuchte beobachtet; innerhalb weniger Stunden fiel die Luftfeuchte dann jedoch wieder und erreichte wesentlich niedrigere Werte als bei kühlen Temperaturen.

Zusammenfassung:

Bei Einlagerung in Kühllager kühlen palettierte Süßwarengebinde im Inneren nur allmählich auf die Lagertemperatur herunter. Der Abkühlverlauf hängt vor allem vom Gesamtgewicht und der Packart des Gebindes ab.

Bei Vermessung eines repräsentativen Querschnitts von handelsüblichen Süßwarengebinden dauerte die Abkühlung von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$ bei einer Kühlraumtemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ einen bis vier Tage.

7. Kälteversuche mit Dörrobstmotteneiern

7.1 Kälteempfindlichkeit verschieden alter Dörrobstmotteneier (Plodia interpunctella Hbn.) im Temperaturbereich von $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+14^{\circ}\text{C}$

Einleitung:

Wie die Umfrage bei Süßwarenherstellern ergeben hat, werden bereits einige Fertigwarenlager auf Temperaturen eingestellt, die unterhalb des für einen deutschen Dörrobstmottenstamm ermittelten Temperaturgrenzwertes von $+14^{\circ}\text{C}$ für die Entwicklung der Eier liegen (WOHLGEMUTH 1976, eigene Beobachtungen). Unterhalb von $+14^{\circ}\text{C}$ können die Dörrobstmotteneier sich nicht mehr bis zum Larvenschlupf entwickeln und sterben nach einiger Zeit ab.

Es wurde bereits von mehreren Autoren vorgeschlagen, die Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern zu ihrer Bekämpfung auszunutzen; über die Expositionszeiten, die zur Abtötung der Eier bei Temperaturen unterhalb ihres Entwicklungsnullpunktes erforderlich sind, findet man jedoch stark voneinander abweichende

Angaben. So starben in Versuchen von ADLER (1960) alle Dörrobstmotteneier bei $+3,9^{\circ}\text{C}$ nach maximal 5 Stunden, während CLINE (1970) bei $2,4^{\circ}\text{C}$ je nach Eialter zwischen 2 und 8 Tagen benötigte. LEHMENSICK u. LIEBERS (1938), die mit einer Temperatur von $+12^{\circ}\text{C}$ arbeiteten, beobachteten nach einer Expositionsdauer von 16 Tagen noch Larvenschlupf, während nach 18 Tagen alle Eier abgetötet waren. REICHMUTH (1979) konnte frisch abgelegte Dörrobstmotteneier bei $+8^{\circ}\text{C}$ und $+12^{\circ}\text{C}$ durch 11tägige bzw. 15tägige Kälteexposition abtöten.

Nicht nur die Temperatur, auch das Entwicklungsalter der Motteneier beeinflusst die Mortalitätsrate. REICHMUTH beobachtete eine Zunahme der Kälteempfindlichkeit mit zunehmendem Eialter bei $+12^{\circ}\text{C}$, während in CLINEs Untersuchungen junge Dörrobstmotteneier bei $+2,4^{\circ}\text{C}$ empfindlicher waren als ältere. BELL (1975) beobachtete bei $+10^{\circ}\text{C}$ keinen Unterschied der Mortalitäten bei Dörrobstmotteneiern, die zwischen 0 und 3 Tagen bei $+25^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet worden waren. Alle waren nach maximal 7 Tagen bei $+10^{\circ}\text{C}$ abgetötet. Bei $+15^{\circ}\text{C}$ jedoch zeigten sich ältere Eier widerstandsfähiger als jüngere.

Für die praktische Anwendung der Kälte zur Bekämpfung muß ein Temperaturbereich gefunden werden, der einerseits nur minimalen Energieaufwand erfordert, andererseits aber alle Eier innerhalb einer möglichst kurzen Expositionszeit abtötet. Außerdem muß sichergestellt sein, daß dabei Eier eines breiten Altersspektrums erfaßt werden. Aufgrund technischer Erfordernisse bei der Produktion, wie z.B. dem Zwischenlagern von Pralinen in mäßig gekühlten Räumen bis zur Vervollständigung eines Sortiments, werden nicht alle Süßwaren sofort in Kühllager eingelagert und können daher bei Abkühlung sowohl frisch gelegte als auch ältere Eier enthalten. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde deshalb die Kälteempfindlichkeit verschieden alter Dörrobstmotteneier in einem weiten Temperaturbereich ($+1^{\circ}\text{C}$ bis $+14^{\circ}\text{C}$) untersucht und die zur Abtötung erforderlichen Mindesteinwirkzeiten ermittelt.

Material und Methode

Die für die Versuche verwendeten Dörrobstmotten stammten aus einer Zucht, die seit mehreren Jahren auf Mandelbruch, einem für diese

Art gut geeigneten Futtersubstrat, bei $+28^{\circ}\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte gehalten wurde. WOHLGEMUTH (1976) führte seine Versuche mit Motteneiern desselben Stammes durch. Zur Eigengewinnung wurden Falter aus einem Zuchtglas in ein Eiablagegefäß eingesaugt. Hierzu wurde mit einer Membranpumpe in einem Exsikkator, in dem das Eiablagegefäß stand, ein Unterdruck erzeugt (Abb. 5). Die Falter wurden mit einem Schlauch, der durch den Lochdeckel des Exsikkators bis in das Eiablagegefäß führte, ohne Betäubung eingesaugt. Zur Gewinnung einer großen Anzahl Eier, die sich altersmäßig nur um wenige Stunden unterscheiden durften, wurden die Eiablagegefäße mit den Faltern bei $+26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) aufbewahrt; niedrigere Temperaturen waren ungeeignet, da dabei die Anzahl abgelegter Eier stark reduziert war. Die Eier wurden stündlich entnommen, damit sie sich bei der hohen Eiablagetemperatur nicht zu weit entwickelten. Eier von insgesamt 5 Stunden wurden bei $+20^{\circ}\text{C}$ gesammelt und dann zu je 50 in kleine, mit luftdurchlässiger Gaze verschlossene Kammern, ähnlich den von REICHMUTH (1979) beschriebenen, eingezählt.

Unterschiedliche Altersstufen der Motteneier wurden durch Vorbrütung erhalten. Da sich die Eier bei $+20^{\circ}\text{C}$ in durchschnittlich 7,5 Tagen bis zum Larvenschlupf entwickeln (WOHLGEMUTH 1976), hatten sie nach 19 bis 24 Stunden Vorbrüttdauer durchschnittlich ca. 12 %, nach 43 bis 48 Stunden ca. 25 %, nach 67 bis 72 Stunden ca. 38 %, nach 91 bis 96 Stunden ca. 52 %, nach 115 bis 120 Stunden ca. 65 % und nach 139 bis 144 Stunden ca. 78 % ihrer Gesamtentwicklungszeit bis zum Larvenschlupf durchlaufen. Eine Vorbrüttdauer von 163 bis 168 Stunden konnte nicht mehr in den Versuch einbezogen werden, da innerhalb dieser Zeit aus einigen sich besonders schnell entwickelnden Eiern bereits Larven schlüpften.

Für die Kältebehandlung wurden Temperaturen von $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+14^{\circ}\text{C}$ in Abstufungen von jeweils 1°C gewählt. Die relative Luftfeuchte wurde mittels einer gesättigten KCl-Lösung mit einem Bodensatz überschüssigen Salzes (WINSTON u. BATES 1960) bei ca. 85 % eingestellt. Für jede Temperaturbedingung wurden Versuchsreihen mit Eiern der verschiedenen Altersstufen angesetzt. Nach einer Mindesteinwirkzeit, die je nach geschätzter Kälteempfindlichkeit der unterschiedlich alten Eier sogar innerhalb einer Temperaturbedingung variierte, wurde mindestens 10 Tage lang im 24-Stunden-

Rhythmus je 1 Versuchsgefäß jeder Eialtersstufe entnommen und bei $+26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) und ca. 65 % rel. Luftfeuchte weiterbebrütet. In der Regel wurden die Versuche ein- bis zweimal wiederholt, bei einigen Versuchsreihen wurde auf Wiederholungen verzichtet, da die beobachteten Ergebnisse aufgrund der geringen Temperaturabstufungen durch die nächstgelegenen Ansätze in ihrer Tendenz bestätigt wurden. Die aus den Eiern schlüpfenden Larven wurden auf Mandelbruch weitergezogen. Nach ca. 14 Tagen wurde anhand von leeren Eihüllen bzw. abgestorbenen, eingetrockneten Eiern die Schlupfrate ermittelt; nach ca. 5 Wochen wurden große Larven, Puppen und Falter ausgezählt.

Ergebnisse

Für jede Eialtersstufe und Einzeltemperatur ergab sich eine Dosis-Mortalitätskurve, wobei die Kälteeinwirkzeit der Dosis entspricht. Mit Hilfe eines Computer-Programms (NOACK u. REICHMUTH 1978) wurde eine Probit-Analyse durchgeführt und die LD_{50} und LD_{99} errechnet (Abb. 6 und 7). Dörrobstmotteneier, die nicht der Kälte ausgesetzt waren, zeigten eine sehr geringe Mortalität. Ein Einfluß der unterschiedlichen Vorbrützeiten bei $+20^{\circ}\text{C}$ auf den Larvenschlupf oder auf die spätere Entwicklung war nicht erkennbar.

Bei $+13^{\circ}\text{C}$ und darunter konnten Dörrobstmotteneier sich nicht mehr bis zum Larvenschlupf weiterentwickeln und starben nach ausreichend langer Expositionszeit ab. Bei $+14^{\circ}\text{C}$ konnten nur die jungen Eier bis zu 67 bis 72 Stunden Vorbrütdauer vollständig abgetötet werden, die erforderliche Expositionszeit lag bei ca. 20 Tagen. Ältere Eier konnten sich bei $+14^{\circ}\text{C}$ zum großen Teil weiterentwickeln und noch während der Kälteexposition schlüpfen einige Larven.

Junge Eier (19-24 Stunden Vorbrütdauer) zeigten, wie erwartet, mit abnehmender Temperatur von $+14^{\circ}\text{C}$ nach $+1^{\circ}\text{C}$ eine Abnahme ihrer Überlebensdauer; bei $+14^{\circ}\text{C}$ lag die Expositionszeit zur Abtötung von 50 % Eier (LD_{50}) bei ca. 12 Tagen und fiel auf ca. 3 Tage bei $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+6^{\circ}\text{C}$. Im Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ hatte die unterschiedliche Vorbrütdauer der Eier bei $+20^{\circ}\text{C}$ kaum einen Einfluß auf ihre Kälteempfindlichkeit, die LD_{50} der unterschiedlich

Tabelle 4: Kälteeinwirkzeit* zur Abtötung von 99 % Dörrobstmotteneier (*Plodia interpunctella*) unterschiedlichen Entwicklungsalters bei Temperaturen zwischen +1°C und +14°C.

*ermittelt durch eine Probit-Analyse nach einem Computer-Programm von NOACK u. REICHMUTH (1978)

Temperatur	Elalter bei Kältebeginn (Stunden Vorbrütdauer bei +20°C)	Untere Vertrauens- grenze (95 % Wahr- scheinlichkeit)	LD ₉₉ (Tage)	Obere Vertrauens- grenze (95 % Wahr- scheinlichkeit)
14°C	19 - 24	19,1	20,7	22,4
14°C	43 - 48	17,1	18,1	19,1
14°C	67 - 72	17,4	19,6	22,0
14°C	91 - 96	27,4	34,6	43,7
14°C	115 - 120	49,5	103,2	215,2
13°C	19 - 24	15,1	16,4	17,8
13°C	43 - 48	13,7	14,6	15,6
13°C	67 - 72	14,9	16,3	17,8
13°C	91 - 96	14,0	14,6	15,2
13°C	115 - 120	12,2	13,6	15,1
12°C	19 - 24	12,8	13,6	14,6
12°C	43 - 48	14,2	15,4	16,6
12°C	67 - 72	11,4	12,1	12,8
12°C	91 - 96	10,2	10,8	11,5
12°C	115 - 120	11,5	13,0	14,7
12°C	139 - 144	22,9	36,3	57,5
11°C	19 - 24	13,9	15,6	17,5
11°C	43 - 48	11,0	12,0	13,1
11°C	67 - 72	11,5	12,5	13,6
11°C	91 - 96	14,0	15,8	17,8
11°C	115 - 120	10,4	11,4	12,5
11°C	139 - 144	9,9	11,2	12,7
10°C	19 - 24	10,8	11,9	13,1
10°C	43 - 48	9,9	10,4	11,0
10°C	67 - 72	12,3	13,4	14,5
10°C	91 - 96	12,3	13,2	14,1
10°C	115 - 120	10,8	11,5	12,3
10°C	139 - 144	8,1	9,9	12,2
9°C	19 - 24	9,9	11,7	13,7
9°C	43 - 48	9,0	10,1	11,2
9°C	67 - 72	11,8	13,1	14,5
9°C	91 - 96	11,6	12,7	14,0
9°C	115 - 120	9,6	10,6	11,7
8°C	19 - 24	7,4	8,7	10,2
8°C	43 - 48	8,3	8,9	9,6
8°C	67 - 72	12,4	13,3	14,3
8°C	91 - 96	11,6	12,3	13,0
8°C	115 - 120	8,5	9,2	9,8
8°C	139 - 144	10,0	10,9	12,0
7°C	19 - 24	6,8	8,0	9,4
7°C	43 - 48	7,9	8,9	10,0
7°C	67 - 72	11,3	12,6	13,9
7°C	91 - 96	19,7	24,3	30,0
7°C	115 - 120	9,6	10,5	11,6
6°C	19 - 24	5,1	5,7	6,4
6°C	43 - 48	11,4	12,0	12,7
6°C	67 - 72	17,7	19,2	20,8
6°C	91 - 96	19,4	20,8	22,3
6°C	115 - 120	11,0	12,0	13,1
6°C	139 - 144	11,8	13,4	15,2
5°C	19 - 24	5,7	7,1	8,8
5°C	43 - 48	12,3	13,2	14,1
5°C	67 - 72	15,3	16,8	18,5
5°C	91 - 96	24,3	31,3	40,3
5°C	115 - 120	14,0	15,6	17,4
4°C	19 - 24	6,1	7,0	8,1
4°C	43 - 48	11,6	13,1	14,8
4°C	67 - 72	16,4	20,0	24,4
4°C	91 - 96	33,5	60,6	109,5
4°C	115 - 120	19,9	28,2	40,1
4°C	139 - 144	8,1	9,2	10,5
3°C	19 - 24	5,4	6,1	7,0
3°C	43 - 48	12,9	13,6	14,3
3°C	67 - 72	6,3	22,8	82,9
3°C	91 - 96	17,4	19,4	21,8
3°C	115 - 120	16,4	17,3	18,2
2°C	19 - 24	3,6	5,3	7,7
2°C	43 - 48	11,6	13,2	15,0
2°C	67 - 72	6,0	7,6	9,5
2°C	91 - 96	12,9	15,1	17,8
2°C	115 - 120	20,5	31,0	47,0
1°C	19 - 24	6,1	7,3	8,6
1°C	43 - 48	10,1	11,3	12,6
1°C	67 - 72	-	-	-
1°C	91 - 96	11,5	12,7	14,0
1°C	115 - 120	19,9	18,0	20,3
1°C	139 - 144	6,0	7,9	9,9

alten Tiere lag zwischen 4 und 8 Tagen. Im Bereich von $+3^{\circ}\text{C}$ bis $+7^{\circ}\text{C}$ stieg die Widerstandsfähigkeit jedoch mit zunehmendem Ei-alter zunächst erheblich an und erreichte ihr Maximum mit 12 Ta-gen für die LD_{50} von 91 bis 96 und 115 bis 120 Stunden vorgebrü-teten Motteneiern. 139 bis 144 Stunden alte Eier starben im Be-reich von $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+11^{\circ}\text{C}$ zu 50 % innerhalb von 4 Tagen ab; ober-halb von $+11^{\circ}\text{C}$ stieg die Überlebensfähigkeit steil an.

Die LD_{50} -Werte können genau errechnet werden und haben deshalb bei vergleichenden Betrachtungen eine besonders große Aussage-kraft. Für die Anwendung des Kälteverfahrens in der Praxis ist es aber wichtiger zu wissen, wann mit hoher Wahrscheinlichkeit alle Motteneier abgetötet sind. Bei der Probit-Analyse nähert sich die Mortalitätsrate asymptotisch dem 100 %-Wert, erreicht ihn aber nicht. Daher muß bei dem rechnerischen Verfahren ein Wert, der nahe bei 100 % Abtötung liegt, gewählt werden. Nach den mit dieser Methode errechneten Kälteeinwirkzeiten zur Abtö-tung von 99 % Dörrobstmotteneiern (Tab. 4) wurde in den Versu-chen in keinem Fall mehr Larvenschlupf beobachtet. Diese Zeiten sind daher für die Praxis ausreichend.

Der bei den LD_{50} -Werten erkennbare Trend wiederholte sich in ver-stärktem Maße bei der Betrachtung der errechneten LD_{99} -Werte. Hier war der Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ günstig, weil Eier aller Altersstufen innerhalb einer kurzen Expositionszeit von ca. 16 Tagen abstarben. Bei niedrigeren Temperaturen, $+3^{\circ}\text{C}$ bis $+7^{\circ}\text{C}$, wur-den einige der älteren Eier erst nach mehr als 30 Tagen abgetö-tet; bei $+2^{\circ}\text{C}$ reichten wiederum bereits kürzere Kälteeinwirkzei-ten zur Abtötung aus. Bei Temperaturen über $+12^{\circ}\text{C}$ nahmen die zur Bekämpfung erforderlichen Expositionszeiten vor allem für ältere Eier stark zu und vereinzelt schlüpfen sogar Larven.

Bei ansteigender Mortalitätsrate der Eier wurde in allen Versuchs-ansätzen ebenfalls eine Mortalitätszunahme der geschlüpften Larven beobachtet. Die wenigen Larven, die nach längerer Kälteeinwirkung schlüpfen, waren zum großen Teil so stark geschädigt, daß sie sich nicht bis zu Faltern weiterentwickeln konnten.

Diskussion

Das Insektenei ist bei Kälteeinwirkung besonders störanfällig, da

während dieses Stadiums zum einen besonders komplizierte Entwicklungsprozesse stattfinden (MÜLLER 1938) und zum anderen die aufwendbare Energiereserve bei Eiern limitiert ist (RICHARDS 1957, 1959). Dörrobstmotteneier können sich bei Temperaturen unter $+14^{\circ}\text{C}$ nicht bis zum Larvenschlupf entwickeln; die zum Überleben notwendigen Stoffwechselprozesse laufen für einige Zeit dennoch weiter. Erst nach längerer Kälteeinwirkung stellen sich Schädigungen ein, die zum Tod der Eier führen.

Die einzelnen Stoffwechselprozesse - z.B. die Enzym-Reaktionen - hängen, wenn sie logarithmisch aufgetragen sind, über einen breiten Bereich linear von der Temperatur ab. In der Nähe des Temperaturgrenzwertes ist diese Linearität nicht mehr für alle Reaktionen im gleichen Maße gegeben. Durch unterschiedliche Temperaturkoeffizienten voneinander abhängiger Reaktionen können die Stoffwechselprozesse außer Balance geraten. Wenn eines oder mehrere Enzyme bei einer Temperatur völlig inaktiviert sind, kann es noch schneller zur Anhäufung von Zwischenprodukten sowie Endprodukten konkurrierender Reaktionen kommen, die mit der Zeit den Organismus vergiften.

Das Eialter vor Beginn der Kälteeinwirkung hat einen starken Einfluß auf die Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern. Im Bereich von $+3^{\circ}\text{C}$ bis $+7^{\circ}\text{C}$ waren ältere Eier, die ca. 78 % ihrer Entwicklung durchlaufen hatten, wesentlich widerstandsfähiger als jüngere; bei $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+13^{\circ}\text{C}$ reagierten sie ähnlich empfindlich wie junge Eier. Dieses Phänomen erklärt die teilweise stark voneinander abweichenden Ergebnisse bisheriger Untersuchungen (ADLER 1960, BELL 1975, CLINE 1970, LEHMENSICK u. LIEBERS 1938, REICHMUTH 1979). Die größere Widerstandsfähigkeit älterer Eier kann möglicherweise damit erklärt werden, daß in den frühen Entwicklungsphasen des Mottenembryos Enzymreaktionen ablaufen könnten, die besonders störanfällig gegen niedrige Temperaturen sind, während die für ältere Eier notwendigen Stoffwechselprozesse weniger empfindlich sein könnten. Eier, die in ihrer Entwicklung kurz vor dem Larvenschlupf standen, reagierten wieder empfindlicher auf niedrigere Temperaturen.

Bemerkenswert ist die höhere Überlebensdauer von Dörrobstmotteneiern einiger Altersstufen bei niedrigen Temperaturen von $+5^{\circ}\text{C}$

im Vergleich zu $+10^{\circ}\text{C}$. Eine Erklärung hierfür könnte sein, daß der gesamte Metabolismus relativ gleichartig gedrosselt wurde und so Schäden erst spät auftraten.

Für die praktische Anwendung der Kältebehandlung als physikalisches Bekämpfungsverfahren eignet sich der Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ am besten. Dörrobstmotteneier aller Altersstufen konnten innerhalb von 16 Tagen abgetötet werden. Niedrigere Temperaturen sind nicht nur erheblich energieaufwendiger, sie sind sogar für die Bekämpfung uneffektiver, da die Abtötung von Eiern einiger Altersstufen erst nach längeren Expositionszeiten erfolgt. Die Kältebehandlung von Süßwaren im Kühlhaus bei $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ sollte auf 3 Wochen erweitert werden, um mit einer großzügig bemessenen Sicherheitsmarge auch eventuelle Ausreißer zu erfassen.

Zusammenfassung:

Bei konstanten Temperaturen im Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ konnten Dörrobstmotteneier aller getesteten Altersstufen innerhalb von 16 Tagen abgetötet werden. Bei niedrigeren Temperaturen (von $+1^{\circ}\text{C}$ bis $+7^{\circ}\text{C}$) überlebten entwicklungsmäßig alte Eier teilweise länger als 30 Tage. Für eine Bekämpfung eignet sich daher der Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ besser.

7.2 Einfluß der Vorbrüttemperatur auf die Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern

Die Stoffwechselprozesse der wechselwarmen Insekten sind von der Temperatur abhängig. In beschränktem Maße haben aber auch poikilotherme Tiere die Fähigkeit, sich an niedrige Temperaturen anzupassen. COLHOUN (1954) und MELLANBY (1954) konnten durch Akklimatisierung bei einigen Insekten die Temperatur, bei der die Kältestarre einsetzt, herabsetzen. RAO (1962) beschrieb vielfältige Veränderungen im Organismus poikilothermer Tiere nach Akklimatisierung an niedrige Temperaturen, wie z.B. Veränderungen im Mineralstoffspiegel, gesteigerte Proteinsynthese und Atmungsaktivität.

Der folgende Versuch sollte klären, ob die Vorbrüttemperatur die Empfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern bei einer nachfolgenden Kältebehandlung beeinflusst.

Die Dörrobstmotteneier wurden bei $+20^{\circ}\text{C}$ bzw. $+17^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet. Bei $+17^{\circ}\text{C}$ dauert die Eientwicklung bis zum Larvenschlupf ungefähr zweimal so lange wie bei $+20^{\circ}\text{C}$ (WOHLGEMUTH 1976). Unter der Prämisse, daß die Geschwindigkeiten sämtlicher metabolischer Vorgänge in allen Entwicklungsphasen durch die Temperatursenkung auf die Hälfte verlangsamt sind, sollten durch Verdopplung der Vorbrützeiten der 20°C -Versuchsreihe bei $+17^{\circ}\text{C}$ Eier gleichen Entwicklungsalters erhalten werden. Anschließend wurden die Eier auf $+3^{\circ}\text{C}$ gekühlt. Nach einer mehrtägigen Kälteeinwirkung wurden in 24-Stunden-Abständen je 10 Gefäße mit 50 Eiern jeder Eialtersstufe entnommen und bei $+26^{\circ}\text{C}$ und ca. 65 % rel. Luftfeuchte weiterbebrütet.

Junge Eier (19 bis 24 Stunden bzw. 43 bis 48 Stunden Vorbrüt-dauer) überlebten bei $+3^{\circ}\text{C}$ länger, wenn sie bei $+17^{\circ}\text{C}$ anstelle von $+20^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet wurden (Abb. 8). Die letale Expositionszeit dieser Eier lag jedoch noch unter der entsprechenden Zeit für ältere, bei $+20^{\circ}\text{C}$ vorgebrütete Eier (Abb. 9). Bei älteren Eiern ergab sich kein für die Praxis relevanter Einfluß der veränderten Vorbrüttemperatur auf die Schlupfrate der Larven nach der Kältebehandlung.

Bei den Kontrollversuchen ohne Kältebehandlung war der Prozentsatz geschlüpfter Larven nach Vorbrütung bei $+17^{\circ}\text{C}$ ebenso hoch wie bei $+20^{\circ}\text{C}$, die Weiterentwicklung der Larven war jedoch vermindert. Je länger die Eier bei $+17^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet wurden, um so geringer war die Entwicklungsrate bis zum Falterstadium; nach 43 bis 48 Stunden Vorbrüt-dauer bei $+17^{\circ}\text{C}$ entwickelten sich 100 % der aus den Eiern geschlüpften Larven zu Faltern, nach 91 bis 96 Stunden 78 %, nach 187 bis 192 Stunden 48 % und nach 235 bis 240 Stunden nur noch 28 %.

Die Senkung der Vorbrüttemperatur von $+20^{\circ}\text{C}$ auf $+17^{\circ}\text{C}$ bei gleichzeitiger Verdopplung der Einwirkzeit bewirkte demnach bei Eiern, die kurzfristig dieser Temperatur ausgesetzt waren, eine geringfügig verlängerte Überlebensdauer während einer Kältebehandlung bei $+3^{\circ}\text{C}$. Längere Vorbrützeiten bei $+17^{\circ}\text{C}$ schädigten die Eier per se; die Schädigung manifestierte sich aber erst im Larvenstadium.

Dieses Ergebnis ist wichtig z.B. für die Bekämpfung von Mottenbefall an frisch produzierten Pralinen, die bis zur Vervollständigung eines ganzen Sortiments zunächst in möglichst kühlen Räumen zwischengelagert werden sollten. Eine Zwischenlagerung bei $+17^{\circ}\text{C}$ verursacht keine so starke Akklimatisierung der Motteneier an niedrige Temperaturen, daß der Erfolg einer anschließenden Kältebehandlung in Frage gestellt wird.

Zusammenfassung:

Dörrobstmotteneier, die 43 bis 48 Stunden bei $+17^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet worden waren, überlebten bei anschließender Kältebehandlung bei $+3^{\circ}\text{C}$ nur geringfügig länger als entwicklungsmäßig vergleichbare Eier, die bei $+20^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet worden waren. Längere Vorbrützeiten bei $+17^{\circ}\text{C}$ schädigten die Eier, diese Schädigung manifestierte sich aber erst im Larvenstadium.

7.3 Einfluß allmählicher Abkühlung auf die Abtötung von Dörrobstmotteneiern durch eine Kältebehandlung

Einleitung

Zur Einlagerung in Fertigwarenläger werden die Süßwaren zu größeren Gebinden auf Paletten gestapelt. Da das Innere eines solchen Gebindes nur allmählich abkühlt, sind Dörrobstmotteneier in Einzelpackungen, die im Zentrum des Gebindes liegen, nicht sofort den tiefen Temperaturen des Kühllagers ausgesetzt. In den folgenden Versuchen sollte geklärt werden, ob diese Abkühlverzögerung den Erfolg der Kältebehandlung in der Praxis beeinträchtigt.

Material und Methode

Bei den folgenden Untersuchungen konnten nicht die zuvor gemessenen Abkühlverläufe aller 13 Süßwarengebinde berücksichtigt werden. Nur das schnellste, ein mittleres und das langsamste Abkühlverhalten wurde in Kühlbrutschränken der Firma Rubarth mit einer Regelgenauigkeit von $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ simuliert. Nach der Abkühlung wurde die Temperatur auf konstant $+10^{\circ}\text{C}$ geregelt. Die relative Luftfeuchte wurde in Exsikkatoren mittels einer gesättigten KCl-Salzlösung mit einem Bodensatz an überschüssigem Salz auf einen Wert um 85 % (WINSTON u. BATES 1960) eingestellt.

Frisch abgelegte (0 bis 5 Stunden alte) Dörrobstmotteneier einer Laborzucht wurden zu je 50 in kleine Glaskammern eingezählt, die auf einer Seite mit luftdurchlässiger, aber eilarvendichter Gaze verschlossen waren. In jede Kammer wurde mit geschmolzener Schokolade ein Nußstückchen als Futtersubstrat für eventuell schlüpfende Larven eingeklebt. Durch Vorbrütung für weitere 19, 43, 67, 91 bzw. 115 Stunden bei $+20^{\circ}\text{C}$ hatten die Eier ca. 12 %, 25 %, 38 %, 52 % bzw. 65 % ihrer durchschnittlichen Gesamtentwicklungszeit bei dieser Temperatur durchlaufen (WOHLGEMUTH 1976), bevor sie der Kältebehandlung ausgesetzt wurden.

Im 24-Stunden-Rhythmus wurde vom 2. Tag nach Beginn der Kältebehandlung bis zum 21. Tag je eine Versuchskammer jeder Eialtersstufe entnommen und bei $+26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) und ca. 65 % rel. Luftfeuchte weiterbebrütet. Geschlüpfte Larven wurden auf Mandelbruch weitergezogen. Für die meisten Kälteeinwirkzeit-/Eialter-Variationen wurden zwischen 2 und 4 Wiederholungen durchgeführt. Jede Versuchskammer wurde am Ende der Kälteeinwirkzeit und nochmals 2 Wochen später auf Larvenschlupf durchgesehen. Nach insgesamt 5 Wochen bei $+26^{\circ}\text{C}$ wurden Falter, Puppen und große Larven ausgezählt.

Ergebnisse

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die Abkühlkurven, den Larvenschlupf in den behandelten Proben und die Weiterentwicklung dieser Larven zum Falter in Abhängigkeit von der Kälteeinwirkzeit für eine langsame und eine schnelle Abkühlung eines Süßwarengebindes. Abbildung 12 zeigt zum Vergleich den Larvenschlupf und die Weiterentwicklung nach abrupt einsetzender Kälte von $+10^{\circ}\text{C}$.

Bei dem schnellen Abkühlverlauf starben alle Dörrobstmotteneier unabhängig vom Eialter innerhalb von 14 Tagen nach Beginn der Abkühlung. Die zur Abtötung von 50 % der Eier erforderliche Kälteeinwirkdauer (LD_{50}) lag mit ca. 9 Tagen für alle Eialter nur geringfügig über der LD_{50} von 8 Tagen für abrupt auf $+10^{\circ}\text{C}$ abgekühlte Eier. Diese Verschiebung entspricht ungefähr der Zeit, die vom Abkühlbeginn bis zum Erreichen des Entwicklungsgrenzwertes der Eier von ca. $+14^{\circ}\text{C}$ verging.

Während der langsamen Abkühlung konnten sich die Dörrobstmotteneier so weit entwickeln, daß noch vor Unterschreiten des Tempera-

turgrenzwertes für die Entwicklung aus vielen Eiern Larven schlüpften. Die Larvenschlupfrate nahm mit steigendem Eialter - bezogen auf den Beginn der Abkühlung - zu. Junge Eier, die nicht mehr als 48 Stunden bei $+20^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet worden waren, entwickelten sich zu ca. 4 % bis zum Larvenschlupf; aus älteren Eiern mit 72 bzw. 96 und mehr Stunden Vorbrützeit schlüpften ca. 60 % bzw. fast 100 % Larven. Die Expositionszeit zur Abtötung von 50 % der jungen Dörrobstmotteneier war mit 10 bis 11 Tagen bei der langsamen Abkühlung im Vergleich mit Ergebnissen bei abrupter Abkühlung auf $+10^{\circ}\text{C}$ um 2 bis 3 Tage verlängert, während bei diesem Temperaturverlauf der Temperaturgrenzwert für die Eientwicklung nach ca. 4 Tagen unterschritten wurde.

Während bei schneller Abkühlung mit zunehmender Expositionszeit sowohl die Mortalitätsrate der Eier als auch der daraus bei anschließender Weiterbebrütung bei $+26^{\circ}\text{C}$ schlüpfenden Larven anstieg, konnten die Larven, die bei langsamer Abkühlung bereits während der Abkühlphase geschlüpft waren, zu einem hohen Prozentsatz 20 Tage Kälteeinwirkung überleben und sich auch bis zum Falterstadium weiterentwickeln.

Bei einer mittleren Abkühlung (ohne Abbildung) lagen die Mortalitätswerte zwischen den Ergebnissen beim schnellsten und beim langsamsten Temperaturverlauf. Aus Eiern, die 91 bis 96 Stunden bei $+20^{\circ}\text{C}$ vorgebrütet worden waren, schlüpften während der anschließenden Abkühlung Larven; Eier, die vor Abkühlbeginn nicht älter als 72 Stunden waren, konnten innerhalb von 14 Tagen abgetötet werden, die LD_{50} lag bei ca. 10 Tagen.

In den bisher beschriebenen Versuchen wurden die Eier zwar entsprechend den in der Praxis zu erwartenden Bedingungen langsam abgekühlt, die Wiedererwärmung erfolgte aber abrupt. Wenn die Wiedererwärmung ebenso entsprechend den Bedingungen innerhalb eines Süßwarengebindes simuliert wurde, erhöhte sich die Mortalität der Motteneier zusätzlich.

Diskussion

Bei der Kühlagerung fertiger Süßwaren bei $+10^{\circ}\text{C}$ kann ein Befall mit Dörrobstmotteneiern abgetötet werden. Zur Sicherstellung des Bekämpfungserfolges in der Praxis müssen jedoch die dort zu erwartenden besonderen Bedingungen berücksichtigt werden. Nachdem

die Mortalitätsraten von Dörrobstmotteneiern bei konstanten Temperaturbedingungen ermittelt worden sind, zeigt der zweite Teil der vorliegenden Ergebnisse den Einfluß von praxisentsprechenden Abkühlverhältnissen, wie sie im Innern von Süßwarengebinden auftreten, auf die Abtötung der Eier.

Während einer allmählichen Abkühlung können sich Dörrobstmotteneier nicht so an $+10^{\circ}\text{C}$ akklimatisieren, daß sie sich bei dieser Temperatur noch weiterentwickeln. Bei einer schnellen Abkühlung kann die Abtötung von Dörrobstmotteneiern ebenso unproblematisch wie bei abrupt einsetzender Kälte erreicht werden - lediglich mit geringfügig verlängerter Expositionszeit. Bei langsamer Abkühlung muß jedoch mit Larvenschlupf bereits während der Abkühlphase gerechnet werden. Die Gefahr des Larvenschlupfes ist besonders groß, wenn langsam abkühlende Ware, wie z.B. Tafelschokolade, bei hohen Temperaturen zwischengelagert wird. Dörrobstmotteneier auf dieser Ware können bei der Einlagerung bereits verhältnismäßig weit entwickelt sein und brauchen bei günstiger Temperatur nur noch kurze Zeit - wie z.B. die Abkühlphase - um zu Larven zu schlüpfen.

Diese Larven überlebten zu einem hohen Prozentsatz eine Kälteeinwirkzeit von 3 Wochen, innerhalb der die Eier abgetötet werden konnten.

Frisch produzierte Süßwaren sollten deshalb möglichst schnell eingelagert werden, damit eventuell darauf abgelegte Dörrobstmotteneier bei Beginn der Einlagerung in ein Kühlhaus noch möglichst jung sind. Wenn jedoch eine Verzögerung von mehr als 24 Stunden unvermeidbar ist, sollte die Ware möglichst kühl (nicht über $+18^{\circ}\text{C}$) gelagert werden. Die Eier, deren Entwicklungsgeschwindigkeit temperaturabhängig ist, sind dann bei der Einlagerung auch nach Tagen vergleichsweise wenig entwickelt. Außerdem wird die Ware dadurch bereits etwas heruntergekühlt, so daß die spätere Abkühlung wesentlich schneller und für den Bekämpfungserfolg günstiger verläuft.

Trotz sofortiger Einlagerung der frisch produzierten Süßwaren kann der Bekämpfungserfolg gefährdet sein, wenn ein Gebinde derart langsam abkühlt, daß sich auch junge Eier währenddessen bis zum Larven-

schlupf entwickeln können. Dieser langsame Abkühlungsverlauf ist nur auf einen kleinen Kern im Zentrum des Gebindes beschränkt, während die Peripherie wesentlich schneller abkühlt. Eine bessere Homogenität und Beschleunigung der Abkühlung kann z.B. durch Freilassen von Luftkanälen, die kühle Lagerluft in das Zentrum leiten, oder durch Verkleinerung des Gebindes erreicht werden.

Die in den Versuchen simulierten Abkühlkurven wurden unter standardisierten Laborbedingungen gemessen, wobei die Anfangstemperaturen nicht immer den Praxisbedingungen entsprachen. So kühlt das Gebäck nach dem Abbacken zwar rasch auf Raumtemperatur ab; diese kann jedoch besonders im Sommer verhältnismäßig hoch sein. Tafelschokolade dagegen wird beim Ausformen auf ca. $+12^{\circ}\text{C}$ heruntergekühlt. Ein palettiertes Tafelschokoladengebinde gleicht seine Temperatur sowohl bei Erwärmung als auch bei Abkühlung nur sehr langsam an die Außenbedingungen an. Bei sofortigem Verpacken und Einlagern kann die niedrige Temperatur z.T. erhalten bleiben. Dies sichert nicht nur den Bekämpfungserfolg, sondern trägt außerdem noch zur Energieersparnis bei.

Zusammenfassung:

Drei Abkühlverläufe von $+22^{\circ}\text{C}$ nach $+10^{\circ}\text{C}$, entsprechend den Temperaturbedingungen im Innern von verschiedenen Süßwarengebinden, wurden für Kälteversuche mit Dörrobstmotteneiern simuliert. Nach der schnellsten Abkühlung (1 Tag Abkühldauer von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$) wurden Dörrobstmotteneier innerhalb einer Expositionszeit von 14 Tagen abgetötet. Bei langsamer Abkühlung (4 Tage Abkühldauer von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+14^{\circ}\text{C}$) schlüpften aus den Eiern bereits während der Abkühlphase Larven; die Schlupfrate war um so höher, je älter die Eier bei Abkühlbeginn waren. Larven konnten bei $+10^{\circ}\text{C}$ innerhalb der für Eier letalen Expositionszeit nicht abgetötet werden.

7.4 Kälteempfindlichkeit von Eilarven der Dörrobstmotte

Wenn Süßwaren aus organisatorischen oder produktionstechnischen Gründen nicht sofort eingelagert werden können und außerdem nur langsam abkühlen, muß mit Larvenschlupf gerechnet werden. In wenigen Fällen werden Süßwaren sogar von bereits geschlüpften Eilarven befallen, wenn Falter einen Teil ihrer Eier nicht auf Süßwaren,

sondern wahllos im Raum ablegen und erst die Eilarven sich ein geeignetes Futtersubstrat suchen. Daher sollten weitere Versuche klären, ob nicht auch die Eilarven bei $+10^{\circ}\text{C}$ durch eine verlängerte Expositionszeit abgetötet werden können, bevor sie die Süßwaren für den Verbraucher merkbar mit ihren Exkrementen verunreinigen und selbst zu gut sichtbaren, großen Larven heranwachsen.

Larven, die während langsamer Abkühlung von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+10^{\circ}\text{C}$ schlüpften, wurden zwischen 31 und 87 Tagen bei $+10^{\circ}\text{C}$ gekühlt. Anschließend wurden sie bei $+26^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) und ca. 65 % rel. Luftfeuchte auf Mandelbruch weitergezogen. Expositionszeiten von 31 bzw. 50 Tagen verminderten die Weiterentwicklungsrate nur geringfügig (Tab. 5), sogar nach 87 Tagen Kälteeinwirkzeit entwickelte sich eine Larve bis zum Puppenstadium. Diese Puppe starb aber wegen erheblicher Mißbildungen noch vor dem Falterschlupf.

Auch wenn nach einer verlängerten Expositionszeit Eilarven bei $+10^{\circ}\text{C}$ 100%ig abgetötet werden können, ist dieses Ergebnis für die Praxis uninteressant, da Verweilzeiten von Süßwaren in Kühllagern länger als 3 Monate unwirtschaftlich sind.

Tabelle 5: Überlebensdauer von Eilarven bei $+10^{\circ}\text{C}$, die während einer allmählichen Abkühlung von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+10^{\circ}\text{C}$ schlüpften

Anzahl Eier	Expositionszeit einschließlich der Abkühlphase	Anzahl Larven, die während allmählicher Abkühlung geschlüpft sind	Anzahl Falter
100	0	97	53
100	31 Tage	100	27
100	50 Tage	99	30
100	87 Tage	99	1*

* = als verkrüppelte Puppe gestorben

8. Zusammenfassende Bemerkungen für die Praxis

Die Untersuchungen haben ergeben, daß eine Kühllagerung von

Süßwaren, wie sie bei längerer Lagerung oftmals ohnehin zur Qualitätserhaltung der Ware praktiziert wird, gleichzeitig zur Bekämpfung von frischem Dörrobstmottenbefall ausgenutzt werden kann.

Dörrobstmotteneier starben bei Temperaturen unterhalb ihres Entwicklungsgrenzwertes von ca. $+14^{\circ}\text{C}$ ab; die für eine Abtötung erforderliche Expositionszeit hing dabei sowohl von der Temperatur als auch dem Entwicklungszustand der Eier bei Beginn der Abkühlung ab. Die schnellste Abtötung von Eiern aller Stadien erfolgte dabei im Temperaturbereich zwischen $+8^{\circ}\text{C}$ und $+12^{\circ}\text{C}$, eine weitere Temperatursenkung erforderte sogar verlängerte Expositionszeiten. In Kühlversuchen, bei denen Abkühlverläufe (von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+10^{\circ}\text{C}$) entsprechend den in Süßwarengebinden gemessenen Temperaturbedingungen simuliert wurden, verlängerte sich die zur Abtötung erforderliche Expositionszeit nur um ungefähr die Zeit, die bis zum Unterschreiten des Temperaturgrenzwertes für die Entwicklung der Eier (ca. $+14^{\circ}\text{C}$) verging. Während sehr langsamer Abkühlung schlüpfen vor allem aus älteren Eiern noch während der Abkühlphase die wesentlich kältewiderstandsfähigeren Eilarven. Dies kann aber durch sofortige Einlagerung bzw. Veränderung des Abkühlverhaltens der Süßwarengebinde verhindert werden. Damit die Süßwarengebinde nicht zu langsam abkühlen, sollte auch die Temperatur im Kühlager $+10^{\circ}\text{C}$ nicht überschreiten, obwohl in Kühlversuchen mit abrupter Abkühlung Dörrobstmotteneier bei $+12^{\circ}\text{C}$ ebenso schnell abgetötet wurden.

Wenige, abgetötete Motteneier werden weder geschmacklich noch visuell wahrgenommen, so daß hierdurch keine Beanstandungen durch den Konsumenten zu erwarten sind. Dennoch ist die Kältebehandlung nur eine von vielen aufeinander abgestimmten Sanierungs- bzw. Entseuchungsverfahren, wie z.B. Hygienemaßnahmen in den Herstellungsräumen zur Vermeidung von Befallsherden, getrennte Aufbewahrung von Roh- und Fertigware und auch chemische Bekämpfung von Vorratsschädlingen auf Rohwaren.

Die Vorteile des Kühlverfahrens zur Mottenbekämpfung sind zum einen, daß es keinerlei negative Veränderung der Ware, wie z.B. Rückstandsbelastungen nach chemischen Bekämpfungen hervorruft. Es vermindert vielmehr sogar die bei längerer Lagerung bei Zimmer-

temperatur auftretenden Qualitätsverluste. Zum anderen erfordert es keinen wesentlichen Arbeitsaufwand. Es ist lediglich darauf zu achten, daß die Süßwaren rechtzeitig eingelagert werden, ausreichend lange im Kühllager verbleiben und dort die geeigneten Kühltemperaturen eingehalten werden. Wenn der Hersteller dies berücksichtigt, kann er sicher sein, daß eventuell während der Produktion auf den Süßwaren abgelegte Dörrobstmotteneier abgetötet werden.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich nur auf die häufigste an Süßwaren schädliche Mottenart, die Dörrobstmotte. Speichermotten (Ephestia elutella) und Tropische Speichermotten (Ephestia cautella) befallen jedoch auch häufig Süßwaren. Ergebnisse anderer Arbeiten lassen vermuten (ADLER 1960, BELL 1975, BURGESS u. HASKINS 1965, HASE 1927 und YATOMI u. YAMASHITA 1938), daß die Kältebehandlung im Prinzip auch gegen diese Schädlinge angewendet werden kann. Da die Eier dieser Arten sich jedoch in ihrer Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern unterscheiden, sind hierfür weitere Untersuchungen erforderlich.

Es sollten Bedingungen gefunden werden, bei denen auch die Eilarven absterben, da in Einzelfällen mit Rohwaren, die ohne weitere Vorbehandlung zur Verzierung von Pralinen o.ä. verwendet werden, kleine Larven auf die Fertigware gelangen können bzw. bei längerer Vorlagerung, wie z.B. bei der Pralinenzwischenlagerung, sich auch während der Produktion abgelegte Eier zu Larven weiterentwickeln. Eine Kühlraumtemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ ist hierfür jedoch ungeeignet, weil Larven der Dörrobstmotte bei dieser Temperatur z.T. länger als 3 Monate überlebten. Eine derart lange Lagerzeit von Fertigwaren erfordert aber große Lagerkapazitäten sowie einen erheblichen Energieaufwand, so daß sie wirtschaftlich nicht vertretbar ist.

Zur Bekämpfung von Dörrobstmotteneiern auf Süßwaren sollten folgende Bedingungen eingehalten werden:

- 1) Die Kühlläger sollten auf einen Temperaturbereich zwischen $+8^{\circ}\text{C}$ und $+10^{\circ}\text{C}$ eingestellt werden.
- 2) Die Waren sollten nach der Herstellung möglichst bald, spätestens aber nach zwei Tagen, in ein Kühllager eingelagert werden.

- 3) Wenn eine Zwischenlagerung notwendig ist, wie z.B. bei Pralinen, sollte die Temperatur im Zwischenlager $+18^{\circ}\text{C}$ nicht überschreiten. Auch bei dieser Temperatur sollte die Zwischenlagerung nicht länger als 3 bis 4 Tage dauern.
- 4) Bei sehr langsam abkühlenden Süßwarengebinden empfiehlt sich eine Beschleunigung des Abkühlverhaltens, indem
 - a) die Gebinde mit durchgehenden Luftkanälen, die mit der Außenluft in direkter Verbindung stehen, gepackt werden,
 - b) die Gebinde verkleinert werden,
 - c) die Kühllagertemperatur gesenkt wird (jedoch nicht unter $+8^{\circ}\text{C}$)
oder
 - d) die Einlagerungstemperatur der Gebinde vermindert wird.

Zusammenfassung

Zur Bekämpfung von Dörrobstmottenbefall (Plodia interpunctella) auf frisch produzierten Süßwaren mit Kälte wurden Kühllagerbedingungen für palettierte Süßwarengebinde ermittelt, bei denen die Motteneier absterben. Bei abrupter Abkühlung von $+20^{\circ}\text{C}$ auf Temperaturen zwischen $+1^{\circ}\text{C}$ und $+14^{\circ}\text{C}$ erwies sich der Bereich von $+8^{\circ}\text{C}$ bis $+12^{\circ}\text{C}$ für die Abtötung von Dörrobstmotteneiern am günstigsten, weil die Eier aller untersuchten Altersstufen innerhalb von 16 Tagen abstarben, während bei Temperaturen tiefer als $+8^{\circ}\text{C}$ die erforderliche Expositionszeit zur Abtötung von Eiern einiger Altersstufen sogar über 30 Tage anstieg.

Zur Berücksichtigung von praxismgerechten Bedingungen wurde der Temperaturverlauf im Inneren von mehreren handelsüblichen Süßwarengebinden bei Abkühlung von $+22^{\circ}\text{C}$ auf $+10^{\circ}\text{C}$ gemessen und der schnellste, ein mittlerer und der langsamste Abkühlverlauf bei weiteren Kühlversuchen mit Dörrobstmotteneiern simuliert. Bei der schnellen Abkühlung konnten Eier aller untersuchten Altersstufen durch Kälteexposition abgetötet werden. Wenn ältere Eier langsam abgekühlt wurden, schlüpften jedoch bereits während der Abkühlung Larven, die wesentlich widerstandsfähiger waren als Eier.

Summary

Moth infestation on confectionery - development of a cooling method for the control of Indian-meal moth eggs (Plodia interpunctella)

Lethal cooling conditions were determined for eggs of the Indian-meal moth (Plodia interpunctella) on palletted fresh confectionery. The eggs were rapidly cooled from $+20^{\circ}\text{C}$ to between $+1^{\circ}\text{C}$ and $+14^{\circ}\text{C}$. The range $+8^{\circ}\text{C}$ - $+12^{\circ}\text{C}$ was the most suitable as it resulted in complete mortality after 16 days. At lower temperatures more than 30 days were required for complete mortality of eggs of some ages.

Temperatures were measured during the cooling of commercially palletted confectionery from $+22^{\circ}\text{C}$ to $+10^{\circ}\text{C}$, the fastest, a medium and the slowest rate were subsequently simulated. After the rapid cooling moth eggs of all tested ages could be killed. When older

eggs were cooled down slowly, some of them hatched during the cooling process and the larvae were much more tolerant to cold than eggs.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschung, dem Forschungskreis der Ernährungsindustrie und dem Bundesverband der Deutschen Süßwarenindustrie für die Finanzierung dieses Forschungsprojekts. Ebenso gilt unser Dank den Süßwarenfirmen, die uns bei der Durchführung großzügig unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- ADLER, V.E. (1960): Effects of low temperatures on the eggs of the Angoumois grain moth, the Indian-meal moth, and the confused flour beetle.-
J. Econ. Entomol. 53(5), 973-974.
- BELL, C.H. (1975): Effects of temperature and humidity on development of four pyralid moth pests of stored products.-
J. stored Prod. Res. 11, 167-175.
- BELL, C.H. (1976): Factors governing the induction of diapause in *Ephestia elutella* and *Plodia interpunctella*.-
Physiol. Ent. 1, 93-101.
- BELL, C.H. (1977): Tolerance of diapausing stages of four species of Lepidoptera to Methyl bromide.-
J. stored Prod. Res. 13, 119-127.
- BELL, C.H. and WALKER, D.J. (1973): Diapause induction in *Ephestia elutella* (Hübner) and *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera, Pyralidae) with a dawn-dusk lighting system.-
J. stored Prod. Res. 9, 149-158.
- BRAASCH, H. (1972): Zum Auftreten von Kakaomotte (*Ephestia elutella* Hübner) und Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella* Hübner) in Rohkakaolagern und Fabrikräumen der Süßwarenindustrie.-
Arch. Pflanzenschutz 8, 387-395.
- BURGES, H.D. and HASKINS, K.P.F. (1965): Life cycle of the tropical warehouse moth *Cadra cautella* (Wlk.) at controlled temperatures and humidities.-
Bull. ent. Res. 55, 775-789.
- CLINE, L.D. (1970): Indian-meal moth egg hatch and subsequent larval survival after short exposures to low temperature.-
J. Econ. Entomol. 63(4), 1081-1083.
- COLHOUN, E.H. (1954): Temperature acclimatization in insects.-
Nature 173, 582.
- FREEMAN, J.A. (1974): A review of changes in the pattern of infestation in international trade.-
EPPO Bull. 4(3), 251-273.
- HASE, A. (1927): Über Temperaturversuche mit den Eiern der Mehlmotte (*Eph. kühn.*).-
Arb. Biol. Reichsanst. Landw. Forstw. 15, 109-133.
- HASSAN, A.A.; HASSANEIN, M.H. and KAMEL, A.H. (1962): Biological studies on the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* Hbn. (Lepidoptera-Phycitidae).-
Bull. Soc. ent. Egypte 46, 233-256.
- HEDDERGOTT, H. (1974): Maßnahmen zur Schädlingsbekämpfung in Betrieben zur Herstellung von Dauerbackwaren und Knabbererzeugnissen.-
Vortrag auf einer Veranstaltung des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie im Januar 1974 in Bonn.
- HEINRICH, C. (1956): American moths of the subfamily Phycitinae.-
U.S.Nat. Mus. Bull. 207, 298-563.

- HERMS, W.B. (1917): The Indian meal moth, *Plodia interpunctella* Hüb., in candy and notes on its life-history.-
J. Econ. Entomol. 10, 563.
- HILL, G.F. (1928): Notes on *Plodia interpunctella*.-
J. Sci. Ind. Res. Australia 1, 330-340.
- HINTON, H.E. (1943): The larvae of the Lepidoptera associated with stored products.-
Bull. Ent. Res. 34(3), 163-212.
- HOPPE, T. (1981): Nahrungswahl, Eiablage und Eientwicklung der Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella* Hübner) an verschiedenen Rohstoffen und Fertigprodukten der Schokoladenindustrie.-
Z. angew. Ent. 91, 170-179.
- HOPPE, T. und LEVINSON, H.Z. (1979): Befallserkennung und Populationsüberwachung vorratsschädlicher Motten (Phycitinae) in einer Schokoladenfabrik mit Hilfe pheromonbeköderter Klebefallen.-
Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 177-183.
- HOWE, R.W. (1965): A summary of estimates of optimal and minimal conditions for population increase of some stored product insects.-
J. stored. Prod. Res. 1, 177-184.
- KAZUI, M. (1919): On the Indian Meal-moth, *Plodia interpunctella*.-
Konchu-Sekai, Gifu 12, 445-449.
Ref. in: Rev. Appl. Ent. 8(A): 143.
- LEHMENSICK, R. und LIEBERS, R. (1938): Beiträge zur Biologie der Mikrolepidopteren (Untersuchungen an *Plodia interpunctella* Hb.).-
Z. angew. Entomol. 24, 582-643.
- MASCHLANKA, H. (1938): Physiologische Untersuchungen am Ei der Mehlmotte *Ephestia kühniella*.-
Wilhelm Roux Archiv 137, 714-772.
- MELLANBY, K. (1954): Acclimatization and the thermal death point in insects.-
Nature 173, 582-583.
- MILES, M. (1933): Observations on growth in larvae of *Plodia interpunctella* HÜBN.-
Ann. appl. Biol. 20, 297-307.
- MÜLLER, K. (1938): Histologische Untersuchungen über den Entwicklungsbeginn bei einem Kleinschmetterling (*Plodia interpunctella*).-
Z. wiss. Zool. (A) 151, 192-242.
- NOACK, S. und REICHMUTH, CH. (1978): Ein rechnerisches Verfahren zur Bestimmung von beliebigen Dosis-Werten eines Wirkstoffes aus empirisch ermittelten Dosis-Wirkungs-Daten.-
Mitt. Biol. Bundesanst. Land.-Forstwirtschaft. (Berlin-Dahlem) 185.
- NOYES, W.M. (1930): Moth pests in cacao and confectionery.-
Bull. Ent. Res. 21, 77-121.

- POTTER, C. (1935): An account of the constitution and use of an atomised white oil - pyrethrum fluid - to control *Plodia interpunctella* Hb. and *Epehestia elutella* Hb. in warehouses.-
Ann. appl. Biol. 22, 769-805.
- PREVETT, P.F. (1971): Some laboratory observations on the development of two African strains of *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera:Phycitidae), with particular reference to the incidence of diapause.-
J. stored Prod. Res. 7, 253-260.
- RAO, K.P. (1962): Physiology of acclimation to low temperature in poikilotherms.-
Science N.Y. 137, 682-683.
- REICHMUTH, CH. (1979): Zur Kälteempfindlichkeit von Eiern der Dörrobstmotte (*Plodia interpunctella* Hbn.).-
Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 10-13.
- RICHARDS, A.G. (1957): Cumulative effects of optimum and sub-optimum temperatures on insect development.-
In: "Influence of temperature on biological system," 145-162.
Minn. Agr. Expt. Sta. Sci. J. Ser. No. 3615.
- RICHARDS, A.G. (1959): Studies on temperature thresholds in insect development.-
Biol. Zentr. 78, 308-314.
- RICHARDS, O.W. and THOMSON, W. (1932): A contribution to the study of the genera *Epehestia* Gn. (including *Strymax* Dyar) and *Plodia* Gn. (Lepidoptera, Phycitidae), with notes on parasites of the larvae.-
Ent. Soc. London Trans. 80(2), 169-248.
- ROESLER, U. (1966): Die deutschen Arten des *Homoeosoma-Epehestia*-Komplexes (Lepidoptera, Phycitinae).-
Mitt. Münchner Ent. Ges. 56, 104-160.
- SCHELLHORN v., M. (1956): Insekten in Süßwarenpackungen, ihr Ursprung und ihre Bekämpfung.-
Zucker- und Süßwarenwirtschaft 9(9), 499-500.
- SCHMIDT, H.-U. (1979): Verpackung und Vorratsschutz.-
Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 36-39.
- SILHACEK, D.L. and MILLER, G.L. (1972): Growth and development of the Indian-meal moth, *Plodia interpunctella* (Lepidoptera, Phycitidae), under laboratory mass-rearing conditions.-
Ann. Entomol. Soc. Am. 65, 1084-1087.
- STRÜMPFEL, H. (1969): Entwicklungszyklen einiger am Rohkakao schädlichen Insekten.-
Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz 42(11), 161-165.
- TOSI, R. (1929): Contributo alla cognoscenza di due Tignole del grano (*Plodia interpunctella* Hb. e *Tinea granella*).-
Boll. Lab. ent. Bologna 2, 292-300.

- TSUJI, H. (1960): Studies on the ecological life history of the Indian-meal moth *Plodia interpunctella*: I. Comparative studies of three stocks with special reference to the onset of diapause.-
Jap. J. appl. Ent. Zool. 4, 173-181.
- TZANAKAKIS, M.E. (1959): An ecological study of the Indian-meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) with emphasis on diapause.-
Hilgardia 29, 205-246.
- WILLIAMS, G.C. (1964): The life-history of the Indian-meal moth, *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lep. Phycitidae) in a warehouse in Britain and on different foods.-
Ann. appl. Biol. 53, 459-475.
- WINSTON, P.W. and BATES, D.H. (1960): Saturated solutions for the control of humidity in biological research.-
Ecology 41, 232-237.
- WOHLGEMUTH, R. (1976): Untersuchungen zur Bekämpfung des Mottenbetralls (*Plodia interpunctella* = Dörrobstmotte) an Süßwarenprodukten durch ionisierende Strahlen.-
Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 49, 25-30.
- WOHLGEMUTH, R. (1979): Protection of stored foodstuffs against insect infestation by packaging.-
Chemistry and Industry May 1979, 330-334.
- YATOMI, K. and YAMASHITA, S. (1938): On the effect of temperature and humidity upon the hatching of the eggs of *Ephestia cautella* Walk. (Preliminary Report).-
Oyo-Dobuts, Zasshi 10(3-4), 133-136.
Ref. in: Rev. appl. Ent. (A) 26, 671.
- YOSHIDA, M.; KUMARA, S. and MUKAI, S. (1969): Studies on the control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* Hbn. I. On the damages on confectionery injured by insects, kind of the species and their seasonal fluctuation in Shizuoka prefecture.-
Bull. Faculty Agr. Shizuoka Univ. 19, 77-84.
- ZACHER, F. (1926a): Über Motten und andere Schädlinge in Schokoladenfabriken.-
Kazett 12, 433-436 und
Kazett 13, 481-483.
- ZACHER, F. (1926b): Schädlinge in Rohkakao, Schokolade, Marzipan und ähnlichen Erzeugnissen.-
Verh. deutsch. Ges. angew. Ent. 5, 68-69.
- ZACHER, F. (1938): Die Dörrobstmotte und die Kakaomotte.-
Internatl. Kongr. Ent. Berlin, Aug. 15-20, 1938, 5, 2892-2902.
- ZACHER, F. (1939): Die Dörrobstmotte als Schädling in Lebensmittelhandel und Industrie.-
Deutsch. Lebensmitt. Rdsch. 9, 1-4.
- ZACHER, F. (1950): Die Dörrobstmotte, *Plodia interpunctella* Hb. Ein gefährlicher Schädling der Lebensmittelindustrie, des Handels und des Haushaltes.-
Natur und Nahrung 1950 (23/24) B, 1-10.

- ZACHER, F. (1958): Zwei wichtige Schädlinge der Süßwaren: Kakao-
motte und Dattelmotte.-
Süßwaren 2 (23), 1341-1358.
- ZACHER, F. (1960): Die Dörrobstmotte als gefährlicher Süßwaren-
schädling.-
Süßwaren 4 (16), 963-966.

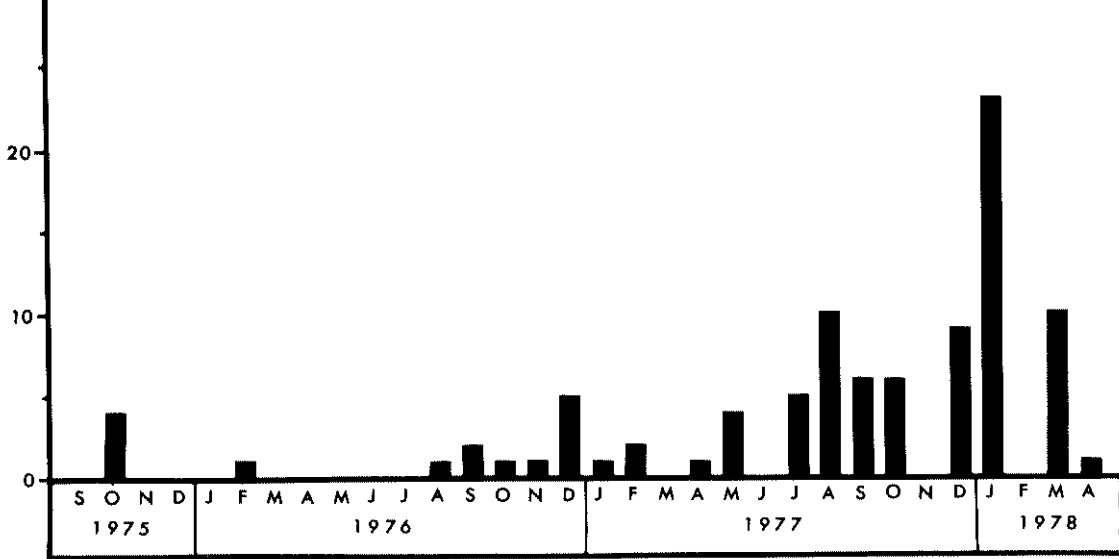


Abb. 1: Monatliche Anzahl an Reklamationseingängen bei einer Süßwarenfirma im Laufe von 3 Jahren.

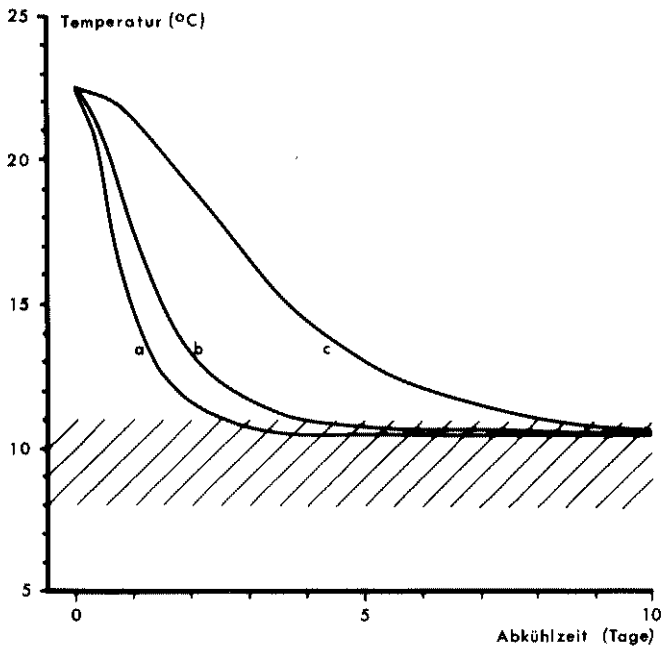


Abb. 2: Abkühlverhalten von drei palettierten Süßwarengebinden, die sich im Gesamtgewicht unterscheiden (a) 125 kg, b) 135 kg und c) 840 kg). Die Kühlraumtemperatur schwankte zwischen + 8° C und + 11° C (schraffierter Bereich).

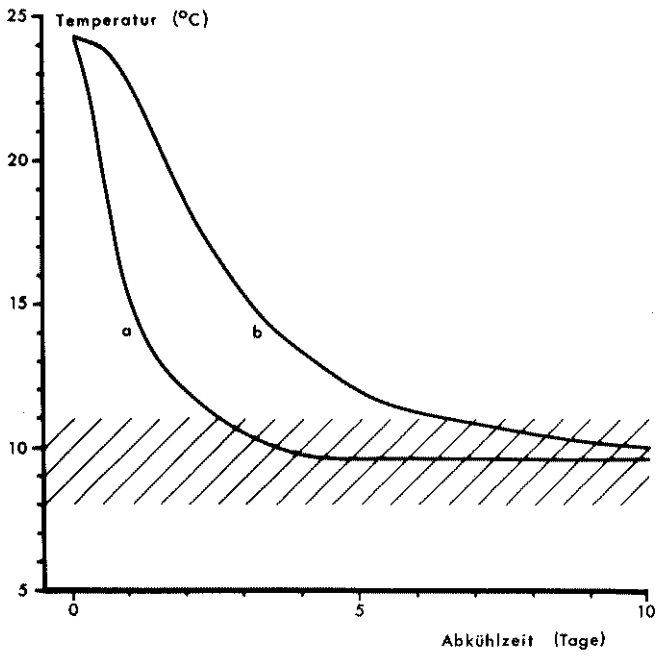
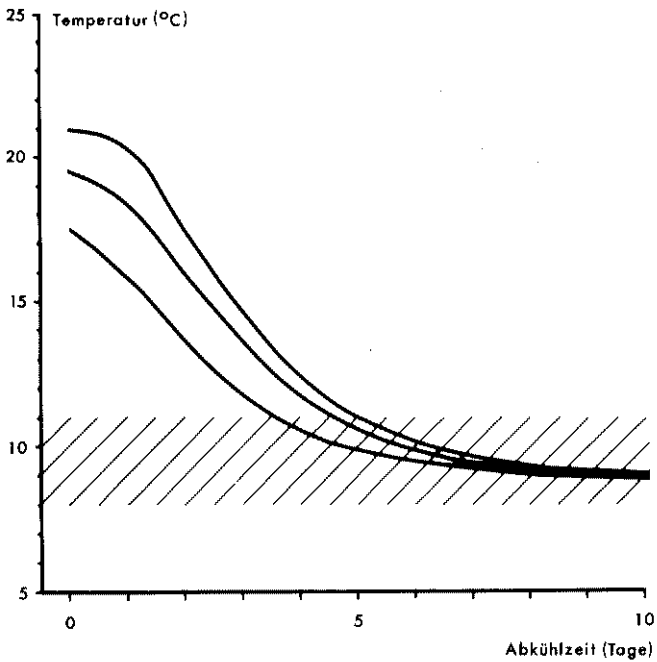


Abb. 3: Abkühlverhalten eines mit Luftkanälen durchzogenen Gebäckgebindes im Vergleich zu einem kompakt gepackten Gebäckgebände. Die Kühlraumtemperatur schwankte zwischen + 8° C und + 11° C (schraffierter Bereich).



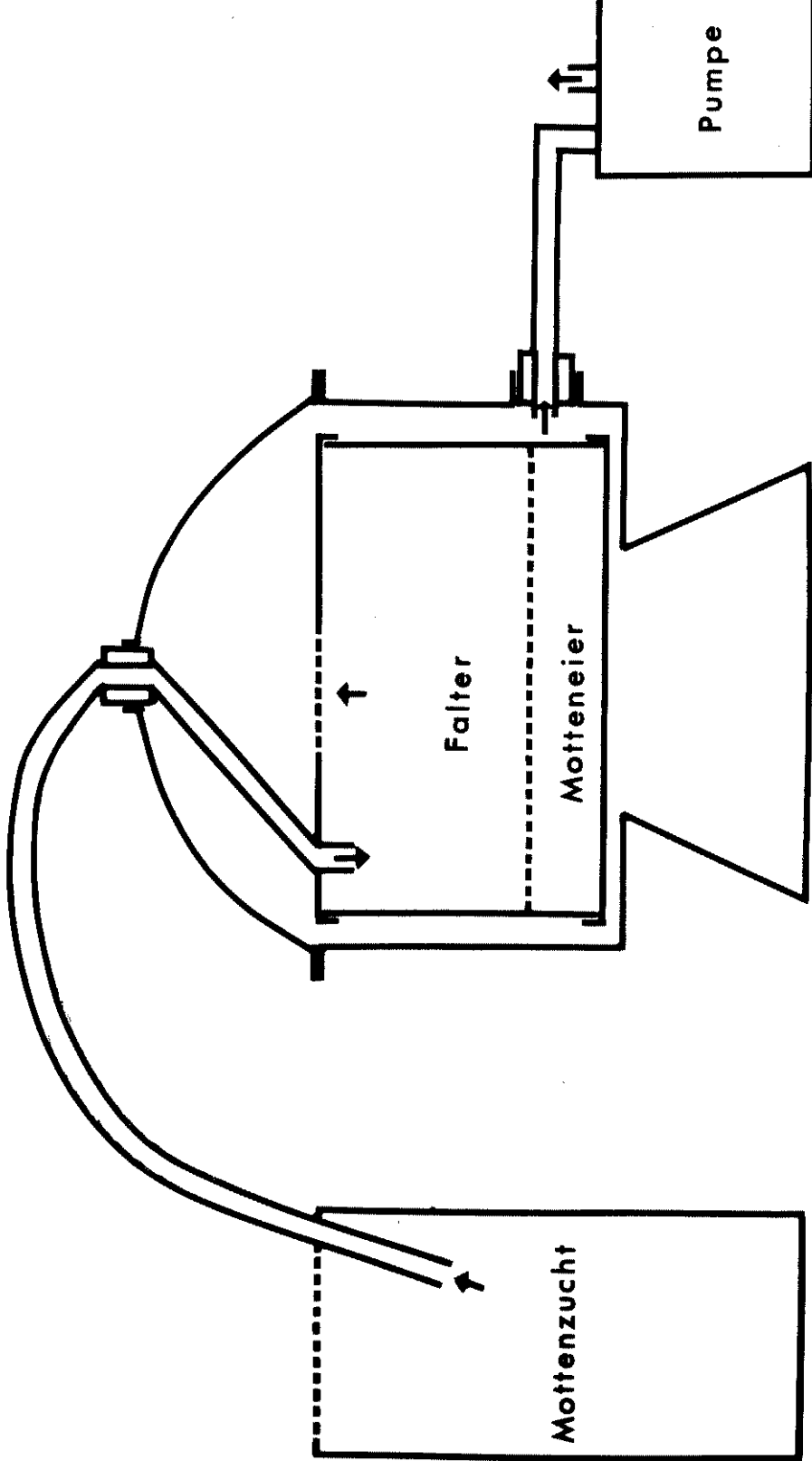


Abb. 5: Apparatur zum Abfangen von Motten in ein Eisblagesgefäß. Mit einer Pumpe wird in einem Exsikkator ein Unterdruck erzeugt. Durch einen Schlauch werden so unbetäubte Falter aus dem Zuchtglas in das mit Gaze verschlossene Eisblagesgefäß gesaugt.

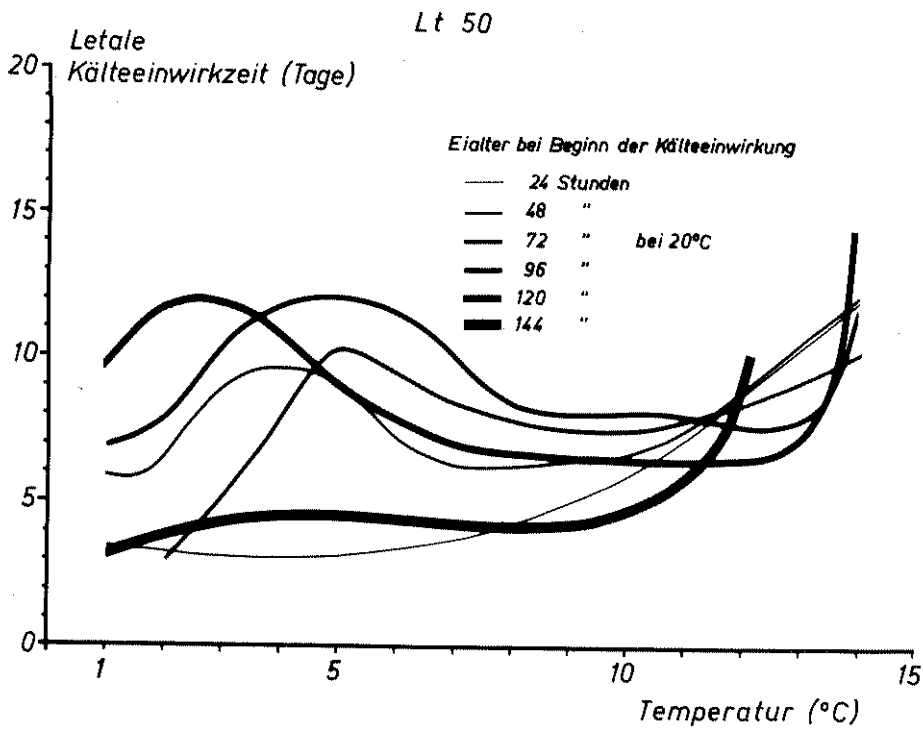
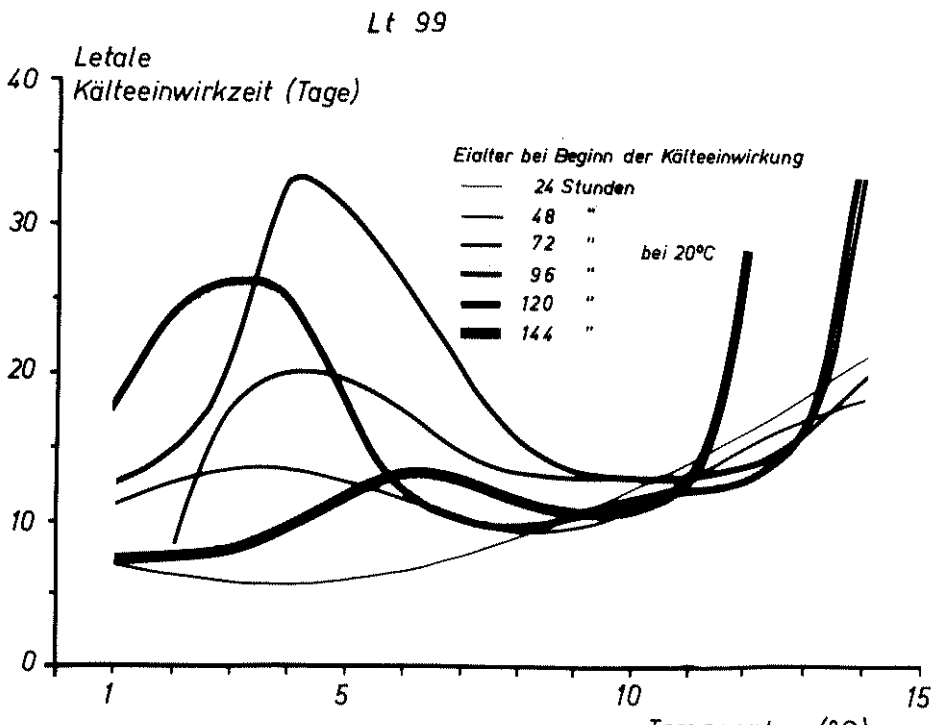


Abb. 6: Kälteeinwirkzeit zur Abtötung von 50 % (Lt50) Dörrobstmotteneiern bei verschiedenen Temperaturen zwischen + 1° C und + 14° C.



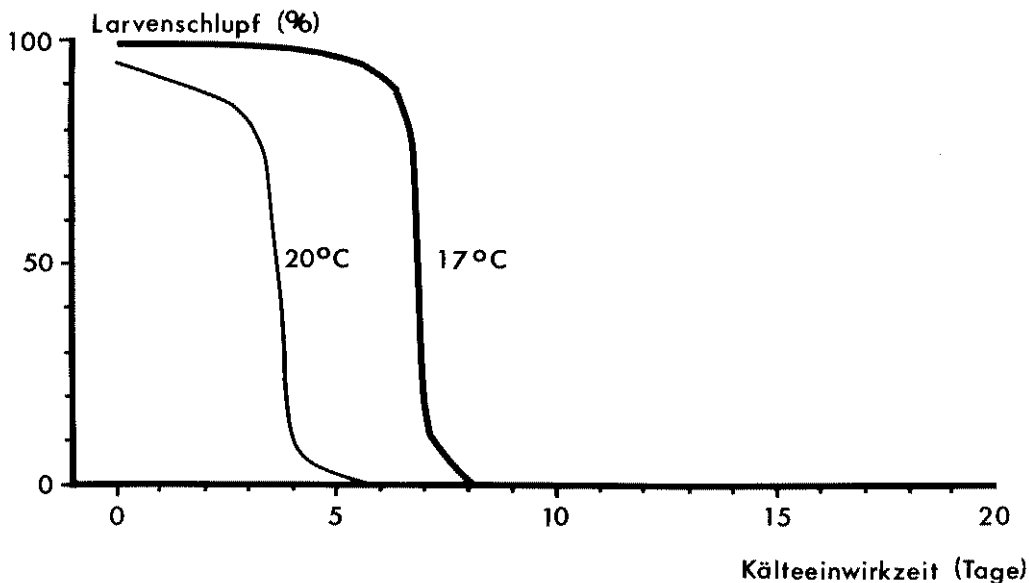


Abb. 8: Einfluß verschiedener Vorbrüttemperaturen auf die Kälteempfindlichkeit von jungen Dörrobstmotteneiern (*Plodia interpunctella*). Dargestellt ist der Larvenschlupf bei +26° C in Prozent nach verschiedenen Kälteeinwirkzeiten bei +3° C für Dörrobstmotteneier vergleichbaren Entwicklungsalters, die 48 Stunden bei +17° C bzw. 24 Stunden bei +20° C vorgebrütet wurden.

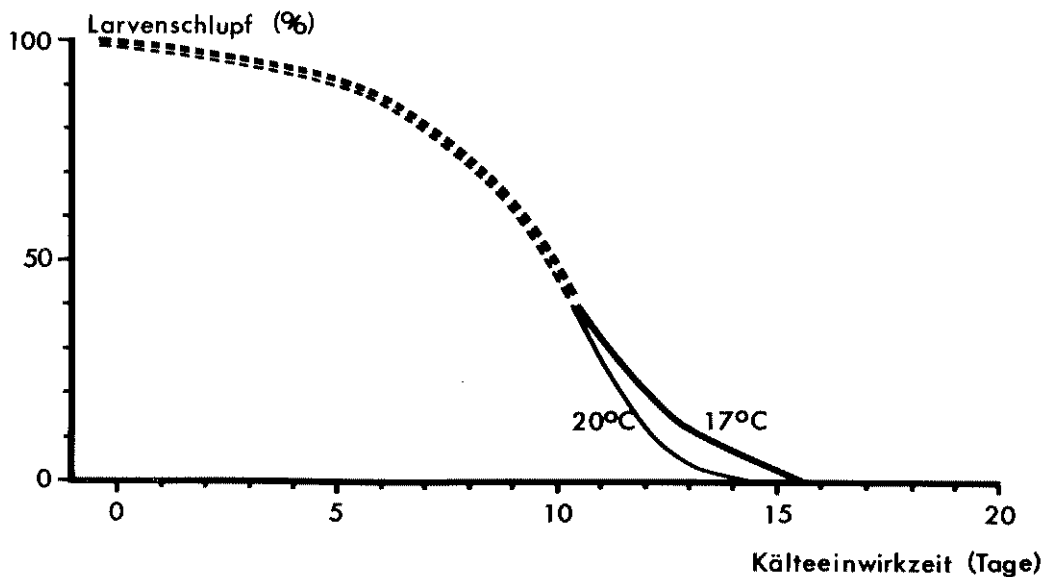


Abb. 9: Einfluß verschiedener Vorbrüttemperaturen auf die Kälteempfindlichkeit von älteren Dörrobstmotteneiern (*Plodia interpunctella*). Dargestellt ist der Larvenschlupf bei +26° C in Prozent nach verschiedenen Kälteeinwirkzeiten bei +3° C für Dörrobstmotteneier vergleichbaren Entwicklungsalters, die 144 Stunden bei +17° C bzw. 72 Stunden bei +20° C vorgebrütet wurden.

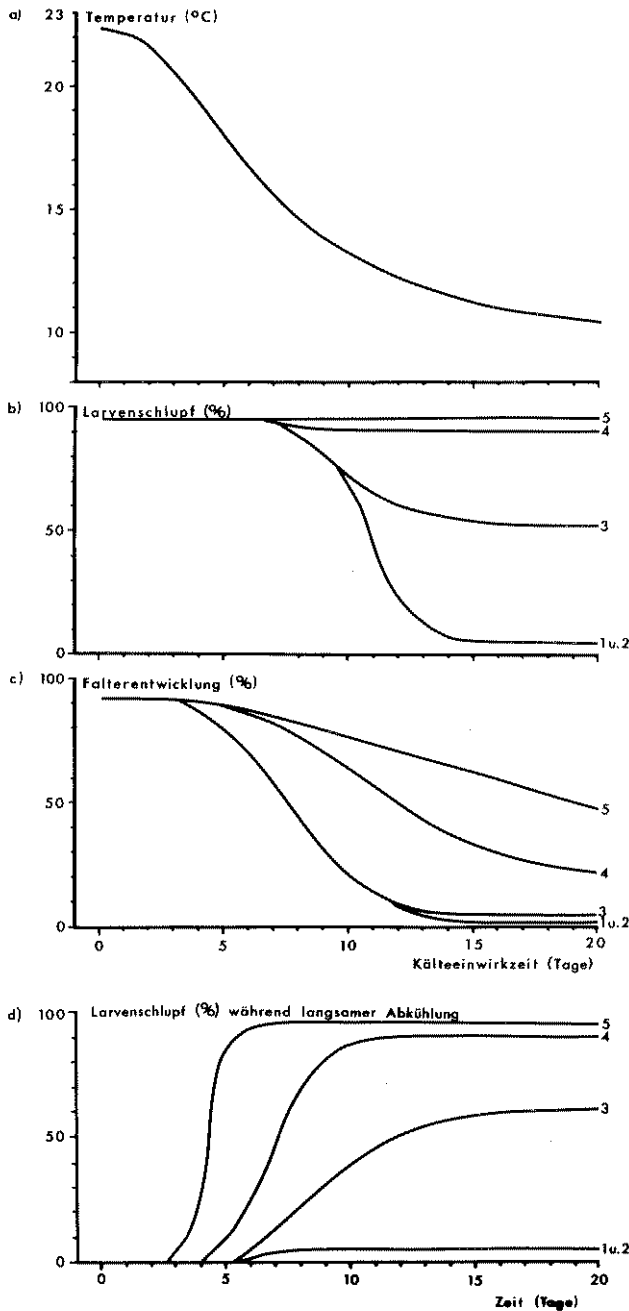


Abb. 10: Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern (*Plodia interpunctella*) bei +10° C nach allmählicher Abkühlung entsprechend dem Temperaturverlauf im Inneren langsam abkühlender Süßwarengebinde.

a) Simulierter Temperaturverlauf

b) Larvenschlupf in Prozent nach unterschiedlichen Kälteeinwirkzeiten für Dörrobstmotteneier folgender Entwicklungsalter:

1 ≠ 24 Stunden

2 ≠ 48 "

3 ≠ 72 " bei +20° C

4 ≠ 96 "

5 ≠ 120 "

c) Prozentuale Weiterentwicklung der Dörrobstmotteneier bis zum Falter-

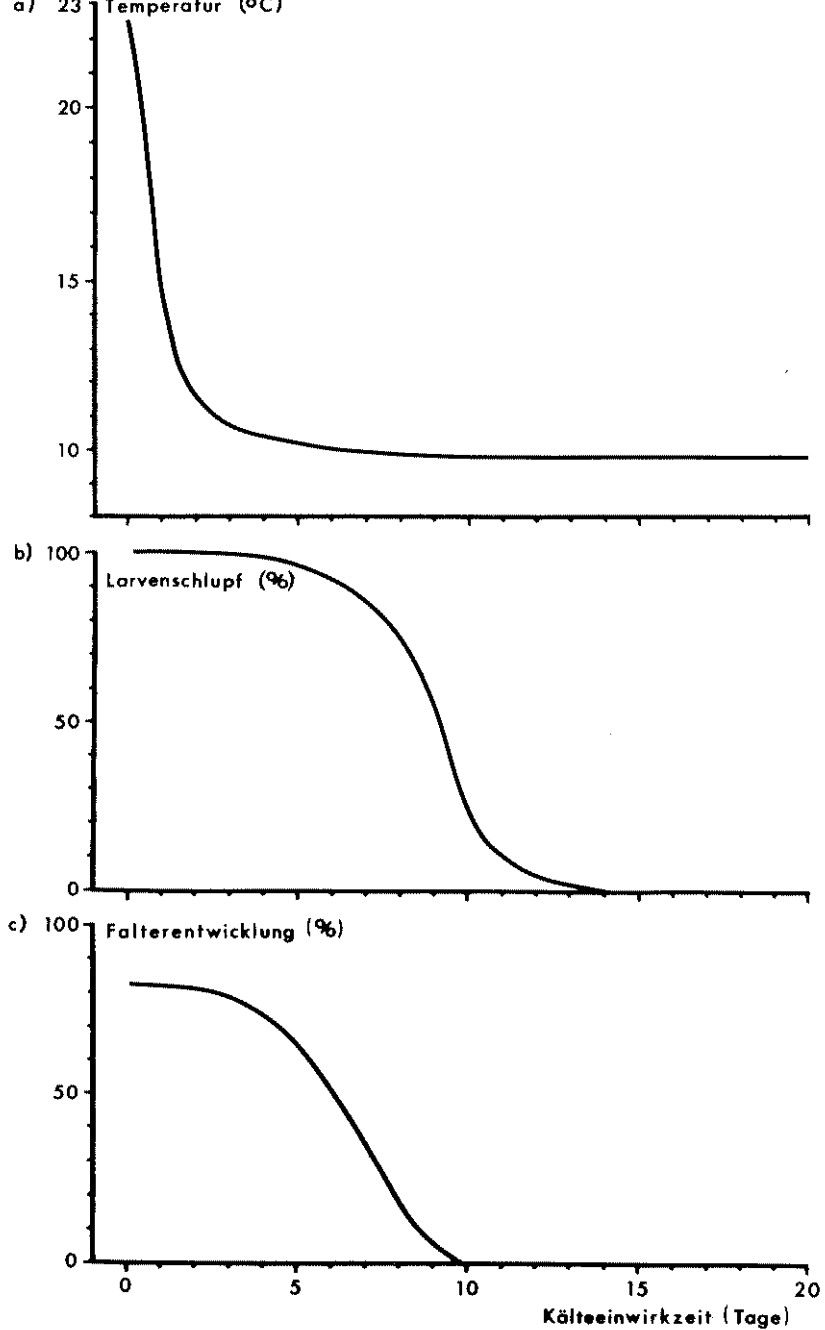


Abb. 11: Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern (*Plodia interpunctella*) bei +10° C nach allmählicher Abkühlung entsprechend dem Temperaturverlauf im Inneren schnell abkühlender Süßwarengebinde.

a) Simulierter Temperaturverlauf

b) Larvenschlupf von Dörrobstmotteneiern in Prozent nach unterschiedlichen Kälteeinwirkzeiten. Für Eier, die vor Abkühlbeginn zwischen 4 24 Stunden und 120 Stunden bei +20° C vorgebrütet wurden, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

c) Prozentuale Weiterentwicklung der Dörrobstmotteneier bis zum Falterstadium nach unterschiedlichen Kälteeinwirkzeiten.

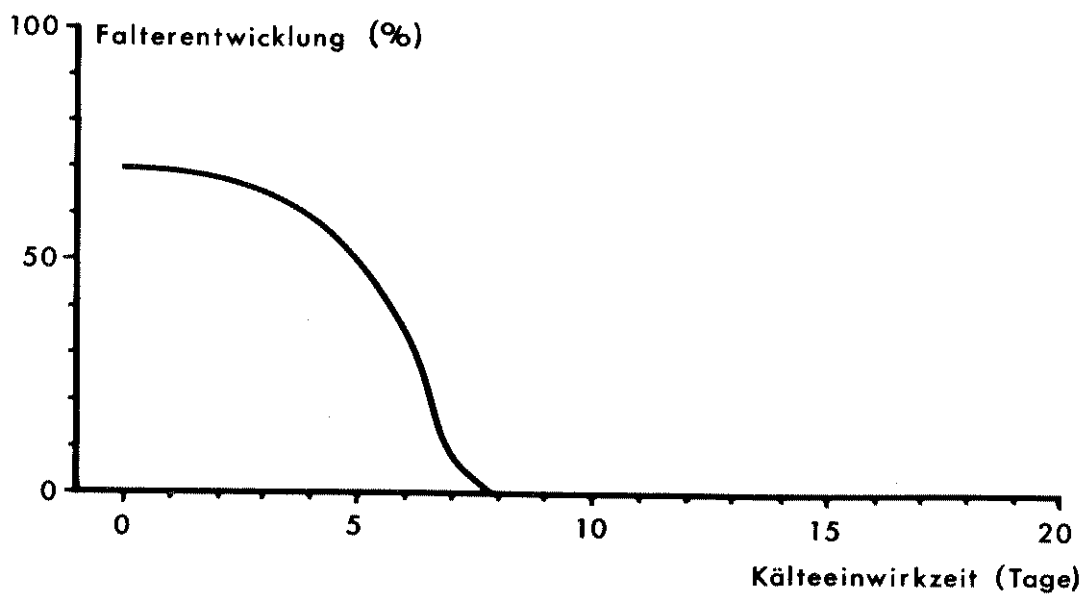
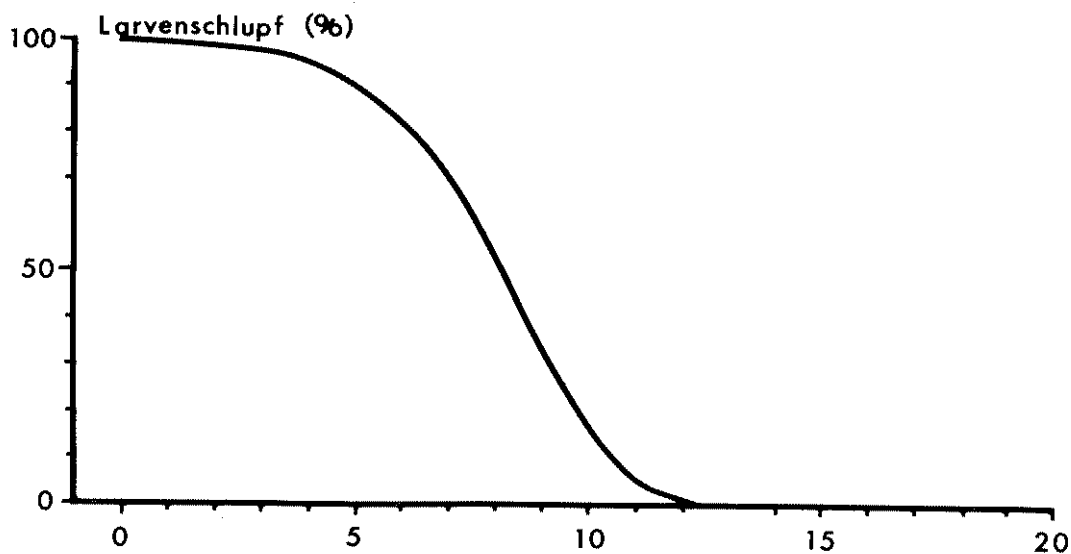


Abb. 12: Kälteempfindlichkeit von Dörrobstmotteneiern (*Plodia interpunctella*) bei +10° C nach abrupter Abkühlung.

- a) Larvenschlupf von Dörrobstmotteneiern in Prozent nach unterschiedlichen Kälteeinwirkzeiten
- b) Prozentuale Weiterentwicklung der Dörrobstmotteneier bis zum Falterstadium nach unterschiedlichen Kälteeinwirkzeiten