

Stephan Biebl¹, Christoph Reichmuth²

Stickstoff-Behandlung gegen Materialschädlinge

Nitrogen treatment
against material pests

Zusammenfassung

Der Brotkäfer *Stegobium paniceum* gehört mit zu den häufigsten Schädlingen in Haushalten, Apotheken und in Drogerien. Aber auch in Archiven kann er massive und irreversible Schäden an Leder und Einbänden wertvoller historischer Bücher verursachen.

Anhand von Fallbeispielen und umfangreichen Erläuterungen aus der Literatur wird die praktische Umsetzung alternativer Verfahren zur Abwehr (Vorbeugung und Bekämpfung) Material-zerstörender Insekten in Archiven demonstriert. Neben mobilen elektrischen Kälteanlagen zur Absenkung der Raumtemperatur zur Eindämmung der Massenentwicklung der Schadtiere wird der Einsatz biologischer Gegenspieler des Brotkäfers, Verwendung Pheromon-beködeter Klebefallen zur Früherkennung und der Einsatz bekämpfender Maßnahmen mittels Stickstoffbegasung geschildert.

Stichwörter: Brotkäfer, *Stegobium paniceum*, Materialschutz, Stickstoff, inerte Atmosphären

Abstract

The drugstore beetle *Stegobium paniceum* belongs to the most frequent pest insects in households and drugstores. But it can also cause massive and irreversible damages on leather and bindings of precious historical books. Case studies together with broad discussions of literature data

demonstrate the practical use of alternative measures to prevent material pest insect infestation in archives or control it. Mobile electrical cooling units for reducing the temperature for prevention of mass development of insect pests, application of biological antagonists as possible control agents of the drugstore beetles, use of sticky traps with pheromone baits for early pest detection and finally the use of nitrogen for pest control are described and discussed.

Key words: Drugstore beetle, *Stegobium paniceum*, material protection, nitrogen, inert atmospheres

Einführung

Brotkäfer *Stegobium paniceum* (Abb. 1) gehören zu den häufigsten Schädlingen in Haushalten, Apotheken und in Drogerien (ZACHER, 1927; MADEL, 1938; WEIDNER, 1979c; 1983; POSPISCHIL, 1997; REICHMUTH, 1997; ENGELBRECHT und REICHMUTH, 2005). Als Allesfresser bevorzugen die Larven dieses Käfers besonders trockene Back- und Teigwaren, stärkehaltige, trockene pflanzliche Stoffe, Lagergetreide, außerdem getrocknete Pflanzen und Drogen, Kakao und Schokolade und verdauen mit Symbionten im Darmtrakt selbst Tabak, ohne Schaden zu nehmen. Die Larven ernähren sich von Brot, kommen aber auch an Leder, Trockensträußen oder Salzteigfiguren vor. Fast jede trockene, organische Substanz kann verdaut werden. Selbst Bitterstoffe, Alkaloide und Gerbstoffe werden

Institut

Fachberatung für Schädlingsbekämpfung, Benediktbeuern¹

Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin²

Kontaktanschrift

Dipl.-Ing. (FH) Stephan Biebl, Fachberatung für Schädlingsbekämpfung, 83671 Benediktbeuern,

E-Mail: info@holzwurmfluesterer.de;

Prof. Dr. Christoph Reichmuth, Carstennstraße 16, 12205 Berlin, E-Mail: Reichmuth@t-online.de

Zur Veröffentlichung angenommen

14. September 2012

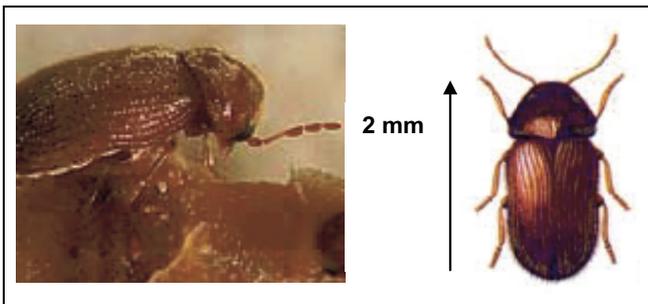


Abb. 1. Brotkäfer *Stegobium paniceum*, rechts Aufsicht.

problemlos vertragen. Im Englischen besitzt er den Namen „drugstore beetle“, was auf sein häufiges Auftreten in Drogerien und Lebensmitteläden hindeutet.

Dieser klassische Vorratsschädling tritt aber auch an Einbänden alter Bücher insbesondere in Archiven auf (Abb. 2 und 3), wo er sich von den organischen Bestandteilen einschließlich der Leime ernährt und unwiederbringliche Schäden verursachen kann. An seinen Fraßspuren (Abb. 4 bis 6) erkennt man Ähnlichkeiten zu Spuren holzerstörender Insekten wie dem Holzwurm *Anobium punctatum*, deren Larven ebenfalls typische Gänge ins Holz fressen (KEMPER, 1941; MADEL, 1952).

Zusammen mit dem Holzwurm *Anobium punctatum* (WEIDNER, 1979a, 1979b) gehört der Brotkäfer zur Familie der Nagekäfer (Anobiidae). Der Holzwurm kann mit Hilfe von Symbionten im Darmtrakt auch Lignine – wichtige Bestandteile von Holz – verdauen.

Fallbeispiele mit Erläuterungen

In einem großen **Stadt-Archiv** in Bayern wurde die praktische Umsetzung alternativer Verfahren zur Vorbeugung und Bekämpfung erprobt. Befallen waren teilweise wertvolle Archivalien, deren Alter bis ins 11. Jahrhundert reicht. Im Ganzen waren Archivunterlagen auf 2400 Regalmetern gelagert (Abb. 2 und 8).

Am Beispiel des insektenbefallenen Archivs wird der typische Lochfraß des Brotkäfers dokumentiert (Abb. 4 bis 6). Diese irreversiblen Schäden sind aus archivarischer Sicht eine Katastrophe, weil kulturhistorisch wertvolle Materialien, hier zum Teil aus dem 14. Jahrhundert, unwiederbringlich verloren gehen.

Die Feststellung aktiven Befalls erfolgte 2009. Mit „Häuschenfallen“, Klebefallen, die auf dem Boden stehend zur Früherkennung kriechender Insekten eingesetzt werden, und großen Gelbtafeln für fliegende Insekten wurde die Anzahl der Brotkäfer im Archivraum grob erfasst (Abb. 10).



Abb. 2. Kostbare alte Archivmaterialien vor der Behandlung gegen Schadinsekten.



Abb. 3. Kostbare historische Bücher vor der Behandlung gegen Schadinsekten.



Abb. 4. Schadbild an Einbänden und Papier bei altem Archivmaterial nach Befall durch den Brotkäfer *Stegobium paniceum*.



Abb. 5. Schadbild nach Brotkäferbefall an historischen Büchern.

Die Lagererzwespe *Lariophagus distinguendus* (Abb. 9) wird in der Literatur als biologischer Gegenspieler des Kornkäfers *Sitophilus granarius* und anderer vorratsschädlicher Rüsselkäfer (Maiskäfer *S. zeamais*, Reiskäfer *S. oryzae*) erwähnt (REICHMUTH, 1997). STEIDLE et al. (2007) beschreiben die Möglichkeiten und Grenzen der Bekämpfung holzerstörender Käfer mit Lagererzwespen. STEIDLE und REICHMUTH (2003) berichteten über ihre effektive Abtötungsleistung in Lagergetreide im Versuchssilo. Auf diesen Grundlagen wurden von der Firma Biologische Beratung Ltd. in Berlin Wespen für den Einsatz gegen den Brotkäfer in dem befallenen Archiv zur Verfügung gestellt. Auf Abb. 6 und 7 erkennt man die Räume, in denen die Wespen freigesetzt wurden. Mittels Pheromonfallen (Abb. 10) und Gelbtafeln (Abb. 6 und 7) wurde die Anzahl der Brotkäfer in den Archivräumen grob erfasst.

Die Wespen wurden jedoch nur im Versuch zur groben Reduzierung von Käfern eingesetzt. Eine erfolgreiche Bekämpfung konnte damit nicht erreicht werden. Womöglich gelang es den Wespen nicht, Brotkäferlarven in den Befallsgängen der Buchrücken zu erreichen.

In einer weiteren **historischen Bibliothek** trat *Stegobium paniceum* unter den Dielen in Weizenstroh auf, das als Dämmmaterial eingesetzt worden war, und als Schädling in Rücken von Büchern aus dem 16. bis 18. Jahrhundert. Auch dort entstand unwiederbringlicher Schaden.



Abb. 6. Fraßschäden an historischen Büchern, verursacht durch den Brotkäfer *Stegobium paniceum*.

Die Bücher wurden in eine Kammer zur Begasung und Entwesung mit Stickstoff ausgelagert. Nach der Behandlung und dem Rücktransport traten wieder Käfer auf, die wohl aus den Dielenritzen ausgewandert waren. Nun wurden bei recht geringem Käferbefall erfolgreich die o.g. Schlupfwespen eingesetzt (SCHÖLLER, 2010; SCHÖLLER und PROZELL, 2011).



Abb. 7. Einsatz konventioneller Gelbtafeln zur Überwachung des Brotkäferbefalls.



Abb. 8. Notfallprogramm in einem befallenen Archiv zum Einsatz von Nützlingen; Lagererzwespe *Lariophagus distinguendus* versuchsweise gegen Brotkäfer *Stegobium paniceum*; Ausbringung: 600 Individuen in einer Etage; Gesamtlänge der Regale ca. 2,3 km.



Abb. 9. Lagererzwespe *Lariophagus distinguendus* (ca. 3 mm groß, Photo: SCHÖLLER), bekannt als Gegenspieler des Kornkäfers *Sitophilus granarius* und anderer vorratsschädlicher Rüsselkäfer (Maiskäfer *S. zeamais*, Reiskäfer *S. oryzae*).



Abb. 10. „Häuschenfalle“ mit Klebeflächen und Pheromonköder auf einem Regalboden des befallenen Archivs zur Erfassung kriechender Insekten, hier Brotkäfer *Stegobium paniceum*.

Ein weiterer Einsatz der Schlupfwespen gegen den Brotkäfer wurde von WILAMOWSKI et al. (2008) aus Israel beschrieben. Die Wespen fanden dort die Wirtslarven zwischen und innerhalb der befallenen Bücher. QUERNER und BIEBL (2011) berichteten über teilweisen Erfolg beim

orientierenden Einsatz der Wespen gegen Brotkäferbefall in alten Büchern. Die Verminderung der Befallsdichte des Brotkäfers, die während des folgenden Jahres durch Monitoring belegt werden konnte, ließ sich allerdings nicht eindeutig den Wespen zuordnen, weil zusätzlich

auch Stickstoff gegen die Brotkäfer eingesetzt worden war. QUERNER und BIEBL wiesen auf das Potential der Wespen in einem integrierten Bekämpfungskonzept hin und betonten auch deren wirksamen Einsatz im Zuge einer Prophylaxe einer Massenentwicklung des Brotkäfers durch Freilassung von Wespen bereits bei sehr geringem Schädlingsbefall.

Alternativ wurde zunächst auch versucht, mit moderater Kälte von 15°C–17°C, die mit Kühlaggregaten eingeregelt wurde (Abb. 11), die massenhafte Entwicklung des Brotkäfers vorübergehend zu stoppen, bis eine durchgreifende Bekämpfung mittels Stickstoff gestartet werden konnte.

Des Weiteren wurde für ca. 5 Monate ein großes Kunststoffzelt gebaut (Abb. 12, 13 und 14) und die befallenen Bestände des Archivs aus 2,4 Regalkilometern in Kartons mit ca. 750 000 Dokumenten, wie z.B. Reichsstädtischen Beständen ab dem 13. Jahrhundert, mit 30

Lkw-Ladungen umgelagert und in das 400 m³ große Zelt (15 m × 12 m × 2 m) befördert. Abb. 12 zeigt die Vorbereitung des Bodens als gasdichten Untergrund für die Zeltkonstruktion. Holzplatten wurden zum mechanischen Schutz der darunter liegenden gasdichten Folie ausgelegt, um später die Archivunterlagen ohne Zerstörung der gasdichten Unterschicht zu deponieren.

Der 1. Durchlauf mit 90 Paletten umfasste bereits 150 000 Dokumente. Anschließend sollte befeuchteter Stickstoff so lange eingeblasen werden, bis die zunächst mit eingeschlossene Luft mit ihrem Sauerstoff durch Stickstoff ausgetauscht war, und die Archivmaterialien in sauerstoffarmer Atmosphäre lagerten. Nach den herrschenden Temperaturbedingungen sollte die sauerstoffarme Atmosphäre so lange einwirken, bis alle Stadien des Brotkäfers nachweislich abgetötet waren.

Stickstoff gehört zu den reaktionsträgen bzw. inerten Gasen, die ungiftig sind und durch Verdrängung des



Abb. 11. Notfallprogramm zur Klimatisierung (Kühlen); Kältegeräte im Archiv; Temperatur 15°C bis 17°C, um den weiteren massenhaften Aufbau der Schadinsektenpopulation zu unterbinden.



Abb. 12. Vorbereitung des Bodens in einer Lagerhalle, zur späteren Errichtung eines gasdichten Kunststoffzeltes zur Entwesung insektenbefallener Materialien.



Abb. 13. Aufbau eines Quarantänetunnels zum Stickstoffzelt.



Abb. 14. Fertig abgedichtetes Kunststofffolienzelt zur Entwesung von Archivmaterial mit Stickstoff.

lebenswichtigen Sauerstoffs auf die meisten Organismen erstickend und abtötend wirken. Die Faktoren Temperatur, Sauerstoffrestgehalt in der Behandlungsatmosphäre, Wassergehalt der zu entwesenden Materialien, relative Luftfeuchte in der Gasmischung sowie die vorhandenen Arten und ggf. Entwicklungsstadien der Schadtiere beeinflussen maßgeblich den abtötenden Effekt und die Dauer der letalen Behandlung (ALINIAZEE, 1972; REICHMUTH, 1987; ADLER, 1995, 1996, 1998; ADLER und REICHMUTH, 1989; ADLER et al., 2000; CALDERON und BARKAI-GOLAN, 1990; REICHMUTH, 2000, 2007; REICHMUTH et al., 1991, 1993, 1994). Stickstoffbegasungen sind nicht meldepflichtig. Sie beeinträchtigen wegen der Reaktionsträgheit des Stickstoffs die Qualität der behandelten Güter und Materialien nicht, wenn die relative Feuchte bei 50–55% stabil gehalten wird, wie es auch in Museen in den Ausstellungsräumen zur Schonung der Exponate üblich ist. Die Inertgas-Anwendung erfolgt im Zuge einer Sanierung von Bauwerken (Kirchen, Museen) oder auch von transportablen Einzelobjekten in gasdichten Kammern oder Folienzelten. In Deutschland kam Stickstoff zum ersten Mal zur Entwesung gegen holzschädigende Käfer 1992 zum Einsatz (UNGER et al., 1992a, b). Dieses aus dem Vorratsschutz entlehnte Schädlingsbekämpfungsverfahren hat sich inzwischen als Routineverfahren zum Materialschutz gegen Insekten etabliert (UNGER und UNGER, 1986, 1992; UNGER et al., 1992a; VALENTIN und PREUSSER, 1990; DANIEL et al., 1993; PIENING, 1996; BIEBL, 1997). Tab. 1 gibt Einsicht in die für unterschiedliche Schädlingsarten und Befallsorte bei verschiedenen physikalischen Faktoren beschriebenen letalen Behandlungsbedingungen mit Stickstoff und/oder Argon. Die letalen Einwirkzeiten schwanken beträchtlich, je nach Randbedingungen. Auch das Diffusionsverhalten der Inertgase und des Sauerstoffs durch Holz unterschiedlicher Baumarten wurde ausführlich beschrieben (CHARUK et al., 1973; BIEBL, 1997).

Aus dem Vorratsschutz ist diese **Inertgastechnik** zur Schädlingsbekämpfung bereits über Jahrzehnte bekannt und seit etwa 1980 im umfangreichen technischen Einsatz (BAILEY und BANKS, 1975, 1980; BANKS und ANNIS, 1990; REICHMUTH, 2000), nachdem OXLEY und WICKENDEN die Empfindlichkeit von Schadinsekten in Lagergetreide gegenüber sauerstoffarmen Atmosphären bereits 1963 beschrieben hatten. Hermetische Lagerung von Vorräten, die für den Einsatz moderner Techniken von NEW und REES (1988) für verpackte Lebensmittel beschrieben wurde, war zum Schutz gegen Schadinsekten schon bei historischen menschlichen Kulturen bekannt, ohne dass die Details der erstickenden Wirkung durchschaut worden waren (ADLER et al., 2000).

In der Praxis des Materialschutzes wird Stickstoff entweder aus Gasflaschen oder Tanks, aus Membran- (Abb. 15) oder Pressure-Swing-Anlagen genutzt oder auch durch Einsatz Sauerstoff-bindender Chemikalien, wodurch der atmosphärische Luftsauerstoff in gasdicht eingeschweißten Kulturgütern durch Absorption von etwa 20 Vol.-% auf Werte bis unter 1 Vol.-% abgesenkt wird. Die Wirksamkeit der unter dem Namen AGELESS

käuflichen Sauerstofffänger (GILBERG und ROACH, 1993) lässt sich durch einen Farbindikator überwachen, der sich bei Sauerstoffgehalten von mehr als 0,5 Vol.-% blau färbt und der bei Gehalten von weniger als 0,1 Vol.-% rosa ist (GILBERG und ROACH, 1993). Durch Verbrennung des Luftsauerstoffs kann mit Generatoren eine sauerstoffarme inerte Atmosphäre mit ca. 80 Vol.-% N₂, 19 Vol.-% CO₂ und 1 Vol.-% O₂ erzeugt werden. Die Abb. 15a gibt grob den bei BIEBL (1997) erwähnten, nichtlinearen Zusammenhang zwischen der Temperatur und der jeweils erforderlichen Einwirkzeit wieder, um bei 40% bis 60% relativer Feuchte mit Atmosphären aus Inertgasgeneratoren mit 50 bis 150 m³/h alle Stadien von Schadinsekten in Getreide, Gewürzen, Saatgut und Holz (*Anobium punctatum* in Erle, Ahorn, sowie auch in Büchern) abzutöten (BIGGERSTAFF, 1965). Die Abb. 15a enthält auch eine mit Excel ermittelte Funktion zur Berechnung der Letalzeit im angegebenen Temperaturbereich. Durch Katalyse wird der bei der Verbrennung von Kohlenstoffträgern entstehende Gehalt an Kohlenmonoxid auf maximal 10 ppm und der von Stickoxid auf maximal 50 ppm begrenzt. STOREY berichtete 1975 und 1980 über den Einsatz eines Inertgasgenerators bei der Entwesung von Silogetreide. Puppenstadien der Rüsselkäfer erwiesen sich dabei als besonders widerstandsfähig. Die exzellente Abdichtung der zu entwesenden Materialien bestimmt letztlich den Preis der Behandlung (REICHMUTH, 1991). Die Erzielung und Überprüfung der Gasdichtigkeit wurde von NEWMAN (1990), WOHLGEMUTH (1990) und REICHMUTH (1993) ausführlich beschrieben. Zurück diffundierender Sauerstoff der Luft verhindert die Abtötung der Schadtiere, wenn nicht mit Stickstoff nachgespült wird, um den Sauerstoffgehalt der eingeschlossenen Atmosphäre mehrere Wochen niedrig zu halten.

Beim Einsatz toxischer Gase zur Schädlingsbekämpfung werden Kunststofffolien, z.B. aus Polyethylen, bereits seit vielen Jahren zur Abdichtung unterschiedlichster Objekte, wie z.B. ganzer Gebäude und Kirchen verwendet. Bei der Inertgasbehandlung – insbesondere auch z.B. kleinerer eingeschweißter Kulturgüter – mit Stickstoff oder Argon werden wegen der zu erreichenden und zu haltenden niedrigen Sauerstoffrestgehalte besondere Anforderungen an die Dichtigkeit und die geringe Gasdurchlässigkeit gestellt. Relativ gut geeignet sind nach UNGER (1993) Folien aus Polyvinylidenchlorid und Nylon (Tab. 2). Auch die Reißfestigkeit und Versiegelbarkeit sind in diesem Zusammenhang maßgeblich.

Zur Beurteilung der Begasungsfähigkeit größerer Objekte als ca. 50 m³ beschrieb REICHMUTH (1993) ein Drucktestverfahren, bei dem entweder bei konstantem Druck von ca. 10 Pascal kontinuierlich eine abgemessene Menge Luft in das abgedichtete Objekt geblasen wird, um diese Druckdifferenz zu halten, oder eine Druckdifferenz von etwa 10 Pascal zur Umgebung durch Einblasen von Luft erzeugt wird, um anschließend – ohne weitere Luftzugabe – die Geschwindigkeit des Druckausgleichs durch Undichtigkeiten zu erfassen. In beiden Fällen lässt sich eine Kennzahl ermitteln, die als Luftwechselrate *n* pro Tag oder pro Stunde angegeben wird. *n* sollte bei

Tab. 1. Entwesung (100% Mortalität, wenn nicht anders angegeben) mit sauerstoffarmem Stickstoff

Species	Temp. °C	rel. F.	Rest O ₂	Dauer Tage	Material	Autor(en)
<i>Anobium punctatum</i> , Larven, 95% Mortalität	16		0	35	Holzproben	REICHMUTH et al., 1993
<i>Anobium punctatum</i> , Larven, 95% Mortalität	20		0	30	Holzproben	FRANK, 1991
<i>Anobium punctatum</i> , Larven, 95% Mortalität	22		0	28	Holzproben	REICHMUTH et al., 1993
<i>Anobium punctatum</i>	25	45	0,04	10	Skulptur	VALENTIN, 1993
<i>Anobium punctatum</i>	25	40	0,03	14	Klavier	VALENTIN, 1993
<i>Anobium punctatum</i> , alle Stadien	30	50		4–5		VALENTIN und ALGUERÓ, 1990
<i>Anobium punctatum</i> , Larven	35	55–60	1,1	21	Holzkörper	REICHMUTH et al., 1991
<i>Hylotrupes bajulus</i>	20	60		20		VALENTIN und ALGUERÓ, 1990
<i>Hylotrupes bajulus</i>	30	50	99,9% Argon	10		VALENTIN und ALGUERÓ, 1990
<i>Hylotrupes bajulus</i> , Larven	35	55–60	< 1,5	28	Holzkörper	REICHMUTH et al., 1991
<i>Lasioderma serricorne</i>	40	35	0,03	14	Pflanzen	VALENTIN, 1993
<i>Lyctus brunneus</i> , Larven, 95% Mortalität	20		0	22	Holzproben	FRANK, 1991
<i>Lyctus brunneus</i> , alle Stadien, 95% Mortalität	25		0	19	Holzproben	FRANK, 1991
<i>Lyctus brunneus</i> , Imagines, 95% Mortalität	28		0	1,4	Holzproben	FRANK, 1991
<i>Lyctus brunneus</i> , Larven, 95% Mortalität	28		0	12	Holzproben	FRANK, 1991
<i>Lyctus brunneus</i>	30	40	0,02 Argon	4	Bücher, gebundene Dokumente	VALENTIN, 1993
<i>Lyctus brunneus</i> , alle Stadien, 95% Mortalität,	35		0	21	Holzproben	REICHMUTH et al., 1993
<i>Stegobium paniceum</i>	30	40	0,02 Argon	4	Bücher, gebundene Dokumente	VALENTIN, 1993
<i>Stegobium paniceum</i> , alle Stadien	30	50	99,9% Argon	4–5		VALENTIN und ALGUERÓ, 1990
<i>Tineola bisselliella</i> , Eier, 95% Mortalität	25		2	7	Käfige	WUDTKE und REICHMUTH, 1994
<i>Tribolium confusum</i> und <i>T. castaneum</i> , alle Stadien	26,7	38	0	3		ALINIAZEE, 1972
<i>Lyctus brunneus</i> L	30	65–70	0,42	7–21		GILBERG, 1989
<i>Lasioderma serricorne</i>	30	65–70	0,42	7–21	Holzkäfig	GILBERG, 1989
<i>Lyctus brunneus</i> A	30	70	0,42	3	Holz	GILBERG und ROACH, 1993
<i>Lyctus brunneus</i> E	30	70	0,42	6	Holz	GILBERG und ROACH, 1993
<i>Lyctus brunneus</i> L	30	70	0,42	8	Holz	GILBERG und ROACH, 1993
<i>Lyctus brunneus</i> P	30	70	0,42	12	Holz	GILBERG und ROACH, 1993
<i>Anobium punctatum</i> ELPI	30	35	0,9	10	Bücher	VALENTIN, 1990
<i>Lasioderma serricorne</i>	30	70	0,4	21	Holz	GILBERG, 1991

10 Pascal Druckdifferenz nicht größer als 2,4 pro Tag oder 0,1 pro Stunde sein.

Im vorliegenden Fall waren die Eckdaten der Entwesung mit Stickstoff:

Behandlungsdauer: 8 Wochen
 Sauerstoffrestwert: 1–2 Vol.-%
 Temperatur: 20–22°C
 Relative Luftfeuchte: 50%

Zur Erfolgskontrolle der Feststellung der vollständigen Abtötung der Brotkäfer dienten gekäfigte Versuchstiere der o.g. Firma aus Berlin. Nach der Stickstoffbehandlung wurden die gekäfigten Tiere auf überlebende Käfer oder Larven untersucht.

In weiteren Versuchen mit 1500 Kartons Archivmaterial, die insgesamt ca. 15 t wogen, wurden gleichfalls materialschädigende Insekten mit Stickstoff abgetötet.



Abb. 15. Stickstoffherzeugung mit einer transportablen Stickstoff-Membrananlage mit Luftkompressor und Kältetrockner.

Auch bei historischen Trachten, die von Kleidermotten befallen waren, kam diese Technik zum Einsatz (Abb. 16 und 17). BROKERHOFF et al. (1993) sowie WUDTKE (2002) beschrieben die Möglichkeiten des alternativen Einsatzes tieferer Temperaturen zur Abtötung aller Stadien der Kleidermotte. WUDTKE (2002) hat sich eingehend mit der Möglichkeit der Abtötung aller Entwicklungsstadien die-

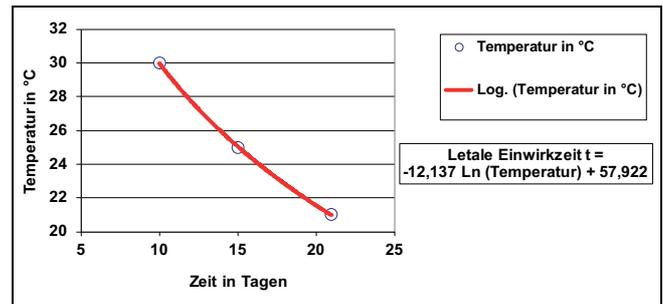


Abb. 15a. Zusammenhang zwischen der Temperatur und der jeweils erforderlichen Einwirkzeit, um bei 40% bis 60% relativer Feuchte mit Atmosphären aus Inertgasgeneratoren mit 50 bis 150 m³/h alle Stadien von Schadinsekten in Getreide, Gewürzen, Saatgut und Holz (Holzwurm *Anobium punctatum* in Erle, Ahorn, sowie auch in Büchern) abzutöten (nach BIGGERSTAFF, 1965). Durch Katalyse wird der Gehalt an Kohlenmonoxid auf maximal 10 ppm und der von Stickoxid auf maximal 50 ppm begrenzt.

ses Materialschädlings befasst, wobei auch inerte Gase einbezogen waren. TALLAFUS (1996) gab gleichfalls Informationen zum Einsatz arktischer Kälte gegen Schadinsekten wie auch HALLAS und HANSEN (1995).

WUDTKE berichtete 1995 auch über die Behandlung eines *Anobium*-befallenen vergoldeten Schnitzwerks aus dem Schloss Sanssouci in Potsdam. Das Objekt wurde in eine 9 m³ große Blase eingeschweißt und mit Stickstoff mit einem Restsauerstoffgehalt von etwa 0,8 Vol.-% über 6 Wochen behandelt. Die relative Luftfeuchte über einer gesättigten Magnesiumnitratlösung zur Regelung lag dabei unter 55%.

Für kleinere Mengen insektenbefallener Kulturgüter, wie z.B. Möbel, eignen sich aus Sauerstoff-absorbierende Substanzen (GILBERG und ROACH, 1993) (Abb. 18). Durch den Sauerstoffentzug der eingeschlossenen Luft entsteht gleichfalls eine sauerstoffarme Stickstoffatmosphäre die bei ausreichend langer Exposition zur Abtötung aller mit eingeschlossenen Insekten führt.

Tab. 2. Gasdurchlässigkeit bei 20°C (in cm³ 0,1 mm/m² d bar, d = Dicke in mm) von Kunststofffolien nach UNGER (1993)

Kunststoffolie	Abkürzung	N ₂	O ₂	CO ₂
Polyethylen, geringe Dichte	LDPE	510	1350	8000
Ployethylen, hohe Dichte	HDPE	160	450	2000
Polypropylen	PP	100	550	1700
Polyvinylchlorid	PVC	6	50	250
Polyvinylidenchlorid	PVDC	0,3	1,0	7
Polyester	PETP	2	10	70
Polystyren	PS	200	1500	5000
11-Polyamid	11-PA	-	80	-
6-Polyamid	6-PA	0,68	5,6	24,8
Polycarbonat	PC	-	650	-
Celluloseacetat	CA	60	400	-



Abb. 16. Abgeplante Textilmaterialien im Depot zur Entwesung mit sauerstoffarmem Stickstoff.



Abb. 18. Eingeschweißte insektenbefallene Kulturgüter im Museum zur Behandlung mit Stickstoff gegen Schadinsekten (Holzwurm *Anobium punctatum*).

Im vorliegenden Fall wurde mit Kühlaggregaten moderate Kälte von ca. 15°C erzeugt, um die massenhafte Weiterentwicklung der Schadinsekten zu unterbinden. Diese Verfahren sind zwar recht Material-schonend, aber doch wesentlich teurer als der allerdings länger dauernde Einsatz inerter Atmosphären (REICHMUTH, 1991). Legt man Stickstoffkosten von bis zu 1 € pro m³ zugrunde, muss man im Spülverfahren zunächst das gesamte eingeschlossene Volumen maximal ca. 6 Mal mit passend vorgefeuchtetem Stickstoff spülen, um den Luftsauerstoff auf Werte unterhalb 1 Vol.-% anzureichern. Bei 100 m³ Raum wären dafür reine Gaskosten von 600 € erforderlich. Der weitere Verbrauch wird durch die Art und das widerstandsfähigste anwesende Entwicklungsstadium des Schadinsekten bestimmt sowie die Temperatur (Abb. 15a). Bei 30°C sind dies ca. 10 Tage, bei 21°C ca. drei Wochen. Je nach Leckrate bzw. Zurückdiffusion des Sauerstoffs muss nun Stickstoff nachgespült werden. REICHMUTH (1991) gab für Silozellengetreideentwesung in einem



Abb. 17. Eingeschweißte Textilmaterialien zur Behandlung mit Stickstoff gegen Schadinsekten (Kleidermotten *Tineola bisselliella*).

halbwegs dichten Silo ca. weitere 2 €/m³ Volumen für die Spülung über 28 Tage an. Hinzu kommen die Kosten für das Bewegen, Einschlagen und wieder Abtransportieren der befallenen Güter sowie möglicherweise eine Klimatisierung. Insgesamt ist diese Technik wegen ihres geringen nachteiligen Einflusses auf Mensch und Umwelt sehr vorteilhaft, relativ sicher und nicht übermäßig teuer.

Danksagung

Meinem Mitautor Prof. Dr. Christoph REICHMUTH danke ich für die anregende Betreuung meiner Diplomarbeit am Berliner Institut für Vorratsschutz und den Kontakt mit dem interessanten Thema des Stickstoffs und seiner Anwendung bei der Schädlingsbekämpfung, die mich heute im Beruf begleitet.

Literatur

- ADLER, C., 1995: Stickstoff und Kohlendioxid im Vorratsschutz. Der praktische Schädlingsbekämpfer **11**, 14-16.
 ADLER, C., 1996: Einfluß der Temperatur auf die Wirksamkeit von Stickstoff- bzw. Kohlendioxid-Begasungen gegen Schädlinge in gelagertem Getreide. In: Verhandlungen der Entomologentagung. 27.03.-01.04.1995 in Göttingen, Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie **10**, 269-272.

- ADLER, C., 1998: Vorratsschutz mit Stickstoff und Kohlendioxid. In: REICHMUTH, C., (Ed.): 100 Jahre Pflanzenschutzforschung – Wichtige Arbeitsschwerpunkte im Vorratsschutz. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, H. 342, 341 S., 277-293.
- ADLER, C., C. REICHMUTH, 1989: Zur Wirksamkeit von Kohlendioxid bzw. Stickstoff auf verschiedene vorratsschädliche Insekten in Stahl-Getreidesiloszellen. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 41, 177-183.
- ADLER, C., H.-G. CORINTH, C. REICHMUTH, 2000: Modified Atmospheres. In: SUBRAMANYAM, B., W. H. HAGSTRUM, (Eds.): Alternatives to Pesticides in Stored-Product IPM. Kluwer Academic Publishers, 437 S., 105-146.
- ALINIAZEE, M.T., 1972: Susceptibility of the confused and red flour beetles to anoxia reduced by helium and nitrogen at various temperatures. Journal of Economic Entomology 65, 60-64.
- BAILEY, S.W., H.J. BANKS, 1975: The use of controlled atmospheres for storage of grain. In: Proceedings of the first International Working Conference on Stored-product Entomology. 7-11 October 1974 in Savannah, Georgia, USA, 705 pp., 362-374.
- BAILEY, S.W., H.J. BANKS, 1980: A review of recent studies of the effects of controlled atmospheres on stored product pests. In: SHEJBAL, J., (Ed.): Controlled Atmosphere Storage of Grains. Proceedings of an International Symposium, 12-15 May 1980 in Castelgandolfo, (Rome), Italy, Developments in Agricultural Engineering 1, Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier Scientific Publishing Company, 608 pp., 101-118.
- BANKS, H.J., P.J. ANNIS, 1990: Comparative advantage of high CO₂ and low O₂ types of controlled atmospheres for grain storage. In: CALDERON, M., R. BARKAI-GOLAN, 1990, 93-122.
- BIEBL, S., 1997: Untersuchungen zur Bekämpfung von Holzschädlingen mittels inerte Gase bei erhöhter Temperatur. Fachhochschule Rosenheim, Fachbereich Holztechnik, Diplomarbeit, [beziehbar durch den Autor], 115 S.
- BIGGERSTAFF, R., 1965: Drying diffusion coefficients in wood. Forest Products Journal 15, 70-72.
- BROKERHOFF, A.W., R. MORTON, H.J. BANKS, 1993: Time-mortality relationship for different species and developmental stages of clothes moth (Lepidoptera: Tineidae) exposed to cold. Journal of Stored Products Research 29, 277-282.
- CALDERON, M., R. BARKAI-GOLAN (Eds.), 1990: Food Preservation by Modified Atmospheres. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 402 S.
- CHARUK, E.V., A.I. VOLOGDIN, G.S. KOVRIGIN, 1973: Die Permeabilität des Kern- und Reifholzes von Nadelhölzern gegenüber Flüssigkeiten und Gasen. Holztechnologie 14, 135-138.
- DANIEL, V., S. MAEKAWA, F.D. PREUSSER, 1993: Nitrogen fumigation: a viable alternative. In: Proceedings of the 10th triennial meeting of the ICOM Committee. 22-27 August 1993 in Washington, DC, USA, Vol. II, Paris, Preprints, 863-867.
- ENGELBRECHT, H., C. REICHMUTH, 2005: Schädlinge und ihre Bekämpfung – Gesundheits-, Vorrats- und Materialschutz. 4. Aufl., Hamburg, BEHR'S, 403 S.
- FRANK, A., 1991: Möglichkeiten einer biozidfreien Bekämpfung von *Lyctus brunneus* – (Steph.) und anderer materialzerstörender Käfer in Kunstwerken – Einfluß inerte Gase auf Entwicklung und Überleben. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin, Fachbereich Biologie, [zugänglich im Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, des Julius Kühn-Instituts in Berlin Dahlem, Königin-Luise-Straße 19], 113 S.
- GILBERG, M., A. ROACH, 1993: Entwesung von Museumsobjekten in Inertgasen mit dem Sauerstoffabsorber Ageless. In: Holzschädlingbekämpfung durch Begasung. Bericht der Tagung im Oktober 3, Arbeitshefte 75, 101-105.
- GILBERG, M., 1989: Inert atmosphere fumigation of museum objects. Studies in Conservation 34, 80-84.
- GILBERG, M., 1991: The effects of low oxygen atmosphere on museum pests. Studies in Conservation 36, 93-98.
- HALLAS, T.E., K.B. HANSEN, 1995: Supercooling points of *Anobium punctatum*, the common furniture beetle. In: Proceedings of the 26th meeting of IGR. 11-16 June 1995 in Helsingör, Denmark.
- KEMPER, H., 1941: Die Spuren der Gesundheits- und Wohnungsschädlinge in ihrer Bedeutung für Schädlingkunde und Schädlingsbekämpfung. Beihefte der Zeitschrift für hygienische Zoologie, H. 1, Berlin, Duncker & Humblot, 75 S.
- MADEL, W., 1938: Drogenschädlinge, ihre Erkennung und Bekämpfung. Deutscher Apotheker-Verlag, 96 S.
- MADEL, W., 1952: Schädlinge im Bauholz. Darmstadt, Otto Elsner Verlagsgesellschaft, 108 S.
- NEW, J.H., D.P. REES, 1988: Laboratory studies on vacuum and inert gas packaging for the control of stored-product insects in foodstuffs. Journal of Science and Food Agriculture 43, 235-244.
- NEWMAN, C.J.E., 1990: Specification and design of enclosures for gas treatment. In: CHAMP, B.R., E. HIGHLEY, H.J. BANKS (Eds.): Fumigation and Controlled Atmosphere Storage of Grain. Proceedings of an International Conference. 14-18 February 1989 in Singapore, ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Proceedings No 25, Brown Prior Anderson Pty Ltd, Burwood, Victoria, Australia. 391 pp., 108-130.
- OXLEY, T.A., G. WICKENDEN, 1963: The effect of restricted air supply on some insects which infest grain. Annals of Biology 51, 313-324.
- PIENING, H., 1996: Modifizierte Inertatmosphären in der Schädlingsbekämpfung oder: Im Zweifel fürs Objekt. Museumsblatt Mitteilungen aus dem Museumswesen Baden-Württembergs, 19.
- POSPISCHIL, R., 1997: Der Brotkäfer. Der praktische Schädlingsbekämpfer 49, 4-5.
- QUERNER, P., S. BIEBL, 2011: Using parasitoid wasps (*Lariophagus distinguendus* and *Trichogramma evanescens*) in integrated pest management against beetle and moth infestation: a preliminary evaluation. In: WINSOR, P., D. PINNIGER, L. BACON, B. CHILD, K. HARRIS, D. LAUDER, J. PHIPPARD, A. XAVIER-ROWE (Eds.): Integrated Pest Management for Collections, Proceedings of the 2nd Pest Odyssey Conference: A Pest Odyssey, 10 Years Later. English Heritage, The Engine House, Swindon, SN2 2EH, UK, www.english-heritage.org.uk, Henry Ling Ltd, The Dorset Press, Dorchester, Great Britain, 223 pp., 206-207.
- REICHMUTH, C., 1987: Low oxygen content to control stored product insects. In: DONAHAYE, E., S. NAVARRO (Eds.): Proceedings of the 4th International Working Conference on Stored-Product Protection. 21-26 September in Tel-Aviv, Israel, Caspit, Jerusalem, Maor-Wallach Press, 668 pp., 194-207.
- REICHMUTH, C., 1991: New techniques in fumigation research today. In: FLEURAT-LESSARD, F., P. DUCOM (Eds.): Proceedings of the 5th International Working Conference on stored-Product Protection. 9-14 September 1990 in Bordeaux, France, Imprimerie Médocaine, Blanquefort Cedex, 2066 pp, Vol. 2, 709-725.
- REICHMUTH, C., 1993: Drucktest zur Bestimmung der Begasungsfähigkeit von Gebäuden, Kammern oder abgeplanten Gütern bei der Schädlingsbekämpfung mit Bemerkungen zur Begasungstechnik. Merkblatt der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 71, Braunschweig. 38 S.
- REICHMUTH, C., 2000: Inerte Gase zur Schädlingsbekämpfung. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Habilitationsschrift, 96 S.; mit 42 kopierten Publikationen des Autors, insgesamt 451 S.
- REICHMUTH, C., 2007: Fumigants for pest control in wood protection. In: NOLDT, U., H. MICHELS (Eds.): Holzschädlinge im Fokus – Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold. 28.-30.6.2006 im Westfälischen Landesmuseum für Volkskunde in Detmold, Schriften des LWL-Freilichtmuseums Detmold, Westfälisches Landesmuseum für Volkskunde, herausgegeben im Auftrage des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe von CARSTENSEN, J., Bd. 27, Detmold, Merkur Verlag, 265 S., 137-162.
- REICHMUTH, C., A. UNGER, W. UNGER, 1994: Bekämpfungsmaßnahmen mit Stickstoff oder Kohlendioxid. Der praktische Schädlingsbekämpfer 46, 81-87.
- REICHMUTH, C., A. UNGER, W. UNGER, G. BLASUM, H. PIENING, P. ROHDE-HEER, R. PLARRE, M. PÖSCHKO, A. WUDTKE, 1993: Nitrogen-flow fumigation for the preservation of wood, textiles, and other organic material from insect damage. In: NAVARRO, S., E. DONAHAYE (Eds.): Proceedings of an International Conference on Controlled Atmosphere and Fumigation in Grain Storages. 11-13 June 1992 in Winnipeg, Canada, Jerusalem, Caspit Press Ltd., 121-128.
- REICHMUTH, C., unter Mitarbeit von M. SCHÖLLER, C. ULRICHS, 1997: Vorratsschädling ein Getreide: Aussehen, Biologie, Schadbild, Bekämpfung. Gelsenkirchen-Buer, T. MANN, 119 S.
- REICHMUTH, C., W. UNGER, A. UNGER, 1991: Stickstoff zur Bekämpfung holzerstörender Insekten in Kunstwerken. Restaura 97, 246-251.
- SCHÖLLER, M., 2010: Biological control of stored-product insects in commodities, food processing facilities and museums. In: CARVALHO, O.M., P.G. FIELDS, C.S. ADLER, F.H. ARTHUR, C.G. ATHANASSIOU, J.F. CAMPBELL, F. FLEURAT-LESSARD, P.W. FLINN, R.J. HODGES, A.A. ISIKBER, S. NAVARRO, R.T. NOYES, J. RIUDAVETS, K.K. SINHA, G.R. THORPE, B.H. TIMLICK, P. TREMATERRA, N.D.G. WHITE (Eds.): Proceedings of the 10th International Working Conference of Stored Product Protection. 27 June-2 July 2010 in Estoril, Portugal. Berlin, Germany, Julius-Kühn-Archiv 425, 599-609.
- SCHÖLLER, M., S. PROZELL, 2011: Biological control of cultural heritage pest Coleoptera and Lepidoptera with the help of parasitoid Hymenoptera. Journal of Entomological and Acarological Research, Series II, 43, 157-168.
- STEIDLE, J.L.M., C. REICHMUTH, 2003: Bekämpfung von Kornkäfern in Lagergetreide mit Schlupfwespen. Mühle + Mischfutter 140, 270-273.
- STEIDLE, J.L.M., C. GANTERT, U. NOLDT, S. PROZELL, M. SCHÖLLER, 2007: Bekämpfung von holzerstörenden Käfern durch Massenfrei-

- lassung der Lagererzwespe: Fiktion und Fakten. In: NOLDT, U., H. MICHELIS, (Eds.): Holzschädlinge im Fokus – Alternative Maßnahmen zur Erhaltung historischer Gebäude. Beiträge der internationalen Tagung im LWL-Freilichtmuseum Detmold. 28.-30.6.2006 im Westfälischen Landesmuseum für Volkskunde in Detmold, Schriften des LWL-Freilichtmuseums Detmold, Westfälisches Landesmuseum für Volkskunde, herausgegeben im Auftrage des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe von CARSTENSEN, J., Bd. 27, Detmold, Merkur Verlag, 265 S., 163-172.
- STOREY, C.L., 1975: Mortality of *Sitophilus oryzae* (L.) and *Sitophilus granarius* (L.) in atmospheres produced by an exothermic inert atmosphere generator. *Journal of Stored Products Research* 11, 217-221.
- STOREY, C.L., 1980: Mortality of various stored product insects in low oxygen atmospheres produced by an exothermic inert gas generator. In: SHEJBAL, J., (Ed): Controlled Atmosphere Storage of Grains. Proceedings of an International Symposium, 12-15 May 1980 in Castelgandolfo, Rome, Italy, Developments in Agricultural Engineering, 1. Amsterdam, Oxford, New York, Elsevier, 608 pp., 85-2.
- TALLAFUS, O., 1996: Bekämpfung mit arktischer Kälte. *Der praktische Schädlingsbekämpfer* 9, 29-31.
- UNGER, A., 1993: Begasung von Kulturgütern: Grundlagen – Materialien – Entwicklungen. In: Bericht der Tagung: Holzschädlingbegasung durch Begasung. Oktober 2003, Arbeitsheft 75, 37-40.
- UNGER, A., W. UNGER, 1986: Begasungsmittel zur Insektenbekämpfung in hölzernem Kulturgut. In: *Holztechnologie* 27, 232-236.
- UNGER, A., W. UNGER, 1992: Die Bekämpfung tierischer und pilzlicher Holzschädlinge. In: Bericht der Tagung, Mai 1992, Arbeitsheft 73, 7-14.
- UNGER, A., W. UNGER, C. REICHMUTH, 1992a: Proceedings of the 2nd International Conference on Biodeterioration of Cultural Property. Yokohama, 440-446.
- UNGER, A., W. UNGER, unter Mitarbeit von C. REICHMUTH, 1992b: Holzwurmbekämpfung – einst und jetzt. In: Bilder erleben – Tafelbilder Lucas Cranach des Älteren und des Jüngeren laden ein, evangelisches Pfarramt St. Johannis und St. Marien, Dessau, 37-39.
- VALENTIN, N., 1990: Insect eradication in museums and archives by oxygen replacement, a pilot project. In: Proceedings of the ICOM Committee for Conservation. 9th triennial meeting, 26.-31.08.1990 in Dresden, Vol. II, 821-823.
- VALENTIN, N., 1993: Comparative analysis of insect control by nitrogen, argon and carbon dioxide in museum, archive and herbarium collections. *International Biodeterioration & Biodegradation* 32, 263-278.
- VALENTIN, N., F. PREUSSER, 1990: Insect control by inert gases in museums, archives and libraries. *Restaurator* 11, 22-33.
- VALENTIN, N., M. ALGUERÓ, 1990: Evaluation of disinfection techniques for the conservation of polychrome sculpture in Iberian museums. In: HODGES, H.W.M., J.S. MILLS, P. SMITH, (Eds.): Proceedings of an International Conference. September 1992 in Madrid, Spain, London, UK, Institute for Conservation, 165-167.
- WEIDNER, H., 1979a: Anobiidae und Ptinidae (Coleoptera) als Erreger von Wohnungsplagen in Hamburg, Teil 1. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 52, 102-105.
- WEIDNER, H., 1979b: Anobiidae und Ptinidae (Coleoptera) als Erreger von Wohnungsplagen in Hamburg, Teil 2. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 52, 113-117.
- WEIDNER, H., 1979c: Der Brotkäfer *Stegobium paniceum* (Linneus). *Der praktische Schädlingsbekämpfer* 31, 59-64.
- WEIDNER, H., 1983: Vorratsschädlinge. In: HEINZE, K., (Ed.): Leitfaden der Schädlingsbekämpfung, Band IV, Vorrats- und Materialschädlinge. Stuttgart, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 348 S., 123-333.
- WILAMOWSKI, A., I. KESSLER, I. RABIN, S. PROZELL, S. NAVARRO, 2008: Biological control of *Anobium punctatum* in infested books, using the parasitoid *Lariophagus distinguendus*. In: Art 2008. Proceedings of the 9th International Conference on non-destructive Testing of Art. 25-30 May 2008 in Jerusalem, Israel, <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/232Wilamowski.pdf>.
- WOHLGEMUTH, R., 1990: Abdichtung von Lagerhallen, lebensmittelverarbeitenden Betrieben und Lagerpartien bei Begasungen gegen Vorratsschädlinge. Braunschweig, Merkblatt der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 66, 19 S.
- WUDTKE, A., 2002: Möglichkeiten des Methodentransfers vom Vorratsschutz zum Materialschutz – Bekämpfung von Museumschädlingen am Beispiel der Kleidermotte *Tineola bisselliella* (Hum. 1823), Lepidoptera: Tineidae. Doktorarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, 140 S.
- WUDTKE, A., C. REICHMUTH, 1994: Control of the common clothes moth *Tineola bisselliella* (Hummel) (Lepidoptera: Tineidae) and other museum pests with nitrogen. In: HIGHLEY, E., E.J. WRIGHT, H.J. BANKS, B.R. CHAMP (Eds.): Stored Product Protection. Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-product Protection. 17-23 April 1994 in Canberra, Australia, Vol. 1, 251-254.
- WUDTKE, A., 1995: Holzschnitzwerk mit Stickstoff behandeln. *Der praktische Schädlingsbekämpfer* 6, 12-15.
- ZACHER, F., 1927: Die Vorrats-, Speicher- und Materialschädlinge und ihre Bekämpfung. Berlin, Verlagsbuchhandlung Paul Parey, 366 S.