

Sauerstoffentzug unter luftdichter Silofolie als bekämpfungstechnische Maßnahme bei Buchdrucker-Befall

GOTTFRIED STEYRER, BERNHARD PERNY, GERNOT HOCH

BFW – Bundesforschungszentrum für Wald, Institut für Waldschutz, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich

✉ Gottfried Steyrer: gottfried.steyrer@bfw.gv.at

Forstschutz Aktuell 71 (2025): 23 – 28

KURZFASSUNG

Es wurde untersucht, wie sich die luftdichte Verpackung von Fichtenblochen mit Silofolie auf die Entwicklung und Mortalität von Brutten des Buchdruckers (*Ips typographus*; Coleoptera, Scolytinae) auswirkt. Natürlich befallene Fichtenfangbäume wurden in 4m-Bloche geschnitten und auf einem Holzlager auf Polter zu 4 m³ gestapelt. Sechs Polter wurden vollständig in eine Lage Silofolie verpackt und die Nähte luftdicht verschweißt. Ein unverhüllter Polter diente als Kontrolle. Täglich wurde die Sauerstoffkonzentration gemessen. Die Polter wurden zu verschiedenen Zeitpunkten geöffnet. Nur bei zwei Paketen wurde ein Sauerstoffgehalt von 0,5 % unterschritten, zwei wiesen an einigen Tagen Sauerstoffgehalte unter 4 % auf, zwei Pakete waren völlig unzureichend abgedichtet. Andauernder Sauerstoffentzug in den beiden dicht verpackten Poltern hatte einen negativen Effekt auf die Entwicklung und das Überleben der Buchdrucker. Nach sieben Tagen Lagerdauer, davon fünf Tage mit Sauerstoffgehalt unter 0,5 %, waren knapp 40 % der untersuchten Individuen noch am Leben. Nach 34 Tagen, davon 18 Tage mit Sauerstoffgehalt unter 0,5 %, war nahezu vollständige Mortalität zu verzeichnen. Neun Tage zwischen 0,5 % und 4 % Sauerstoffgehalt reichten nicht aus, um die Buchdrucker abzutöten. Wir schließen, dass die notwendige, sehr geringe Sauerstoffkonzentration unter 0,5 % über zumindest zwei bis drei Wochen mit dem getesteten einfachen Verfahren in der Praxis schwer zu realisieren sein wird.

SCHLÜSSELWORTE

Folienverschließung, *Ips typographus*, integriertes Borkenkäfermanagement, Schadholzlagerung, Sauerstoffgehalt

ABSTRACT

Oxygen depletion under air-tight packing in silage film as potential measure for bark beetle control

We tested the effect of air-tight packing of spruce logs in silage film on development and mortality of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*; Coleoptera, Scolytinae). Naturally infested Norway spruce trap trees were cut into 4-m logs and organized in 4 m³ piles. Six piles were completely wrapped in one layer of silage film (Polydress Siloclassics DLG WS/SW 200 my 6x25m); welds were sealed air-tightly. One pile remained uncovered to serve as a control. Oxygen concentrations were measured daily; the piles were opened and analyzed at different points in time. Oxygen concentrations below 0.5 % were achieved only in two packed piles, two reached several days below 4 %, while sealing of two packed piles failed completely. Continuous oxygen depletion in the two tightly sealed piles negatively affected the development and survival of *I. typographus*. After seven days, with oxygen concentrations below 0.5 % on five days, about 40 % of examined specimens were alive. After 34 days, with oxygen concentrations below 0.5 % on 18 days, almost complete mortality was recorded. Nine days below 4 % but above 0.5 % oxygen concentrations did not cause mortality of *I. typographus*. We conclude that the required very low oxygen concentration below 0.5 % over two to three weeks is hard to achieve with the tested, simple method.

KEYWORDS

silage film packing, *Ips typographus*, integrated bark beetle management, infested wood storage, oxygen concentration

Einleitung

Folienlagerung von Frischholz ist eine etablierte Methode, um dieses durch Sauerstoffverzehrung über längere Zeiträume zu konservieren (Maier 2005, Odenthal-Kahabka 2020). Handelsübliche Silofolie kann dazu verwendet werden. Eine Herausforderung besteht darin, die Folienverpackung über den monate- oder jahrelangen Lagerzeitraum luftdicht zu halten. Für Holz, das von Borkenkäfern befallen ist, und daher deutlich geringere Preise erzielt, wird diese Methode zu aufwendig sein. Allerdings könnte eine kurze Lagerdauer unter Sauerstoffentzug bereits die Käfer und deren Bruten unter der Rinde abtöten und so eine geeignete Methode für die bekämpfungstechnische Behandlung von Käferholz darstellen. Gerade in Zeiten vermehrten Kalamitätsholzanfalls wäre dies von Nutzen.

Ein erster Pilotversuch auf Anregung durch und in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Oberösterreich erzielte vielversprechende Ergebnisse. Bei luftdichter Verpackung in zwei Lagen Silofolie konnte nach drei Wochen vollständige Mortalität der Buchdrucker, *Ips typographus*, im Larven- wie im Adultstadium erzielt werden (unpublizierte Daten). Nachdem die zweilagige Verpackung einen großen Material-

sowie Arbeitsaufwand erfordert, testeten wir im vorliegenden Versuch, ob sich auch mit einer Lage zufriedenstellende Ergebnisse erzielen ließen. Vom Buchdrucker befallene Fichtenblöcke wurden zu mehreren Poltern geschlichtet, die in Silofolie eingeschweißt wurden. Die Pakete wurden nach unterschiedlich langer Lagerdauer geöffnet und der Zustand der Buchdrucker-Bruten kontrolliert. Tägliche Sauerstoffmessungen zeigten, wie weit tatsächlich eine Abnahme der Sauerstoffkonzentration erreicht wurde.

Material und Methode

Befallene Fichtenblöcke: Im März 2022 wurden im Forstbetrieb Waldviertel-Voralpen der Österreichischen Bundesforste AG (ÖBf) im Forstrevier Münichreith Fangbäume vorgelegt. Als die Buchdrucker-Bruten im Larven- und Puppenstadium waren, wurden für den Versuch geeignete 4m-Blöcke ausgewählt und zum Versuchsstandort, einem ÖBf-Holzlagerplatz in unmittelbarer Nähe zur Stadt Gföhl, Niederösterreich, transportiert. Dort wurden sechs Polter zu je ca. 4 m³ (20 bis 24 Blöcke) in Silofolie verpackt. Ein kleiner Polter zu 1,8 m³ (neun Blöcke) diente als unbehandelte Kontrolle. Vor der Verpackung wurde an jedem



ABBILDUNG 1: Aufbau der Versuchspolter und Verpackung in Silofolie: Auf Unterlagshölzern werden die käferbefallenen Blöcke vorsichtig auf der ausgebreiteten Silofolie platziert. Die Folie wird mittels Impulsschweißzange luftdicht verschweißt, das Paket mit Hilfe von Klebeband möglichst kompakt und windstabil gemacht.

FIGURE 1: Construction of piles and packing in silage film: The bark beetle infested logs are carefully placed on wooden slats upon the spread silage film. The film is sealed airtight with impulse sealing pliers; duct tape is applied to increase wind stability of the package.

Bloch der Anteil der unbeschädigten Rindenfläche geschätzt. Anhand einer kleinen Rindenprobe (rund 1 dm²) wurden die Befallsdichte (Anzahl der Muttergänge) sowie die Entwicklungsstadien der Buchdrucker und deren Anteile bestimmt.

Verpackung: Auf Kantholzunterlagen wurde eine Lage Silofolie (Silofolie Polydress Siloclassics DLG WS/SW 200 my 6x25m, aus Polyethylen) mit der weißen Seite nach außen aufgelegt. Zum Schutz der Folie vor Beschädigungen durch Rindenschuppen oder Astansätze wurde ein Brett im Bereich der Kantholzunterlagen daraufgelegt, ehe die Bloche vorsichtig mit dem Forwarder-Kran in zwei Lagen aufgelegt wurden. Die Oberfläche der Bloche und die Kanten der Stirnseiten wurden mit der Motorsäge glattgeschnitten, damit möglichst keine spitzen Rinden- oder Astteile die Folie beschädigen. Ein Temperatur- und Feuchte-Datenlogger (EL USB-2+, Lascar Electronics) wurde zwischen den beiden Lagen zirka in der Mitte des Polters positioniert. Dann wurde der überstehende Teil der Folie über den Polter geschlagen und das Folienpaket durch Verschweißen der Ränder mit einer Impulsschweißzange (Audion 381 PS 400 mm mit Impulsgenerator Audion TPS-2) geschlossen (Abbildung 1). Mit Gewebepack wurde der Überstand der Verpackung stabil verklebt, um eine Beschädigung durch windbedingtes Flattern möglichst zu verhindern. Um den Kontrollpolter wurde ein Gerüst aus Holzlatten gebaut, um das Storonet® gelegt wurde. Dieser Käfig sollte das Ausfliegen fertig entwickelter Käfer verhindern.

Sauerstoffmessung: Täglich zwischen 8 und 9 Uhr morgens wurde der Sauerstoffgehalt in jedem Folienpaket mit einem externen Restsauerstoffmessgerät (Greisinger GMH 3692 GOG-L

mit Sauerstoffsensoren GOEL 381) gemessen. Zusätzlich wurde zur Kontrolle innerhalb des Pakets 5 ein Luftsauerstoffmessgerät (Greisinger G 1690-35 mit Sauerstoffsensoren GOEL 370) fix angebracht und ebenfalls täglich ausgelesen. Die Sauerstoffmessungen beider Geräte zeigten eine gute Übereinstimmung. Die Oberfläche der Pakete wurde täglich visuell überprüft, und gefundene Löcher wurden mit Silofolien-Klebeband verschlossen. Wetterdaten wurden von der privaten Klimastation Gföhl, betrieben von Roman Freistetter, <http://www.w4-weather.at> (Entfernung zum Lagerplatz ca. 1,6 km), zur Verfügung gestellt.

Öffnung und Auswertung: Zu unterschiedlichen Zeitpunkten und nach unterschiedlicher Lagerdauer wurden einzelne Pakete geöffnet, nämlich nach 7 (Paket 1), 14 (Paket 2), 22 (Paket 3 und 4) und 34 Tagen (Paket 5 und 6). Die Folie wurde auf mechanische Schäden kontrolliert und die Oberfläche der Bloche wurde auf Insekten abgesucht. Zur Kontrolle der Borkenkäferbruten wurden an jedem Bloch zwei Rindenfenster mit in Summe durchschnittlich 5,7 dm² (entspricht 2,1 bis 5,0 % der unbeschädigten Rindenfläche) geöffnet und alle Entwicklungsstadien von *I. typographus* gesammelt, gezählt und auf Vitalzustand (Bewegung bei Berührung) kontrolliert. Wenn in einer Probe alle Käfer vermeintlich tot waren, wurden diese in Petrischalen für zumindest zwei Stunden an der Luft gelagert und dann erneut untersucht.

Ergebnisse

Sauerstoffgehalte: Dichtheit und in Folge weitgehender Sauerstoffentzug in den Paketen war schwer zu erreichen, wie die täglichen Sauerstoffmessungen zeigten. Nur bei zwei Paketen (1 und 6) wurde ein Sauerstoffgehalt von 0,5 % unterschritten,

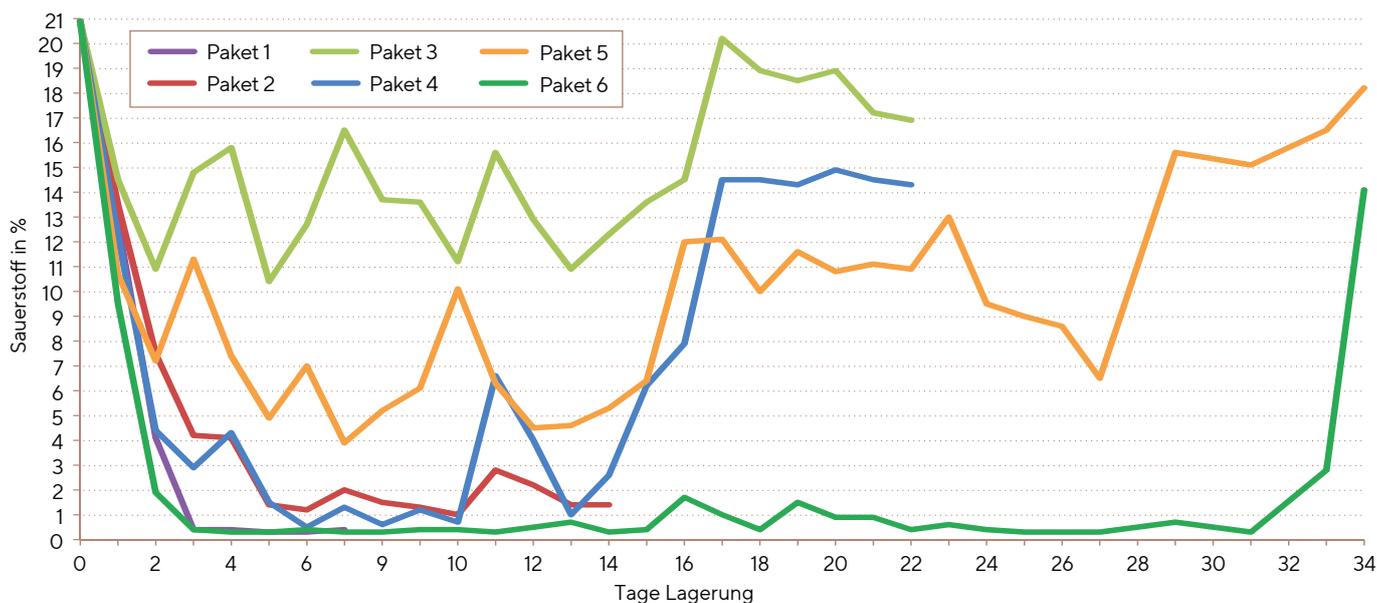


ABBILDUNG 2: Sauerstoffgehalt über die Lagerdauer in den sechs Versuchspaketen.

FIGURE 2: Oxygen concentration in the six packages over the experimental storage period.

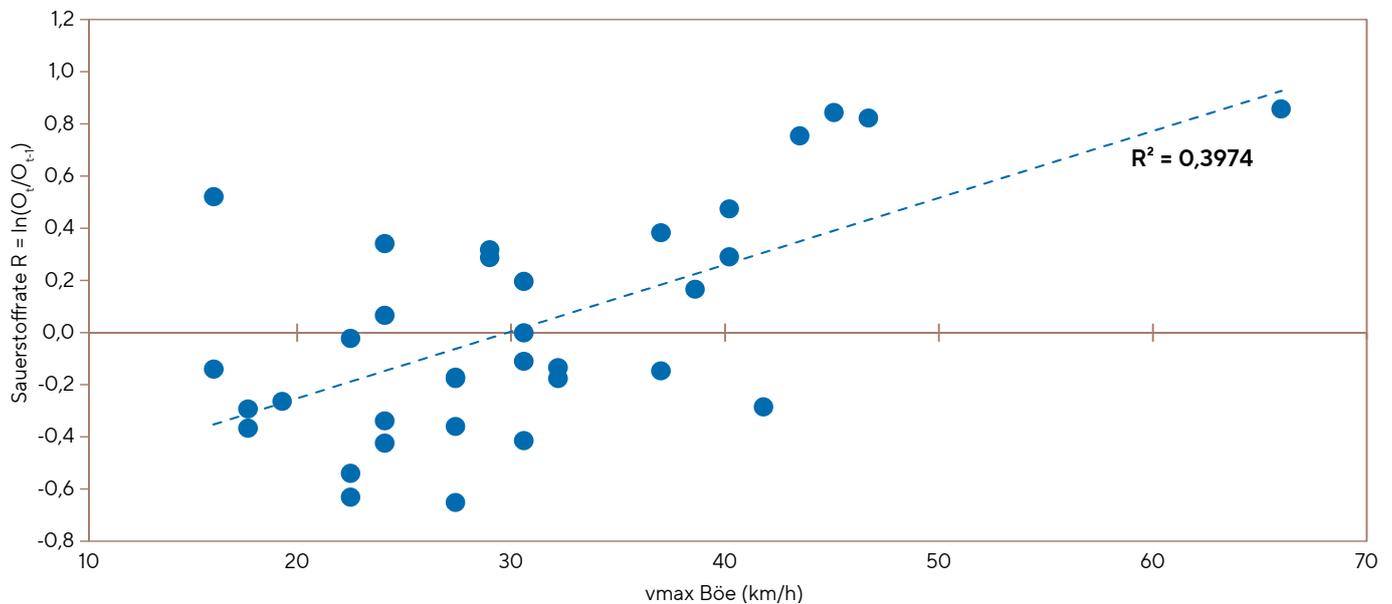


ABBILDUNG 3: Tägliche Änderung der Sauerstoffrate $R = \ln(O_t/O_{t-1})$ in Abhängigkeit von der maximalen Böengeschwindigkeit der Pakete mit Lagerdauer von mindestens 15 Tagen (Pakete 2-6; Pearson-Korrelationskoeffizient $r=0,63$).

FIGURE 3: Daily rate of oxygen concentration change $R = \ln(O_t/O_{t-1})$ depending on maximum gust speed of packed piles with a storage period of at least 15 days (piles 2-6; Pearson correlation coefficient $r=0,63$).

zwei Pakete (3 und 5) waren völlig unzureichend abgedichtet, zwei Pakete (2 und 4) lagen dazwischen und erreichten immerhin einige Tage mit Sauerstoffgehalten unter 4 % (Abbildung 2).

Unter allen Bedingungen waren eine rasche Sauerstoffverzehrung und daher ein rasches Absinken des Sauerstoffgehaltes zu verzeichnen. Die dichten Pakete erreichten bereits am dritten Tag nach der Verpackung Sauerstoffgehalte unter 0,5 %. Mit Dauer der Lagerung unter den exponierten Freilandbedingungen kam es zu einem Nachlassen der Dichtheit und folglich einer Sauerstoffzufuhr in die Pakete. Auffällig sind deutliche Schwankungen im Sauerstoffgehalt (Abbildung 2), die ausgeprägter sind, je höher der gemessene Sauerstoffgehalt war. Teilweise waren die steigenden Werte mit in zugänglichen Bereichen offensichtlichen Beschädigungen verknüpfbar, nach deren Reparatur wieder sinkende Gehalte gemessen wurden. Innerhalb der Lagerdauer gab es sehr windige Tage und wiederkehrend Regen. Durch Windeinfluss und auflastende Wassermengen, die in Kühlen zwischen den Blochen verblieben, wurde die Silofolie unterschiedlich stark gespannt und belastet. Wir vermuteten, dass unter dieser Belastung sogar Rindenschuppen kleine Undichtheiten verursachen konnten, die mit freiem Auge nicht erkennbar waren. Den zunehmenden Sauerstoffgehalten wurden daher die Anzahl und Stärke von Wind bzw. Windböen, die Niederschlagsmengen sowie Lackenbildung gegenübergestellt. Bei der Berechnung der Pearson-Korrelationen zeigten sich positive Zusammenhänge zwischen der durchschnittlichen Rate der Sauerstoffänderung und der maximalen Böengeschwindigkeit, der maximalen Windgeschwindigkeit, der Anzahl der Böen, die stärker waren als die maximale Windgeschwindigkeit, sowie der Niederschlagsmenge. Das Auftreten von Lacken in den Folienkühlen hatte einen sehr

schwachen negativen Zusammenhang mit der Änderung der Sauerstoffrate. Wurden nur die Pakete in die Berechnung einbezogen, die eine Lagerungsdauer von mindestens 15 Tagen auswiesen, verstärkten sich die Zusammenhänge. Den stärksten Einfluss hatten die maximale Böengeschwindigkeit bzw. die maximale Windgeschwindigkeit mit Korrelationskoeffizienten $r=0,63$ bzw. $0,61$ (Abbildung 3).

Wirkung auf die Buchdrucker: Andauernder Sauerstoffentzug in den dicht verpackten und dicht gebliebenen Paketen hatte einen negativen Effekt auf die Entwicklung und das Überleben der Buchdrucker. Während die beiden undichten Pakete 3 und 5 zum Zeitpunkt der Öffnung sehr hohe Anteile lebender Buchdrucker aller Stadien zeigten (höher als in der Kontrolle), waren diese in den gut abgedichteten und dicht gebliebenen Paketen 1 und 6 deutlich geringer (Abbildung 4).

Nach nur sieben Tagen Lagerdauer (davon fünf Tage mit Sauerstoffgehalt unter 0,5 %) beim Paket 1 waren noch rund 37 % der untersuchten Individuen am Leben. Bei den Jungkäfern war der Anteil mit 76 % noch deutlich höher. Wobei hier auch Käfer enthalten waren, die in den ersten Minuten nach der Öffnung der untersuchten Bloche tot erschienen, sich aber nach einiger Zeit an der Luft wieder zu bewegen begannen (in Abbildung 4 als „scheintot“ bezeichnet). Die Bewegungen waren meist unkoordiniert und eine Flugfähigkeit wurde nicht beobachtet, weshalb diese Käfer wahrscheinlich nicht befalls- und reproduzierfähig gewesen wären.

Erst die Lagerung über die gesamte Versuchsdauer von 34 Tagen (davon 18 Tage mit Sauerstoffgehalt unter 0,5 %) führte in Paket 6 zu nahezu vollständiger Mortalität (Abbildung 4). Dagegen überlebten im Paket 4, in dem immerhin neun Tage ein

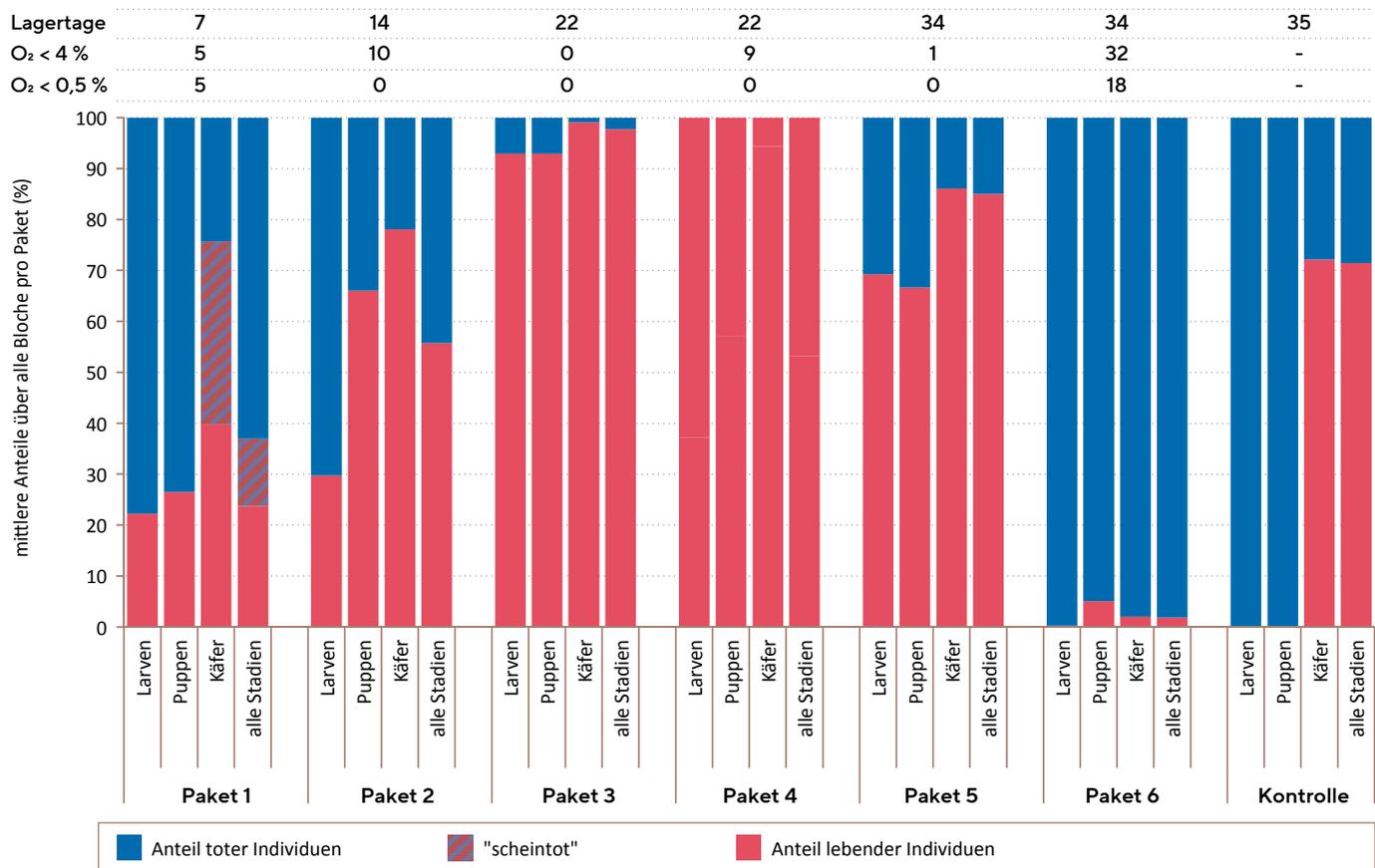


ABBILDUNG 4: Anteil lebender, „scheintoter“ und toter Buchdrucker in den Blochen je Polter zum Zeitpunkt der Öffnung der Folienverpackung in den sechs verpackten Poltern und in der Kontrolle. Die Gesamtlagerdauer sowie die Anzahl der Tage mit Sauerstoffkonzentrationen unter 4 % und unter 0,5 % sind bei jedem Polter angegeben.

FIGURE 4: Percentage of living (red), anesthetized (dashed red and blue) and dead (blue) *Ips typographus* in each pile at the time of opening of the package (six packed piles and one control). The total storage duration as well as number of days with oxygen concentrations below 4 % and below 0.5 % are given.

Sauerstoffgehalt unter 4 %, jedoch nie unter 0,5 %, gemessen wurde, alle kontrollierten Individuen. Der nahezu vollständige Sauerstoffentzug im Paket 6 führte zu einem weitgehenden Entwicklungsstopp. Die Verteilung der Entwicklungsstadien zwischen Ansatz und Öffnung hatte sich kaum verändert, die meisten Individuen waren in weißen Stadien verblieben. In der Kontrolle und im undichten Paket 5 konnten sich die Buchdrucker in den fünf Wochen zu Jungkäfern entwickeln.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Daten bestätigen, dass luftdichte Verpackung in Silofolie zum Absterben von Buchdruckern in den Brutsystemen infolge Sauerstoffentzuges führt. Die Daten zeigen weiter, dass eine Exposition von fünf Tagen nicht ausreichend ist, jedoch 18 Tage bei Sauerstoffgehalten unter 0,5 % für nahezu vollständige Mortalität sorgen. Shin und Elert (2003) kommen in ihrem Review zum Schluss, dass Sauerstoffgehalte über 2 % nicht ausreichend sind, acht Tage unter 0,3 % jedoch die meisten untersuchten Insektenarten abtöten. Schroeder und Eidmann (1986) untersuchten die Wirkung verschiedener Atmosphären auf Borkenkäfer. Sechs Tage Exposition in 100 %

Stickstoff verursachten nur bei 7 % der Buchdrucker Mortalität. 100%ige Mortalität wurde hingegen nach fünf Tagen in 80 % Kohlendioxid festgestellt. Larvenstadien erwiesen sich generell als widerstandsfähiger (Schroeder und Eidmann 1986). Wichtige Effekte auf die Wirkung von Sauerstoffentzug haben Temperatur und Luftfeuchte. Bei höheren Temperaturen kommt es zu rascherer Mortalität (Chiappini et al. 2009), höhere Luftfeuchte unterstützt die Insekten. Um nach vier Tagen 95%ige Mortalität zu erreichen, mussten Mehlkäfer bei 100 % Luftfeuchte bei Sauerstoffgehalten unter 0,5 % gehalten werden. Bei 20 % Luftfeuchte genügten Sauerstoffgehalte unter 2 % (Navarro 1978). In unserem Versuch erreichte die Luftfeuchte in den Paketen ab dem ersten Tag nach Verpackung Werte über 90 %. Diese hohe Luftfeuchte könnte das Überleben der Buchdrucker begünstigt haben.

Der vorliegende Versuch zeigt auch, dass ein Erreichen der notwendigen, sehr geringen Sauerstoffkonzentration unter 0,5 % in der Praxis mit dem getesteten einfachen Verfahren sehr schwer zu realisieren ist. Uns gelang dies bei zwei von sechs Paketen. Zwei Pakete waren völlig undicht, bei den beiden restlichen blieb die Sauerstoffkonzentration zu hoch. Und

nur wenn vollständige Dichtheit gewährleistet ist, kann von einer bekämpfenden Wirkung der Lagerung in Silofolie ausgegangen werden. Eine zweite Folienlage würde mehr Sicherheit hinsichtlich Dichtheit bringen, allerdings steigt auch der Arbeits- und Materialaufwand erheblich. Der Aufwand war bereits bei der Einrichtung im hier vorgestellten Versuch hoch: Unterlagen, Bretter und Putzen der Bloche waren zum Schutz der Folie notwendig; steiniger Untergrund musste beachtet werden. Ein Team von vier Personen arbeitete an der Einrichtung der Kleinpakete. Das Schweißen der Folie brauchte einige Übung, um die richtige Temperatur anzuwenden und die Schweißnähte nicht durchzubrennen. Bei der Lagerung wirkte Windeinfluss negativ auf die Dichtheit, Wasserpfützen verursachten Druckschäden auf der Folie. Gegen Ende des Versuchs verursachten darüber hinaus Vögel Pickschäden an der Folie. Regelmäßige Kontrollen und Reparaturen der Pakete sind daher unerlässlich.

Insgesamt macht der sehr hohe Aufwand, um hinreichende Dichtheit und damit den notwendigen Sauerstoffentzug zu gewährleisten, die Methode für den praktischen Einsatz in der bekämpfungstechnischen Behandlung von Käferholz wenig tauglich. Folienverpackung bleibt wohl in der etablierten Form der konservierenden, werterhaltenden Lagerung von Frischholz vorbehalten.

Danksagung

Wir danken der Österreichischen Bundesforste AG, Forstbetrieb Waldviertel-Voralpen, namentlich DI Bernhard Funcke, Ing. Marian Riedler und Ing. Christian Holzmüller für die hervorragende Zusammenarbeit, insbesondere für die Bereitstellung der Fangbäume, die Möglichkeit, den Versuch am Lagerplatz Gföhl durchzuführen, und für die Mithilfe bei der Versuchsanlage. Die Idee zum Test dieser Methode stammte von DI Christian Lamberg (Landwirtschaftskammer Oberösterreich, jetzt Abteilung Land- und Forstwirtschaft des Landes Oberösterreich), der zusammen mit Michael Hackl und dem BFW einen Pilotversuch dazu durchführte. Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Nr. 101687 „IpsEMAN“ im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (Waldfonds, Maßnahme 8: Forschungsmaßnahmen zum Thema „Klimafitte Wälder“) durchgeführt.

Literatur

Chiappini, E., Molinari, P., Cravedi, P., 2009: Mortality of *Tribolium confusum* J. du Val (Coleoptera: Tenebrionidae) in controlled atmospheres at different oxygen percentages. *Journal of Stored Products Research*, 45, 10-13.

Maier, T., 2005: Konservierung von Rundholz unter Sauerstoffabschluss – Folienkonservierung. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 236 S.

Navarro, S., 1978: The effects of low oxygen tensions on three stored-product insect pests. *Phytoparasitica*, 6, 51-58.

Odenthal-Kahabka, J., 2020: Sturmholz in Folie lagern. *waldwissen.net*. <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/holz-und-markt/lagern-und-konservieren/sturmholz-in-folie-lagern> (Letzter Zugriff 10.04.2025).

Schroeder, L.M., Eidmann, H.H., 1986: The effects of pure and blended atmospheric gases on the survival of three bark beetle species. *Journal of Applied Entomology*, 101, 353-359.

Shin, M., Elert, K., 2003: The use of oxygen-free environments in the control of museum insect pests. *Tools for conservation*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 172 S.