



Wirksame Alternativen im Umgang mit Borkenkäfer-Kalamitäten

Zunehmende Borkenkäfer-Kalamitäten erfordern neue Strategien zur breiten Anwendung zwischen Waldschutz und Ökologie. Das Projekt „ÖkoKala“ untersuchte verschiedene mechanische Rindenbehandlungen als Alternative zur klassischen Flächenräumung. Die Ergebnisse zeigen, wie durch Verfahren wie das streifenförmige Entrinden oder modifizierte Harvesteraggregate der Buchdrucker effektiv reguliert, die Biodiversität gefördert und Kalamitätsholz sicher im Bestand gelagert werden kann.

VON SEBASTIAN ZARGES, OLE HENNING, SVEN FINNBERG, PHILIPP MEINECKE, MAXIMILIAN HETZER, DANIEL KRAUS, SIMON THORN, JONAS HAGGE

Die fortschreitende Klimakrise führt zur anhaltenden Intensivierung von Störungen in europäischen Wäldern, die die Forstwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen stellt. Besonders betroffen sind Fichtenwälder, die häufig außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets als strukturarme Altersklassenwälder angelegt wurden und nun hohe Vorräte in einem anfälligen Alter (80+ Jahre) aufweisen [1]. Infolge der Trockenjahre 2018 bis 2020 ist die Vitalität der einheitlichen Fichtenwälder vielerorts stark gesunken, was zu großflächigen Buchdrucker (*Ips typographus*) Kalamitäten geführt hat [2, 3]. Gleichzeitig steigt der Befallsdruck durch den Buchdrucker, da aufgrund der steigenden Temperaturen sowohl der Bruterfolg als auch die Zahl der jährlichen Generationen zunehmen [4, 5]. Letztlich waren bis zu zwei Drittel des Holzeinschlags in und nach den Trockenjahren ungeplant [6].

Verfahren zur Buchdruckerregulierung

Um eine Massenvermehrung und Ausbreitung einzudämmen, ist die Reaktionsgeschwindigkeit der Regulierungsmaßnahmen von größter Bedeutung. Grundsätzlich wird empfohlen, alle Stämme mit mehr als 10 cm Durchmesser so schnell wie möglich und in jedem Fall so lange, wie noch das weiße Larvenstadium vorhanden ist, entweder außerhalb der Reichweite von Wirtsbäumen (ca. 500 m) zu verbringen oder brutuntauglich zu machen [7, 8]. Für eine erfolgrei-



© S. Zarges

Abb. 1: Harvester bei der Rindenbehandlung von Fichtenstämmen. Die Vorschubwalzen und Entastungsmesser entfernen und quetschen den natürlichen Brutraum des Buchdruckers, vor allem bei mehrfachem Durchlaufen des Aggregats.

che Verhinderung einer Massenvermehrung müssen Modellrechnungen zufolge 80 % der Käfer abgetötet [9] oder 95 % des besiedelten oder vorgeschädigten Holzes entfernt werden [10]. Bei großflächigem Befall und hohen Schadholzmengen ist die Flächen- bzw. Schlagräumung weit verbreitet, um Massenvermehrungen einzuschränken, Verluste durch den Holzverkauf zu minimieren und Störungsflächen für eine Verjüngung vorzubereiten. Während der Schwärmzeit des Buchdruckers kann jedoch

eine flächendeckende Aufarbeitung oder ein zügiger Abtransport befälliger und bruttauglicher Fichten (z. B. infolge von Winterstürmen) nicht immer und überall gewährleistet werden, da Waldarbeiter und Maschinen in dieser Zeit oft vollständig ausgelastet sind. Eine Zwischenlagerung kann die Vermarktung unabhängig von Schwankungen der Holzmarktpreise machen, es muss jedoch eine Vermehrung des Buchdruckers ausgeschlossen werden, um umliegende Fichtenbestände zu schützen.



Abb. 2: Versuchsstämme mit unterschiedlichen Rindenbehandlungen (Kontrolle, Harvester dreifach, Motormanuelle gestreift und Handentrindet) mit Stammektoren und Bohrprobennahme.

„Mechanische Rindenbehandlungen ermöglichen eine effiziente Regulierung des Buchdruckers bei gleichzeitiger Förderung der Totholzbiodiversität.“

SEBASTIAN ZARGES

Ökologische und Ökonomische Zielkonflikte

Während aus ökologischer Sicht der Borkenkäfer Teil natürlicher Waldsukzession ist, führt er aus ökonomischer Sicht zu einer Zwangsnutzung und Umsatzeinbußen. Für viele Arten ist das Absterben und die Auflichtung des Bestandes positiv, da viele Organismen von den neu geschaffenen Totholzressourcen, Lichtungen und Waldrändern profitieren [11]. Insbesondere die frühen und offenen Sukzessionsstadien sind in Wirtschaftswäldern unterrepräsentiert und können zum Erhalt der Biodiversität beitragen [12]. Durch die Speicherung und Freisetzung von Wasser, Kohlenstoff und Nährstoffen unterstützt Totholz Stoffkreisläufe, Verjüngung und Ertrag [13]. Langfristig dient es vielen Arten als Habitat und wirkt im alpinen Schutzwald als Schutz vor Gletschneer und Steinschlag [14, 15].

Bei einer Flächenräumung werden dementsprechend Wald Funktionen und insbesondere Lebensraum für totholzabhängige Arten reduziert [16, 17]. Vor allem für Schutzgebiete, in denen die natürlichen Prozesse möglichst nicht gestört werden dürfen, gleichzeitig aber der Waldschutz für die umliegende Wirtschaftswälder gewährleistet sein muss, sind umweltverträgliche Verfahren zur konfliktfreien Totholz-Anreicherung – auch von großen Mengen – erforderlich.

Schneller ÜBERBLICK

- » **Das Projekt ÖkoKala** untersuchte mechanische Rindenbehandlungen als waldschutzkonforme Alternative zur klassischen Flächenräumung.
- » **Während die komplette Entrindung** höchste Wirkungsgrade erzielt, bietet das streifenförmige Entrinden den besten Kompromiss für die Biodiversität.
- » **Hochmechanisierte Ansätze wie** mehrfache Durchläufe durch das Harvesteraggregat ermöglichen die Bewältigung großer Schadholzmengen bei gleichzeitig wirksamer Käferreduktion.
- » **Behandeltes Kalamitätsholz** kann ohne Befallsrisiko als wertvolles Totholz im Bestand verbleiben oder nach einer Zwischenlagerung ohne Verluste als Energieholz genutzt werden.

Praxisstudie zur Borkenkäferregulierung mit Rindenbehandlung

Eine effektive, umweltverträgliche Methode zur waldschutzkonformen Zwischenlagerung bzw. Totholzanreicherung ist die mechanische Rindenbehandlung. Durch das Entfernen oder gezielte Bearbeiten der Rinde wird der Brutraum des Buchdruckers zerstört (prophylaktisch) und vorhandene Larven trocknen aus (therapeutisch). Dadurch kann Holz vorübergehend oder dauerhaft auch in der Nähe von Fichten gelagert werden, ohne das Risiko einer weiteren Vermehrung des Buchdruckers [7]. An diesen Ansatz knüpft das durch den Waldklimafonds geförderte Projekt ÖkoKala an. Ziel war es, verschiedene Rindenbehandlungsverfahren hinsichtlich des Wirkungsgrads für den Waldschutz, ihrer Arbeitsleistung in der Forstpraxis, ihrer Auswirkungen auf Biodiversität, Heizwert und Elementarzusammensetzung zu vergleichen. Im Frühjahr 2022 wurden auf 20 über Deutschland verteilten Versuchsflächen mit variierender Borkenkäferdichte, Fichtenanteilen und Bewirtschaftung besiedelte Fichtenstämme innerhalb von drei Wochen nach Erstbefall einer von fünf Behandlungen unterzogen: Normale Aufarbeitung mit dem Harvester (einmaliger Durchlauf und Zuschnitt auf 5 m), Dreifacher Durchlauf durch das Harvesteraggregat (und Zuschnitt), motormanuelle gestreift, motormanuelle Entrindung, Handentrindung und jeweils ein Stamm ohne Behandlung als Kontrolle (siehe Abb. 2)

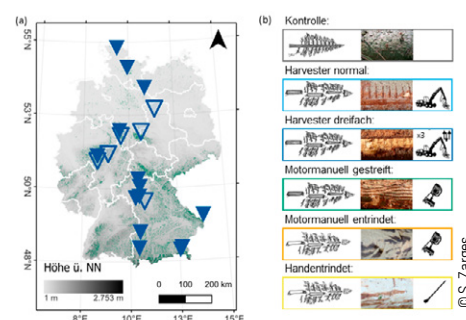


Abb. 3: a) Verteilung der 20 Studienstandorte in Deutschland (gefüllte Markierungen mit Zeitstudie) mit grauer Schattierung für die Höhenlage und grünen Flächen für fichtendominierte Wälder [19]; b) Kontrolle und die fünf angewandten mechanischen Rindenbehandlungen mit den jeweiligen Werkzeugen.



u. 3). Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wurden auf 14 Versuchsflächen die jeweils bearbeiteten Festmeter pro Arbeitsstunde aufgenommen. Von April bis Oktober 2022, 2023 und 2024 wurden mit Stammelektoren neben den Buchdrucker Schlupfzahlen auch alle auf Totholz angewiesenen (xylobionten) Käfer [18] erfasst. Im Stammholz wurden mithilfe von Bohrproben zum einen die Anzahl der Pilz- und Bakterienarten mittels Metabarcoding bestimmt und zum anderen der Wassergehalt sowie Heizwert analysiert. Alle Ergebnisse basieren auf gemischten Modellen, in denen die Versuchsflächen als Zufallsvariable einbezogen wurden, um Behandlungseffekte unabhängig von Umwelt- oder Bewirtschaftungsbedingungen darzustellen.

Wirkungsgrad der Buchdruckerregulierung

Im Vergleich zur Kontrolle reduzierten die motormanuelle und die Handentrindung die Anzahl schlüpfender Buchdrucker um mehr als 97 % ($\text{Mittelwert} \pm \text{Standardfehler}$) und wiesen somit den höchsten Wirkungsgrad unter den getesteten Verfahren auf. Das streifenförmige Entrinden, bei dem circa ein Drittel der Rinde intakt in Streifen auf dem Holzkörper verbleibt hat einen etwas geringeren Wirkungsgrad mit $87 \pm 6\%$, jedoch auch einen zeitlichen Vorteil gegenüber dem motormanuellen Entrinden, da fast die doppelte Menge an Holz pro Stunde behandelt werden kann. Die normale Aufarbeitung mit dem Harvester von besiedelten Stämmen hat mit einem Wirkungsgrad von $50 \pm 24\%$ nicht zu einer entscheidenden Reduktion der Buchdruckerpopulation geführt, während der dreifache Durchlauf durch das Aggregat genug Rinde entfernt bzw. Brutraum zerstört hat, so dass $76 \pm 12\%$ der Buchdrucker abgetötet wurden (Abb. 3a u. b). Damit lassen sich große Mengen in kurzer Zeit aufarbeiten und können somit im Bestand als Totholz angereichert oder zwischengelagert werden, ohne dass eine große Anzahl an Buchdruckern ausfliegt. In einer anderen Studie konnte die Wirksamkeit der vollständigen Entrindung von Fichten mit

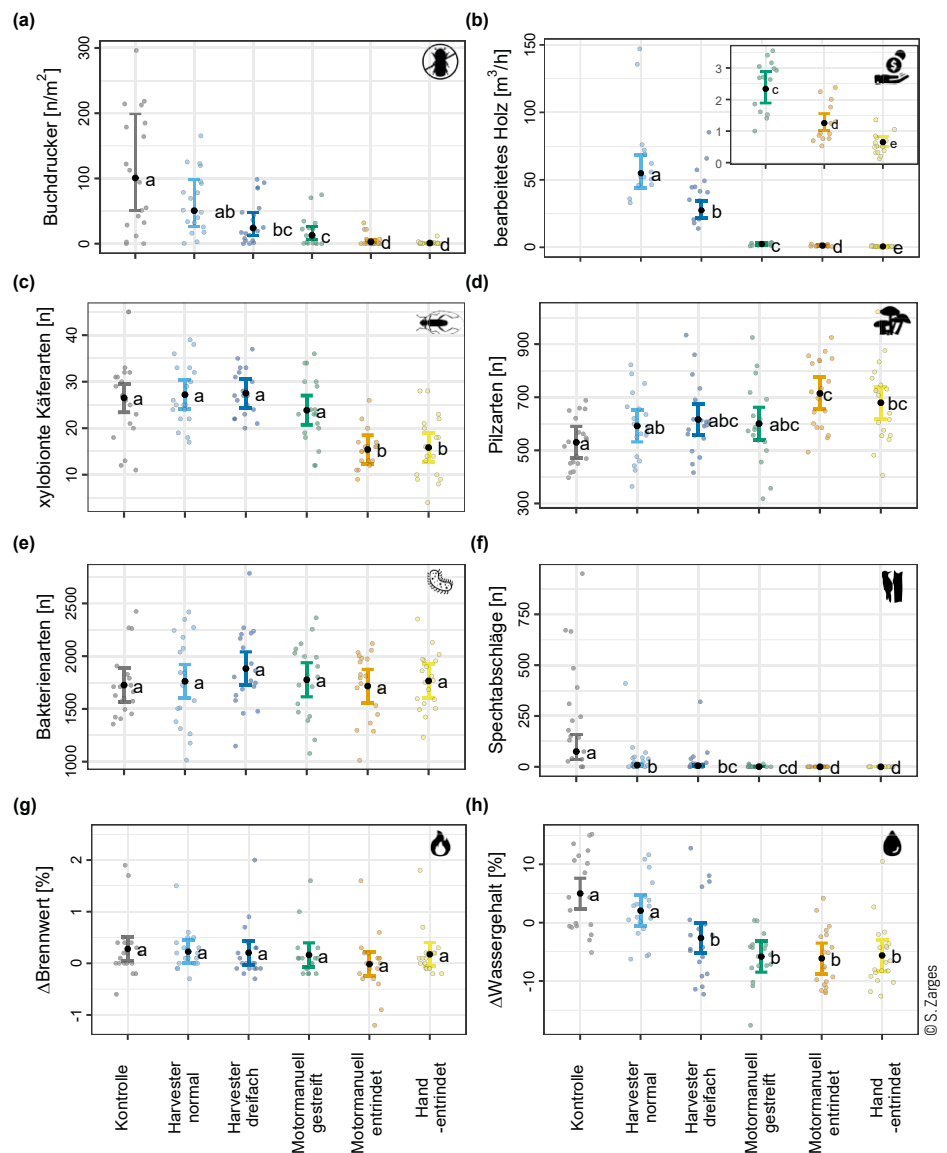


Abb. 4: Die modellbasierten Mittelwerte mit 95 % Konfidenzintervallen zugrundeliegenden Rohdaten. Die Anzahl der Buchdrucker [a] und xylobionten Käferarten [c] beziehen sich auf die Summe über den dreijährigen Versuchszeitraum. Die Zeitstudie [b] basiert auf der reinen Rindenbehandlungszeit, ohne Rüstzeiten. Pilz [d]– und Bakterienarten [e], Heizwert [g] und Wassergehalt [h] sind als Veränderung über die Zeit ($\Delta = 2023 - 2022$) angegeben. Die Spechtabschläge [f] wurden sowohl an der Rinde als auch am Holzkörper gezählt. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungsarten ($p < 0,05$).

umgerüsteten Harvesteraggregaten (Debarking Head), welche aber nicht flächendeckend in Deutschland zur Verfügung stehen [20, 21]. Große Rindenstücke, die am Stamm oder auch abgelöst im Bestand verbleiben, dienen Käfern im braunen Stadium als Brutstätte zur Vollendung des Reifungsraßes, was die Notwendigkeit eines zeitnahen Managements oder Methoden bei denen die Rinde zerkleinert wird unterstreicht [8]. Die (teilweise) Entrindung verringert die Transportkosten, verbessert die

Aschebilanz bei der thermischen Verwertung und wichtige Nährstoffe werden nicht aus dem Bestand entnommen [20]. Dem gegenüber steht die ökonomische Bedeutung der Rinde im Holzhandel als Nebenprodukt und für die Energieerzeugung. Zudem fungiert die Rinde bei einer Zwischenlagerung als Schutzschicht gegen zu rasche Austrocknung (Trockenrisse) und verhindert das Eindringen holzzeretzender Pilze in das Stammholz [22]. Aus ökologischer Sicht ist Rinde als energiereiche Nahrungsgrundlage

und Habitat ein essenzielles Strukturmerkmal für xylobionte Organismen [15].

Auswirkungen auf die Biodiversität

Durch das vollständige Entrinden hat sich die Anzahl der Käferarten von im Mittel zwanzig auf zwölf Arten reduziert. Die erhöhte Anzahl an Pilzarten in den entrindeten Stämmen verdeutlicht die Funktion der Rinde als natürliche Barriere gegen die Besiedlung [23]. Bei den Bakterien zeigte sich kein Effekt auf die Anzahl der Arten (Abb. 3c-e). In allen drei Artengruppen konnte jedoch eine Veränderung der Artenzusammensetzung festgestellt werden, insbesondere im Vergleich zwischen den Kontroll- und vollständige Entrindeten Stämmen. Diese kann darauf zurückgeführt werden, dass durch das Entrinden der Stämme zentrale Nahrungsgrundlagen, Habitat Strukturen und potenzielle Filtereffekte für die Besiedlung wegfielen [15]. So ist auch die Streuung Artenzusammensetzung in den Kontrollstämmen am geringsten, was für eine weniger zufällige Besiedelung der Arten spricht. Die geringere Artenzahl wirkte sich auch auf höhere trophische Ebenen aus, beispielsweise auf die mit Totholz assoziierten Spechte (Abb. 3f). Entrindete Stämme zeigten nahezu keine Anzeichen für die Nahrungssuche der Spechte, da dort nur vereinzelt Abschlüge am Splintholz beobachtet wurden. Im Gegensatz dazu fanden sich Stämmen mit Rinde, insbesondere an den Kontrollstämmen, deutliche Anzeichen für hohe Specht Aktivität.

Veränderung von Heizwert und Wassergehalt über 3 Jahre

Die Rindenbehandlungen hatten keine Auswirkung auf den Heizwert von im Bestand gelagerten Fichten Stämmen. Die Veränderung über die ersten drei Jahre war bei allen Stämmen

Literaturhinweise

Download des Literaturverzeichnisses unter: www.forstpraxis.de/downloads.

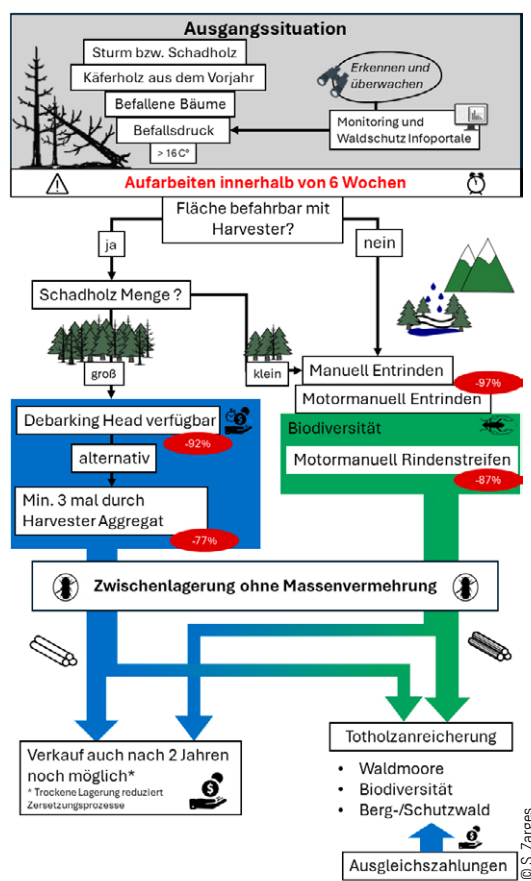


Abb. 5: Entscheidungsschema für die Rindenbehandlungen zu Regulierung des Buchdruckers aus ökonomischer (blau) und ökologischer Sicht (grün).

im sehr niedrigen einstelligen Bereich. Beim Wassergehalt waren die Veränderungen deutlicher und stehen auch im Zusammenhang mit der Rindenbedeckung. In den Kontrollstämmen gab es eine leichte Zunahme, während die gestreiften und vollständig entrindeten Stämme eine Abnahme von im Mittel 6 % über den Versuchszeitraum hatten.

Schlussfolgerungen

Das im Nationalpark Bayerischer Wald entwickelte und erprobte streifenförmig Entrinden ist ein Lösungsansatz der Wald- und Naturschutz vereint. Gegenüber dem (motor)manuellen entrinden kann deutlich mehr Holz aufgearbeitet werden und die xylobionte Artengemeinschaft profitiert von der verbleibenden Rinde. Angesichts großflächiger, dürrebedingter Kalamitäten ist die hochmechanisierte Aufarbeitung mittels Harvester aus Sicht der Arbeitssicherheit alternativlos. Nur so lassen sich die enormen Schadholzmengen innerhalb der engen zeitlichen Hand-

lungsfenster bewältigen. Mehrfaches Durchlassen durch das normale Harvesteraggregat oder den Debarking Head zeigen effektive Wirkungsgrade für die Eindämmung von Buchdrucker Massenvermehrungen bei Störungen auf Landschaftsebene.

Das Kalamitätsholz kann nach einer Rindenbehandlung auch im Bestand gefahrlos zwischengelagert werden und auch nach zwei bis drei Jahren ohne Verluste thermisch verwertet werden oder für die Kohlenstoffspeicherung und den Naturschutz langfristig auf der Fläche angereichert werden. Welche Rindenbehandlung aus ökonomischer und ökologischer Sicht anzuwenden ist, hängt neben der Befahrbarkeit der Fläche für den Harvester auch von der zu behandelnden Schadholzmenge ab (Abb 5). Durch Förderungen und Ausgleichszahlungen auf Bundes- und Landesebene lassen sich naturschutzverträgliche Maßnahmen und die Anreicherung von Kalamitätsholz auch wirtschaftlich umsetzen [24, 25].



Sebastian Zarges

sebastian.zarges@posteo.de

war bis Februar 2026 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Naturschutz der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA). **Jonas Hagge** ist dort wissenschaftlicher, **Ole Henning** technischer Mitarbeiter. **Sven Finnberg** leitet die Stadtförsterei Bad Windsheim. **Philipp Meinelcke** ist stellvertretender Geschäftsführer der Ausgleichsagentur Schleswig-Holstein GmbH. **Maximilian Hetzer** leitet das Revier Cadolzburg im Forstbetrieb Rothenburg ob der Tauber der Bayerischen Staatsforsten. **Daniel Kraus** ist Leiter des Universitätsforstamts Sailershausen. **Prof. Dr. Simon Thorn** leitet die AG Angewandte Ökologie an der Philipps-Universität Marburg.