

# Kältehärtigkeit und Überwinterung des Buchdruckers

AXEL SCHOPF und PETER KRITSCH

## Abstract

### Frost Resistance and Overwintering of *Ips typographus*

In field and laboratory experiments we investigated the winter mortality of larvae, pupae, and adults of the European Spruce bark beetle, *Ips typographus*. Overwintering of adult beetles is ensured by an increase in frost resistance, which was indicated by their individual supercooling point (SCP). On the contrary, temperatures above the SCP caused chilling injuries and inoculative freezing in larval and pupal stages. As a consequence, total mortality in these preimaginal stages already occurred at minor frost conditions, while the loss due to winter mortality in hibernating beetles was 50 % on average. Possible causes for the incidence of winter mortality in the various stages of *Ips typographus* are discussed.

**Keywords:** *Ips typographus*, overwintering, supercooling point, inoculative freezing, chilling injury

## Kurzfassung

Anhand von Freiland- und Laborexperimenten wurde die Wintermortalität des Buchdruckers, *Ips typographus*, im Larven-, Puppen- und Käferstadium untersucht. Die Überwinterung im Käferstadium ist durch eine Erhöhung der Frostresistenz gewährleistet, die durch den individuellen Unterkühlungspunkt (Supercooling point = SCP) angezeigt wird. Hingegen treten im Larven- und Puppenstadium letale Temperaturen durch Unterkühlungsschäden oder Kontaktgefrieren bereits deutlich oberhalb ihrer physiologisch bedingten Kältehärtigkeit auf. Somit können die Jugendstadien des Buchdruckers in unseren Breiten auch bei milden Frostbedingungen im Freiland nicht überleben. Die durchschnittliche Wintermortalität im Käferstadium betrug unter Freilandbedingungen zirka 50 %. Über mögliche Ursachen der Wintermortalität der verschiedenen Buchdruckerstadien wird diskutiert.

**Schlüsselworte:** *Ips typographus*, Überwinterung, Unterkühlungspunkt, Kontaktgefrieren, Unterkühlungsschäden

Obwohl der Buchdrucker zu den bedeutendsten Forstschädlingen Mittel- und Nordeuropas zählt, bestehen nach wie vor erstaunliche Wissenslücken bezüglich seiner Biologie, wie zum Beispiel hinsichtlich seiner Überwinterung. So ist nicht restlos bekannt, welche

Entwicklungsstadien den Winter in Mitteleuropa überdauern können.

Wir wissen, dass die Entwicklung des Buchdruckers trotz seiner weitgehend minierenden Lebensweise von der Tageslänge abhängt (Schopf 1985, Schopf 1989). Langtagbedingungen oberhalb einer kritischen Tageslänge von 14,7 Stunden Licht fördern die Reifung der Tiere in unseren Breitengraden: Sie stimulieren die Geschlechtsreifung von Jungkäfern und induzieren deren Schlüpfen aus den Brutsystemen (Dolezal und Sehnal 2007). Kurztagbedingungen unterhalb dieser kritischen Tageslänge hingegen hemmen die Entwicklung der Geschlechtsorgane und das Ausschlüpfen der Käfer. Sie induzieren im Käferstadium ein Ruhestadium (Diapause), das durch eine Reduktion des Stoffwechsels und eine Erhöhung der Frostresistenz (Abbildung 1) mit damit verbundenen physiologischen Umstellungen gekennzeichnet ist.

Neben der Photoperiode spielt für die Entwicklung des Buchdruckers auch die Temperatur eine entscheidende Rolle (Wermelinger 2004). So wurde in Laborexperimenten nachgewiesen, dass eine Dauertemperatur oberhalb von 23 °C die Regulationswirkung der Photoperiode (Kurztagbedingungen) aufhebt und die Tiere sich wie unter Langtagbedingungen weiter entwickeln (Dolezal und Sehnal 2007). Unterhalb der 23°C-Schranke ist hingegen die Photoperiode für die Induktion der Diapause entscheidend.

Noch weitgehend unklar ist, welche Rolle Wechseltemperaturen auf die Wirkung der Photoperiode ausüben. Nach Dolezal und Sehnal (2007) dürften die Nachtbedingungen wichtiger für die Auslösung des Überwinterungsverhaltens als die Tagesbedingungen sein: Tiere, die bei Photoperioden von 14 Stunden Licht und 10 Stunden Dunkelheit (14L : 10D) und einer Wechseltemperatur von 26 °C : 6 °C gehalten wurden, ergaben überwinterungsbereite, nicht schlüpfende Käfer. Kürzere Photoperioden (13L : 11D), aber wärmere Nachttemperaturen (26 °C : 13 °C) führten zu sich weiter entwickelnden Käfern. Allerdings lassen in unseren Breitengraden Tageslängen mit weniger als 7 Stunden Dunkelphase auch bei relativ niedrigen Wechseltemperaturen von 20 °C : 6 °C keine Induktion eines Überwinterungsstadiums zu. Dass es diesbezüglich Unterschiede zwischen mitteleuropäischen und skandinavischen Populationen gibt, ist auch von anderen Insektenarten bekannt.

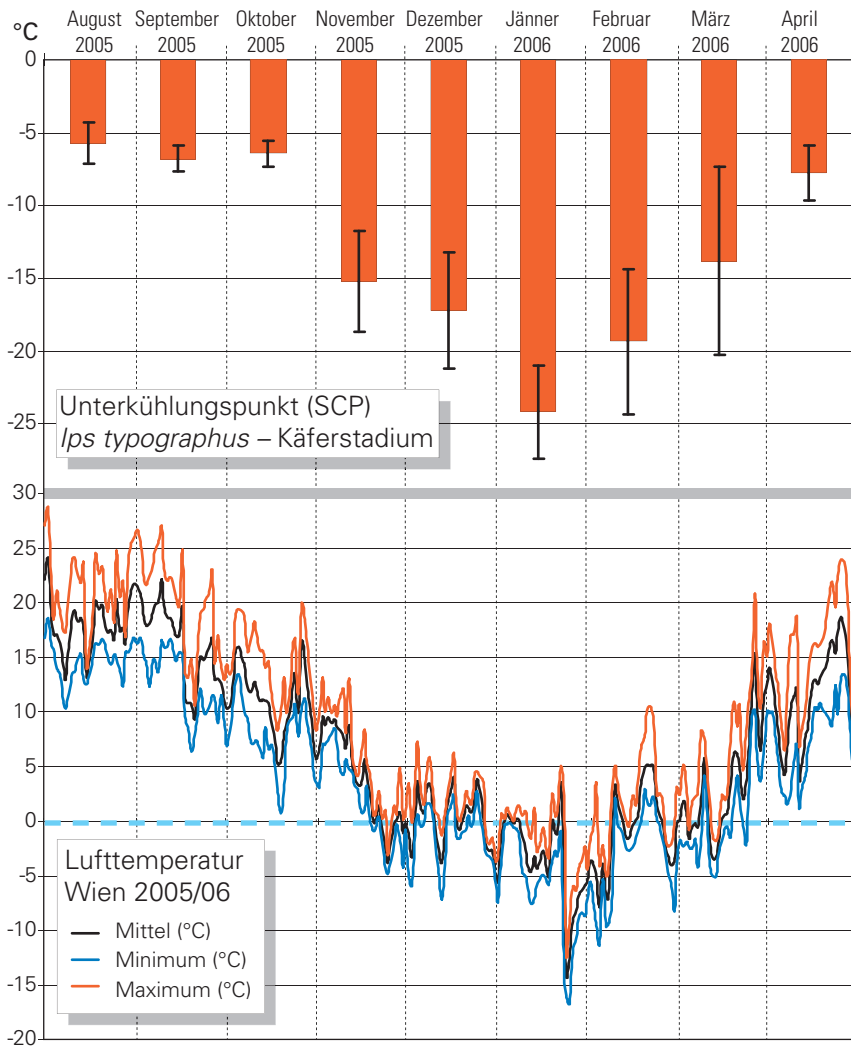


Abbildung 1: Unterkühlungspunkt (SCP) des Buchdruckers im Käferstadium und Lufttemperatur im Institutsgarten während der Winterperiode 2005-2006

Figure 1: Supercooling point (SCP) of adult *Ips typographus* and air temperature in the institute's garden during the winter period 2005-2006

### Spätsommerliche Wärmeperiode 2008 und Winter 2008-2009

Ein gutes Beispiel für den modifizierenden Temperatureinfluss auf die Wirkung der Photoperiode brachte der Spätsommer 2008, als im August und frühen September eine Warmwetterphase im Osten Österreichs mit Maximaltemperaturen bis zu 30 °C und minimalen Nachttemperaturen meist oberhalb von 15 °C herrschte (Abbildung 2). Obwohl mit der dritten Augustwoche die kritische Tageslänge für die Auslösung der Überwinterungsentwicklung des Buchdruckers unterschritten war, bewirkten die hohen Temperaturen in den Tieflagen Ostösterreichs ein Ausschlüpfen der Käfer der zweiten Generation aus ihren

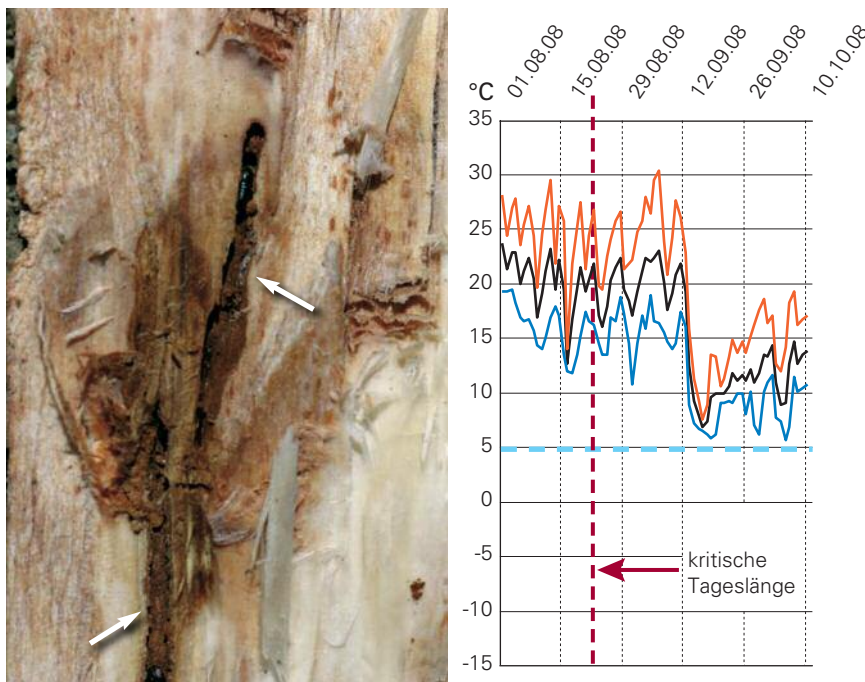


Abbildung 2: Brutanlagen des Buchdruckers (3. Generation) am 13.9.2008 sowie Lufttemperatur in Wien für die Monate August und September 2008; die Pfeile zeigen Ei-Nischen und Larvengänge.

Figure 2: Developmental stage of the brood systems of a 3<sup>rd</sup> *Ips typographus* generation on September 13, 2008 and air temperature in Vienna from August to September 2008; arrows show egg niches and larval galleries.

Brutbäumen und die Etablierung einer dritten Generation in frisch besiedelten Bäumen (Abbildung 2). Es wurde diese eher seltene Gelegenheit für die Fällung der frisch befallenen Bäume genutzt und die Stammteile von zirka 1,20 m Länge wurden in den Garten des Instituts für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz (BOKU) nach Wien transportiert. Dort öffneten wir jeden folgenden Monat ein Stammstück, notierten den Entwicklungsstand der Bruten im Bast und bestimmten die Mortalitätsrate und die Frostresistenz der vorgefundenen Buchdrucker-Stadien.

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, war der Winter 2008/09 in Wien sehr mild mit einem Temperaturminimum von  $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , gemessen am 10.1.2009 im Institutsgarten. Aus den im September abgelegten Eiern konnten sich bis zum Kontrolltermin am 16. Dezember zirka 10 % der Larven in das Puppenstadium entwickeln, ohne höhere Mortalitätsverluste aufzuweisen. Der Unterkühlungspunkt der Larven und Puppen, also jene Temperatur, bei der die Körperflüssigkeit in unterkühlten Versuchstieren spontan gefriert und dabei Kristallisationswärme freigesetzt wird (= Supercooling point; SCP), lag mit  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  bzw.  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$  deutlich über dem bis dahin im Freiland registrierten Temperaturminimum von  $-3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (24.11.2008). Die von Ende Dezember bis Anfang Jänner dauernde, einwöchige Frostperiode mit Temperaturen zwischen  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  verursachte bei allen Larven und Puppen das Absterben, obwohl auch während dieser Zeit der im Dezember gemessene Unterkühlungspunkt nicht unterschritten wurde. Die in den folgenden, wieder wärmeren Monaten geöffneten Stämme bestätigten das Ergebnis. Die Mortalitätsrate der in den Brutsystemen vorhandenen Parentalkäfer stieg ebenfalls während der Wintermonate auf einen Wert von 50 bis 60 % an; dies entspricht der durchschnittlichen Mortalität bei überwinternden Käfern im Freiland.

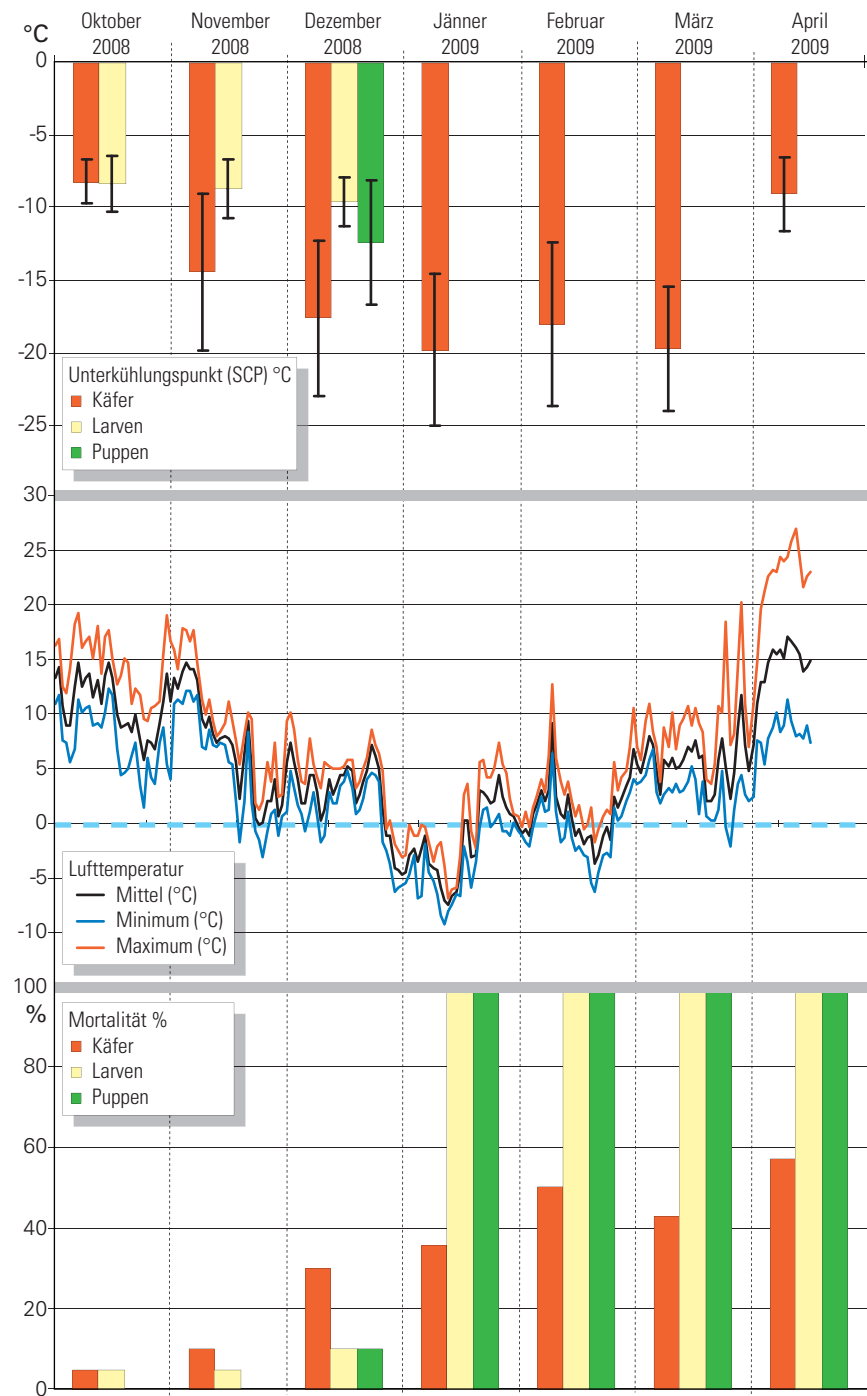


Abbildung 3: Unterkühlungspunkt (SCP) von im Labor angesetzten und Ende September in den Institutsgarten exponierten Bruten des Buchdruckers, Lufttemperatur im Institutsgarten und Mortalität während der Winterperiode 2008-2009  
 Figure 3: Supercooling point (SCP) of *Ips typographus* from laboratory infested logs which were exposed in the institute's garden end of September, air temperature in the institute's garden (Temp.) and mortality (Mort.) during the winter period 2008-2009

### Winter 2009-2010

Das Überwinterungsexperiment wurde im Folgejahr mit frisch geschlüpften Käfern aus der Laborzucht wiederholt, die Ende September an Stämmen angesetzt und dann im Institutsgarten unter Freilandbedingungen exponiert wurden. Der Entwicklungsstand der Bruten, die Mortalitätsrate und die Frostresistenz der Buchdrucker-Stadien wurden Ende Oktober und November sowie Anfang Jänner wie im Vorjahr überprüft (Abbildung 4).

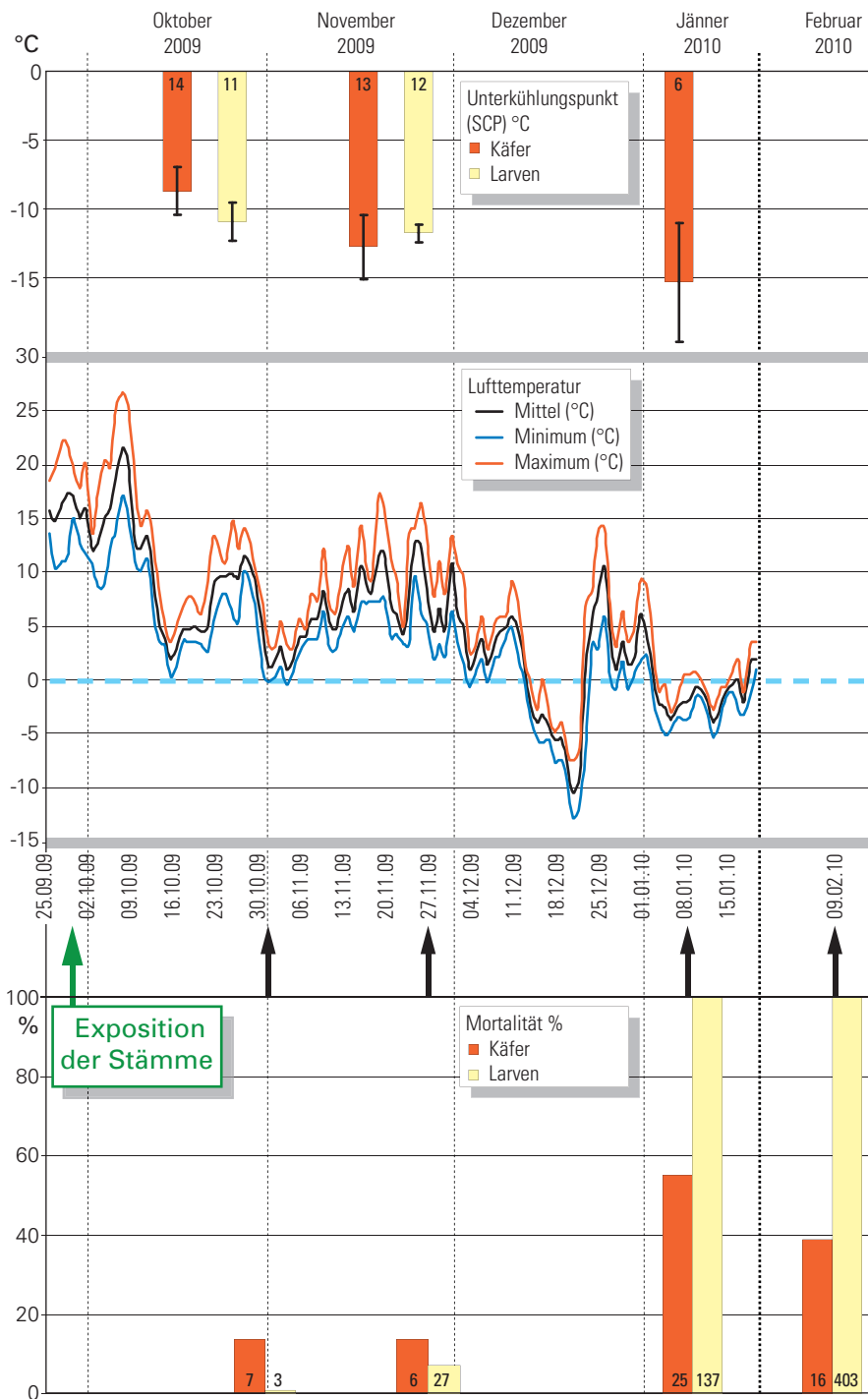


Abbildung 4: Unterkühlungspunkt (SCP) des Buchdruckers, Lufttemperatur im Institutsgarten und Mortalität während der frühen Winterperiode 2009-2010; die schwarzen Pfeile zeigen die Kontrolltermine; Anzahl untersuchter Individuen in Säulen.

Figure 4: Supercooling point (SCP) of *Ips typographus*, air temperature in the institute's garden (Temp.) and mortality during the early winter period 2009-2010; black arrows show control dates, number of investigated individuals in the columns.

Bis zum 12.12.2009 traten in diesem Herbst keine Frosttage auf. Warme Tage im September (das Monatsmittel in Wien lag bis zu 2,5 °C über dem langjährigen Durchschnitt) sowie Trockenheit (nur 37 % des langjährigen Mittels) förderten die Brutentwicklung zu Beginn. Durch einen Temperatursturz Mitte Oktober (innerhalb einer Woche von einer Tagesmitteltemperatur von 22 °C auf 3 °C) verlangsamte sich diese, so dass es

bis Anfang Jänner zu keiner Puppenentwicklung kam. Ende November hatten sich die Larven und Käfer schon deutlich an die kühleren Temperaturen angepasst und wiesen Unterkühlungspunkte von -11,8 °C bzw. -12,8 °C auf. Nach der zehntägigen Frostperiode ab Mitte Dezember mit einem Temperaturminimum von -12,8 °C (am 20.12. im Instituts-garten) waren bei der nächsten Kontrolle am 7.1.2010 wiederum alle Larven (n=137) und 55 % der Parentalkäfer (n=43) abgestorben. Letztere waren zum großen Teil (76 %) verpilzt. Beim Kontrolltermin am 9.2.2010 bestätigte sich das Ergebnis: Alle 453 im Brutstamm vorhandenen Larven waren tot, während 60 % der darin befindlichen Parentalkäfer (n=40) die vorausgegangene Kälteperiode überlebten und diese einen Unterkühlungspunkt (SCP) von durchschnittlich -15,4 °C aufwiesen (Abbildung 4).

### Kontaktgefrieren und Unterkühlungsschäden

Aus den Ergebnissen der Überwinterungsexperimente stellt sich die Frage, was letztendlich zum Absterben der Larven- und Puppenstadien geführt hatte, wenn deren SCP nicht (2008/09) oder kaum unterschritten wurde. Prinzipiell können dafür zwei Effekte verantwortlich sein:

1. ein so genanntes **Kontaktgefrieren** (inoculative freezing) durch externe Eisbildung: Eis dringt in den Insektenkörper über Öffnungen im Außenskelett (Poren, Atemöffnungen, Mund, Genitalien, etc.) ein, die Körperflüssigkeit gefriert und letztlich stirbt das Tier;
2. ein **Unterkühlungsschaden** (chilling injury), der aus der Wechselwirkung von Zeit und Frosttemperatur entsteht. Je länger ein Tier unter Frosttemperaturen verbleibt, desto größer ist sein Risiko zu erfrieren.

Beide Möglichkeiten wurden im Labor getestet, zunächst das Kontaktgefrieren: Käfer, Larven und Puppen des Buchdruckers wurden mit ein wenig Vaseline an ein Thermoelement befestigt und in einem Pipettenröhrchen an ein angefeuchtetes Stück eines Schwamm-tuches (60 % Wassergehalt) gedrückt. Diese Anordnung wurde dann heruntergekühlt, bis der SCP unterschritten wurde.

Die Ergebnisse waren nicht eindeutig: Die im Februar und März 2006 gemessenen Käfer wiesen unter trockenen Bedingungen eine signifikant niedrigeren SCP auf als unter feuchten. Dieser Unterschied war jedoch bei den Käfern im April 2006, die keine Frosthärte mehr zeigten, sowie bei den Larven und Käfern vom Oktober und November 2009 nicht mehr signifikant, sondern nur mehr tendenziell gegeben (Abbildung 5). Zusätzlich war bei den Kontaktgefrier-Messungen der Puppen die Anzahl der Messungen mit einem eindeutigen Temperaturanstieg am Unterkühlungspunkt sehr gering (10 %). Bei der Mehrheit der Puppen flachte die Unterkühlungskurve lediglich leicht unterhalb der 0°C-Schwelle ab, was offensichtlich durch das langsame und gleichmäßige Gefrieren der Tiere ausgelöst wurde.

Um zusätzlich den möglichen Zeiteffekt einer Unterkühlung zu untersuchen, setzten wir Käfer aus der Laborzucht an Fichtenstämme an, die zunächst drei Wochen bei 20 °C gehalten wurden, damit sich die Brut vollständig bis zum Larvenstadium entwickeln konnte. Ein Teil der Stämme wurde trocken, der andere durch tägliches Ansprühen feucht gehalten. Beide wurden schrittweise innerhalb von zehn Tagen auf -8 °C heruntergekühlt. Nach einer Woche bzw. zwei Wochen Exposition bei dieser Frosttemperatur wurden die Stämme entrindet und der Zustand der darin vorhandenen Larven geprüft. Bereits nach einer Woche waren sowohl in den trockenen als auch in den befeuchteten Stämmen alle Larven abgestorben (Abbildung 6).

Die Wiederholung des Experimentes mit einer Temperatur von -5 °C ergab, dass nach einer Woche Frosteinwirkung 94 % (n = 282), nach zwei Wochen 100 % der Larven (n = 111) abgestorben waren (Abbildung

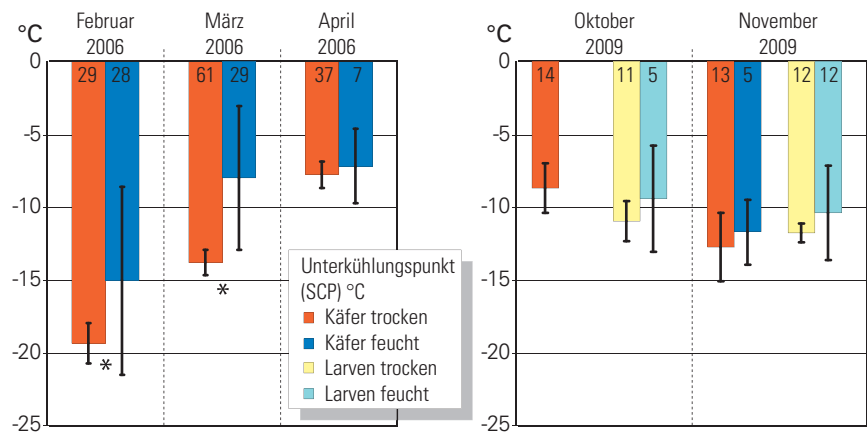


Abbildung 5: Unterkühlungspunkt (SCP) des Buchdruckers unter trockenen und feuchten Bedingungen während der Wintersaison; Anzahl untersuchter Individuen in Säulen.

Figure 5: Supercooling point (SCP) of *Ips typographus* under dry and humid conditions during the winter season; number of investigated individuals in the columns.

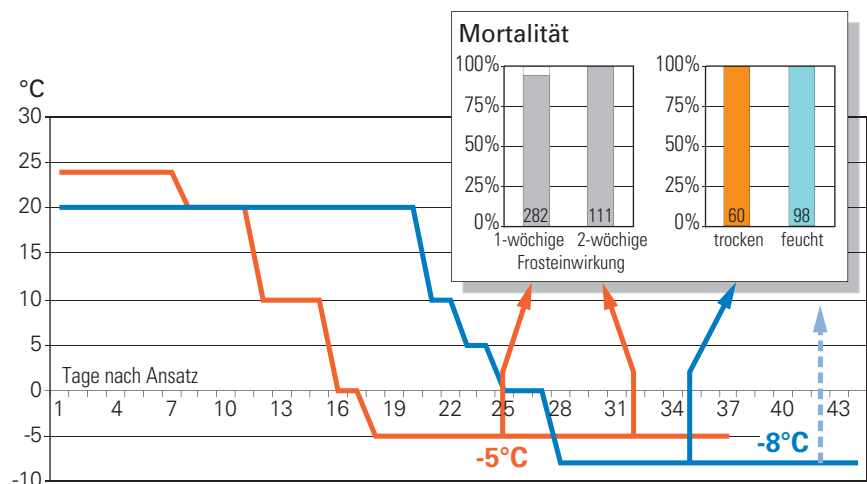


Abbildung 6: Mortalität von Buchdrucker-Larven nach ein- und zweiwöchiger Haltung bei -5 °C bzw. -8 °C; Anzahl untersuchter Individuen in Säulen.

Figure 6: Mortality rate of *Ips typographus* larvae kept under -5 °C and -8 °C respectively for 1 and 2 weeks; number of investigated individuals in the columns.

6). Der SCP-Wert der nach einer Woche noch lebenden Larven betrug durchschnittlich aber -10,1 °C. Daraus kann geschlossen werden, dass zur Bestimmung der letalen Temperatur im Larvenstadium nicht der Unterkühlungspunkt (SCP) herangezogen werden darf, da offensichtlich ein längerer Aufenthalt auch bei relativ geringen Frosttemperaturen bereits zu Unterkühlungsverletzungen führt, die das Absterben der Larven bewirken.

### Mögliche Ursachen der Wintermortalität

Larven, die einer letalen Temperaturwirkung oberhalb des eigentlichen Unterkühlungspunktes (chilling injury-Effekt) ausgesetzt waren, verfärbten sich während des Auftauprozesses im hinteren Körperbereich bräunlich und erliegen letztendlich einer vermutlich durch Bakterien verursachten Sepsis (Abbildung 7). Der nicht entleerte Darm dürfte als Nukleationspunkt für die Eiskristallisation während der Unterkühlung dienen,



Abbildung 7: Abgestorbene Larven des Buchdruckers nach einwöchiger Haltung bei -5 °C

Figure 7: Dead larvae of *Ips typographus* after a one week exposure to -5 °C

wodurch es zu Verletzungen des Darmgewebes und damit zum Übertritt der Darmbakterien in die Leibeshöhle der Larven kommen kann. Genauere Untersuchungen dazu werden derzeit am Institut durchgeführt.

Ein Unterkühlungseffekt wie bei den Larven ist beim vorzeitigen Absterben der Puppen nicht zu vermuten, da der Darm vor der Verpuppung entleert wird. Als wesentliche Ursache für die Mortalität vor dem Unterschreiten des kritischen Unterkühlungspunktes (SCP) ist hier das Kontaktgefrieren anzunehmen. In der Puppenwiege ist das immobile Stadium direkt der Feuchte im Kambialbereich des Stammes ausgesetzt. Beginnt der befallene Stamm zu gefrieren, so ist der direkte Kontakt der externen Eisbildung zu der weichen Puppenkutikula gegeben, was schließlich zum oben beschriebenen Eindringen von Eis in den Insektenkörper führen kann. Ein ähnliches Schicksal dürfte frisch geschlüpften, hellgelben Käfern widerfahren, deren Außenskelett noch nicht gehärtet ist und die daher nicht fähig sind, sich für die Überwinterung in den äußeren, trockeneren Rindenbereich zu bohren.

Mittelbraune bis schwarze Käfer überstehen den Winter in einer bereits Mitte August induzierten Diapause, die mit zunehmender Abkühlung zu einer für unsere Breitengrade ausreichenden Frosthärte von bis zu -30 °C führt. Aber auch in diesem Entwicklungsstadium ist, wie die Ergebnisse der Untersuchungen sowie empirische Daten zeigen, mit einem Verlust von durchschnittlich 50 % der Tiere während der Überwinterung zu rechnen. Neben der Gefahr des Kontaktgefrierens in unzureichend geschützten, feuchten Rinden-

bereichen kann es auch bei Käfern nach wieder aufgenommener Fraßaktivität während winterlicher Wärmeperioden zu einer Unterkühlungsverletzung durch Eisbildung im Darmbereich kommen, so dass diese trotz hoher Frosthärte vorzeitig absterben. Weiterhin spielen natürlich auch Infektionen durch Pathogene, Parasitierung sowie unzureichende Nahrungsqualität für die Mortalität der Tiere während der lebensun günstigen Jahreszeit eine Rolle.

### Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass ein Überwintern des Buchdruckers in unseren Breiten nur im Käferstadium möglich ist. Dabei kommt es auch in diesem Stadium zu Überwinterungsverlusten von durchschnittlich etwa 50 %. Geraten

Larven und Puppen des Buchdruckers durch eine späte Brutanlage in die winterliche Kälteperiode, so unterliegen sie im Stammbereich auch schon bei relativ geringen Minustemperaturen dem Effekt einer Unterkühlungsverletzung und des Kontaktgefrierens. Da aber solche Stämme in der Regel noch die überwinterungsfähigen Elterntiere enthalten, sollten sie noch vor dem Ausschlüpfen der Käfer im Frühjahr entsorgt werden.

### Danksagung

Wir danken dem Eigentümer des Forstbetriebes Montecuccoli – Gut Mitterau, DI Felix Montecuccoli, für die kostenlose Bereitstellung von Brutbäumen.

### Literatur

- Doležal, P., Sehnal, F. 2007: Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. J. Appl. Entomol. 131(3): 165–173.
- Schopf, A. 1985: Zum Einfluss der Photoperiode auf die Entwicklung und Kälteresistenz des Buchdruckers, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae). Anz. Schädlingskde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 58: 73–75.
- Schopf, A. 1989: Die Wirkung der Photoperiode auf die Induktion der Imaginaldiapause von *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae). J. Appl. Ent. 107: 275–288.
- Wermelinger, B. 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. For. Ecol. Manag. 202: 67–82.

Axel Schopf und Peter Kritsch, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz (IFFF), Department für Wald- und Bodenwissenschaften (WABO), Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Hasenauerstraße 38, A-1190 Wien, Tel. +43-1-3686352 29, E-Mail: axel.schopf@boku.ac.at; peter.kritsch@boku.ac.at