Infektionsgefahr durch Buchdrucker (*Ips typographus*) aus mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten

- ein Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Praxis -

Forschungsbericht

zum Projekt 1640 im Notfallplan für den Wald des
Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR)
Baden-Württemberg

einschließlich der Projekte 363, 1574 und 1681
zur Pflanzenschutzverfahrens- und Pflanzenschutzmittelprüfung

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Abteilung Waldschutz

Freiburg, Mai 2021

Schlüsselwörter/Keywords: Borkenkäfer, Buchdrucker, Ips typographus, Vollernter, Harvester, Fällkopf, Fällaggregat, Entrindung, Debarking Head

Autoren:

Horst Delb, Gregor Seitz, Tim Burzlaff, Martin Burger, Frauke Brieger, Udo Hans Sauter, Markus Kautz

Dr. Horst Delb leitet die Abteilung Waldschutz an der FVA; Gregor Seitz war bis 2019 während seiner Beschäftigung an der FVA mit dem Projekt maßgeblich betraut; Dr. Tim Burzlaff ist Kooperationspartner und an der Albert-Ludwigs-Universität (ALU) Freiburg, Professur für Forstentomologie und Waldschutz beschäftigt; Martin Burger ist an der FVA Abteilung Waldschutz Fachgebietsleiter waldbezogener Pflanzenschutz; Frauke Brieger ist wissenschaftliche Mitarbeiterin an der FVA Abteilung Waldnutzung, Dr. Udo Hans Sauter leitet diese Abteilung; Dr. Markus Kautz ist an der FVA Abteilung Waldschutz Fachgebietsleiter Borkenkäfer, Waldschutz und Klima, Modellierung.

Die 2018 und 2019 begonnenen Untersuchungen wurden in den Jahren 2020 und 2021 im Rahmen des Notfallplans für den Wald des MLR Baden-Württemberg fortgeführt und abgeschlossen.

Im Rahmen des Projektes wurden an der ALU Freiburg zwei Abschlussarbeiten der Studierenden Benedikt Keller (2018) und Andreas Stricker (2020) angefertigt.

Danksagung

Die Untersuchungen erfolgten mit freundlicher Unterstützung durch die Anstalt öffentlichen Rechts Forst Baden-Württemberg ForstBW in den Forstbezirken Oberland, Südschwarzwald und Westlicher Schwarzwald sowie dem Forstlichen Maschinenbetrieb Schrofel. Den Kolleg*innen[1] gilt unser herzliches Dankeschön!

An der Untersuchung waren im Freiland und Labor darüber hinaus viele weitere an der FVA und ALU beschäftigte Personen[2] beteiligt, die aus Platzgründen hier nicht genannt werden, sich hiermit jedoch mit aufrichtigem Dank angesprochen fühlen sollen! Ein Dank geht auch an Elisa Schneider, Tobias Frühbrodt und Jan Wußler für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und Bereitstellung von Kartenmaterial und Daten.

Zitierempfehlung: Delb, H., Seitz, G., Burger, M., Burzlaff, T., Brieger, F., Sauter, U. H., Kautz, M. (2021): Infektionsgefahr durch Buchdrucker (Ips typographus) aus mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten - ein Beitrag zur Entscheidungsfindung in der Praxis. Forschungsbericht FVA-Waldschutz, 31 S.

[1] Thomas Emmerich, Thomas Fuchs, Christof Grüntjens, Mathias Holzapfel, Georg Jehle, Dominik Leitz, Sigmar Lelek, Patrick Linse, Georg Löffler, Dieter Pfau, Benedikt Schwär, Tobias Volg

[2] David Andermahr, Max Arnold, Ursel Biffart, Jonas Delb, Manfred Dick, Nicola Distler, Jakob Fei, David Hansen, Florian Harnecker, Raluca Hedes, Julia Kleih, Frederik Koeke, Julia List, Shirin Masino, Ronny Mayer, Ricardo Rivero, Fridolin Sauter, Denis Schüle, Lena Wiest, Dominik Wonsack

Inhaltsverzeichnis:

		Seite
1	**Mechanische Aufarbeitung im Borkenkäfer-Management**	1
2	**Wissensstand**	2
3	**Untersuchungsziele**	3
4	**Material und Methode**	
4.1	Gegenstand der Untersuchungen	4
4.2	Untersuchungszeitpunkte	5
4.3	Phänologie der Bchdrucker	5
4.4	Behandlungsvarianten	6
4.5	Quantifizierung der Rindenverletzungen	7
4.6	Quantifizierung der Buchdrucker	
4.6.1	Stammabschnitte	8
4.6.2	Abgelöste Rinde	9
5	**Ergebnisse**	
5.1	Rindenverletzungen	10
5.2	Bedeutung der abgelösten Rinde	
5.2.1	Buchdruckeranzahl aus abgelöster Rinde	11
5.2.2	Vitalität der Buchdrucker aus abgelöster Rinde	11
5.3	Wirkungsgrade	12
6	**Waldnutzungsfachliche Aspekte**	
6.1	Einleitung	13
6.2	Ergebnisse	14
6.3	Diskussion	14
6.4	Resümme	16
7	**Waldschutzfachliche Diskussion**	16
8	**Schlussfolgerungen**	22
9	**Literatur**	25
Anhang		29

1 Mechanische Aufarbeitung im Borkenkäfer-Management

Der überwiegend an der Fichte (*Picea abies*) vorkommende Buchdrucker (*Ips typographus*) ist der in Mitteleuropa hinsichtlich des Schadensausmaßes bedeutendste rindenbrütende Borkenkäfer (u.a. Schwenke 1974, Hoch et al. 2019). Im Rahmen des integrierten waldbezogenen Pflanzenschutzes zur Regulierung des Buchdruckers spielen die saubere Waldwirtschaft und auf die jeweiligen Entwicklungsstadien des Käfers abgestimmte Sanierungsmaßnahmen bei der guten fachlichen Praxis eine zentrale Rolle (Kautz et al. 2021).

Die **saubere Waldwirtschaft** sieht in einem präventiven Ansatz den rechtzeitigen Entzug potenziellen Brutmaterials aus Sturm, Schneebruch oder in Form von deutlich geschwächten Baumindividuen vor, um der Gefahr daraus entstehender Massenvermehrungen zu begegnen. Bei den **Sanierungsmaßnahmen** geht es in einem therapeutischen Ansatz darum, von rindenbrütenden Borkenkäfern bereits befallene Bäume als Infektionsherde noch vor Ausflug rechtzeitig zu entnehmen und unschädlich zu machen. Dies erfolgt prioritär durch mechanisch-technische Maßnahmen ohne den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Dazu gehören bspw. die Abfuhr der infektiösen Stämme in Sägewerke oder auf ausreichend weit entfernte Holzlager sowie die fachgerechte Entrindung oder das Hacken.

Ist die Problemlage ausgedehnter Sturm- oder Schneebruchschäden und Borkenkäfer-Kalamitäten wie in den letzten Jahren großräumig über Europa gegeben, werden die Kapazitäten für mechanisch-technische Maßnahmen zum rechtzeitigen Entzug potenziellen Brutmaterials oder Unschädlichmachen von mit Borkenkäfern befallenen Schadholzes knapp (Delb et al. 2020). Unter diesen Umständen kann eine auf das notwendige Maß beschränkte Vorausflugbehandlung mit Pflanzenschutzmitteln auf Holzpoltern, die an der Waldstraße oder auf Lagerplätzen liegen, notfalls gerechtfertigt sein (Kautz et al. 2021).

In den letzten Jahren hat der Anteil der mechanischen Aufarbeitung von Nadelhölzern mithilfe von Vollerntern (Harvestern) insbesondere aufgrund einer höheren Arbeitssicherheit und geringerer Erntekosten vor allem in befahrbaren Lagen erheblich zugenommen. Laut Klugman von der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) zitiert in Gabriel (2017) haben „Harvester und die seilunterstützte Holzernte das Unfallrisiko bei der Waldarbeit deutlich verringert. Weil das Arbeitsschutzrecht den Stand der Technik vorschreibt, müssen daher haltbare, sachliche Gründe vorliegen, wenn weniger sichere Arbeitsverfahren zum Einsatz kommen sollen.“ Nach Auskunft von Emmerich[3] (mündl. Mitt. 2021) wurde im Forstbezirk Südschwarzwald im Jahr 2020 ein Anteil von rund 90% des „Käferholzes“ mit einem Vollernter aufgearbeitet, wodurch der Stellenwert dieses Verfahrens deutlich wird. Bei dieser Methode wird die Rinde der Stämme durch die Vorschubwalzen, das Messrad und die Entastungsmesser der Fällköpfe unmittelbar mechanischen Kräften ausgesetzt. Dadurch wird die Rinde gequetscht, perforiert, angerissen oder -geschnitten sowie teilweise abgeschält.

[3] Thomas Emmerich, Forstbezirk Südschwarzwald, Anstalt öffentlichen Rechts Forst Baden-Württemberg ForstBW

Diese Verletzungen können abhängig vom Bastzustand je nach Jahreszeit und Frische der Rinde unterschiedlich ausfallen.

In diesem Zusammenhang stellte sich aus der Praxis die Frage, inwiefern waldlagernde vom Buchdrucker noch unbesiedelte Fichtenstämme unter anderem aufgrund der Verletzungen von Bast und Rinde, Pilzentwicklung, Nekrosen und nicht zuletzt der Austrocknung für diesen rindenbrütenden Borkenkäfer noch bruttauglich sind, und in welchem Ausmaß bereits in der Rinde befindliche Käferbrut durch die mechanische Aufarbeitung vernichtet wird.

Insbesondere während Borkenkäfer-Kalamitäten wären erhebliche Vorteile mit der Erkenntnis verbunden, wenn von lagernden, mechanisch aufgearbeiteten Fichtenstämmen eine verminderte Infektionsgefahr für umliegende Fichten ausgehen würde und sie damit im Rahmen des Borkenkäfer-Managements für das weitere Unschädlichmachen nicht mit Priorität beachtet werden müssten. Damit wären bspw. Kapazitätsengpässe vermeidbar und es könnte sich auch eine Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln gegebenenfalls erübrigen.

2 Wissensstand

Zu der Frage, inwiefern von mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten noch eine Infektionsgefahr durch Borkenkäfer ausgeht, lag zu Projektbeginn eine Untersuchung von Watzek und Niemeyer (1996) vor. Diese hatte zum Ergebnis, dass mechanisch mit Vollerntern aufgearbeitete Fichtenstämme mit einem präventiven Ansatz später für eine erfolgreiche Kupferstecher- (*Pityogenes chalcographus*) oder Buchdruckerbrut „ungeeignet“ sind, „weil sie vorher vom frühschwärmenden und ungefährlichen Fichtenbastkäfer“ (*Hylurgops palliatus*) als Brutraumkonkurrent besiedelt werden „und weil ihre Rinde schnell den für die gefährlichen Arten geeigneten physiologischen Zustand verliert.“ Deshalb müssten derart aufgearbeitete Fichtenstämme nicht mehr gegen rindenbrütende Borkenkäfer mit einem Pflanzenschutzmittel behandelt werden. In einschlägigen Praxisempfehlungen wird der Einsatz von Vollerntern zur Regulierung des Borkenkäfers als vorteilhaft angesprochen und soll motormanuellen Verfahren vorgezogen werden. So wird bei Niesar el al. (2019) angeführt, dass „… beim Durchlauf der Stämme durch die Vorschubwalzen bis zu 80% der Käferpopulation abgetötet werden können. Sollte die Rinde beim Entasten abfallen, empfiehlt sich ein nachträgliches Zusammentragen und Abfahren bzw. Abdecken der Rinde mit schwarzer Folie“. Dabei fehlt eine Angabe, worauf sich diese Empfehlung bezieht. Laut NW-FVA (2015) seien durch die Quetschung der Rinde mit dem Fällkopf vor allem schwache Dimensionen für ein Brutgeschäft entwertet. Die Ernährungsbedingungen würden schlecht, weshalb kaum mit Bruterfolg zu rechnen sei. Dies wird dort vor allem für Kronenmaterial im Saft empfohlen. Da in der Untersuchung von Watzek und Niemeyer (1996) bezüglich der Methode und der Ergebnisse im Detail nur wenige Angaben gemacht werden und deshalb Unsicherheiten bezüglich der daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen bestanden, wurde die Notwendigkeit der vorliegenden Untersuchung gesehen. Darüber hinaus ließen einschlägige Arbeiten in Zusammenhang mit vergleichbaren Rindenverletzungen, wie sie auch beim Vollerntereinsatz auftreten können,

weitere Zweifel aufkommen. So hat Tomiczek (2008) festgestellt, dass „selbst kleine Rindenreste von zwei bis drei Zentimeter Breite und zirka 50 Zentimeter Länge ausreichend“ sind, „um die vollständige Entwicklung des Buchdruckers zu ermöglichen“. Auch Untersuchungen zu händischem oder motormanuellem Streifen sowie zum Rillen der Rinde von Fichten zur Reduktion der Anzahl ausfliegender Borkenkäfer ergaben keine Hinweise darauf, dass eines der gewählten Verfahren den Bruterfolg von Buchdruckern ausreichend reduziert (Weigerstorfer 2007). Thorn und Müller (2016) berichten demgegenüber, dass sowohl das Rindenschlitzen als auch eine vollständige Entrindung eine Minderung der Buchdruckeranzahl auf etwa 10% im Vergleich zu unbehandelten Kontrollstämmen ergab. Bei dieser Methode wurde die Rinde mit einer konventionellen Motorsäge oder einem Streifgerät geschlitzt und darauf geachtet, dass das Phloem ausreichend tief durchtrennt wird (Thorn et al. 2016). Entrindete und geschlitzte Stämme wurden fast nicht mehr von Buchdruckern angeflogen.

3 Untersuchungsziele

Die Untersuchungen sollen den bestehenden Kenntnisstand erweitern, insbesondere in Bezug auf einen therapeutischen Ansatz, auf Kalamitätsbedingungen, auf naturräumlich und klimatisch veränderte Verhältnisse und auf die weiterentwickelte Technik der Vollernter. Demzufolge wurde in einem in Baden-Württemberg durchgeführten Praxisversuch folgenden waldschutzfachlichen Fragen nachgegangen:

(1) Sind mechanisch mit bereits vorhandenem braunen Stadium (Imagines) im Frühjahr oder Sommer aufgearbeitete Käferfichten aus Sanierungshieben noch infektiös? (Therapie)

(2) Sind mechanisch mit ausschließlich weißen Stadien (Larven, Puppen) im Frühjahr aufgearbeitete Käferfichten aus Sanierungshieben noch infektiös? (Therapie)

(3) Sind im Frühjahr (Saftzeit) mechanisch befallsfrei aufgearbeitete Fichten als Brutraum noch geeignet? (Prävention)

(4) Sind im Winter (Saftruhe) mechanisch befallsfrei aufgearbeitete Fichten als Brutraum noch geeignet? (Prävention)

Neben der konventionellen mechanischen Behandlungsvariante mit einem Vollernter bei einer Überfahrt des Fällkopfes, sollte überprüft werden, ob mit einer zweiten, möglichst um 90 Grad versetzten Überfahrt des Fällkopfes ein höherer Erfolg erzielt werden kann.

Darüber hinaus wurde während der laufenden Untersuchungen der Debarking Head auch im Zusammenhang mit der Borkenkäfer-Regulierung ins Spiel gebracht (z.B. Heubaum 2019) und deshalb als weitere Behandlungsvariante im Jahr 2019 in die Untersuchungen mitaufgenommen. Dabei werden die konventionellen Fällköpfe modifiziert mit der Zielrichtung einer Entrindung bei der mechanischen Aufarbeitung der Stämme (HSWT und KWF 2018). Die wesentliche Veränderung ist der Austausch der Vorschubwalzen von den konventionellen Stachelwalzen zu sogenannten Entrindungswalzen. Dies „sorgt für eine Drehung des Stammes entlang

der Längsachse“ im Fällkopf, „damit die Entastungsmesser mit der Rinde über die gesamte Oberfläche Kontakt haben. Zusätzlich sorgen messerartige Lamellen (Stege) auf den Vorschubwalzen für ein Einschneiden der oberen Rindenschicht, wodurch das Aufnehmen und Abschieben der Rinde durch die Entastungsmesser optimiert wird.“ Es können sich neben dem Austausch der äußeren Vorschubwalzen auch Veränderungen in den inneren Vorschubwalzen, bei den oberen Entastungsmessern und Bodenmessern sowie beim Messrad ergeben (vgl. HSWT und KWF 2018). Nach Heubaum (2019) sind beim Einsatz des Debarking Heads drei Überfahrten des Fällkopfes erforderlich.

4 Material und Methode

4.1 Gegenstand der Untersuchungen

Die Versuche wurden in über 70-jährigen, homogenen Fichtenbeständen in den heutigen Forstbezirken der Anstalt öffentlichen Rechts Forst Baden-Württemberg (ForstBW) Oberland, Südschwarzwald und Westlicher Schwarzwald angelegt. Die Bestände wiesen einen hohen Anteil an potenziell besiedlungstauglichen Fichten und örtliche Buchdrucker-Populationen auf (Tab. 1). Die Auswahl der Probebäume erfolgte unter Berücksichtigung folgender Kriterien: A) Kraft’sche Klasse 1 oder 2, B) gerader Schaft und homogene Kronenlänge bzw. -ausformung, C) Brusthöhendurchmesser (BHD) zwischen 30 und 65 cm sowie D) Ausschluss von Schäden und Wuchsanomalien.

Tab. 1: Orts- und Bestandesdaten der Untersuchungsflächen

Experiment	Forstbezirk	Ort	Wuchs-bezirk	Re-vier	Wald-ort	Geografische Lage	Gelände-höhe [m ü NN]	Bestand	Anteil Fichte %
Winter I	Oberland	Bad Buchau	Ober-land	4	Distr. 44, Abt. 6	N 48.037047° O 9.669135°	580	mV	80
Frühjahr	Süd-schwarz-wald	Schönen-bach	Süd-schwarz-wald	6	Distr. 10, Abt. 17	N 47.767898° O 8.201120°	1.010	f12/ 1	95
Sommer **Winter II**	Westlicher Schwarz-wald	Dobel	Nord-schwarz-wald	7	Distr. 17, Abt. 53	N 48.793803° O 8.516564°	640	f8	80

Die in den Waldbeständen ausgewählten Fichten wurden jeweils zufällig auf die geplanten Varianten (siehe Kap. 4.3 und 4.4) verteilt, die sich in der zu untersuchenden Phänologie der Buchdrucker und in der Behandlung bei der Aufarbeitung unterschieden. Je nach Stärke wurden je Fichte vier bis fünf Stammabschnitte gewonnen.

4 .2 Unterschungszeitpunkte

Im Rahmen der Experimente wurden im Freiland zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahresverlauf Fichten auf den verschiedenen Untersuchungsflächen eingeschlagen (Tab. 2). Die Untersuchungen im Wintereinschlag außer Saft (Saftruhe) zielten auf eine präventive Wirkung ab, die im Frühjahr und Sommer während die Bäume im Saft standen (Saftzeit) zudem auch auf einen therapeutischen Effekt. Es wurden in der Saftruhe (Winter I und II) und in der Saftzeit (Frühjahr und Sommer) zwei Experimente, das heißt je Bastzustand jeweils eine Wiederholung durchgeführt.

Tab. 2: Übersicht der durchgeführten Experimente (siehe Text Kap. 4.2 bis 4.4); Buchdrucker-Phänologie: a) = präventiv vor der Besiedelung, b) = therapeutisch in weißen Stadien, c) = therapeutisch im braunen Stadium; Käfergeneration: ohne = nicht befallen, F1 = Befall mit der ersten Käfergeneration, F1 Gb = Befall mit der Geschwisterbrut aus der ersten Käfergeneration

Experiment *Behandlungsziel* *Bastzustand*	**Behandlungs-varianten**	**Anzahl (n) Bäume**	**Holzeinschlag Datum**	**Aufarbeitungsdatum** (Käfergeneration)	**Aufbau Eklektoren Datum**
Winter I *präventiv* *außer Saft*	Tm Tm_mod	20	21./22.03.2018	a) 22.03.2018 (ohne)	a) 28.-30.05.2018
Frühjahr *präventiv und* *therapeutisch* *im Saft*	Tm Tm_mod	30	20.-22.05.2019	a) 22.05.2019 (ohne) b) 12.06.2019 (F1) c) 19.06.2019 (F1)	a) 25.06.2019 b) 27.06.2019 c) 15.07.2019
Sommer *therapeutisch* *im Saft*	Tm Tm_mod Dbh	50	10.-14.06.2019	b) 10./11.07.19 (F1 Gb) c) 24.07.2019 (F1 Gb)	b) 19.07.2019 c) 30.07.2019
Winter II *präventiv* *außer Saft*	Tm Tm_mod	15	10.02.2020	a) 26.02.2020 (ohne)	a) 02.06.2020

4.3 Phänologie der Buchdrucker

In Bezug auf die Buchdrucker-Phänologie wurden sowohl im Winter als auch im Frühjahr

a) noch nicht befallene und vor dem Schwärmflug der Parental-Generation aufgearbeitete Fichten betrachtet (noch ohne Befall).

Im Frühjahr wurde dies mit folgenden Entwicklungsphasen ergänzt:

b) Fichten, die bereits mit letzten Larvenstadien und Puppen im weißen Stadium jedoch ohne erkennbare Imagines besiedelt waren (weiße Stadien) und
c) Fichten, die bereits erste Jungkäfer im braunen Stadium aufwiesen (braunes Stadium), wobei das Verhältnis der weißen Stadien zum braunen Stadium nicht quantifiziert wurde.

Im Sommer wurden ausschließlich im weißen b) oder braunen Stadium c) befallene Bäume betrachtet. Die Phänologie wurde anhand von gepolterten Monitoringstämmen überwacht. Um das richtige Entwicklungsstadium abzupassen, wurden ein- bis zweimal pro Woche Rindenfenster geöffnet.

4.4 Behandlungsvarianten

Neben der unbehandelten Kontrolle mit motormanueller Aufarbeitung (Mm) im Bestand und Vorlieferung mit Rückezug wurden folgende mechanische Vollernter-Behandlungsvarianten gegenübergestellt:

(1) konventioneller Fällkopf (Tm) (Tm = teilmechanisiert),

(2) Tm modifiziert mit zweiter, möglichst um 90° versetzter Überfahrt (Tm_mod),

(3) Debarking Head (Dbh).

Bei der modifizierten mechanischen Aufarbeitung mit konventionellem Fällkopf (Tm_mod) wurden die Bäume dünnörtig gegriffen und durch den Fällkopf gezogen. Nach dem Ablegen wurde der Stamm um etwa 90° um seine Längsachse gedreht, dickörtig nochmals aufgenommen und erneut durch Fällkopf gezogen sowie in Stammabschnitte abgelängt.

Je Experiment wurde mit demselben Vollernter, Fällkopf und Fahrer gearbeitet, um individuelle Unterschiede auszuschließen (Tab. 3). Technische Veränderungen wie der Anpressdruck, die Vorschubgeschwindigkeiten und der Anstellwinkel der Entastungsmesser wurden innerhalb der Untersuchungen möglichst vermieden.

Tab. 3: Technische Daten zu den Vollerntern und Fällköpfen

Experiment	Vollernter	Fällkopf	Anzahl der Vorschubwalzen	Debarking Head Dbh-Nachrüstsatz
Winter I	Caterpillar 580B 6WD	LogMax 700	2WD	-
Frühjahr	John Deere 1270G 8WD	John Deere H415	4WD	-
Sommer	Ponsse Ergo 8WD	Ponsse H7	3WD	3 Walzen, 4 Messer
Winter II	Ponsse Ergo 8WD	Ponsse H7	3WD	-

Die Fichten der Experimente Winter I und Winter II wurden motormanuell vorgefällt, als Vollbaum vorgeliefert und erst dann mechanisch aufgearbeitet und in jeweils mehrere 5 m Stammabschnitte abgelängt (siehe Anhang 1). Diese sind in ausreichendem Maße an jedem Erdstammstück mit dem synthetischen Aggregationspheromon Pheroprax® bestückt worden. Hierdurch wurde die Besiedlung mit Buchdruckern gezielt gelenkt.

Die Fichten der Experimente Frühjahr und Sommer wurden ebenfalls motormanuell vorgefällt, als Vollbaum an die Waldstraße vorgeliefert und je Rohpolter mit dem Aggregationspheromon Pheroprax® beködert. Damit wurde die Käferbesiedlung der Vollbäume beschleunigt, die erst danach mechanisch mit dem Vollernter aufgearbeitet wurden. Die mechanische Aufarbeitung erfolgte in den weißen Stadien oder im braunen Stadium.

Die Abschnitte aller Experimente waren mit etwa einem halben Meter Abstand zueinander auf Unterlagen gepoltert (siehe Foto 3 und 4, Kap. 4.6.1). Bei der Auswahl der Plätze wurde besonders in Bezug auf Sonneneinstrahlung und Windeinfluss auf homogene Bedingungen möglichst im Halbschatten geachtet.

Tab. 4: Gegenüberstellung der untersuchten Behandlungsziele und Buchdrucker-Phänologien (vgl. Kap. 4.3) zu den Behandlungsvarianten

	Mm (Kontrolle)	Tm	Tm_mod	Dbh
Präventiv - noch vor Befall	X	X	X	
Therapeutisch - weiße Stadien	X	X	X	X
Therapeutisch - braune Stadien	X	X	X	X

4.5 Quantifizierung der Rindenverletzungen

Das Ausmaß der Rindenverletzungen (Foto 1) wurde in der Kontrolle (Mm) sowie in den Behandlungsvarianten Tm und Tm_mod mithilfe von Fotos ermittelt (Keller 2018, Stricker 2020). Dazu wurde im Gelände ein Netz enganliegend auf die Stämme gelegt und abfotografiert. Der Rindenzustand wurde stichprobenartig an den Knotenpunkten anhand äußerlich erkennbarer Merkmale okular in drei Stufen eingeschätzt (Foto 2) und daraus die Anteile der jeweiligen Stufe je Stammabschnitt ermittelt:

A) unverletzte Rinde

B) beschädigte Rinde

C) freiliegender Holzkörper

Bei der Behandlungsvariante Dbh wurde aufgrund der weitreichenden Entrindung von schätzungsweise mehr als 90% auf die detaillierte Quantifizierung des Rindenzustandes verzichtet.

Foto 1: links: Rindenverletzungen durch die inneren Vorschubwalzen und das Messrad (Foto: A. Stricker)

Foto 2: rechts: Stichprobenartige Quantifizierung des Rindenzustandes an den Knotenpunkten eines nach Aufarbeitung über den Stamm gelegten Netzes (10 x 10 cm): unverletzte Rinde (grüne Punkte), beschädigte Rinde (orangene Punkte) und freiliegender Holzkörper (rote Punkte) (Foto: A. Stricker)

4.6 Quantifizierung der Buchdrucker

Aus den im Freiland mit den nachfolgend beschriebenen Methoden gewonnenen Proben wurde die Anzahl der geschlüpften bzw. ausgeflogenen Buchdrucker ermittelt. Das gesammelte Probenmaterial wurde zunächst gereinigt und von groben Rindenpartien befreit und der verbliebene Rest in mehreren Schritten gesiebt, sodass die vollständigen Individuen sowie Körperfragmente manuell ausgelesen werden konnten. Geringe Mengen wurden gezählt (bis 100 Individuen), größere Mengen mittels Volumenumrechnung erfasst (1 ml entspricht 40 Individuen). Die ermittelte Anzahl der Individuen wird auf die Mantelfläche der jeweiligen Abschnitte bezogen.

4.6.1 Stammabschnitte

Um die mit Buchdruckern besiedelten Abschnitte wurden eigens konstruierte Stammeklektoren aus Gazenetzen (0,8 x 0,8 mm Maschenweite) gebaut (Foto 3 und 4). Diese wurde mit Holzlatten und Ballenpressschnur auf etwa 15 cm Abstand zum Stamm gehalten, um Raum für ausschwärmende Buchdrucker zu schaffen. Die stirnseitigen Enden wurden verschlossen und die seitlichen Enden auf Stoß mehrfach gegeneinander eingeschlagen und mit handelsüblichen Wäscheklammern aus Holz fixiert. Durch die Konstruktion entsteht ein First, wo sich die Buchdrucker an dem höchsten Punkt sammeln. Auf der Innenseite des Firstes wurde auf ganzer Länge ein etwa 8 cm breiter Insektizidträger (Storanet®) eingebracht. Die schlüpfenden Imagines wurden so nach Kontakt rasch abgetötet, um die Ausbohrung aus dem Eklektor und das erneute Einbohren in den Stamm zu verhindern. Der Inhalt aus den Eklektoren wurde nach Abschluss der Brutentwicklung zeitnah eingesammelt.

Foto 3: Lagerung der Stammabschnitte auf Unterlagen mit Stammeklektoren (siehe Text) (Foto: G. Seitz)

Foto 4: Stammeklektoren entlang eines Waldweges gereiht (Foto: G. Seitz)

4.6.2 Abgelöste Rinde

Bei den Behandlungsvarianten Dbh und Tm_mod wurden aufgrund der vergleichsweise hohen Rindenverluste im Sommer 2019 zusätzlich zu den Stammeklektoren die abgescherten und abfallenden bzw. abgelösten Rindenpartien auf Unterlagen gesammelt. Hierzu erfolgte die mechanische Aufarbeitung für jeden Abschnitt über einer auf der Erde liegenden Plane auf der ein Netz drapiert war, welches danach zu einem Beutel gebunden wurde. Diese wurden bis zum Zeitpunkt des Abbaus der Stammeklektoren neben den zugehörigen Stammabschnitten am Boden gelagert. Der Flächenbezug erfolgte über den ermittelten Anteil des freiliegenden Holzkörpers an der gesamten Mantelfläche des Abschnittes; es wurde davon ausgegangen, dass die ermittelten Buchdrucker aus einer Menge an Rinde geschlüpft sind, die proportional zum Anteil des freiliegenden Holzkörpers ist.

Darüber hinaus erfolgte zur Orientierung in einem Fall auch die Untersuchung der Vitalität der Käfer in der abgelösten Rinde. Dazu wurde im Sommer 2019 ein 15 m langer Stamm mit einem Mittendurchmesser von 38 cm mittels Dbh aufgearbeitet, die abfallende Rinde gesammelt und in Photoeklektoren verbracht. Die aus der Rinde kommenden Imagines wurden in einer oben aufsitzenden Kopfdose sowie im Eklektorbehältnis aufgesammelt und in die Kategorien A) vollentwickelt und mobil (Kopfdose), B) vollentwickelt und eingeschränkt mobil sowie C) unterentwickelt und immobil (beide im Eklektorbehältnis) unterteilt.

5 Ergebnisse

5.1 Rindenverletzungen

Innerhalb der Experimente liegt bei den mechanischen Behandlungsvarianten Tm und Tm_mod der Anteil der unverletzten Rinde jeweils deutlich unter dem Wert der motormanuellen Kontrollgruppen (Mm) (Abb. 1). Zwischen den mechanischen Behandlungsvarianten bestehen mit Ausnahme des Experiments Winter I ebenfalls jeweils auffällige Unterschiede (Anhang 2).

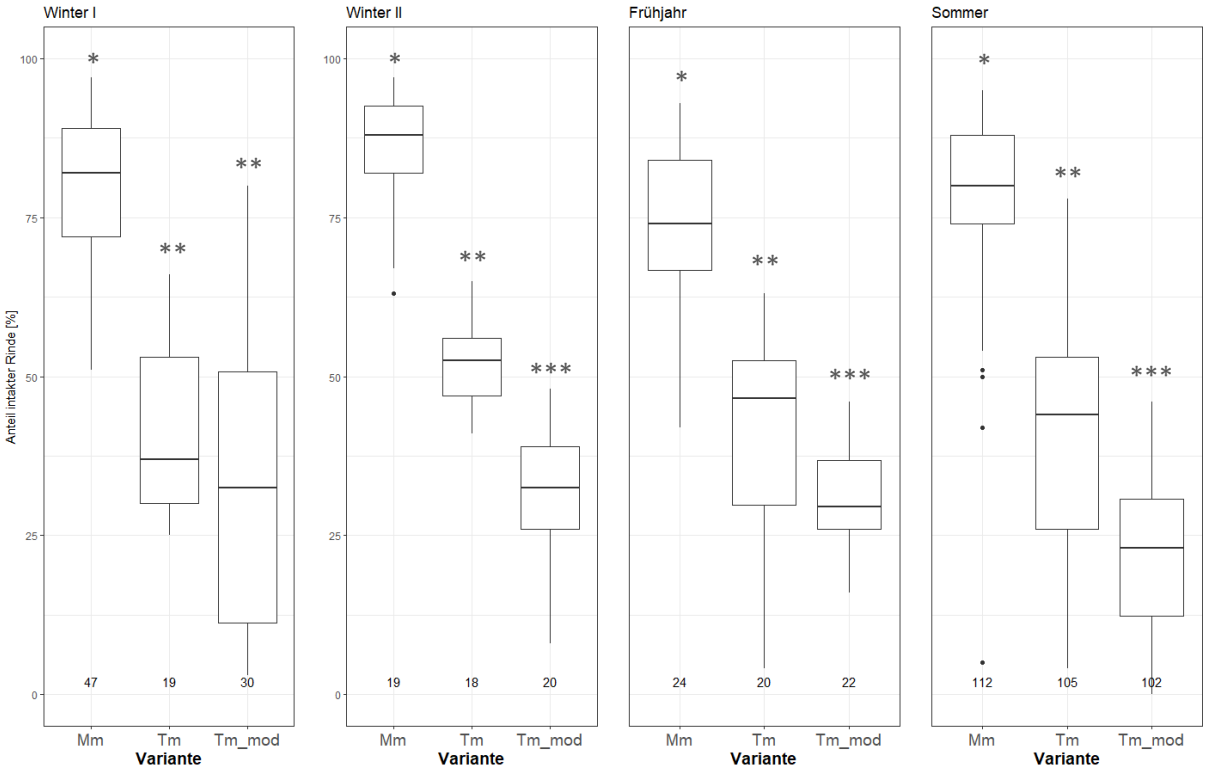


Abb. 1: Anteile unverletzter intakter Rinde [%] (Rindenzustand) in den verschiedenen Experimenten getrennt nach den Behandlungsvarianten Tm und Tm_mod im Vergleich zur motormanuellen Kontrollgruppe (Mm); Signifikanz innerhalb der Experimente für alle $p < 0{,}05$

Ebenso weichen in Bezug auf den Anteil unverletzter Rinde die aggregierten Ergebnisse aller in Saftruhe durchgeführten Experimente (Winter I und II) signifikant von den in der Saftzeit

durchgeführten (Frühjahr und Sommer) ab, allerdings weniger deutlich (Saftruhe: 57,25 ± 26,39; Saftzeit: 47.83 ± 27,71; Kruskal-Wallace Test: p = 0,01). In der Saftruhe war daher der Anteil unverletzter Rinde erwartungsgemäß größer.

5.2 Bedeutung der abgelösten Rinde

5.2.1 Buchdruckeranzahl aus abgelöster Rinde

Insgesamt wird deutlich, dass vor allem in der Behandlungsvariante Dbh sehr viele Käfer in der abgelösten Rinde überleben (Abb. 2). Dort wurden im Sommer bei braunen Stadien und weitgehend abgeschälter Rinde aus den Stammeklektoren im Durchschnitt 7,5 Käfer je Quadrameter Mantelfläche gezählt. Demgegenüber lag die Zahl der aus der abgefallenen Rinde gewonnenen Individuen bei 100,7. Folglich würden 93% der insgesamt in den Stammabschnitten zum Zeitpunkt der Aufarbeitung vorhandenen Imagines mit der Rinde im Wald verbleiben. In der Variante Tm_mod lag dieser Wert zum Vergleich bei 80%. Hier wurden im Durchschnitt 10,2 Käfer je Quadratmeter Mantelfläche aus den Stammeklektoren ermittelt, demgegenüber 39,6 aus der Rinde.

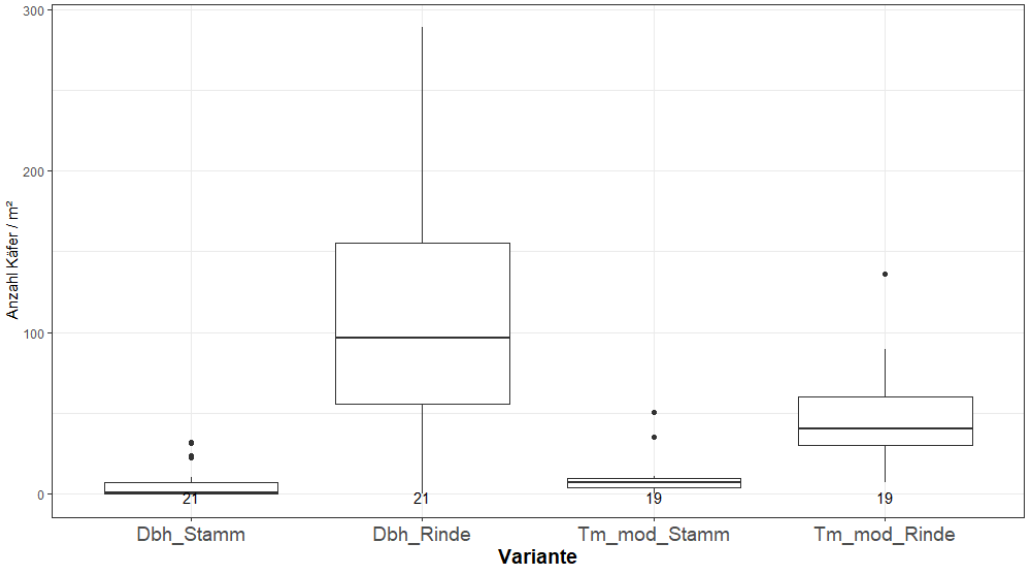


Abb. 2: Anzahl der aus den Stammeklektoren (_Stamm) und aus der abgelösten (abgescherten) Rinde (_Rinde) ermittelten Buchdrucker (Käfer) je Quadratmeter Mantelfläche im Vergleich der Behandlungsvarianten Dbh und Tm_mod

5.2.2 Vitalität der Buchdrucker aus abgelöster Rinde

Im Sommer 2019 wurde in einem Fall die Vitalität der aus der Rinde kommenden Imagines erfasst (vgl. Kap. 4.6.2). Dabei wurden insgesamt 2.520 Käfer ausgezählt, wovon 63% vollentwickelt und mobil waren, 19% vollentwickelt und eingeschränkt mobil und 17% unterentwickelt und immobil.

5.3 Wirkungsgrade

Die Wirkungsgrade (WG) der Behandlungsvarianten im Verhältnis zur motormanuellen Kontrolle werden anhand der aus den Stammelektoren ausgeschlüpften Buchdrucker bezogen auf den Quadratmeter Mantelfläche der Stammabschnitte nach Abbott (1925) ermittelt (Tab. 5): $w = 100 * u - b/u$ (w = Wirkungsgrad, u = Anzahl Tiere Kontrolle, b = Anzahl Tiere Behandlung).

Tab. 5: Wirkungsgrade (WG) innerhalb der Behandlungsvarianten bei den unterschiedlichen Experimenten; kalkulatorische WG stehen in grauer Schrift; Bastzustand: außer Saft und im Saft; Behandlungsziel: präventiv oder therapeutisch, Phänologie bzw. vorhandene Entwicklungsstadien: noch ohne Befall, weiße Stadien, braunes Stadium; Vollernter-Behandlungsvariante: Tm = konventionell, Tm_mod = konventionell mit zweifacher Überfahrt, Dbh = Debarking Head

Experiment *Bastzustand*	**Unter-suchungsjahr** *Forstbezirk*	**Behand-lungs-ziel**	**Phänologie** *Entwicklungs-stadien*	**Behand-lungs-variante**	**Buchdrucker/m² Mantelfläche** UB = unbehandelt, B = behandelt n = Stichprobenumfang Stammabschnitte					**WG in %**	**WG in % inklusive Käfer aus abge-löster Rinde**
					UB (Mm)	**n**	**B Stamm**	**n**	**B inklusive abgefallene Rinde**		
Winter I *außer Saft*	2018 *Oberland*	Prävention	noch ohne Befall	Tm	185	46	88	19	/	**52%**	
				Tm_mod	185	46	80	30	/	**57%**	
Winter II *außer Saft*	2020 *Westlicher Schwarzwald*	Prävention	noch ohne Befall	Tm	246	19	152	18	/	**38%**	
				Tm_mod	246	19	73	20	/	**70%**	
Frühjahr *im Saft*	2019 *Südschwarzwald*	Prävention	noch ohne Befall	Tm	314	24	94	20	/	**70%**	
				Tm_mod	314	24	98	22	/	**69%**	
		Therapie	Weiße Stadien *Larve, Puppe*	Tm	321	23	194	22	/	**39%**	
				Tm_mod	321	23	66	22	/	**80%**	
			Braunes Stadium *Imagines*	Tm	458	23	131	21	/	71%	**66%**
				Tm_mod	458	23	75	22	/	84%	**75%**
Sommer *im Saft*	2019 *Westlicher Schwarz-wald*	Therapie	Weiße Stadien *Larve, Puppe*	Tm	173	19	34	22	/	**81%**	
				Tm_mod	173	19	7	16	/	**96%**	
				DbH	173	19	6	19	14	96%	**92%**
			Braunes Stadium *Imagines*	Tm	399	22	78	20	/	80%	**76%**
				Tm_mod	399	22	10	21	50	97%	**88%**
				DbH	399	22	8	21	108	98%	**73%**

Bei drei Konstellationen wurden in den mit hohen **Rindenverlusten** behafteten Behandlungsvarianten Tm_mod (braunes Stadium) und Dbh (weißes und braunes Stadium) auch die Individuen aus der abgelösten Rinde mitberücksichtigt (vgl. Kap. 5.2.1). Zur Vergleichbarkeit erfolgt in den therapeutischen Varianten im braunen Stadium dort, wo keine eigenen Untersuchungsergebnisse der aus der Rinde gekommenen Buchdrucker vorliegen, die Einschätzung eines **kalkulatorischen WG**. Dabei werden die Befunde aus Kap. 5.1 und 5.2 zu Hilfe genommen. Bei der Variante Tm_mod wird die im braunen Stadium aufgrund der Individuen in der Rinde festgestellte Verringerung des WG um den Faktor 0,9 herangezogen. Dieser Wert wird

bei der Variante Tm aufgrund der dort geringeren Rindenverluste noch einmal angepasst. Diese Korrektur erfolgt anhand der zwischen Tm und Tm_mod in den einzelnen Experimenten festgestellten Relation der Mittelwerte des Anteils intakter Rinde zueinander (vgl. 5.1 und Anhang 2). In Bezug auf die Varianten mit weißen Stadien fällt die Rindenkorrektur im Analogieschluß zu dem Unterschied zwischen braunem Stadium und weißen Stadien bei der Behandlungsvariante Dbh demgegenüber weniger ins Gewicht, weshalb hier darauf verzichtet werden soll. Bei der im folgenden herangezogenen Betrachtung ergeben sich im WG somit in vier Fällen im braunen Stadium Reduktionen, die bei Tm_mod bei 9 und 10 Prozentpunkten und bei Tm bei 4 und 5 Prozentpunkten liegen. Bei der Interpretation der in Tabelle 5 dargestellten WG wird im braunen Stadium die letzte Spalte „WG in % inklusive Käfer aus abgelöster Rinde“ berücksichtigt, in allen anderen Fällen die vorletzte Spalte „WG in %“.

Die Behandlungsvarianten „Winter II Prävention Tm“ und „Frühjahr Therapie weiße Stadien Tm“ zeigen auffallend geringe WG von 38 bzw. 39%. In den Winterexperimenten liegen beim präventiven Ansatz der Aufarbeitung noch vor Befall die ermittelten WG im Winter I bei etwa 55%. Nur bei Tm_mod wird im Winter II ein höherer WG von rund 70% erreicht. Dieser liegt auf dem Niveau des Frühjahresexperiments bei beiden Behandlungsvarianten Tm (70%) und Tm_mod (69%) mit ebenfalls präventivem Ansatz.

Bei den therapeutischen Ansätzen wurden im Frühjahr und im Sommer sowohl bei den weißen als auch bei den braunen Stadien in den Behandlungsvarianten Tm und Tm_mod mit Ausnahme von Tm im weißen (39%) und Tm im braunen Stadium (66%) WG von etwa 80 ± 5% festgestellt. Bei Tm_mod im Sommer werden im braunen Stadium nahezu 90% und in den weißen Stadien sogar 96% erreicht. Die WG beim Dbh im Sommer liegen bei weitestgehend vorliegenden weißen Stadien bei 92%, beim Vorliegen von braunen Stadien bei 73%.

6 **Waldnutzungsfachliche Aspekte** (von Frauke Brieger und Udo Hans Sauter)

6.1 Einleitung

Parallel zu den waldschutzfachlichen Untersuchungen im Sommer 2019 wurden im Bereich Dobel, Westlicher Schwarzwald die beschriebenen Varianten der mechanischen Aufarbeitung und Entrindung mit dem Ponsse Ergo des Forstlichen Maschinenbetriebs Schrofel unter Praxisbedingungen mit einer Zeitstudie begleitet. Hierbei konnten Erkenntnisse zu Arbeitsabläufen und Produktivität bei der mechanischen Aufarbeitung von motormanuell gefällten Vollbäumen gewonnen werden. Aufgrund der inhomogenen, die Produktivität stark beeinflussenden Rahmenbedingungen bei der Käferholzaufarbeitung erlauben die vorliegenden Werte keine Verallgemeinerung und können nur eine grobe Orientierung geben. Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse als Auszug aus Brieger et al. (2021) wiedergegeben und vor dem Hintergrund der waldschutzfachlichen Erkenntnisse und weiterer Untersuchungen eingeordnet.

6.2 Ergebnisse

Die Aufarbeitungsleistung im Rahmen des Versuchs liegt für Tm_mod bei 65% der Leistung von Tm. Dies entspricht einem Zuschlag von 54% auf die Gesamtarbeitszeit für das Prozessieren von Vollbäumen. Bei der Aufarbeitung mit Dbh ist der Leistungsunterschied mit durchschnittlich 50% der normalen Aufarbeitungsleistung noch auffälliger. Dies entspricht einem Zuschlag von 100% auf die Gesamtarbeitszeit für Tm. Allerdings wichen die Rahmenbedingungen bei der Untersuchung der Aufarbeitungsvarianten insbesondere hinsichtlich Arbeitsvorbereitung und durchschnittlicher Stückmasse voneinander ab. Aber auch unter vergleichbaren Einsatzbedingungen wäre bei den Aufarbeitungsvarianten Dbh und Tm_mod mit Leistungseinbußen gegenüber Tm zu rechnen. Diese Verfahren sind durch den zusätzlichen Arbeitsschritt der Entrindung bzw. Rindenperforation aufwendiger, da der Stamm mehrfach durch das Vollernteraggregat (Aggregat = Fällkopf) geschoben werden muss. Des Weiteren ist das technische Produktivitätspotenzial aufgrund des durch die Lamellenwalzen im Vergleich zu den Stachelwalzen geringeren Vorschubs des Aggregats reduziert. Die Untersuchungen der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (HSWT und KWF 2018) haben für den Gesamtprozess Fällen und Aufarbeiten moderatere Abweichungen zwischen der Aufarbeitung mit und ohne Dbh ergeben. Der Zusatzaufwand gegenüber der regulären vollmechanischen Aufarbeitung mit dem Vollernter und einem dreimaligen Durchziehen des Baumes durch das Dbh-Aggregat beläuft sich nach Hölling (2020) auf ungefähr 30%. Des Weiteren ist grundsätzlich zu beachten, dass es sich hierbei um die Aufarbeitung von Vollbäumen in langer Form handelt. Die standardmäßige vollmechanisierte Aufarbeitung mit Vollerntern auf der Rückegasse geschieht durch Aufarbeitung von 4-6 m langen Standardlängen mit nachfolgender Rückung durch Tragschlepper. Diese Form der Nadelholzaufarbeitung ist begleitet mit hoher Produktivität und gleichermaßen höchster Bestandesschonung. Selbstverständlich treten diese Faktoren bei der potenziellen Bekämpfung der Borkenkäferausbreitung in den Hintergrund, sollten aber bei der Kostenbetrachtung der betroffenen Forstbetriebe berücksichtigt werden.

6.3 Diskussion

Die Ergebnisse der Praxisversuche legen nahe, dass im Sinne einer hohen Aufarbeitungsleistung die Stammaufnahme vorzugsweise am starken Ende erfolgen sollte. Die Abläufe sollten möglichst nah am üblichen Arbeitsverfahren bleiben, d.h. ein Drehen des Aggregates während der Aufarbeitung oder Umpositionieren des Vollernters sollten vermieden werden. Bei den Aufarbeitungsvarianten Dbh und Tm_mod sollten im Idealfall nicht mehr als die drei für die Entrindung beziehungsweise Rindenperforation erforderlichen Durchzüge durch das Aggregat durchgeführt werden.

Innerhalb aller Verfahrensvarianten wurde mit zunehmender Stückmasse eine höhere Aufarbeitungsleistung erzielt. Darüber hinaus wirkten sich weitere, nicht quantifizierte Einflussfaktoren auf die Leistung aus, u.a. der Aspekt, dass in manchen Fällen die Dimensionen der auf-

zuarbeitenden Vollbäume im oberen Grenzbereich für das eingesetzte Vollernteraggregat lagen. Wie auch HSWT und KWF (2018) feststellen, sollten Vollernter und Aggregat ausreichend stark bemessen sein, um entsprechende Baumdimensionen pfleglich und effizient manipulieren und aufarbeiten zu können.

Da bei den vorliegenden Praxisversuchen nur vereinzelt die Aufarbeitung des Langholzes im Bestand stattfand, wurden entstandene Schäden an Altholz und Verjüngung nicht quantifiziert. Es ist von einer Tendenz der Schadenszunahme bei mehrfacher Prozessierung derselben Stämme zum Zwecke der Entrindung im Bestand auszugehen. Diese Feststellung bezüglich des Schadrisikos für den verbleibenden Bestand bei der Aufarbeitung von Langholz wurde in einer umfassenden Studie der FVA grundsätzlich bestätigt (Sauter und Nakou 2014).

Ein hoher Entrindungsgrad kann bei Bedarf erzielt werden, indem der Stamm mehrfach durch das Aggregat gelassen wird. Inwiefern sich die unterschiedlichen Verfahren auf die Holzqualität auswirken und somit den Verkaufswert und die Absetzbarkeit des Holzes beeinflussen, konnte nicht quantifiziert werden. Grundsätzlich ist aber zu beachten, dass die beabsichtigte oder unbeabsichtigte Freilegung des Holzkörpers im Zuge der Aufarbeitung grundsätzlich die Verblauung des Splintholzes beschleunigt, was von der verarbeitenden Sägeindustrie unabhängig von der Ursache negativ bewertet und je nach Marktlage mit Abschlägen auf den Holzpreis bedacht wird. Aus empirischen Beobachtungen und Ableitungen aus anderen Untersuchungen ist jedoch mit zunehmenden Beschädigungen des Splintholzes bei zunehmender Anzahl der Durchzüge durch das Vollernteraggregat zu rechnen. Untersuchungen legen nahe, dass das Ausmaß von Schäden am Splintholz auch von der Beschaffenheit des Vollernterkopfes abhängt (Labelle et al. 2019).

Im Vergleich der Varianten Dbh und Tm_mod kann festgestellt werden, dass eine ähnliche Vorgehensweise bei beiden Varianten mit i.d.R. drei Überfahrten durch das Vollernteraggregat am praktikabelsten ist. Ein nur zweifacher Durchzug bei Tm_mod mit versetzten Walzenspuren konnte im Rahmen der Praxisversuche nicht zuverlässig erzielt werden. Der Vorteil von Tm_mod gegenüber Dbh besteht darin, dass ohne eine kosten- und zeitintensive Umrüstung des Vollernteraggregats gearbeitet werden kann. Im Rahmen der Versuche konnte zudem eine etwas höhere Aufarbeitungsleistung erzielt werden. Als Nachteil gegenüber dem Dbh kann angeführt werden, dass eine versetzte Perforation der Rinde, durch die nicht vorhandene Rotation des Stammes aufgrund der Stachelwalzen, nicht garantiert werden kann.

Die Aufarbeitung von Vollbäumen mit mehrfachem Durchzug durch das Dbh-Aggregat verlangt den Maschinenführenden eine höhere Konzentration und Geschicklichkeit ab, da die Aufarbeitung weniger über die Automatik-Software des Vollernters gesteuert werden kann. Manuelles Nachsteuern war insbesondere erforderlich, um zu verhindern, dass die „aggressiveren“ Entastungsmesser der Dbh-Konfiguration das Splintholz aufreißen. Zudem kam es hin und wieder vor, dass Rindenstücke das Messrad blockierten, so dass der Stamm ausgelassen und neu aufgenommen werden musste, um eine korrekte Längenermittlung zu ermöglichen. Das Drehen und erneute Aufnehmen eines bereits einmal prozessierten Stammes mit dem

Vollernterkopf bedarf ebenfalls einer besonderen geschickten Führung des Vollernterkopfes. „Die Experten empfehlen daher, vor allem erfahrene Harvesterfahrer für die Arbeit mit dem Entrindungsaggregat einzusetzen“ (Bennemann et al. 2020a). Als besondere Herausforderung wird ein umsichtiges und pflegliches Manipulieren des Langholzes unter beengten Bestandesverhältnissen angesehen.

6.4 Resümee

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass gegenüber der einfachen Prozessierung Tm beide Aufarbeitungsvarianten Tm_mod und Dbh Nachteile aufweisen. Bei der Entscheidung für eines dieser Verfahren sollte dementsprechend ihre waldschutzfachliche Wirksamkeit, also der erfolgreiche Entzug von potenziellem oder bereits befallenem Brutraum, ausschlaggebend sein.

7 Waldschutzfachliche Diskussion

Die Untersuchungen zeigen auf, dass die **Wirkungsgrade** in Bezug auf die Reduktion aus den Stammabschnitten ausfliegender Imagines des Buchdruckers bei allen mechanischen Vollernter-Behandlungsvarianten gegenüber der motormanuellen Kontrollgruppe mit zwei Ausnahmen bei mindestens 52% lagen (Tab. 5). Die auffallend geringen Werte in den beiden Behandlungsvarianten „Winter II Prävention Tm“ und „Frühjahr Therapie weiße Stadien Tm“ (WG 38 und 39%) sind im Vergleich zu anderen Behandlungsvarianten innerhalb der Experimente nicht plausibel. Eine mögliche Erklärung sind Einflüsse, die durch kleinstandörtliche Effekte bei der Polterung oder im Prozess der Probenverarbeitung entstanden sein könnten.

Bei der Vollernter-Aufarbeitung werden in allen Behandlungsvarianten in abnehmender Reihenfolge von Dbh über Tm_mod zu Tm Rindenstücke abgelöst (vgl. Abb. 1). Diese selbst sind in Abhängigkeit von der Konstruktion des Fällkopfs und der Anzahl der Überfahrten mechanischen Kräften ausgesetzt. Insbesondere bei der Behandlungsvariante Dbh werden, während die Rinde im Saft steht, längere Rindenstücke vergleichsweise glatt und schonend zwischen Bast und Splint abgeschält. Dies steht im Einklang mit einem der Ziele dieses Verfahrens, durch das Belassen der Rinde im Bestand dem Nährstoffentzug entgegenzuwirken (Heppelmann et al. 2019). Doch ist hier die Wahrscheinlichkeit besonders gegeben, dass in dieser Rinde vorhandene und in der Entwicklung weit fortgeschrittene Stadien zu großen Teilen überleben und mit ihr im Wald verbleiben. Diese Individuen könnten sich weiterentwickeln, ausfliegen und weitere Fichten befallen.

Aus den Untersuchungen geht deutlich hervor, dass bei Vorhandensein des braunen Stadiums vor allem bei der Behandlungsvariante Dbh, aber auch bei Tm_mod und im geringeren Maße bei Tm, aufgrund der dort vorhandenen Rindenverluste die in der **abgelösten Rinde befindlichen Buchdrucker** eine bedeutende Rolle spielen. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen aus vergleichbaren Fragestellungen zur Auswirkung der Behandlung mit mobilen Entrindungsmaschinen, bspw. mit einem Lochrotor-Entrindungsaggregat, auf Borkenkäfer. So berichtet

Dubbel (1993), dass die Überlebensraten von Buchdrucker und Kupferstecher zu hoch sind, um „durch maschinelle Entrindung von Käferfichten im Jungkäferstadium“ eine „hinreichend sichere Alternative zur Insektizidanwendung“ zu erreichen. Aus diesem Grund werden von Lobinger (1993) diesbezüglich weiterreichende Maßnahmen wie die Bildung von Rindenhaufen ins Spiel gebracht. Niesar et al. (2019) empfehlen im Zusammenhang mit dem Vollerntereinsatz hinsichtlich des möglichen Überlebens des braunen Stadiums, die Rinde zu sammeln und abzufahren oder mit schwarzer Folie abzudecken.

Die hier untersuchte **Vitalität der aus der abgelösten Rinde gekommenen Buchdrucker** weist darauf hin, dass die Reproduktionsfähigkeit und das Überwinterungsvermögen dieser Käfer nach der mechanischen Behandlung je nach Umweltbedingungen eingeschränkt sein könnte (siehe Kap. 5.2.2). Dies könnte grundsätzlich auch auf Buchdrucker zutreffen, die in den Eklektoren aus der noch am Stamm anhaftenden Rinde ausgeflogen sind.

Stricker (2020) führt in Bezug auf **Rindenverletzungen** durch Vollernter aus, dass in seinen Untersuchungen „ein hochsignifikanter linearer Zusammenhang zwischen dem Anteil beeinträchtigter Rinde und der Käferanzahl“ festzustellen war und dass “ab einer Rindenbeeinträchtigung von 90% der Buchdrucker vollständig eliminiert“ wurde. Dabei hatte der Stammdurchmesser in Bezug auf das Ausmaß der Rindenverletzungen und damit die Reduktion der Käfer bei der mechanisierten Aufarbeitung mit Vollernter in seinen Untersuchungen keinen signifikanten Einfluss.

Im Vergleich zueinander zeigen die **präventiven Varianten** vor allem in den Winterexperimenten außer Saft im WG insgesamt die geringsten Werte. Bei den präventiven Varianten im Frühjahr sind sie deutlicher ausgeprägt. Dies liegt offenbar an der höheren Verletzlichkeit der schon im Saft befindlichen Rinde. Niemeyer (1997) berichtet von einer hundertprozentigen Effektivität zur Prävention erfolgreicher Borkenkäferbruten, die hier jedoch mit deutlichem Abstand nicht erreicht wird.

Bei allen **therapeutischen Varianten** im Frühjahr und Sommer bei weißen und braunen Stadien zeigt sich eine Überlegenheit der **Behandlungsvariante Tm_mod**. Dort liegt der WG bei vergleichbaren Bedingungen etwa 10-15 Prozentpunkte über der Behandlungsvariante Tm. Da aber auch mit der konventionellen Aufarbeitung bei nur einer Überfahrt des Fällkopfes in der Variante Tm gute WG erzielt wurden, stellt sich die Frage, ob die mit einer wiederholten oder sogar dritten Überfahrt bei Tm_mod außerhalb der waldschutzfachlichen Beurteilung verbundenen Nachteile gerechtfertigt sind (Brieger et al. 2021). Hierzu gehören zum Beispiel geringere Leistungswerte, eine geringere Bestandespfleglichkeit, die negativen Auswirkungen auf die Holzqualität und nicht zuletzt höhere ergonomische Herausforderungen (siehe Kap. 6). Bennemann et al. (2020b) berichten bei einem therapeutischen Einsatz zu einem Zeitpunkt, an dem die Entwicklungsstadien Imago, Larve und Puppe vorhanden waren, von Überlebensraten beim Einsatz eines konventionellen Fällkopfes (bei vermutlich einer Überfahrt) mit Stachelwalzen zwischen 48 und 59% auf den Walzenspuren und 92 und 97% neben den Walzenspuren. Da keine Angaben zum Gesamtergebnis oder dem Verhältnis der Stammmantelfläche

mit und ohne Walzenspuren gemacht werden, ist jedoch kein direkter Vergleich mit den hier vorliegenden Ergebnissen möglich.

Bei den therapeutischen Experimenten im Sommer liegt die **Behandlungsvariante Dbh** beim braunen Stadium bezüglich des WG unter erforderlicher Berücksichtigung der Imagines aus der Rinde bei 73%, während die Variante Tm bei einem erzielten kalkulatorischen Ergebnis von 76% liegt. Die genauere Betrachtung der Buchdrucker aus der abgelösten Rinde gibt Hinweise darauf, dass nicht alle in der Rinde befindlichen Käfer ausreichend vital sein könnten. Wird unterstellt, dass in allen Untersuchungen nur reproduktionsfähige Käfer zum Ausflug gekommen sind und damit in den Stammeklektoren vorzufinden waren, könnte sich im Analogieschluss daraus der WG in den Behandlungsvarianten mit hohen Rindenverlusten vermutlich insgesamt etwas günstiger darstellen. Der Anteil mit großer Sicherheit geschädigter, unterentwickelter und immobiler Käfer lag bei 17%.

Die Abnahme der Produktivität der Vollernter in der Variante Dbh wird aus Waldschutzsicht aufgrund der insgesamt langsameren Aufarbeitung des dringend zu sanierenden Käferholzes kritisch gesehen (Burzlaff et al. 2020). Dabei werden die Produktivitätsverluste gegenüber konventionellen Fällköpfen von Heppelmann et al. (2019) auf etwa 10% eingeschätzt. Heubaum (2019) nennt Leistungseinbußen des „Entrindungsharvesters“ gegenüber der sonstigen „Aufarbeitungsleistung“ von etwa 30%. Er beziffert die gegenüber dem konventionellen Einsatz höheren Kosten auf 5-7 Euro/Efm und stellt dem den Betrag von 30 Euro/Efm für die Handentrindung gegenüber. Auch nach Hölling (2020) liegt der Zusatzaufwand gegenüber der regulären vollmechanischen Aufarbeitung bei ungefähr 30% (vgl. Kap. 6). Die vorliegende Untersuchung zeigt auf, dass aus der Rinde der untersuchten Fichtenabschnitte bei einer Gesamtanzahl Buchdrucker je Quadratmeter Mantelfläche von 108 beim DbH mit 101 eine deutliche Mehrzahl aus der abgelösten Rinde gewonnen wurde. Dies steht im Widerspruch zu Bennemann et al. (2020b), die berichten, dass aus mit Dbh abgeschälten Rindenstücken keine Buchdrucker ausgeflogen sind. Allerdings kann eine Erklärung darin liegen, dass diese Untersuchungen im Zeitraum Ende August bis Ende September stattgefunden haben, denn zu diesem Zeitpunkt beginnt der Buchdrucker ohnehin damit, seine Flugaktivitäten einzustellen (Burzlaff et al. 2020). Darüber hinaus fehlen dort Angaben zu einer unbehandelten Variante, weshalb offen bleibt, ob die aufgearbeiteten Fichten tatsächlich in einem nennenswerten Ausmaß besiedelt waren und in welchem Entwicklungsstadium sich die Buchdrucker zum Zeitpunkt der Entrindung befanden bzw. ob die weitere Brutentwicklung tatsächlich den Ausflug fertiger Buchdrucker ermöglicht hätte. Die Ergebnisse können somit nicht zweifelsfrei zur Ermittlung der Überlebensrate herangezogen werden. Auer und Hintersteiner (2019) zitiert in Hoch et al. (2019) berichten, dass beim Einsatz entrindender Fällköpfe im Käferstadium ein signifikanter Effekt festzustellen war, der bei einer mechanisch ausgelösten Mortalitätsrate von etwa zwei Drittel der Buchdrucker unter der Rinde lag. Dieser Befund deckt sich in etwa mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Untersuchung. Es ist denkbar, dass bei hohen Entrindungsprozenten von über 80% der hier nicht geprüfte präventive Einsatz des Debarking Heads außerhalb der Saftzeit in Bezug auf eine Borkenkäferprophylaxe zum Erfolg führt.

Hierzu sind nach Heubaum (2019) im Winter jedoch mehrere Durchgänge bzw. Überfahrten des Stammes durch den Harvesterkopf notwendig. Neben dem höheren Aufwand wären hierbei insbesondere auch größere Verluste der Oberflächen- bzw. Holzqualität zu erwarten. Außerdem geht bei der Aufarbeitung auf der Waldfläche mit jedem Durchgang eine höhere Gefahr für Schäden am Bestand aus. Je nach Lagerort und -dauer sind durch Trocknungsprozesse gegebenfalls weitere Qualitätseinbußen möglich.

Insgesamt werden über alle Behandlungsvarianten die höchsten WG in den **weißen Stadien** erreicht, die bei mindestens 80% und deutlich höher liegen. In diesen Entwicklungsstadien des Buchdruckers ist auch die Behandlungsvariante Dbh im Sommer während der Saftzeit mit einem WG von 92% sehr wirksam. Dies entspricht den unzweifelhaft positiven Erfahrungen aus konventioneller Handentrindung mittels Schäleisen oder motormanueller Entrindung im Saft (Hoch et. al. 2019, Kautz et al. 2021). Der Einsatz entrindender Harvesterköpfe hat auch in Österreich ersten Studien zufolge im Larvenstadium sehr gute Ergebnisse erzielt (Hoch et al. 2019). Der Zeitraum in dem ausschließlich weiße Stadien vorliegen ist während der Vegetationszeit im Jahresverlauf jedoch begrenzt. Mit Blick auf die modellhafte Buchdruckerentwicklung[4] (Baier et al. 2007) am Beispiel der auf 630 m ü NN befindlichen DWD-Station Pfullendorf war die Aufarbeitung im weißen Stadium in einem eher durchschnittlichen Jahr wie 2019 von Mitte April bis je nach Lagerort der Stämme noch Mitte/Ende Juni für etwa 8 bis 10 Wochen möglich (Eistadium der ersten Generation ab dem 22.04., braunes Stadium ab 19.06. bei schneller und 30.06. bei langsamer Entwicklung).

Die Behandlungsvarianten unter Einsatz eines Vollenters sollen als mechanische Pflanzenschutzverfahren hinsichtlich der **Bewertung der Wirksamkeit** an dem Einsatz eines Pflanzenschutzmittels gemessen werden. Die Festlegung von Schwellenwerten mithilfe von WG sind gemeinhin Anhaltspunkte zur Bewertung der Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln (BBA 1980, BAES 2018). In der Vergangenheit lag dieser in einer „Richtlinie für die Prüfung von Insektiziden gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer im Forst“ bei 80% (BBA 1980). Doch sind derartige Werte im Zuge der europäischen Harmonisierung nicht mehr festgelegt worden, da die Festsetzung absoluter Schwellen aufgrund der unterschiedlichen naturräumlichen Verhältnisse für ganz Europa nicht sinnvoll ist. Deshalb wird heute im Pflanzenschutzrecht von einer „hinreichenden Wirksamkeit“ (BVL 2021) gesprochen, ein auslegbarer Begriff, der auch Eingang in die einschlägigen EPPO-Richtlinien gefunden hat (schriftl. Mitt. Berendes 2021). Im ökologischen Obstbau wird bspw. schon seit längerem diskutiert, ob der WG zur Bewertung eines Pflanzenschutzmittels allein herangezogen werden kann (Kienzle 2002). Darüber hinaus werden umfassendere Lösungsansätze gesucht, wie die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln nachvollziehbar und transparenter zu beurteilen ist (Böckmann et al. 2019). Dem österreichischen Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES) zufolge dienen auch Wirkungsgrade von 60 bis 80% zumindest der „Befallsminderung“, weshalb auch diese bei der Bewertung der

[4] https://ifff-server.boku.ac.at/wordpress/index.php/language/de/phenips-online-monitoring/phenips-online-deutschland/phenips-baden-wuerttemberg/generationsentwicklung, abgerufen am 09.05.2021

Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt werden, „… um den neuen Entwicklungen - insbesondere betreffend Pflanzenschutzmittel basierend auf Wirkstoffen mit geringem Risiko - Rechnung zu tragen …“ (BAES 2018). Bei Betrachtung dieses Ansatzes wird deutlich, dass die therapeutischen Behandlungsvarianten sowohl in weißen als auch braunen Stadien bei den hier durchgeführten Experimenten - ungeachtet der aufgrund nicht plausibler Ergebnisse oben genannten Ausnahmen - in allen Konstellationen bzw. Behandlungsvarianten dieser Anforderung weitgehend entsprochen haben.

In Bezug auf die einzelnen Stammabschnitte zeigt sich innerhalb der Behandlungsvarianten eine bemerkenswert **hohe Variabilität** der ausgeschlüpften Buchdrucker (Abb. 3). Eine entsprechende Erhöhung der Stichprobe gegenüber dieser Fallstudie ist zwar denkbar, jedoch ist der Aufwand in der Organisation, Logistik und Durchführung derartiger Untersuchungen ausgesprochen hoch.

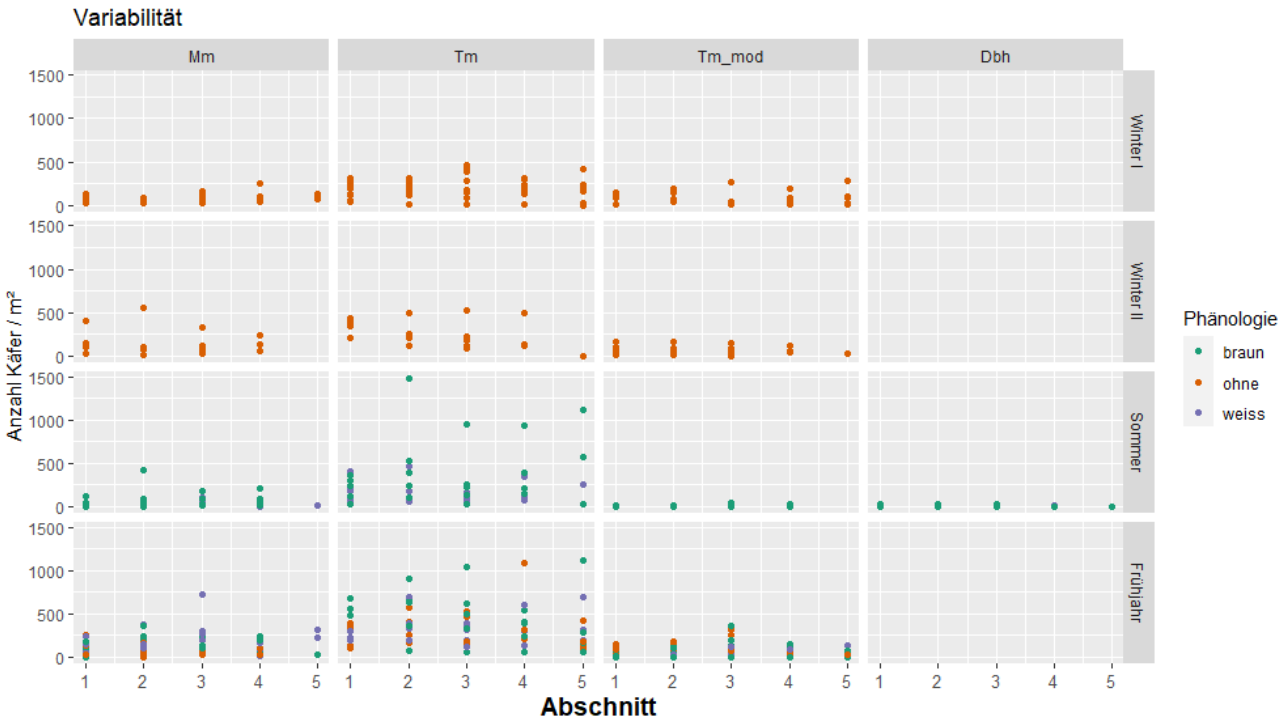


Abb. 3: Verteilung der vorgefundenen Käferdichten je Quadratmeter Mantelfläche aus den einzelnen Stammabschnitten getrennt nach der motormanuellen Kontrolle (Mm) und den mechanischen Behandlungsvarianten (Tm, Tm_mod, Dbh) sowie die betrachteten Entwicklungsstadien (ohne = präventiv vor der Besiedlung, weiß = weiße Stadien, braun = braunes Stadium) in den durchgeführten Experimenten (Winter I, Winter II, Frühjahr, Sommer); Abschnitt: Stammabschnitte vom Erdstammstück (Abschnitt 1) über den mittleren Stamm bis in die Krone (Abschnitt 5)

Neben der Behandlung während der Aufarbeitung (vgl. Kap. 4.4) können sich aus Standort, Pflanzenherkunft, Bestandesstruktur und waldbaulicher Erziehung der eingeschlagenen Fichten, damit einhergehende Beschaffenheit der Rinde, Astigkeit und Stammform, individuelle physiologische Baumeigenschaften und durch die Ausprägung der umstehenden Bestände deutliche Unterschiede zwischen den Stämmen und Stammabschnitten ergeben. Aber auch

der Zeitpunkt der Aufarbeitung im Jahresverlauf, die Witterung während der Aufarbeitung und in der Folgezeit, Lagerorte und Lagerdauer und die Holzstärke bzw. Durchmesser können bspw. über unterschiedliche Abtrocknungsprozesse bedeutend sein. Genauso sind in diesem Zusammenhang vorhandene Infektionsquellen, das Vorliegen mehr oder weniger attraktiven Brutmaterials sowie der Befallsdruck des Buchdruckers, Käferentwicklung und Generationsfolge, die inter- und intraspezifische Brutraumkonkurrenz sowie das Vorhandensein von natürlichen Feinden und Krankheitserregern zu nennen. Auch Weigerstorfer (2007) berichtet im Rahmen von Untersuchungen zur Wirksamkeit mechanischer Verfahren gegen Borkenkäfer, die auch an Stammabschnitten durchgeführt wurden, dass die Ergebnisse an allen Versuchsstandorten sich ebenfalls durch eine massive Streuung auszeichneten. Bezüglich der mechanischen Vollernteraufarbeitung von Nadelholz zu verschiedenen Jahreszeiten haben Stängle und Sauter (2016) eine breite Streuung des verbleibenden Rindenanteils zwischen den unterschiedlichen Stammabschnitten festgestellt. Dabei war die Streuung im Sommer tendenziell etwas höher als im Winter. Aufgrund der festgestellten Variabilität können die hier vorgestellten WG lediglich **Orientierungshilfen** darstellen. Deshalb ist es empfehlenswert, die Fichtenstämme insbesondere wenn WG unter 80% festgestellt werden auch nach der mechanischen Aufarbeitung auf dem Lagerplatz weiterhin auf vitalen Käferbesatz und deren Entwicklungszustand hin regelmäßig zu kontrollieren. Sind Bruten vorzufinden, sollte je nach Entwicklungsstand mit weiteren Maßnahmen des Unschädlichmachens (Kautz et al. 2021) rechtzeitig nachgesteuert werden.

Vor allem bei der Behandlungsvariante Dbh, aber auch bei Tm_mod und im geringeren Maße bei Tm verbleiben mit der abgelösten Rinde die dort befindlichen Buchdrucker im Wald und können sich im braunen Stadium bis zum Ausflug weiterentwickeln. Liegt die Rinde erst verteilt im Bestand, sind praktisch keine weiteren Maßnahmen des Unschädlichmachens mehr möglich. Demgegenüber könnte auf zentralen Aufarbeitungsplätzen die Rinde mit hohem Aufwand bspw. den Empfehlungen von Niesar et al. (2019) zufolge gesammelt und abgefahren oder mit schwarzer Folie abgedeckt werden.

Watzke und Niemeyer (1996) berichten, dass der Brutraum in Fichtenstämmen nach Aufarbeitung mit Vollerntern durch den „ungefährlichen“ **Fichtenrindenbastkäfer** als **Brutraumkonkurrent** belegt wurde und damit sowohl für Buchdrucker als auch für Kupferstecher unbrauchbar wurde. Dies war auch in der Beratungspraxis der FVA an so genannten „Kilben“, das sind oft von Pilzfäule betroffene starkdimensionierte und grobborkige Erdstammstücke, unabhängig von der Aufarbeitungsmethode wiederholt festzustellen. Doch konnte dies in der hier erfolgten Studie nicht beobachtet werden.

Offen bleibt die Frage eines möglichen Risikos, das vom **Kupferstecher** als potenziellem Profiteur ausgehen könnte. Neben dem Buchdrucker kann dieser deutlich kleinere Borkenkäfer, der gewöhnlich Fichten mit schwächeren Dimensionen oder bei stärkeren eher im Kronenbereich befällt, besonders von Hitze und Dürre profitieren. Aufgrund seines kleineren Brutbildes könnte er davon Vorteil schlagen, dass die nach der Vollernterbehandlung noch bruttaugliche

Rinde zwar nicht mehr für den konkurrenzstarken Buchdrucker ausreicht, wohl aber noch für den Kupferstecher.

Die Frage der Infektionsgefahr durch Buchdrucker aus mechanisch im Herbst oder Winter mit Vollerntern aufgearbeiteten, im vorhergehenden Sommer bereits befallenen **Überwinterungsbäumen**, die bis zum Ausflug der dort überdauernden Käfer im nächsten Frühjahr bspw. durch die Abfuhr in das Sägewerk noch nicht unschädlich gemacht wurden, wird mit dieser Untersuchung nicht beantwortet. Doch empfiehlt es sich ohnehin, die Überwinterungsbäume so früh wie möglich noch bevor sich die Rinde lockert zu identifizieren und zeitnah zu entfernen.

In einem nächsten Schritt sollte diese Untersuchung neben der waldschutzfachlichen Sicht über die in Kapitel 6 dargestellte Studie hinaus auch mit einer eingehenderen integrierenden Betrachtung der **Waldnutzungsaspekte** erweitert werden. So wären in der Wertschöpfungskette eine aufgrund verminderter Käfergefahr längere Lagerdauer der mit Vollernter aufgearbeiteten Stämme den bei Rindenverletzungen entstehenden Wertverlusten gegenüberzustellen. Auch die Frage der Produktivität, des Zeitaufwands und der Kosten sowie Gesichtspunkte der Ergonomie und die Bestandespfleglichkeit müssten in einer gemeinsamen Betrachtung für eine Bewertung des Gesamtnutzens abgewogen werden. Jedoch steht angesichts des enormen Käferdrucks, Preisverfalls und fehlender Absatzmöglichkeiten besonders während überregional vorzufindender Kalamitätsjahre aus der Not geboren der Gesichtspunkt des Walderhalts oft deutlich vor diesen Fragen.

8 Schlußfolgerungen

Die im Rahmen von Sanierungshieben mitsamt Käferbrut aufgearbeiteten befallenen Stämme müssen der guten fachlichen Praxis entsprechend bis zum Ausflug der Käfer oft mit hohem Zeitdruck durch rechtzeitige Abfuhr in das Sägewerk oder geeignete Holzlager, Entrindung, Hacken, Verpackung in Folien oder nötigenfalls durch den Einsatz eines zugelassenen Pflanzenschutzmittels im Zuge der Vorausflugspritzung unschädlich gemacht werden (Kautz et al. 2021). Infolge von Stürmen oder Schneebruch und aus regulären Hieben anfallende Fichtenstämme sind spätestens nach ihrer Besiedelung durch Borkenkäfer bis zum nächsten Ausflug unschädlich zu machen. Hier bieten die untersuchten mechanischen Behandlungsvarianten mithilfe von Vollerntern aus waldschutzfachlicher Sicht gegenüber der motormanuellen Aufarbeitung bei der Fichte in Bezug auf den Buchdrucker große Vorteile. Sie reduzieren die von diesen Stämmen ausgehende Infektionsgefahr deutlich. Aus diesem Grund ist aus Waldschutzsicht zu überlegen, ob auch nach motormanueller Fällung der Vollernter in den weiteren Aufarbeitungsprozess einbezogen werden kann. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass die mechanische Prozessierung auch hier zeitnah und unbedingt vor dem Ausflug der in den Stämmen befindlichen Buchdrucker erfolgen muss.

Je nach Behandlungsziel, Bastzustand bzw. Jahreszeit der Aufarbeitung, vorhandenen Entwicklungsstadien und Behandlungsvarianten bestehen erkennbare Unterschiede in der potenziellen Infektionsgefahr durch Buchdrucker aus mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten. Nach den vorliegenden Untersuchungen ergibt sich ausgehend von den ermittelten WG (siehe Tab. 5, Kap. 5.3) bezüglich des Buchdruckers zusammengefasst grundsätzlich folgende Reihenfolge der Behandlungsvarianten mit abnehmender Infektionsgefahr:

- Präventiv Tm und Tm_mod Ende Winter/Frühjahr in Saftruhe (WG 52, 57, [38], 70%)
- Präventiv Tm und Tm_mod Frühjahr in der Saftzeit (WG 70, 69%) ,

  Therapeutisch Dbh braunes Stadium (WG 73%)
- Therapeutisch Tm braune (WG 66, 76%) und weiße (WG [39], 81) Stadien
- Therapeutisch Tm_mod braune (WG 75, 88%) und weiße (WG 80, 96) Stadien

  Therapeutisch Dbh weiße Stadien (WG 92%)

Dabei ist zu überlegen, ob die im Einzelfall größeren WG der modifizierten Variante Tm_mod mit konventionellem Fällkopf bei zweimaliger Überfahrt über Kreuz oder des Debarking Heads bei weißen Stadien unter Berücksichtigung der schon bei der einfachen konventionellen mechanischen Vollernter-Aufarbeitung erzielten Wirkungsgrade von 66, 76 und 81% die dargestellten Nachteile tatsächlich aufwiegen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass nach Finner et al. (1989) die hier verwendetete gemeinhin gebräuchliche Methode zur Berechnung des Wirkungsgrades von Pflanzenschutzmitteln nach Abbott (1925) den tatsächlichen Wirkungsgrad systematisch unterschätzt.

Aus dieser Untersuchung lassen sich aus Sicht des Waldschutzes in Bezug auf die Infektionsgefahr durch Buchdrucker aus mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten gemessen am gemeinhin für Pflanzenschutzmittel geforderten WG-Schwellenwert von 80% zusammenfassend folgende Aussagen ableiten (vgl. Abb. 4):

- Die mechanische Aufarbeitung mit Vollerntern sollte der motormanuellen grundsätzlich vorgezogen werden
- Der präventive konventionelle mechanische Vollerntereinsatz in der Saftruhe oder Saftzeit ist ungeachtet der untersuchten konventionellen Behandlungsvariante mit ein- oder zweifacher Überfahrt (Tm und Tm_mod) nicht ausreichend
- Der therapeutische mechanische Vollerntereinsatz während der Saftzeit im braunen Stadium ist mit Debarking Head (Dbh) oder bei konventioneller Behandlung mit einfacher Überfahrt (Tm) nicht ausreichend
- Der therapeutische mechanische Vollerntereinsatz während der Saftzeit im braunen Stadium ist bei konventioneller Behandlung mit zweifacher Überfahrt (Tm_mod) ausreichend

- Der therapeutische Vollerntereinsatz ist während der Saftzeit im weißen Stadium in allen Behandlungsvarianten (Tm, Dbh und Tm_mod) ausreichend
- Gegenüber der in allen Stadien wirksameren konventionellen Behandlungsvariante mit zweifacher Überfahrt (Tm_mod) und dem im weißen Stadium wirksameren Debarking Head (Dbh) bietet die Behandlungsvariante mit einfacher Überfahrt (Tm) in Bezug auf Waldnutzungsaspekte deutliche Vorteile (vgl. Kap. 6 und 7); dies muss im Einzelfall mit den geringeren WG abgewogen werden (Abb. 4)

Das Borkenkäfer-Management bleibt eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Doch werden die Forstbetriebe mit diesen Erkenntnissen in die Lage versetzt, in Bezug auf die vom Buchdrucker ausgehenden Infektionsgefahren aus mechanisch mit Vollerntern aufgearbeiteten Fichten gerade in Kalamitätszeiten mit größerer Sicherheit abgewogene Entscheidungen treffen zu können.

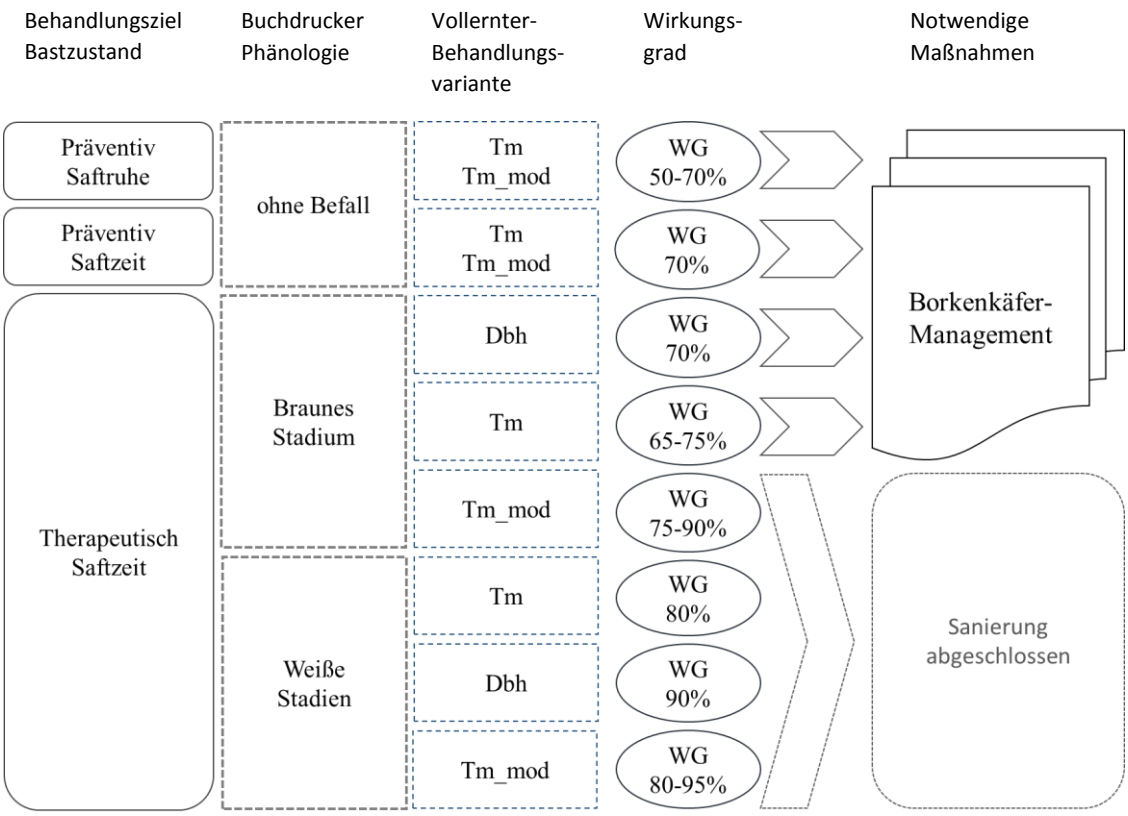


Abb. 4: Schema zur Entscheidungsfindung hinsichtlich der aus Sicht des Waldschutzes geeigneten Verfahren zur mechanischen Aufarbeitung mit Vollerntern zur Minderung der Infektionsgefahr durch Buchdrucker (*Ips typographus*); der Wirkungsgrad wird gemessen an der motormanuellen Aufarbeitung (WG = 0) und in Bezug auf die Anforderungen an ein Pflanzenschutzmittel (WG ≥ 80%) bewertet

9 Literatur

Abbott, W.S. (1925): A method of computing the effectiveness of an insecticide. Journal of Economic Entomology, 18: 265-267

Auer, R., Hintersteiner, R. (2019): Borkenkäferbekämpfung durch die innovative Entrindungseinheit am Harvester. Diplomarbeit an der Höheren Bundeslehranstalt für Forstwirtschaft, Bruck an der Mur: 85 S., unveröffentlicht

Baier, P., Pennerstorfer, J., Schopf, A. (2007): PHENIPS - A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecology and Management, 249 (3): 171-186

Bennemann, C., Hauck, A., Bernd, J., Heppelmann, J., Wittkopf, S. (2020a): Ernter entrindet. Forst und Technik 7: 26-29

Bennemann, C., Hauck, A., Heppelmann, J. B., Grünberger, J., Wittkopf, S. (2020b): Entrindung bei der vollmechanisierten Holzernte - Debarking Heads leisten einen Beitrag zur insektizidfreien Borkenkäfer-Prävention. Holz-Zentralblatt 28: 519 und 521

Bennemann, C., Heppelmann, J. B., Wittkopf, S., Hauck, A., Grünberger, J., Heinrich, B., Seeling, U. (2020c): Debarking heads – Entrindende Harvesterköpfe reduzieren den Nährstoffentzug, fördern den Waldschutz und ermöglichen eine Optimierung der Logistikkette. LWF aktuell 2-2020: 44-46

Berendes, K.H. (2021): Wirkungsgrad als Schwellenwert für die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln in der Prüfpraxis. Schriftliche Mitteilung mit E-Mail vom 19.02.2021

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) (1980): Richtlinie für die Prüfung von Insektiziden gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer im Forst, Richtlinien für die amtliche Prüfung von Pflanzenbehandlungsmitteln 18-2.2: 13 S.

Böckmann, E., Feldmann, F., Vogler, U. (2019): "Current-IPM-Fit": a new proposal for enhanced efficacy labelling of plant protection products. Journal of Plant Diseases and Protection 126: 385-389

Brieger, F., Fei, J., Sauter, F., Sauter, U. H. (2021): Regulierung des Buchdrucker-Risikos (*Ips typographus* L.) durch vollmechanisierte Aufarbeitungsverfahren im Vergleich zu „debarking heads", Teilprojekt: Praktische Erfahrungen mit Varianten der mechanisierten Aufarbeitung und Entrindung. Projektbericht 1681, FVA Waldnutzung: 45 S., unveröffentlicht

Bundesamt für Ernährungssicherheit (BAES) (2018): Neue Angaben zur Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln in der Zulassung. https://www.baes.gv.at/fachmeldungen/details//neue-angaben-zur-wirksamkeit-von-pflanzenschutzmitteln-in-der-zulassung-zur-befallsminderung-und-nur, abgerufen am 04.03.2021

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) (2021): Welche Kriterien muss ein Pflanzenschutzmittel für die Zulassung erfüllen? https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/02_Verbraucher/05_FAQ/01_FAQ_PSM_Zulassung/FAQ_PSM_Zulassung_node.hKFKl, abgerufen am 04.03.2021

Burzlaff, T., Delb, H., Hahn, A., Rohde, M. (2020): Zweifel an ausreichender Wirksamkeit: Waldschutzfachliche Stellungnahme zu dem im Holz-Zentralblatt Nr. 28 vom 10.07.2020 auf Seite 519 und 521 veröffentlichten Artikel „Entrindung bei der vollmechanisierten Holzernte“. Holz-Zentralblatt 30: 550

Delb, H., Burger, M., Grüner, J., John, R., Kautz, M., Wußler, J. (2020): Die Waldschutzsituation 2019/2020 in Baden-Württemberg. AFZ/Der Wald 75 (11): 16-20

Dubbel, V. (1993): Überlebensraten von Fichtenborkenkäfern bei maschineller Entrindung. AFZ 48 (7): 350-351

Finner, H., Kunert, J., Sonnemann, E. (1989): Über die Berechnung des Wirkungsgrades von Pflanzenschutzmitteln. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 41 (8/9): 145-149

Gabriel, O. (2017): Arbeitssicherheit: Das Prinzip STOP. https://www.forstpraxis.de/das-prinzip-stop/, abgerufen am 04.03.2021

Heppelmann, J.B., Labelle, E.R., Wittkopf, S., Seeling, U. (2019): In-stand debarking with the use of modified harvesting heads: a potential solution for key challenges in European forestry. European Journal of Forest Research 138: 1067-1081

Heubaum, F. (2019): Den Borkenkäfern zu Leibe rücken … - Informationen aus dem Projekt „Harvesterentrindung“ bei der Maschinenstation Königstein. Forstjournal SachenForst 4-2019: 11-14

Hoch, G., Schopf, A., Weizer, G. (Hrsg.) (2019): Der Buchdrucker - Biologie, Ökologie, Management. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Wien: 208 S.

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) und Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) (2018): Verbundvorhaben: Nährstoffentzug bei der Holzernte minimieren durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen "Debarking Head": Teilvorhaben 1: Untersuchung und Weiterentwicklung der entrindenden Harvesterfällköpfen, Teilvorhaben 2: Technische Bewertung und Verfahrenskonzepte. Schlussbericht zum Vorhaben. Freising: 101 S.

Hölling, D. (2020): Die Rinde bleibt im Wald. https://www.waldwissen.net/de/technik-und-planung/forsttechnik-und-holzernte/forstmaschinen/die-rinde-bleibt-im-bestand, abgerufen am 04.03.2021

Kautz, M., Delb, H., Hielscher, K., Hurling, R., Lobinger, G., Niesar, M., Otto, L.-F., Thiel, J. (2021): Borkenkäfer an Nadelbäumen - erkennen, vorbeugen, bekämpfen. FNR, Gülzow-Prüzen: 54 S.

Keller, B. (2018): Der Vergleich des Bruterfolges von Buchdruckern (*Ips typographus*, Col., Curculionidae, Scolytinae) in motormanuell und vollmechanisiert aufgearbeitetem Stammholz. Bachelorarbeit, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: 43 S., unveröffentlicht

Kienzle, J. (2002): Hinreichende Wirksamkeit eines Präparates für den ökologischen Obstbau: Wie hoch muss ein Wirkungsgrad sein und ist er das Maß aller Dinge? In: Kühne, S., Friedrich, B. (Hrsg.): Hinreichende Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln im ökologischen

Landbau, Saat- und Pflanzgut für den ökologischen Landbau. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt 95, Saphir Verlag: 11-16

Labelle, E. R., Breinig, L., Spinelli, R. (2019): Extent and severity of damages caused to spruce roundwood by harvesting heads in standard versus debarking configurations. European Journal of Forest Research 138 (1): 151-163

Lobinger, G. (1993): Vernichtung von Buchdruckern nach maschineller Entrindung. AFZ 48 (15): 791-792

Niemeyer, H. (1997): Integrated bark beetle control: experiences and problems in Northern Germany. In: Grégoire, J.C., Liebhold, A.M., Stephen, F.M., Day, K.R., Salom, S.M. (eds.), Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests. USDA Forest Service General Technical Report NE-236: 80-86

Niesar, M., Glück, S., Geisthoff, N. (2019): Praxisleitfaden Fichten-Borkenkäfer: Erkennen, Bekämpfen, Vorbeugen. Informationsbroschüre Wald und Holz NRW, Schwerpunktaufgabe Waldschutzmanagement: 52 S. https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/190308_Praxisleitfaden_Fichten_Borkenkaefer_02_Auflage.pdf, abgerufen am 08.03.2021

NW-FVA (2015): Integrierte Bekämpfung rindenbrütender Borkenkäfer. Praxisinformation Nr. 1-2015: 32 S. https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Abteilung/Waldschutz/Praxis-Informationen/NW-FVA_Waldschutz_Praxis-Information_Nr-01_2015.pdf, abgerufen am 08.03.2021

Sauter, U. H., Nakou, A. (2014): Mal mehr, mal weniger Rindenschäden, warum? AFZ/Der Wald 69: 12-14

Schwenke, W. (Hrsg.) (1974): Die Forstschädlinge Europas. Zweiter Band: Käfer. Verlag Paul Parey Hamburg Berlin: 500 S.

Stängle, S. M., Sauter, U. H. (2016): Einfluss von vollautomatisierten Ernteverfahren auf die Teilentrindung von Nadelholz-Stammabschnitten. Teilbericht Projekt 1262: Rindenstärke, FVA Abteilung Waldnutzung: 20 S., unveröffentlicht

Stricker, A. (2020): Einfluss von vollmechanisierter Holzernte auf den Bruterfolg von Buchdruckern (*Ips typographus*). Masterarbeit, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: 57 S., unveröffentlicht

Thorn, S., Müller, J. (2016): Rindenschlitzen bei Fichte bekämpft Buchdrucker, aber erhält Biodiversität. ANLiegen Natur 38 (1): 97-98

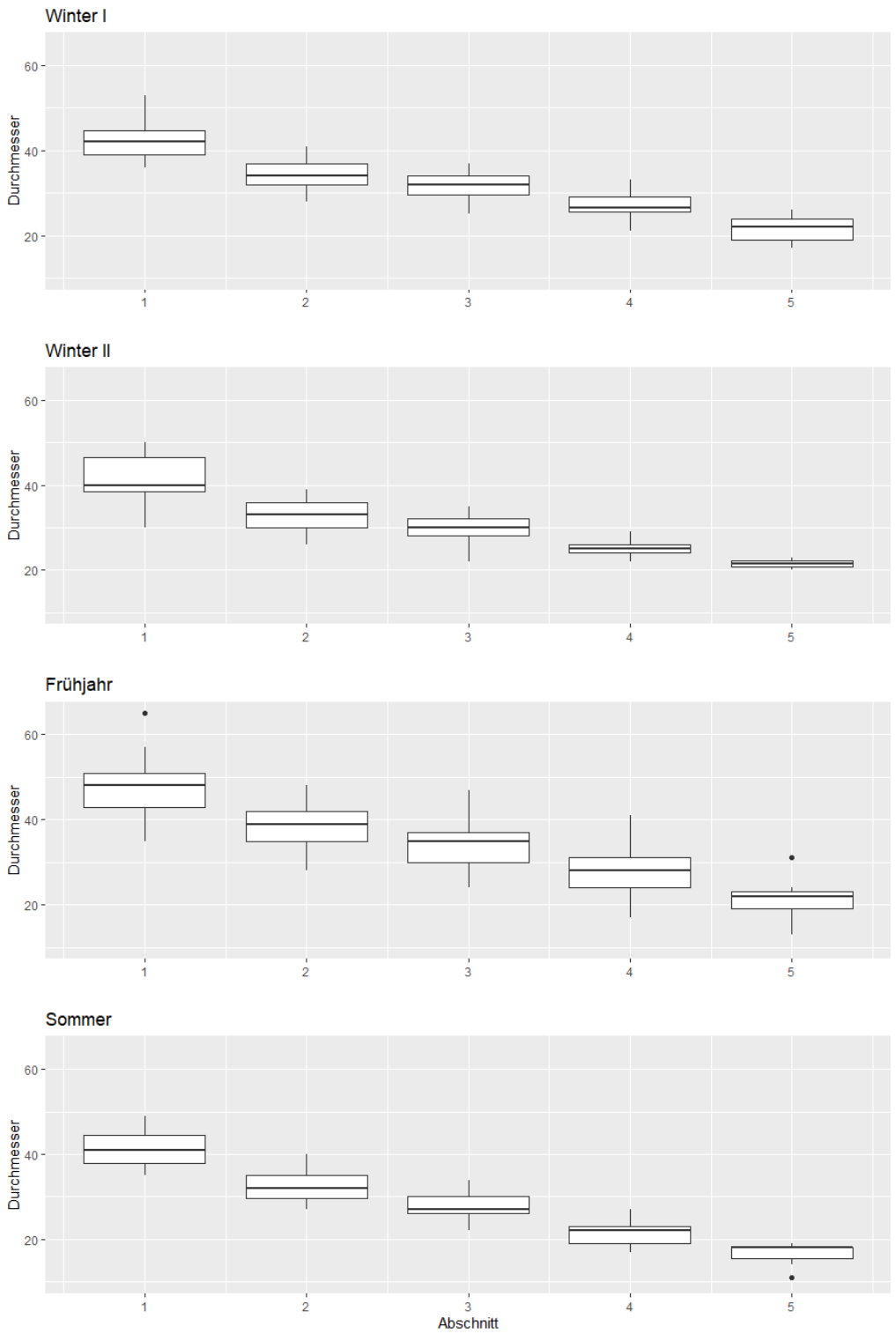
Thorn, S., Bässler, C., Bussler, H., Lindenmayer, D. B., Schmidt, S., Seibold, S., Wende, B., Müller, J. (2016): Bark-scratching of storm-felled trees preserves biodiversity at lower economic costs compared to debarking. Forest Ecology and Management 364: 10-16

Tomiczek, C. (2008): Borkenkäferprophylaxe nach Windwurf im Quellschutzgebiet Wildalpen (Steiermark). BFW Wien, Forstschutz Aktuell 43: 5-6

Watzek, G., Niemeyer, H. (1996): Verminderung der Borkenkäfergefahr durch Harvestertechnik und Arbeitsorganisation. Forst und Holz 51: 247-250

Weigerstorfer, D. (2007): Fachliche Stellungnahme zum Referendarsversuch zur Fichten-Rillung in den Forstämtern Neuhäusel und Hinterweidenthal. Interner Bericht, FVA Waldschutz: 21 S., unveröffentlicht

Anhang 1:



Verteilung der Durchmesser (in cm) der in den Experimenten jeweils aus den eingeschlagenen Fichten verwendeten Stammabschnitte vom Erdstammstück (Abschnitt 1) über den mittleren Stamm bis in die Krone (Abschnitt 5)

Anhang 2:

Statistischer Vergleich des Anteils intakter Rinde in % (Rindenzustand) nach Experimenten und Behandlungsvarianten; Kruskal-Walace-Test mit Bonferoni-Korrektur; Post-hoc: p-Werte für den Wilcoxon Rangsummen-Test für paarweise Vergleiche; Mittelwerte und Standardabweichungen in Klammern

Winter I

	Mm *(80,6/10,6)*	Tm
Tm *(41,5/14,5)*	1.8e-09	-
Tm_mod *(32,7/22,7)*	9.9e-12	0.44

Winter II

	Mm *(85,7/9,6)*	Tm
Tm *(52,3/7,0)*	9.1e-07	-
Tm_mod *(31,7/10,9)*	3.0e-07	4.5e-06

Frühjahr

	Mm *(74,0/12,9)*	Tm
Tm *(40,7/18,2)*	2.1e-06	-
Tm_mod *(30,8/8,5)*	6.4e-08	0.029

Sommer

	Mm *(78,3/13,0)*	Tm
Tm *(41,3/17,3)*	<2e-16	-
Tm_mod *(21,8/12,3)*	<2e-16	5e-14

Anhang 3:

Bildtafel: Vollernter-Aufarbeitung mit Abscheren der Rinde (Foto: G. Seitz) (a); Fällkopf mit Innen- und Außenvorschubwalzen, innenliegendes Messrad und Entastungsmesser (Foto: G. Seitz) (b); Polter mit Holz aus der Vollernter-Aufarbeitung mit Rindenverletzungen und abgescherter Rinde (Foto: H. Delb) (c); Spuren der Vorschubwalzen mit Quetschungen und des Messrades mit einem Längsriss auf der Rinde (Foto: H. Delb) (d); Rindenverletzungen und Brutanlagen nach der Vollernter-Aufarbeitung (Foto: G. Seitz) (e); Lagerung der Stammabschnitte auf Unterlagen mit Stammeklektoren (Foto: H. Delb) (f)