

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Entwicklung und Bewertung von Logistikketten beim Einsatz von entrindenden Harvesterfällköpfen (Debarking Heads II)

Teilvorhaben 1:

Bewertung Waldschutz, Ökoeffizienz und Handlungsempfehlungen

Teilvorhaben 2:

Konzeption und Bewertung der Logistikkette

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT)

Teilvorhaben 2: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) e.V.

Förderkennzeichen:

22028316, 22022917

Laufzeit:

01.12.2017 bis 31.07.2021

Monat der Veröffentlichung:

03/2022

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

I Inhaltsverzeichnis

I INHALTSVERZEICHNIS	2
II ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
III TABELLENVERZEICHNIS	5
IV ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	6
1 ZIELE	8
1.1 AUFGABENSTELLUNG	8
1.2 STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK	9
1.3 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	12
2 ERGEBNISSE.....	15
2.1 DARSTELLUNG ERZIELTER ERGEBNISSE.....	15
2.1.1 <i>Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens</i>	15
2.1.2 <i>Ergebnisse nach Arbeitspaketen.....</i>	16
AP 1 Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz – Schlussfolgerungen für die Logistik	16
AP 2 Konzeption, Analyse und Bewertungen der Holzlogistikkette.....	22
Holzernte mit Rundholzentrindung (HSWT, KWF)	22
Holzrückung (HSWT, KWF)	27
Holztransport (KWF).....	30
Analyse der Holzbereitstellungskette.....	33
Analyse konkurrierender Entrindungssysteme (stationär/mobil) (KWF).....	34
Analyse auftretender Effekte bei der Lagerung entrindeter Sortimente (HSWT).....	37
Analysen bei energetischer Verwertung des entrindeten Holzes (HSWT).....	39
AP 3 Bewertung der Potenziale für Waldschutz und Borkenkäferprävention.....	42
Auswahl von Nadelholzbeständen mit ersten sichtbaren Käferschäden.....	42
Analyse der Einflussgrößen auf Waldschutz und Borkenkäferbekämpfung	42
Analyse der Einflussgrößen auf die Logistik von Käferholz	43
AP 4 Nährstofffreisetzung und Humusbildung.....	44
Anlage eines Langzeitversuchs zu Rindenzersetzungsraten	44
Untersuchung bodenkundlicher Parameter.....	46
AP 5 Datenanalyse und Bilanzierung.....	48
Ökonomische Bilanzierung	48
SWOT-Analyse der Distributionswege und Stoffströme für entrindetes Holz in Deutschland	49
Life cycle assessment (LCA)	52
AP 6 Ergebnistransfer in die Praxis.....	55
Abschließende Bewertung des Systems in seiner Gesamtheit und Empfehlungen für eine Markteinführung	55
2.2 GESAMMELTE ERFahrungen IM PROJEKTVERLAUF	60
2.3 VERWERTUNG	62
2.4 ERKENNTNISSE VON DRITTEN	64
<i>Forschungsprojekt Boku</i>	64
<i>FAWF Trippstadt</i>	64
<i>Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten Rheinland-Pfalz</i>	69
2.5 VERÖFFENTLICHUNGEN	70
2.5.1 <i>Projektintern</i>	70
2.5.2 <i>Nicht Projektintern (weitere Medien)</i>	71
3 LITERATURVERZEICHNIS.....	73

V ANHANG	76
ZUSAMMENFASSUNGEN BACHELORARBEITEN	76
VI ANLAGEN	87
TEILVORHABEN 1	87
<i>Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.....</i>	<i>87</i>
<i>Bewertung Waldschutz, Ökoeffizienz und Handlungsempfehlungen</i>	<i>87</i>
Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens.....	87
Bearbeitete Arbeitspakete	87
Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	88
TEILVORHABEN 2	90
<i>Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.</i>	<i>90</i>
<i>Konzeption und Bewertung der Logistikkette.....</i>	<i>90</i>
Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens.....	90
Bearbeitete Arbeitspakete	90
Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	91

Zitiervorschlag:

*Bennemann, Caroline; Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen; Heppelmann, Joachim B.; Wittkopf, Stefan (2022):
Entwicklung und Bewertung von Logistikketten beim Einsatz von entrindenden Harvesterfällköpfen.
Schlussbericht zum Vorhaben "Debarking Heads 2". 92 S.*

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modifikationen an den drei eingesetzten Harvesteraggregaten (Schlussbericht DH1 2019)	10
Abbildung 2: Screenshot (Stand: 30.10.2021) der online verfügbaren Karte, die die Forstunternehmen zeigt, die Debarking Heads einsetzen.	11
Abbildung 3: Informationsaustausch in Baden-Württemberg zum Einsatz von Debarking Heads (Hauck)	14
Abbildung 4: Antworten aus Umfrage: Veränderungen durch Umrüstung zu Debarking Head.....	19
Abbildung 5: Antworten aus Umfrage: Zufriedenheit mit Umrüstung bzgl. verschiedener Aspekte (Gardik-Karda 2020).....	19
Abbildung 6: Entwurf des Fragebogens zur Akzeptanz von Debarking Heads (Gardik-Karda, 2020)	22
Abbildung 7: Versuchsbestand Sommersversuch 2019 RLP (Hauck).....	23
Abbildung 8: Markierte Rückegasse im Sommersversuch 2019 RLP (Hauck)	23
Abbildung 9: Definitionsdatei für das Programm TimCap 2.0 für die Arbeitsstudien des Harvestereinsatzes im Sommer 2019 in Rheinland-Pfalz	24
Abbildung 10: Komatsu 931 XC mit S-132 Aggregat im Einsatz (Hauck).....	24
Abbildung 11: Sägeabschnitt nach Entrindung im Sägewerk (Hauck).....	25
Abbildung 12: Vollständig vom Debarking Head entrindete Sägeabschnitte links sehr guter, rechts mittlerer Qualität (Hauck).....	25
Abbildung 13: Komatsu 845 beim Poltern entrindeter Abschnitte (Hauck).....	28
Abbildung 14: Definitionsdatei für die Arbeitsstudien des Forwarders.....	28
Abbildung 15: Frisch entrindetes Holz (links), entrindetes Holz nach einem Tag Lagerung (Hauck).....	29
Abbildung 16: Komatsu 345 beim Laden der entrindeten Abschnitte (Hauck).....	30
Abbildung 17: Beladener Holz-Lkw mit entrindeten 5-m-Abschnitten (Hauck).....	31
Abbildung 18: Abtransport des Holzes aus dem Wald ins Werk (Hauck)	32
Abbildung 19: Entladen des Holz-Lkw im Werk (Hauck).....	32
Abbildung 20: Übersichtskarte der Unternehmen, die (Stand 2019) Entrindung mit mobilen Entrindungsanlagen anbieten (Hauck).....	35
Abbildung 21: Entrindungsmaschine Doll Klosterreichenbach (Fa. Weiss, Hauck)	35
Abbildung 22: links: Rotorenrinder, Model PRD der Firma Pallmann, rechts: Moderne Trommelentrindungsanlage; Typ PDD der Firma Pallmann (beide Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co.KG).	36
Abbildung 23: Fichtenabschnitte 2018, links (Grünberger) und 2020, rechts (Heinrich).....	38
Abbildung 24: Kiefernabschnitte 2018, links (Grünberger) und 2020, rechts (Heinrich)	38
Abbildung 25: Qualität des gelagerten Holzes im Sommer 2021 (Hauck).....	38
Abbildung 26: Versuchsablauf für die Bestimmung von Feinstaubemissionen und Aschegehalt bei entrindetem und unentrindetem Holz (Lankes 2019).....	40
Abbildung 27: Eklektoren im Bestand (Weiß 2020)	42
Abbildung 28: Rindenzersetzungsversuch von fünf Baumarten im Pappel-Energiewald am Tag der Anlage	45
Abbildung 29: Rindenzersetzungsversuch von fünf Baumarten in einem Fichten-dominierten Altbestand im Thalhauser Forst am Tag der Anlage	45
Abbildung 30: Rindenzersetzungsversuch nach 18 Monaten, Ausschnitt Lärche (links) und Buche (rechts) auf Mullboden.....	46
Abbildung 31: Entwicklung der Nährelementgehalte in der zurückbleibenden Rinde	47
Abbildung 32: Entwicklung der Nährstoffgehalte in der zurückbleibenden Rinde	47
Abbildung 33: THG-Emissionen der Bereitstellungskette für Sägerundholz abhängig von den Transportdistanzen bis zum Sägewerk (Baumann, 2020).....	53
Abbildung 34: Einsatz von Debarking Heads in einem Käferloch (Lippert).....	56
Abbildung 35: Piktogramm Harvester mit herkömmlichem Aggregat (links) und mit Entrindungsaggregat (rechts)	56
Abbildung 36: Funktiogramm für Einsatz von Debarking Heads.....	57
Abbildung 37: Projektflyer Debarking Head II - Interforst	57
Abbildung 38: Projektflyer Debarking Heads 2020	58
Abbildung 39: Vorbereitete Eingangstafel für Exkursionspunkt zur 18. KWF-Tagung	61
Abbildung 40: Vorbereitete Inhaltstafeln zur 18. KWF-Tagung	61
Abbildung 41: Nährstoffbilanz in der Kranzone ohne Rückverteilung [2.500 m ²]	66
Abbildung 42: Nährstoffbilanz in der Kranzone mit Rückverteilung [2.500 m ²]	66
Abbildung 43: Flyer Debarking Heads, Landesforsten Rheinland-Pfalz	69

III Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Ergebnisse der Zeitstudie „Fällen, Aufarbeiten“ mit dem Harvester im Sommer 2019 in Rheinland-Pfalz</i>	25
<i>Tabelle 2: Einschätzung der Holzqualität von Sägeabschnitten nach dem Entrinden mit dem Harvester (Sommerversuch 2019 Rheinland-Pfalz)</i>	26
<i>Tabelle 3: Einschätzung des Entrindungsprozentes von Sägeabschnitten (Sommerversuch 2019 Rheinland-Pfalz)</i>	26
<i>Tabelle 4: Vergleich manuelle Vermessung und Werkseingangsmaß</i>	27
<i>Tabelle 5: Ergebnisse der Arbeitsstudie Rücken</i>	29
<i>Tabelle 6: Dauer des Aufladens von entrindeten Säge-Abschnitten (Zahlen aus Arbeitsstudie von 2019)</i>	31
<i>Tabelle 7: Nutzlast eines Abfuhr-LKW</i>	33
<i>Tabelle 8: Vor- und Nachteile stationärer Anlagen (nach Leidner 2015)</i>	36
<i>Tabelle 9: Vor- und Nachteile mobiler Anlagen (nach Leidner 2015)</i>	37
<i>Tabelle 10: Vor- und Nachteile des entrindenden Harvesteraggregates (nach Leidner 2015)</i>	37
<i>Tabelle 11: Aschegehalte von Fichte, Buche und Pappel (Lankes 2019)</i>	40
<i>Tabelle 12: Feinstaubemission von Fichte, Buche und Pappel (Lankes 2019)</i>	41
<i>Tabelle 13: Vergleich Arbeitsproduktivität mit und ohne Entrindung</i>	49
<i>Tabelle 14: Vergleich Kosten mit und ohne Entrindung</i>	49
<i>Tabelle 15: Kostensätze zur Berechnung der Kosten in Tabelle 13</i>	49
<i>Tabelle 16: Darstellung der SWOT-Matrix zu Debarking Heads, Vergleiche beziehen sich auf das konventionelle Holzernteverfahren mit dem Harvester (nach Gardik-Karda 2020)</i>	50
<i>Tabelle 17: Basisannahmen für die Modellierung der Rundholztransporte (Baumann 2020)</i>	53
<i>Tabelle 18: Projektpräsentationen auf Tagungen und Messen</i>	58
<i>Tabelle 19: Vorträge über das Projekt und die Zwischenergebnisse</i>	58
<i>Tabelle 20: Drei Varianten von Arbeitsverfahren zur Überprüfung der Nährstoffbilanzierung</i>	65
<i>Tabelle 21: Bestand Idarwald K, Ca, Mg - Nährstoff (+/-), nach Zone und Variante. Humus und Mineralboden Vorräte</i>	67
<i>Tabelle 22: Liste der Publikationen nach Erscheinungsjahr</i>	70
<i>Tabelle 23: Liste externer Publikationen</i>	72

IV Abkürzungsverzeichnis

AAA	Arbeitsablaufschritt
AP	Arbeitspaket
BaySF	Bayerische Staatsforsten
BHD	Brusthöhendurchmesser
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
DeSH	Deutsche Säge- und Holzindustrie
EST	Tarifvertrag über die Entlohnung von Holzerntearbeiten nach dem Erweiterten Sortentarif
FAWF	Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Trippstadt
FCBA	Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement
Fm	Festmeter
FNEDT	Fédération Nationale des Entrepreneurs du Territoire
FORMEC	Symposium „Forestry Mechanization“
FoWiTa	Forstwissenschaftliche Tagung
FVA BW	Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg
Gew%	Gewichtsprozent
HSWT	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
KWF	Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.
KWL	Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten
LKW	Lastkraftwagen
LCA	life cycle assessment (Lebenszyklusanalyse)
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
Ma%	Masseprozent
m.R.	mit Rinde
N	Stichprobenumfang
Nm ³	Normkubikmeter (Normvolumen)

ONF	Office National des Forêts
o.R.	ohne Rinde
RVR	Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland
StVZO	Straßenverkehrszulassungsverordnung
SWOT	(S-Strengths – Stärken, W-Weaknesses – Schwächen, O-Opportunities – Chancen, T-Threats – Risiken)
TAÉ	Projektkronym des ONF Projekts "Têtes d'abattage-écorceuse"
TAP	Technische Arbeitsproduktivität
TFZ	Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe
THG	Treibhausgas
T-LiDAR	Terrestrischer Laserscanner (Terrestrial Light Detection and Ranging)
TUM	Technische Universität München
Vfm	Vorratsfestmeter

Soweit in dem folgenden Text personenbezogene Bezeichnungen im Interesse einer leichteren Lesbarkeit in der einzigen Form stehen, wird diese Form verallgemeinernd verwendet und bezieht sich auf alle Geschlechter.

1 Ziele

1.1 Aufgabenstellung

Innerhalb des vorangegangenen Projektes „Debarking Heads“ (Laufzeit vom 01.09.2014 -31.11.2017) wurde untersucht, ob durch den Einsatz entrindender Harvesterköpfe heimische Baumarten in gängigen Arbeitsverfahren wirtschaftlich zu entrinden sind. Es wurde also die technische Machbarkeit der Nutzung von modifizierten Harvesterfällköpfen untersucht und aufgezeigt. Während des Projektverlaufes hat sich gezeigt, dass für das entrindete Rundholz eine von den gängigen Abläufen abweichende Logistikkette erforderlich sein wird. Deren Analyse und Beurteilung sind die Hauptaufgaben im Projekt „Debarking Heads II“.

Entrindetes Rundholz weist ein deutlich verringertes Gewicht auf. Beim Transport werden daher positive Effekte auf die Transportlogistik, gleichzeitig aber ein höherer Aufwand aufgrund der glatten Stammoberflächen in der Ladungssicherung erwartet. Für die abnehmende Holzindustrie ist außerdem die Qualität des entrindeten Holzes relevant, da mit zunehmender Lagerungsdauer Qualitätsverluste nicht ausgeschlossen werden. Deshalb erfolgt innerhalb der Projektlaufzeit durch Lagerversuche eine Dokumentation der Qualität (Pilzbefall, Rissbildung etc.).

Die erwarteten finanziellen und ökologischen Vorteile in der Logistikkette (durch Einsparung von Kraftstoff und somit geringeren Ausstoß von klimaschädlichen Abgasen) können darüber hinaus ein wichtiges Argument sein, um die Akzeptanz beim Verkauf von im Wald entrindetem Rundholz zu erhöhen.

Aufgrund der zahlreichen Nachfragen aus dem Bereich Waldschutz, die im Laufe des Vorgängerprojektes an das Projektkonsortium herangetragen wurden, werden die Waldschutzaspekte in Bezug auf rinden- und holzbrütende Insekten, ein Thema, welches im Projekt Debarking Heads I nachrangig war, ebenfalls untersucht werden. Hierzu werden Logistik- und Entrindungsstudien durchgeführt, um das Entrindungsverfahren bei Käferholz mit den untersuchten entrindenden Harvesterfällköpfen für die Praxis zu testen und zu bewerten.

Das Gesamtziel besteht darin, nach Abschluss des Projektes der Forst- und Holzwirtschaft Verfahrensempfehlungen für die einzelnen Schritte der Logistikkette und für alle Beteiligten in der Wertschöpfungskette Holz zu geben, die auf den zuvor erfolgten ökonomischen und ökologischen Analysen sowie deren Bewertung basieren. Die Ergebnisse des Projektes sollen dazu dienen, den Absatz von im Wald entrindetem Rundholz zu stärken und eine Strategie für die Bekämpfung des Borkenkäfers in diese Prozesse einzugliedern, damit Debarking Heads in Deutschland zukünftig verstärkt Einsatz finden.

Folgende Aufgabenschwerpunkte enthält das Projekt Debarking Heads II:

- Entwicklung von Logistikketten für Nadelhölzer nach Harvesterentrindung, Erfassung der Mehr-/ Minderleistung, Ermittlung der Gesamtkosten für die Systeme (Ernte, Rückung, Transport).
- Wirtschaftlicher Vergleich von Harvesterentrindung im Bestand und alternativen Entrindungsformen.
- Analyse der wirtschaftlichen Auswirkungen auf die Holzlogistikkette und der Potentiale in der Kraftstoffeinsparung durch Gewichtsreduktion.

- Akzeptanzanalysen bei den Abnehmern von entrindeten Stammabschnitten (Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Sägeindustrie) und Abschätzung der Möglichkeiten der Vermarktung der neuen Sortimente.
- Bewertung der reduzierten Feinstaub- und Aschegehalte bei energetischer Nutzung von entrindetem Energieholz.
- Abschätzung der Potentiale der neuen Arbeitsverfahren in der Borkenkäferbekämpfung und – prophylaxe in Fichtenbeständen
- Anlage von langfristigen Untersuchungen zur Zersetzungsgeschwindigkeit und -qualität der im Wald verbleibenden Rindenhaufen.

Nach Abschluss des Projektes soll somit jeder Beteiligte in der Wertschöpfungskette Holz die Möglichkeit haben, Entrindung als Teil der Wertschöpfung für sich, unter Berücksichtigung der ökonomischen und ökologischen Einflussfaktoren, umfassend zu bewerten und zu beurteilen. Eine hohe Transparenz des Systems hilft, Vorbehalte abzubauen und Potentiale einer langfristigen Etablierung des Systems auf dem mitteleuropäischen Markt zu untermauern.

1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Außerhalb des Projektes „Debarking Heads“ gibt es kaum verfügbare wissenschaftliche Publikationen, die sich mit den Eigenschaften, Modifikationen oder der Entwicklung von entrindenden Aggregaten befassen. Für die Fragestellung der Prozesskettenanalyse gibt es bisher keine verfügbaren wissenschaftlichen Untersuchungen.

Innerhalb des Verbundprojektes „Nähstoffentzug bei der Holzernte minimieren - durch Nutzung von entrindeten Harvesterköpfen (Debarking Heads)“ wurde die Option der Entrindung europäischer Nadelbaumarten durch modifizierte Harvesteraggregate untersucht und nachgewiesen. Zusätzlich zur grundsätzlichen technischen Machbarkeit wurden Einflussgrößen auf die Entrindung analysiert wie Vegetationszeit, Baumart, Wuchsform oder Astigkeit.

In Niedersachsen und Bayern wurden verschiedene Feldversuche mit unterschiedlichen Baumarten, Durchmesser und Altersklassen durchgeführt. Diese Tests wurden sowohl in der Sommer- als auch in der Wintersaison wiederholt, um den Einfluss der damit verbundenen Saftströme auf die Entrindungsqualität zu bewerten. Zur Beurteilung der Entrindungsfähigkeit aufgrund von Harvesteraggregatmodifikationen wurden Messungen des Entrindungsprozentsatzes mit einer neu entwickelten fotooptischen Analysesoftware und einem terrestrischen Laserscanner (T-LiDAR) durchgeführt. Innerhalb des Studiendesigns wurden drei verschiedene Ernteköpfe modifiziert, um die verschiedenen mechanischen Eigenschaften und Aufbauten zu bewerten (*Abbildung 1*).

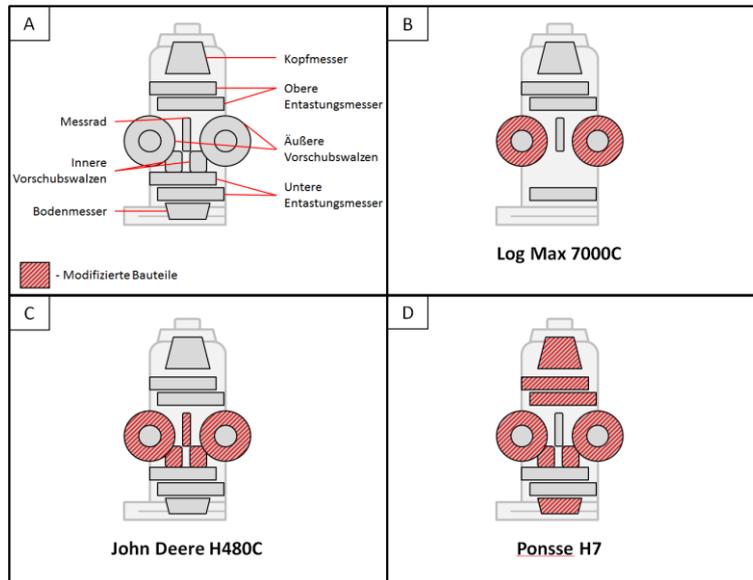


Abbildung 1: Modifikationen an den drei eingesetzten Harvesteraggregaten (Schlussbericht DH1 2019)

Die Hauptkenntnisse des Projektes „Debarking Heads (I)“ sind:

- Die Entrindung mit einem Harvesteraggregat ist für die gängigen, forstmaschinengeeigneten Baumarten, z. B. Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie technisch machbar, erreicht einen zufriedenstellenden Entrindungsgrad und ist auch wirtschaftlich darstellbar.
- Die Entrindung mit einem Harvesteraggregat ist für weitere (Laub-) Baumarten, z. B. Buche, Eiche, Birke, Pappel, ebenso machbar.
- Einschränkungen bei der Entrindung ergeben sich bei der Holzernte, die nicht im geeigneten Durchmesserbereich des jeweiligen Harvesteraggregates und der zugehörigen Trägermaschine liegen.
- Die im Projekt vorgenommenen Aufnahmen zur Beeinflussung des Harvestermaßes durch die zusätzliche Entrindung ergaben nur eine geringe Abweichung zum realen Maß und sind qualitativ gleichwertig mit denen der Standardaufarbeitung.
- Es ist möglich, mit den Entrindungswalzen mit einmaligem Durchschub eine konventionelle Holzernte durchzuführen, ohne an Wirtschaftlichkeit zu verlieren.
- Die Untersuchungen zum Entrinderungsergebnis der vorgenommenen Modifikationen zeigten einen klaren Einfluss der Vegetationszeit auf die Entrindung.
- Die Entrindung mit Harvesteraggregaten ist außerhalb der Vegetationszeit bislang nicht empfehlenswert. Zwar ist es möglich, die Rinde zu entfernen, allerdings wird, wenn eine möglichst vollständige Entrindung angestrebt wird, der Holzkörper hierbei so beschädigt, dass die Vermarktbarkeit des Holzes fraglich ist.
- Es konnte nachgewiesen werden, dass die Eindringtiefe der Entrindungswalzen signifikant geringer war als die der konventionell genutzten Stachelwalzen. Dagegen nahmen die Schäden der Entastungsmesser am Holzkörper auf Grund der Einstellungen zu.

Die ökonomischen und ökologischen Analysen brachten vielversprechende Ergebnisse.

Abhängig von Jahreszeit und Baumart konnte ein mittleres Entrindungsprozent von 87 % im Sommer und 53 % im Winter erreicht werden. Das bedeutet, dass im Sommer bei Anwendung der im Projekt getesteten Technik knapp 90 % der rindengebundenen Nährstoffe im Bestand verbleiben können.

Die reine Aufarbeitungszeit eines Stammes nahm bei den Versuchen um etwa ein Drittel zu. Die Gesamtarbeitsleistung des Harvesters (Fm/MAS) verringert sich dadurch um etwa 10 %. In den Versuchen, die in Fichten bzw. Kiefern dominierten Beständen stattfanden, stiegen die Gesamtkosten der Holzerntemaßnahme um bis zu 5 €/Fm, dabei wurden weitere Kostenfaktoren wie die Investitionskosten für die Umrüstsätze, die Standzeiten für die Umbauten am Aggregat und die Minderleistung während der Einarbeitungszeit des Maschinenführers nicht berücksichtigt (Schlussbericht DH1 2019).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Modifikationen an den Harvesterfällköpfen erfolgreich verliefen und vor allem für die Sommerzeit die Erwartungen übertrafen. Für die Winterzeit besteht noch Verbesserungspotenzial, sollte ein Einsatz ebenfalls zu dieser Jahreszeit gewünscht sein. Empfohlen werden kann das System derzeit grundsätzlich für Hiebe,

- bei denen ein möglichst hoher Anteil der Nährstoffe im Bestand zurückbleiben soll,
- bei denen das Holz zeitnah entrinde werden soll (Borkenkäfer-Prävention).

Um die Bestandsschäden gering zu halten, empfiehlt es sich vorsorglich, das System nicht in dichten Beständen oder Endnutzungen mit hoher gesicherter Vorausverjüngung einzusetzen oder einen erhöhten Aufwand für das Manipulieren der gefällten Stämme in übersichtliche Zonen in Kauf zu nehmen.

Entrindende Harvestertechnik in Deutschland

Derzeit sind in Deutschland modifizierte Harvesteraggregate der Hersteller John Deere, LogMax/Komatsu sowie Ponsse im Einsatz. Eine Recherche im Jahr 2019 ergab, dass bereits 35 solcher Aggregate in deutschen Wäldern entrinde.

Die Unternehmen, die mit einem Debarking Head arbeiten, wurden in eine Datenbank aufgenommen. Aus ihr wird eine Karte generiert, die online frei zugänglich ist (Abbildung 2). Die Datenbank wird ständig aktualisiert. Die Karte ist unter <http://dh2.kwf-online.de/> verfügbar.

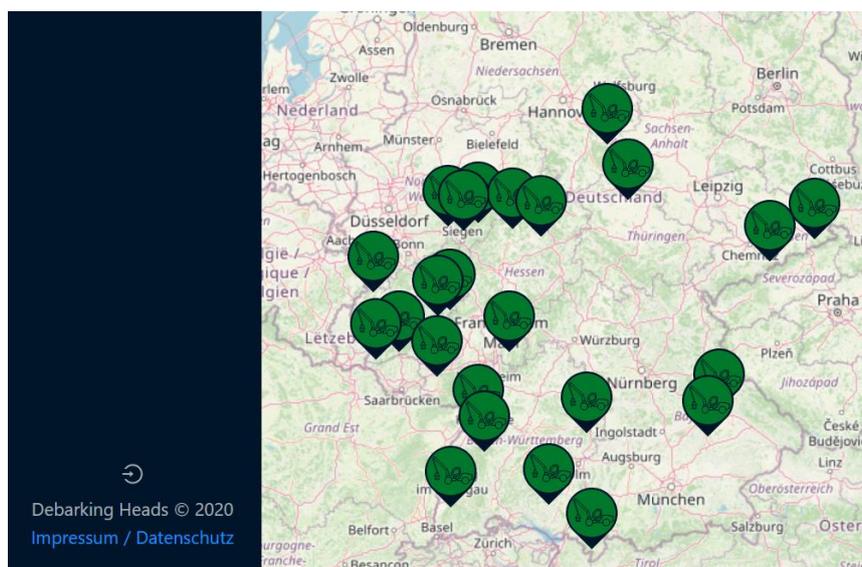


Abbildung 2: Screenshot (Stand: 30.10.2021) der online verfügbaren Karte, die die Forstunternehmen zeigt, die Debarking Heads einsetzen

1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Seit 2017 beschäftigt sich das **Institut für Forsttechnik an der Universität für Bodenkultur (BOKU)** in Wien mit der Harvesterentrindung. Das Projekt „Entrindung mit dem Harvesteraggregat als Maßnahme zur Borkenkäferbekämpfung – Eine detaillierte Prozess- und Potenzialanalyse“ endete 2020. Ziel dieses interdisziplinären Forschungsprojektes war es, die Potenziale der Entrindung durch Harvester bei der vollmechanisierten Holzernte einerseits forsttechnisch und andererseits entomologisch detailliert zu untersuchen und deren Aspekte für die nachgelagerten Akteure in der Bereitstellungskette darzustellen.

Bei einem Workshop zu diesem Projekt im Dezember 2017 gaben die Vertreter der HSWT und des KWF einen Überblick zu den aktuellen Erkenntnissen zum Thema Entrindung aus Deutschland. Mit den österreichischen Wissenschaftlern von der BOKU Wien bestand fortlaufender Austausch. Unter waldwissen.net ist mittlerweile ein Beitrag erschienen, der die aktuellen (Zwischen-)Ergebnisse der Versuche in Österreich zeigt und an die Versuche in Deutschland anknüpft (Holzleitner et al. 2021).

Zur Unterstützung des Technologietransfers „Debarking Heads“ in Frankreich trafen sich die Projektpartner im Mai 2019 mit einem Vertreter des **Office National des Forêts (ONF)** aus Frankreich. Nach intensivem Austausch wurde im September ein Projektantrag „Utilisation des têtes d’abattage-écorceuse en forêt tempérée pour la protection sanitaire des peuplements et pour le maintien de la fertilité des sols – Projet « TAÉ » (Einsatz von entrindenden Harvesterköpfen im gemäßigten Wald zum Schutz der Bestandesgesundheit und zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit) an France-Bois-Forêt eingereicht. Ziele des Projektes sind

- Test der Technik der modifizierten Harvesterköpfe in Frankreich auf den in Deutschland erworbenen Grundlagen am Beispiel zweier Baumarten.
- Bewertung der Kosten beim Entrinden und der Rückgabe von Mineralelementen im Vergleich zu den Ergebnissen, die mit herkömmlichen Harvesteraggregaten erzielt wurden.
- Umfassende und aktive Kommunikation an alle relevanten Akteure zur raschen und aktiven Einführung und Verbreitung dieses neuen Arbeitsverfahrens.

Projektpartner sind neben der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) und dem Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF) in Deutschland folgende Institutionen in Frankreich:

- Office National des Forêts (ONF)
- Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement (FCBA)
- Fédération nationale des entrepreneurs des territoires (FNEDT).

Das Projekt startete im Oktober 2020. Im Frühjahr 2021 fanden erste, mit vergleichbarer Methodik begleitete Versuchseinsätze in Frankreich statt. Die vorläufigen Ergebnisse bestätigen die Erfahrungen aus Deutschland etwa hinsichtlich der erreichbaren Entrindungsprozente und der entstehenden Mehrkosten bei der Harvesterarbeit (vgl. auch Ulrich 2021).

2019 fand eine Versuchsreihe vom **Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten (KWL)** in Hermeskeil (Rheinland-Pfalz) und dem KWF statt. Vom Bestand über den Einsatz von Harvester und Forwarder bis zum Transport ins Sägewerk untersuchten die Partner die gesamte Verfahrenskette, sozusagen vom Baum zum Brett. Neben einem optimalen Arbeitsverfahren und damit verbunden der Leistung und den zu erwartenden Kosten richtete sich die Aufmerksamkeit u. a. auch auf die Bestandespfleglichkeit, die

Beanspruchung der Fahrer oder auch die Beanspruchung des Aggregates an sich. Besonders interessierte die Partner auch die Beurteilung des entrindeten Holzes aus Sicht der holzbearbeitenden Industrie.

Um die Erfahrungen derjenigen zu sammeln und zu berücksichtigen, die mit einem entrindenden Harvesteraggregat arbeiten, stellten die Projektpartner direkten Kontakt zu vielen **Unternehmern bzw. Harvesterfahrern** her. Meist in telefonischen Interviews, aber auch in direkten Gesprächen, konnten teilweise bestehende Erkenntnisse aus Versuchen bestätigt, aber auch noch offen gebliebene Fragen der bisherigen Untersuchungen angesprochen und Anregungen für die weitere Projektarbeit gewonnen werden.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit, die von der HSWT betreut wurde, wurden im Frühjahr 2019 Versuche in Zusammenarbeit mit dem Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe in Straubing durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in *AP 2 Konzeption, Analyse und Bewertungen der Holzlogistikette* beschrieben.

Eine weitere Bachelorarbeit an der HSWT wurde in Zusammenarbeit mit der Holzforschung München, die zur Technischen Universität München (TUM) gehört, durchgeführt. Am Forschungsbereich Stoffstrommanagement der Professur für Holzwissenschaften werden regelmäßig Studien zu Ökobilanzen durchgeführt. In engem Austausch mit Frau Prof. Dr. Weber-Blaschke sowie Frau Helm wurde ein Life Cycle Assessment zu Debarking Heads durchgeführt. Die Ergebnisse hiervon werden im

AP 5 Datenanalyse und Bilanzierung beschrieben.

Im Rahmen des Projekts bestand über die in Rheinland-Pfalz 2019 durchgeführten Versuche ein reger Erfahrungsaustausch zur Waldschutzabteilung der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA). Diese befasste sich in dem Projekt „Entwicklung des Buchdruckers (Ips typographus L.) an vollmaschinell aufgearbeiteten Stammholz-Poltern (Prophylaxe), der Einfluss der vollmechanisierten Holzernte auf den Bruterfolg in bereits besiedelten Hölzern (Therapie) im Vergleich zu debarking heads und der Vor-Ausflug-Spritzung“ mit der Waldschutzwirksamkeit u. a. von Debarking Heads (vgl. Delb et al. 2021).



Abbildung 3: Informationsaustausch in Baden-Württemberg zum Einsatz von Debarking Heads (Hauck)

Die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Trippstadt (FAWF) begleitete den Einsatz des Debarking Head im rheinland-pfälzischen Forstamt Idarwald. Die Aufgabe der FAWF bestand darin, den Nährstoffverbleib oder Nährstoffentzug bei Einsatz von Debarking Heads zu erfassen und möglichst zu beurteilen. Die entsprechende Dokumentation dazu steht kurz vor der Veröffentlichung und findet in Teilen Eingang in diesen Abschlussbericht.

2 Ergebnisse

2.1 Darstellung erzielter Ergebnisse

Im Folgenden werden nach Arbeitspaketen gegliedert die erreichten Ergebnisse wie auch die gesammelten wesentlichen Erfahrungen aus der Bearbeitung des Vorhabens dargestellt.

2.1.1 Wesentliche Ergebnisse des Vorhabens

Im Laufe des Projektes wurden verschiedene weiterführende Versuche durchgeführt und Erkenntnisse gesammelt:

- Debarkings Heads haben den Weg in die Praxis gefunden.
- Die Entrindung zur insektizidfreien Borkenkäfer-Prävention wird beginnend in der Praxis eingesetzt.
- Die Entrindung ist aus Sicht von Waldschutzexperten nur sinnvoll, wenn die Käfer im frühen („weißen“) Entwicklungsstadium sind. Die höchste Wirksamkeit der Entrindung wird im Frühjahr mit Auftreten des ersten Neubefalls erreicht.
- Der Einsatz von Debarking Heads eignet sich besonders zur Aufarbeitung verstreuter Kleinmengen.
- Die Logistikkette von entrindetem Holz unterscheidet sich, nachdem die Rundhölzer abgetrocknet sind, nicht signifikant von den Abläufen der Logistikkette von unentrindetem Holz: Empfehlung von witterungsabhängig etwa einwöchiger Trocknungsdauer vor der Rückung und der Abfuhr.
- Das Verfahren bietet logistische Vorteile beim Rücken, insbesondere auf Weichböden, da beim Rücken von entrindetem Fichtenholz geeignete Bedingungen abgewartet werden können. Es besteht kein Zeitdruck, da weder ein Ausflug von Borkenkäfern droht noch eine Besiedlung. Beim Rücken selbst wird weniger Last bewegt und es werden in Summe weniger Überfahrten nötig.
- Da die Rinde nicht mittransportiert und trockeneres Holz geladen wird, erhöht sich die Transportkapazität der LKW. Der Treibstoffverbrauch pro Kubikmeter Holz wird geringer. Die Ökoeffizienz der Bereitstellungskette mit Entrindung im Bestand ist besser als die konventionellen Logistikketten mit Werksentrindung. Sie ist auch höher als bei einer Entrindung an der Waldstraße, da hier zusätzlich und zwingend ein Entrindungszug benötigt wird. Die Vorteilhaftigkeit steigt mit zunehmender Transportentfernung.
- Rückmeldungen der Akteure zeigen, dass bisher der Nährstoffehalt im Ökosystem nicht der Haupttreiber für die Umrüstung ist.
- Verletzung des Holzkörpers ist nur marginal (bei einigen Sortimenten, insbesondere dem Käferholz irrelevant).
- Bläue tritt zwar auch bei entrindetem Holz auf, ist aber insbesondere bei von Kalamitätsholz dominierten Marktlagen kein Ausschlusskriterium.
- Die Akzeptanz von entrindetem Holz bzw. Einsatz von Entrindungsaggregaten wird besonders durch die geringe Abnahmebereitschaft von Sägewerken mit eigenen Entrindungsanlagen gehemmt.

2.1.2 Ergebnisse nach Arbeitspaketen

AP 1 Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz – Schlussfolgerungen für die Logistik

Verantwortlicher Projektpartner: HSWT

Beteiligter Projektpartner: KWF

Für die Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit an der HSWT (Huber 2018) im Frühjahr 2018 ein Fragebogen entwickelt, der an verschiedene Akteure der Sägeindustrie in Deutschland gesandt wurde. Die Beantwortung der acht Seiten des Fragebogens erfolgte in Papierform, der Fragebogen wurde per Mail versandt und musste händisch ausgefüllt und anschließend wieder zurückgeschickt werden. 295 Unternehmen wurden angeschrieben, der Rücklauf lag mit 21 Fragebögen bei 7 %. 86 % der Antworten kamen von Sägewerken, 9 % von Zellstoff- bzw. Papierwerken und 5 % von Holzwerkstoffwerken. Da die Fragen jeweils von unterschiedlich vielen Personen beantwortet wurden, ist in der Folge jeweils der Stichprobenumfang N angegeben.

63 % der Unternehmer bekommen Holz in Rinde geliefert, lediglich 11 % der Antwortenden erhalten bereits entrindetes Holz (N=19). Bei 68 % der Unternehmen (N=19) ist die Werksvermessung nicht an die Entrindung gekoppelt, entrindetes Holz könnte also vermessen werden, ohne durch die Entrindungsanlage geführt zu werden, bei den restlichen 32 % wäre dies durch die Kopplung der Entrindung mit der Vermessung nicht möglich. Auf die Frage, ob die Rinde nach der Entrindung der Stämme im Unternehmen weiterverarbeitet wird, antworteten lediglich 31 % bejahend (N=16). Ebenso wurde nur von 37 % (N=16) angegeben, dass die Rinde in eigenen Versorgungsanlagen, also beispielsweise für den Betrieb der Heizung oder der Trocknung, eingesetzt wird. Wird die Rinde nicht im eigenen Unternehmen verwertet, wird sie meist in den Garten- und Landschaftsbau abgegeben (56 %, N=16), dabei macht die Vermarktung der Rindenprodukte bei allen Antwortenden weniger als 5 % des Umsatzes aus (N=14). Die Mehrkosten für die Entrindung im Werk pro Festmeter belaufen sich in 72 % auf bis zu 4 € (N=14). Würde ausschließlich entrindetes Holz in die Werke geliefert werden, geben 86 % der Antwortenden an, dass sich keine messbaren monetären Auswirkungen gäbe (N=14). Dennoch geben 43 % der Teilnehmer der Umfrage (N=14) ihre Bereitschaft harvesterentrindetes Holz zu verwenden als "mittel" bis "gering" an. Die grundsätzliche Bereitschaft harvesterentrindetes Holz einzukaufen wird von der Hälfte der Teilnehmer als vorhanden angegeben (N=14).

Besonders der geringe Rücklauf des Fragebogens und der dadurch geringe Stichprobenumfang machen die Zahlen wenig belastbar. Mögliche Ursachen für die Teilnehmerzahlen könnten das händische Ausfüllen, die Länge des Fragebogens oder die Art der Kontaktaufnahme (per E-Mail) sein.

Infolge dessen wurde im Mai 2019 ein verkürzter Fragebogen erstellt und an den Bundesverband Deutsche Säge- und Holzindustrie (DeSH) weitergeleitet, mit der Bitte, ihn an die Mitglieder zu verteilen. Dies wurde abgelehnt und die Rückmeldung des DeSH war dem Thema Debarking Heads gegenüber sehr kritisch. Obwohl das Verkaufsmaß für Rohholzsortimente laut Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel (RVR) i.d.R. Fm o.R. ist, wird das Holz meist in Rinde abgegeben. Die Rinde wird dann meist thermisch verwertet und im eigenen Werk eingesetzt oder z.B. zu Rindenmulch verarbeitet und weiterverkauft. Dass die Bereitschaft gering ist, auf dieses Koppelprodukt zu verzichten, ist nachzuvollziehen.

Die Argumente, die der DeSH zurückgemeldet hat, sind vielfältig. Neben dem Wegfall der Rinde als ressourceneffizienter Bestandteil der Gewinnung von Energie für die Produktionsabläufe wird die Rinde

als unerlässlich für die Qualitätsansprache bezeichnet. Ebenso wird berichtet, dass die Nasslagerung von entrindetem Holz problematisch sei, es zudem ohne die Rinde zu stärkeren Verunreinigungen von Stämmen und somit höherem Verschleiß der Sägen käme. Nicht zuletzt würde die Stammholzqualität durch die auftretenden Verletzungen des Holzkörpers gemindert.

Einige der geäußerten Vorbehalte lassen sich von der Hand weisen oder sind nicht mit Untersuchungen belegbar. Beispielsweise ist beim Verkauf von Holz nach RVR zur Qualitätssortierung keine Rinde erforderlich. Besonders bei Massensortimenten der Baumarten Fichte oder Kiefer dürften sich hier keinerlei Einschränkungen ergeben. Käferholz und Holz aus vollmechanisierten Sommerernten erreicht regelmäßig das Werk teilentrindet, dieser Umstand ist in den letzten Jahrzehnten nicht bemängelt worden. Eine möglicherweise schlechter durchführbare Nasslagerung von entrindetem Holz ist dahingehend unwirksam, da Holz für eine Lagerung entweder entrindet oder ins Nasslager verbracht wird, eine Nasslagerung von entrindetem Holz ist bisher zumindest nicht üblich.

Eine befürchtete Verunreinigung der Stämme kann minimiert werden, wenn die Rückung, entsprechend den Empfehlungen, die im Projekt ausgegeben werden, erst nach einer etwa einwöchigen Trocknung des Stammes (ca. eine Woche) erfolgt. Im Gegenzug entfallen die Verunreinigungen, die sich in der Rinde befinden. Bei starken Verletzungen des Holzkörpers beim Einsatz von Debarking Heads ist davon auszugehen, dass die Maschineneinstellungen (z.B. Walzenanpressdrücke und Winkel der Entastungsmesser) nicht optimal erfolgt sind. In den Versuchen, die im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden, gelang die Entrindung bei großen Einschlagsmengen insbesondere in der Vegetationszeit ohne Wertminderung durch Stammverletzungen.

Um den Argumenten der DeSH zu begegnen, wurde vermehrt auf Ergebnistransfer (Arbeitspaket 6) gesetzt, um neue Projekterkenntnisse für Fachleute und Laien zugänglich zu machen.

Um trotz mangelnder Kooperation der DeSH bei der Weitergabe des Fragebogens Erkenntnisse aus der Praxis zu den Anforderungen der Holzindustrie zu gewinnen, wurde ein Fragebogen entworfen, der für Forstunternehmer bestimmt war, die mindestens einen Harvester besitzen (Gadrik-Karda 2020). Hierfür wurde auf die Daten der Unternehmerdatenbank der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) zurückgegriffen. Der Fragebogen sollte nicht nur indirekt die Anforderungen der Holzindustrie abfragen, sondern auch die Bekanntheit der Debarking Heads sowie, falls bereits im Einsatz, die Zufriedenheit der Unternehmer mit den Aggregaten. Dabei wurde darauf geachtet, dass es sich um eine anonymisierte Umfrage handelt.

Die Umfrage wurde digital über die Software Questback erstellt. Diese ermöglicht die Strukturierung des Fragebogens sowie die Vorgabe der Antwortmöglichkeiten und die Einrichtung von „wenn-Schleifen“. Darüber hinaus können die abgegebenen Antworten direkt über „EFS Reporting+“ beispielsweise als Excel-Datei ausgegeben werden. Diese Variante der Umfrage ist somit teilnehmerfreundlich, da die Beantwortung vollständig digital erfolgt. Zudem ist die Beantwortung strukturiert und der Teilnehmende wird entsprechend seiner Antworten zur nächsten für ihn vorgesehenen Frage geleitet. Nach Beendigung des Fragebogens wird dieser unmittelbar abgespeichert und steht den Auswertenden zur Verfügung.

Im Fragebogen (*Abbildung 6*) wurden zunächst allgemeine Informationen abgefragt, anschließend die Bekanntheit bzw. der Besitz von Debarking Heads. Je nach Antwort wurde anschließend entweder kurz erläutert, worum es sich handelt, oder es wurden weitere Fragen zur Umrüstung und Zufriedenheit mit dem Entrindungsaggregat gestellt sowie die Bereitschaft zur Umrüstung abgefragt. Zuletzt wurden alle Teilnehmenden nach möglichen Hindernissen für die Abnahme des entrindeten Holzes und nach Abnehmern des entrindeten Holzes gefragt.

Der Fragebogen wurde per Mail an 239 Forstunternehmer gesandt, die im Februar 2020 in der Unternehmerdatenbank hinterlegt waren. Der Fragebogen war vom 25. Februar bis zum 31. März 2020

zur Beantwortung freigeschaltet. Eine Woche vor Ablauf des Bearbeitungszeitraums wurde eine Erinnerungsmail versandt.

Insgesamt wurde der Fragebogen 24-mal beendet. 58 % der Teilnehmer sind in Bayern ansässig, 13 % in Baden-Württemberg, ebenso viele in Thüringen. In Nordrhein-Westfalen haben 8 % der Forstunternehmer ihren Sitz, in Sachsen und Niedersachsen je 4 %. Bei der Abfrage zur Anzahl der Harvester, die im Unternehmen verfügbar sind, reichen die Antworten von 0 bis 7 Maschinen, wobei die meisten (9) der Unternehmer jeweils einen Harvester besitzen.

Alle Antwortenden haben bereits von Debarking Heads gehört, die mögliche Schleife des Fragebogens mit einer Beschreibung zu Debarking Heads, wurde also nicht genutzt. Dass alle Teilnehmer die Entrindungsaggregate kennen, spiegelt die tatsächliche Bekanntheit der Debarking Heads vermutlich nicht repräsentativ für die forstliche Unternehmerschaft wider. Eher ist davon auszugehen, dass der Fragebogen, der in einer Mail mit Betreff „Umfrage zur Akzeptanz von entrindenden Harvesteraggregaten bei Forstunternehmern“ an die Unternehmer geschickt wurde, nur von den Leuten beachtet wurde, die schon von entrindenden Harvesteraggregaten gehört haben. Von den 24 Teilnehmern haben sieben angegeben, einen Debarking Head zu besitzen. Dies entspricht 29 %. 17 Unternehmer, also 71 %, besitzen zum Zeitpunkt der Umfrage kein entsprechendes Aggregat.

Die Entrindung wird von Kunden laut den Antworten der Unternehmer nie (65 %) bzw. selten (35 %) angefragt. Dies spiegelt sich auch in der Umrüstkombereitschaft derer wider, die kein Entrindungsaggregat haben. Lediglich 12 % stufen ihre Bereitschaft zur Umrüstung als hoch oder sehr hoch ein, 24 % stehen einer möglichen Umrüstung neutral gegenüber und 64 % haben eine geringe oder sehr geringe Bereitschaft. Die Gründe für die jeweilige Einordnung der Umrüstkombereitschaft derer, die kein Entrindungsaggregat besitzen, wurden ebenfalls abgefragt. Hierbei stellt sich der Waldschutz als größter Treiber heraus (25 % der Antworten). Das meistgenannte Argument gegen die Umrüstung ist die fehlende Nachfrage nach entrindetem Holz. Diese Antwort wurde in 20 % der Fälle gegeben.

Von den sieben vollzogenen Umrüstungen fanden vier vor mehr als einem Jahr, eine Umrüstung erst maximal drei Monate vor der Umfrage statt. 57 % der Besitzer von Entrindungsaggregaten haben die Umrüstung selbst durchgeführt. Je 20 % der Teilnehmenden gaben an, noch keinen Festmeter, 1.000 Festmeter bzw. 5.000 Festmeter mit dem Aggregat eingeschlagen zu haben, 40 % der Antwortenden haben mit einem Debarking Head bereits mehr als 10.000 Festmeter entrindet. Dabei ist die Fichte die häufigste und in 80 % der Fälle auch die einzige Baumart, die entrindet wird. Die weitere Baumart, die entrindet wurde, ist die Kiefer. 60 % der Unternehmer greifen bei der Entrindung um, 40 % nicht. Die Entrindung wird bei 80 % der Unternehmer mit einem Preisaufschlag von ca. 5 €/Fm abgerechnet, lediglich ein Unternehmer ändert seinen Verrechnungssatz nicht, trotz Herabsenkung der Produktivität. Der Hauptgrund für die bereits erfolgte Umrüstung ist der Waldschutz, hierauf fallen über 50 % der Antworten.

Die Abfrage der Zufriedenheit der Unternehmer bzgl. der umgerüsteten Aggregate erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurde den Teilnehmern die Möglichkeit geboten, bis zu sechs Antworten, geordnet nach ihrer Wichtigkeit, anzugeben. Somit wurden keine Antworten vorgegeben, sondern jeder konnte seine eigenen Argumente entwickeln und niederschreiben. Anschließend wurden vier vorgegebene Kriterien (Produktivität, Entrindungsqualität, Maschinenverschleiß und Handhabung für Maschinenführer) angegeben und die Teilnehmer gebeten, ihre Zufriedenheit diesbezüglich anzugeben. Dazu stand eine 5-stufige Skala (sehr unzufrieden bis sehr zufrieden) zur Auswahl.

Bei der freien Beantwortung wurden zwei Hauptpunkte genannt für Veränderungen, die die Umrüstung mit sich gebracht hat: die Herabsenkung der Produktivität durch das veränderte Verfahren (83 % der Antworten) und die höhere Beanspruchung des Maschinenführers (17 % der Antworten). Als nächstwichtigste Veränderung wurde in 50 % der Fälle der erhöhte Maschinenverschleiß angegeben. Weitere Veränderungen sind der erhöhte Platzbedarf bei der Holzernte bzw. mögliche Schäden am

verbleibenden Bestand (insbesondere der Verjüngung) sowie der mit der Umrüstung des Aggregats verbundene Aufwand (Abbildung 4).

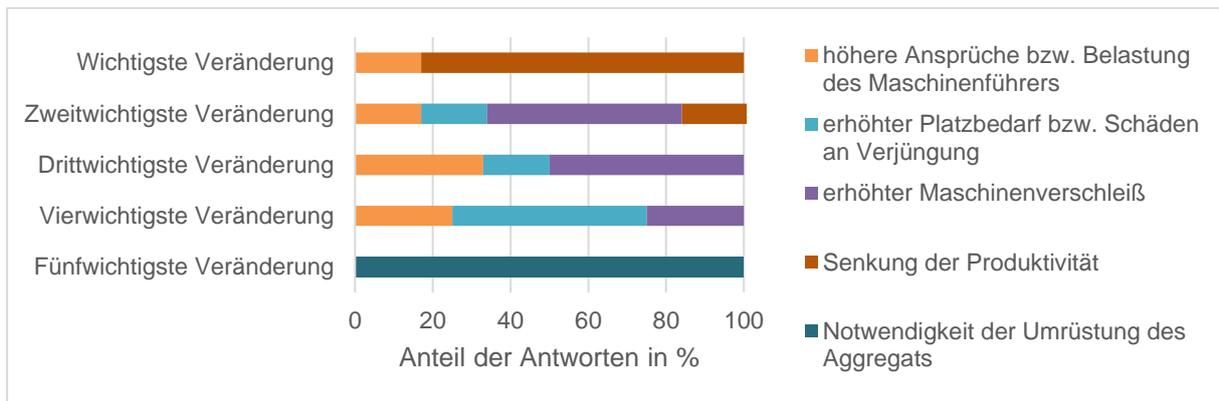


Abbildung 4: Antworten aus Umfrage: Veränderungen durch Umrüstung zu Debarking Head

Die Antworten zur Zufriedenheit mit der Umrüstung in den vier vorgegebenen Kategorien fasst Abbildung 5 zusammen. In den Kategorien „Produktivität“, „Entrindungsqualität“, „Maschinenverschleiß“ und „Handhabung für Maschinenführer“ wurden die Antwortmöglichkeiten „sehr unzufrieden“ oder „sehr zufrieden“ nicht ein einziges Mal ausgewählt.

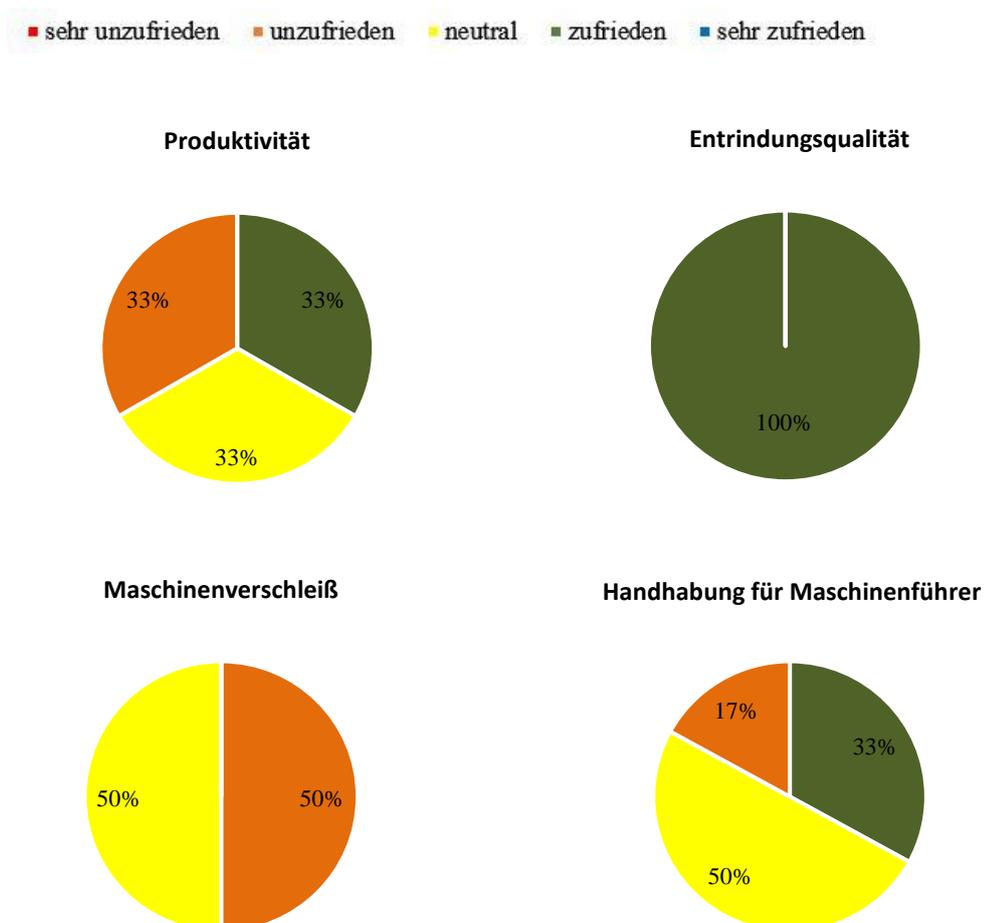


Abbildung 5: Antworten aus Umfrage: Zufriedenheit mit Umrüstung bzgl. verschiedener Aspekte (Gardik-Karda 2020)

Besonders die Zufriedenheit bei der Entrindungsqualität ist mit 100 % auffallend. Am negativsten wird der Maschinenverschleiß bewertet (50 % unzufrieden, 50 % neutral).

Die Fragen zur Vermarktung am Ende des Fragebogens richteten sich wieder an alle Teilnehmenden (N=24). 67 % der Teilnehmer sehen Probleme in der Vermarktung von entrindetem Holz. Meist wird angegeben, dass die Sägewerke das entrindete Holz nicht abnehmen wollen, da sie die Rinde selbst verwerten. Ein Teilnehmer fasst die Schwierigkeiten bei der Vermarktung wie folgt zusammen: „Die Rinde wird bisher kostenlos frei Werk geliefert, zumindest bei Sägeholz. Bei Industrieholz ist die Rinde zwar über ein Raummaß erfasst, wird aber oft über geforderte Waldmaßabzüge egalisiert. Die Industrie nutzt Veredelungen für den günstigen Stoff, z. B. Mercer Timber Products (früher Klausner Holz Thüringen) betreibt damit ein Heizkraftwerk. Dass auf Lieferungen von Rinde von deren Seite verzichtet wird, kann ich mir schwer vorstellen (außer über Preisabschläge)!“.

In welchem Bundesland sind sie tätig?

Wie viele Maschinen sind in Ihrem Unternehmen vorhanden

Mit

- mit John Deere H 270, H 414, H 415 oder H 480 Aggregat kompatibler Harvester vorhanden?
- mit Komatsu S 92, S 132 oder C 123 Aggregat kompatibler Harvester vorhanden?
- mit LogMax 5000, 6000 oder 7000 Aggregat kompatibler Harvester vorhanden?
- mit Konrad Woody 60 Aggregat kompatibler Harvester vorhanden?

Haben Sie schon einmal etwas von entrindenden Vorschubwalzen, Debarking Heads, gehört?



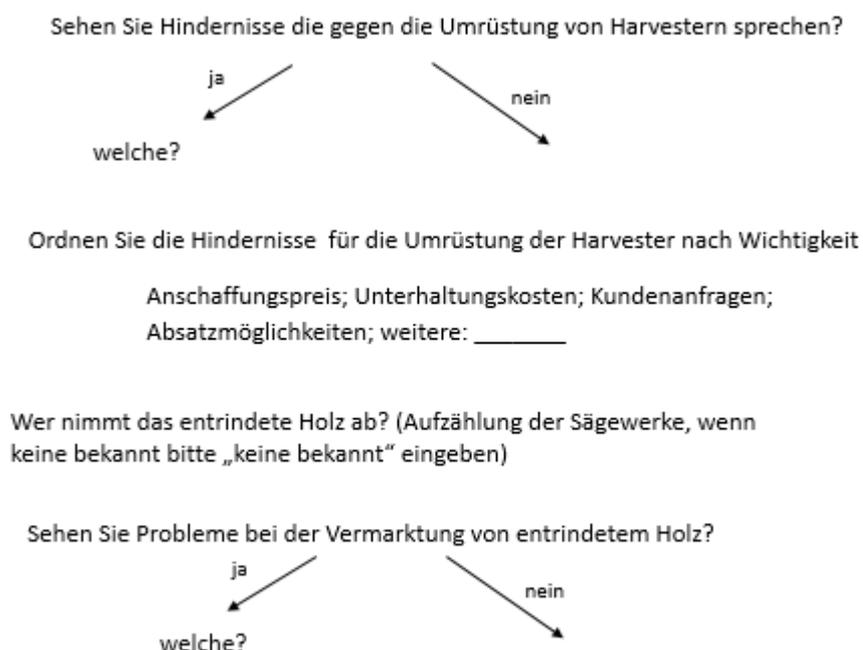


Abbildung 6: Entwurf des Fragebogens zur Akzeptanz von Debarking Heads (Gardik-Karda, 2020)

AP 2 Konzeption, Analyse und Bewertungen der Holzlogistikkette

Verantwortlicher Projektpartner: KWF

Beteiligter Projektpartner: HSWT

Holzernte mit Rundholzentrindung (HSWT, KWF)

Für die Einführung von Debarking Heads unter mitteleuropäischen Bedingungen wurden konventionelle Aggregate, die sich u.a. in Deutschland im Einsatz befinden, modifiziert.

Die erforderlichen Umrüstungen variieren je nach Aggregatmodell (*Abbildung 1*). Über die technischen Modifikationen hinaus müssen verschiedene Maschineneinstellungen angepasst werden. Diese Umrüstungen wurden im Debarking Heads I Projekt weitreichend untersucht.

Das Einschneiden und Lockern der Rinde erfolgt durch die Vorschubwalzen, auf denen statt der konventionellen Stacheln messerartige Lamellen, sogenannte Stege, schräg aufgeschweißt sind. Durch die schräge Anordnung der Stege wird der Stamm im Aggregat um die eigene Längsachse in Rotation versetzt und die obere Rindenschicht wird auf ganzer Fläche gelockert und angehoben. Die Entastungsmesser können die Rinde dann entfernen. Um ausreichende Entrindungsprozente zu erreichen, müssen die Stämme meistens mehrfach in ganzer Länge durch das Aggregat geschoben werden. Bei den Aggregaten von Log Max/Komatsu und Ponsse erfolgt der Großteil der Entrindung bei den Vorwärtsbewegungen, also vom stärkeren zum schwächeren Ende des Stammes, bei dem John Deere Aggregat in der Rückwärtsbewegung. Stämme und Stammteile, die nicht entrindet werden sollen, beispielsweise bei anderen Baumarten oder anderen Sortimenten, können wie gewohnt mit dem ersten Durchschub aufgearbeitet werden. Hierbei nehmen weder die Rinde noch der darunterliegende Stamm

einen Schaden. Im Gegenteil, meist ist hierbei die Verletzung des Holzkörpers geringer als bei üblichen Vorschubwalzen mit Stacheln (Labelle et al. 2019).

Der Einsatz von Debarking Heads erfordert keine Anpassung der Einstellungen der Trägermaschine, die über die Einstellungen beim Einschlag mit konventionellem Aggregat hinausgehen. Auch hier müssen u.a. der Walzen-Anpressdruck, der Messer-Anpressdruck, die Vorschubgeschwindigkeit, die Druckkurven, die Anstellwinkel der Entastungsmesser oder die Kalibrierung des Längenmaßes eingestellt werden. Dies hängt vom Bestand und den auszuhaltenden Sortimenten ab, ebenso von den Maschineneigenschaften.

Beim Einsatz eines Entrindungsaggregats ist es besonders wichtig, die Maschine richtig einzustellen. Es muss sichergestellt werden, dass sich die Entastungsmesser nicht aufgrund von zu hohen Anpressdrücken in den Holzkörper schieben. Es wird empfohlen, dass vor allem erfahrene Harvesterfahrer für die Arbeit mit dem Entrindungsaggregat eingesetzt werden.

Ergebnisse des Sommersversuches 2019

Die Untersuchung der gesamten Verfahrenskette erfolgte im Jahr 2019 durch das KWF und das KWL in Hermeskeil. Hierbei wurde die Logistikkette vom Baum zum Brett, also von der Holzernte mit Harvester und Forwarder bis zum Transport ins Sägewerk betrachtet.

Im Versuchsbestand „Frischholz“ (Fichte, ca. 70-jährig, BHD 35 cm) (Abbildung 7) wurden die Rückegassen alternierend mit geraden und ungeraden Zahlen markiert, um eine gute Vergleichbarkeit auf der Fläche zu garantieren (Abbildung 8). Von den geraden Rückegassen wurde konventionell geerntet, von den ungeraden mit Entrindung. Zum Einsatz kam ein Komatsu 931XC mit einem S132-Aggregat. Bei diesem wurden die konventionellen Stachelwalzen durch Stegwalzen (45° Neigung) ausgetauscht.



Abbildung 7: Versuchsbestand Sommersversuch 2019 RLP (Hauck)



Abbildung 8: Markierte Rückegasse im Sommersversuch 2019 RLP (Hauck)

Eingeschnitten wurden die Bäume in 4 m- und 5 m-Sägeabschnitte, Verpackungsholz von 2,40 m Länge, Industrieholz FK von 2,50 m sowie Ponys (Erdstammstücke) von 3 m.

Beim konventionellen Verfahren wird der Vollbaum nach dem Fällen von den Vorschubwalzen einmal durch das Harvesteraggregat geführt. Dabei wird gleichzeitig entastet, ausgehalten und eingeschnitten. Wird nun die Entrindung zusätzlich in das Arbeitsverfahren integriert, erfolgen mehrere Aggregatdurchläufe. Der Baum wird, ohne ihn in Sortimente einzuschneiden, durch das Aggregat gezogen und dabei entastet. Am Gipfel des Stammes angekommen, wird der Stamm vom Aggregat losgelassen. Das Aggregat wird um 180° gedreht und nimmt den Stamm am Gipfel wieder auf. Nach dem Umgreifen erfolgt ein zweiter Arbeitsgang, bei dem der Stamm wieder in voller Länge durch das Aggregat geführt wird. Im dritten Arbeitsgang, nach erneutem Wenden des Aggregates wird der Stamm nach Tätigung eines Nullschnittes vermessen, in Sortimente eingeteilt und eingeschnitten. Wenn

Sortimente, wie z.B. das Erdstammstück nicht entrindet werden sollen, können diese bereits beim ersten Durchlauf durch das Aggregat abgelängt und eingeschnitten werden.

Um den Mehraufwand, der durch die zusätzliche Entrindung entsteht, zu ermitteln, wurden Arbeitsstudien im Holzeinschlag durchgeführt. Dazu wurde im selben Bestand rückegassenweise entrindet und nicht entrindet. So wurde der Einfluss durch evtl. Schwankungen in der Bestandesstruktur minimiert. Alle Zeitaufnahmen in der Versuchsreihe wurden mit dem Programm TimCap, Version 2.0, der Georg-August-Universität Göttingen im Fortschrittzeitverfahren durchgeführt und anschließend über das Programm Microsoft Excel 2010 ausgewertet.

```
!Versuch
!Aufnehmer
#500 Suchen
#501 !Fällen, Aufarbeiten
#502 sonst. Harvester
203 persönl. Verteilzeiten
204 sachl. Verteilzeiten
300 Fehler
350 Sonstiges
```

Abbildung 9: Definitionsdatei für das Programm TimCap 2.0 für die Arbeitsstudien des Harvestereinsatzes im Sommer 2019 in Rheinland-Pfalz

Zur Durchführung der Arbeitszeitstudie wurden zunächst die Arbeitsablaufabschnitte (AAA) für die Holzernte mit dem Harvester festgelegt (Abbildung 9) und definiert. Bei der Arbeitsstudie war die Ermittlung der Entrindungsdauer das Hauptziel.

Der AAA "Fällen, Aufarbeiten" wurde nicht feiner untergliedert, da während der Aufarbeitung mehrere Aktionen zur gleichen Zeit stattfinden (Entasten, Längen- und Durchmesserermittlung, Sortierung, Einschneiden sowie Entrindung). Die Messpunkte für diesen AAA waren wie folgt festgelegt:

- der vorherige AAA "Suchen" endet, wenn die Entastungsmesser des Harvesteraggregates den zu fällenden/bearbeitenden Baum umschließen
- der AAA "Fällen, Aufarbeiten" endet, wenn das letzte (meist Kronen-)teil des zu bearbeitenden Baumes aus dem Aggregat fallen gelassen wird



Abbildung 10: Komatsu 931 XC mit S-132 Aggregat im Einsatz (Hauck)

Tabelle 1: Ergebnisse der Zeitstudie „Fällen, Aufarbeiten“ mit dem Harvester im Sommer 2019 in Rheinland-Pfalz

Arbeitsablaufabschnitt	Zustand	Dauer [s]	Anzahl Bäume	Dauer/Baum [s]
Fällen, Aufarbeiten	unentrindet	3.606,54	58	62,18
	entrindet	14.457,69	139	111,21

In dieser Feldstudie, bei der die Bäume eine durchschnittliche Stückmasse von 0,78 Fm aufwiesen, dauerte die Aufarbeitungszeit (Fällen, Aufarbeiten) mit Entrinden mit 111 s statt 62 s etwa 79 % länger als bei konventionellen Verfahren (Tabelle 1). Dies ist insofern nachvollziehbar, da der Stamm statt einem Mal nun drei Mal durch das Aggregat gezogen wird.

Jedoch ist dieser Prozentsatz nicht der gesamten Prozesszeit gleichzusetzen, da „Baum aufsuchen“ (Fahrzeiten auf der Rückegasse) und „Sonstiges Harvester“ hier nicht berücksichtigt wurden und auch bei dem konventionellen Verfahren ohne Entrindung exakt so anfallen.



Abbildung 11: Sägeabschnitt nach Entrindung im Sägewerk (Hauck)



Abbildung 12: Vollständig vom Debarking Head entrindete Sägeabschnitte links sehr guter, rechts mittlerer Qualität (Hauck)

Holzqualität

Die These, dass das Holz nach dem Entrinden mit dem Debarking Head von schlechter Qualität ist, wurde stichprobenartig mit 174 Sägeabschnitten (aus 73 Bäumen) einer Rückegasse untersucht. Dazu wurden intern Kriterien für die Aufarbeitungsqualität "gut", "mittel" und "schlecht" festgelegt und diese an dem jeweiligen Stammabschnitt gutachterlich untersucht. Vor dieser Einordnung wurde das Sägewerk, von dem die Abschnitte abgenommen wurden, besucht, sodass Qualitätsansprüche des Abnehmers bekannt waren. Bei diesem Besuch ist *Abbildung 11* entstanden.

Tabelle 2: Einschätzung der Holzqualität von Sägeabschnitten nach dem Entrinden mit dem Harvester (Sommerversuch 2019 Rheinland-Pfalz)

Holzqualität	sehr gut	mittel	schlecht	Summe
Holzmenge (Fm o. R.)	16,31	22,02	4,72	43,05
Anteil an Holzmenge	38 %	51 %	11 %	100 %
Anzahl der Abschnitte	61	89	24	174
Anteil an Gesamtzahl der Abschnitte	35 %	51 %	14 %	100 %

Die Ergebnisse der Begutachtung sind in *Tabelle 2* abgebildet. 86 % der Abschnitte, die 89 % des Einschlagsvolumens ausmachen, wiesen eine sehr gute oder mittlere Holzqualität nach dem Entrinden mit Debarking Heads auf.

Entrindungsqualität

Ein weiteres Hauptkriterium seitens des Holzeinkäufers wurde auf die Entrindungsqualität gelegt. Gefordert war eine möglichst vollständige Entrindung der 4 m bzw. 5 m Sägeabschnitte, sodass die Entrindung im Werk ausgesetzt werden kann.

Um die Entrindungsprozente zu untersuchen, wurden Schätzungen an den Sägeabschnitten vorgenommen. *Tabelle 3* gibt eine Übersicht dieser Schätzungen.

Da alle Abschnitte für den Vergleich Waldmaß-Werkseingangsmaß händisch vermessen wurden, war es möglich, die Mantelfläche der Sägeabschnitte zu bestimmen. In 5 %-Stufen wurden daraus die verbliebenen Rindenanteile an den Abschnitten geschätzt.

Tabelle 3: Einschätzung des Entrindungsprozentes von Sägeabschnitten (Sommerversuch 2019 Rheinland-Pfalz)

Entrindung	100 %	95 %	90 %	< 90%	Summe
Anzahl der Abschnitte	126	37	8	3	174
Anteil	72 %	21 %	5 %	2 %	100 %

93 % der Sägeabschnitte waren nahezu vollständig entrindet (mindestens 95 Entrindungsprozent), davon wiesen 72 % der Abschnitte keinerlei Rindenreste mehr auf.

Einflüsse der Entrindung auf die Messgenauigkeit

Die These, dass es durch die Entrindung mit Debarking Heads aufgrund der Holzkörperverletzungen von Holzspänen zu erheblichen Messungenauigkeiten bei der Werkseingangsvermessung kommen kann,

konnte im Versuch widerlegt werden. Dazu wurden 174 Abschnitte manuell vermessen und das Volumen (Fm o. R.) bestimmt.

Tabelle 4: Vergleich manuelle Vermessung und Werkseingangsmaß

	Anzahl der Abschnitte	Volumen
Manuelle Vermessung	174	42,957 Fm o. R.
Werksvermessung	174	42,549 Fm o. R.
Differenz		0,408 Fm o. R.

Im Gegensatz zum manuell ermittelten Volumen von 42,549 Fm o. R. betrug das werksseitig ermittelte Volumen aller 174 vermessenen Abschnitte insgesamt 42,957 Fm o. R. (Tabelle 4), das ergibt eine Differenz von nur 0,408 Fm o. R. bzw. 0,95 %.

Beanspruchung von Maschine und Fahrer

Sowohl die Maschine als auch der Fahrer werden bei diesem Arbeitsverfahren mehr beansprucht als beim Standardarbeitsverfahren ohne Entrindung. Durch die mehrfache Rotation des Stammes beim Passieren des Aggregates und evtl. zusätzliche Widerstände beim Entasten (Eindringen der Entastungsmesser in den Holzkörper) wirken stärkere Kräfte auf den Ausleger insbesondere auf die Verbindung von Auslegerarm und Aggregat, den Rotator. Ein evtl. Mehrverschleiß am Harvester konnte bisher aufgrund der kurzen Projektlaufzeiten nicht messbar belegt werden. Das werden die Erfahrungen bei fortgesetztem Einsatz der entrindenden Harvesterköpfe aufzeigen müssen.

Das mehrfache Durchschieben des Stammes in voller Länge durch das Aggregat erfordert eine erhöhte Aufmerksamkeit des Harvesterfahrers, weil der direkte Gefahrenbereich ungleich größer ist und ein erhöhtes Augenmerk auf die Schäden am verbleibenden Bestand gelegt werden muss. Eine höhere Konzentration erfordert auch die Optimierung der Sortenqualität, wenn etwa zusätzliche Qualitätsmerkmale wie Aufarbeitungsqualität oder Entrindungsqualität bei der Sortenwahl berücksichtigt werden müssen. Daher wird empfohlen, besonders erfahrene Fahrer einzusetzen, wenn im Bestand entrindet werden soll. Als Folge der oben beschriebenen Erschütterungen und Vibrationen kann es gelegentlich auch zu körperlichen Beschwerden wie z.B. Kopf- und Gliederschmerzen kommen (Biwer 2020).

Holzrückung (HSWT, KWF)

„Unter dem Begriff Rücken wird der Transport des Holzes vom Stock bzw. Fällort zu den Lager- und Stapelplätzen an den Waldstraßen verstanden.“ (Grammel 1988, S. 93)

Unterteilt wird das Rücken in Vorrücken und Endrücken. Das Vorrücken bis zur Rückegasse ist beim Einsatz des Harvesters direkt im Holzeinschlagsprozess integriert. In dieser Verfahrenskette wird somit lediglich das Endrücken, das Transportieren des Holzes vom Ablageort an der Feinerschließung bis zur Ablage am Polterort (LKW-befahrbarer Abfuhrort) untersucht.

Während der Sommersversuche 2019 wurden Arbeitsstudien zum Rücken durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es herauszufinden, welche Unterschiede sich zwischen der Rückung frisch

entrindeten Holzes im Vergleich zum nicht entrindeten Holz ergeben. Das Holz wurde zeitnah nach dem Holzeinschlag gerückt. Zum Einsatz kam ein Komatsu 845.



Abbildung 13: Komatsu 845 beim Poltern entrindeter Abschnitte (Hauck)

Hauptaugenmerk bei der Arbeitsstudiennahme lag auf der reinen Sammel- und Poltertätigkeit. Für die Zeitstudie erfolgte die Einteilung in die Arbeitsablaufabschnitte (AAA)

- Leerfahrt vom Polter
- Sammelfahrt
- Lastfahrt zum Polter
- Poltern

Für die Datenermittlung wurde das Programm TimCap verwendet (siehe Abschnitt Holzernte mit Rundholzentindung).

```
!Versuch
!Aufnehmer
#500 Leerfahrt vom Polter
#501 !Sammelfahrt
#502 Lastfahrt zum Polter
#503 Poltern
#504 sonstige Forwarder
203 persönl. Verteilzeiten
204 sachl. Verteilzeiten
300 Fehler
350 Sonstiges
```

Abbildung 14: Definitionsdatei für die Arbeitsstudien des Forwarders

Für die Arbeitsstudie wurde jeweils 5 m Abschnitte ausgewählt, die am Vortag geerntet und entrindet und anschließend im Bestand belassen wurden. Während das entrindete Holz unmittelbar nach dem

Einschlag und der Entrindung sehr nass (Abbildung 15) und rutschig ist, fasst es sich nach einem Tag Lagerung schon „trockener“ an.



Abbildung 15: Frisch entrindetes Holz (links), entrindetes Holz nach einem Tag Lagerung (Hauck)

Tabelle 5: Ergebnisse der Arbeitsstudie Rücken

Arbeitsablaufabschnitt	Zustand	Dauer [s]	Anzahl Abschnitte	Dauer/Abschnitt [s]
Leerfahrt vom Polter	unentrindet	396,47	99	4,00
	entrindet	360,28	93	3,87
Sammelfahrt	unentrindet	1.793,47	99	18,12
	entrindet	1.978,69	93	21,28
Lastfahrt zum Polter	unentrindet	248,62	99	2,51
	entrindet	357,14	93	3,84
Poltern	unentrindet	1161,52	99	11,73
	entrindet	1060,82	93	11,41
Summe Sammeln und Poltern	unentrindet			29,85
	entrindet			32,69

Für die reine Sammelfahrt wurden beim entrindeten Holz 21,28 s/Abschnitt benötigt (Tabelle 5). Das sind 17 % mehr als beim unentrindeten Holz (18,12 s/Abschnitt). Für das Poltern wurden beim entrindeten Holz 11,73 s/Abschnitt benötigt, das sind 3 % mehr als beim unentrindeten Holz. Insgesamt lagen die beobachteten Zeiten eng zusammen und lassen nicht unbedingt auf andere Einsätze ohne weiteres übertragbare Aussagen zu. Die Unterschiede können auch insbesondere bei den Sammelfahrten auf unterschiedliche Fahrtwege zurückgehen.

Da die Last- bzw. Leerfahrt stark von der Rückentfernung abhängig sind, werden in dieser Zeitstudie nur Sammelfahrt und Poltern in Summe betrachtet. Mit 32,69 s/Abschnitt liegt die Dauer beim Rücken des entrindeten Holzes in dieser Studie um 10,5 % höher als beim Rücken des Holzes in Rinde (29,58 s/Abschnitt).



Abbildung 16: Komatsu 345 beim Laden der entrindeten Abschnitte (Hauck)

Holztransport (KWF)

In der Logistikkette der Rohholzbereitstellung folgt auf die Holzernte (Holzeinschlag und Rückung) der Holztransport vom Waldort (Lagerungsort) zu den holzindustriellen Abnehmern.

Das wichtigste Verkehrsmittel für den Holztransport ist der LKW. Laut Statistischem Bundesamt (2020) wurden 2019 ca. 68,2 Millionen Festmeter Holz eingeschlagen. Das entspräche bei einer angenommenen Beladung von 20 Fm pro LKW mehr als 3,4 Millionen LKW-Ladungen pro Jahr.

Die für Lastzüge zulässigen Gewichte und Abmessungen von Nutzfahrzeugen sind in Deutschland in der Straßenverkehrszulassungsverordnung (StVZO 2021) § 34 StVZO vom 26.04.2012, Achslast und Gesamtgewicht, geregelt. Das zulässige Gesamtgewicht für Holztransporte ist hier auf 40 t beschränkt. In Kalamitätszeiten können bundesländerweise Ausnahmeregelungen für das LKW-Gesamtgewicht beim Schadholztransport auf 44 t getroffen werden.

Seit 2006 gibt es mit der Verladeempfehlung zum Transport von Rohholz eine Handlungsempfehlung, die zum sicheren Transport von Holz beitragen soll. Die Verladeempfehlung gliedert sich in

- die Ladungssicherung für den Straßentransport für Rohholz (6 m), längs geladen (2006a) sowie
- die Ladungssicherung für den Straßentransport für Rohholz, quer geladen (2006b).

Neben Anforderungen an die Transportfahrzeuge und an die Beladung werden jeweils Ladungssicherungsmaßnahmen aufgeführt. In einer Anlage zur Verladeempfehlung für Rohholz, längs geladen, zur Ladungssicherung für den Straßentransport wird lediglich das „Schneeholz“ (verschneite und/oder vereiste Sortimente) definiert. Eine Anlage für den Transport von entrindetem Holz gibt es nicht.

Während der Versuchsreihe zur Logistikkette im Sommer 2019 wurden die entrindeten und gerückten Sägeabschnitte nach vierwöchiger Lagerungsdauer bei weitestgehend trockener Witterung zum Werk transportiert. Bei der Verladung dieser entrindeten 5 m-Abschnitte wurde eine Arbeitsstudie

durchgeführt. Die Aufnahmezeit begann mit dem ersten Griff des Kranarms in das Polter und endete mit Ablage des letzten Abschnittes auf dem LKW.



Abbildung 17: Beladener Holz-Lkw mit entrindeten 5-m-Abschnitten (Hauck)

Tabelle 6: Dauer des Aufladens von entrindeten Säge-Abschnitten (Zahlen aus Arbeitsstudie von 2019)

	Anzahl Abschnitte	Aufladezeit (min)
Fuhre 1 entrindet	134	20,40
Fuhre 2 entrindet	109	17,20
Fuhre 3 entrindet	120	18,75
Mittelwerte	121	18,78

Die mittlere Ladezeit für die entrindeten Abschnitte betrug 18,78 Minuten. Dabei gab der LKW-Fahrer an, dass sich zu keinem Zeitpunkt Lade-Nachteile bei dem entrindeten Holz gegenüber dem unentrindeten Holz ergaben. Es ist somit anzunehmen, dass die Entrindung keinen Einfluss auf die Ladedauer hat, wenn die Holzoberfläche abgetrocknet ist.

Eine zunächst vermutete außergewöhnliche Verschmutzung von Waldwegen und Straßen mit Restrindenstücken wurde nicht beobachtet (Abbildung 18).



Abbildung 18: Abtransport des Holzes aus dem Wald ins Werk (Hauck)



Abbildung 19: Entladen des Holz-Lkw im Werk (Hauck)

Einfluss der Entrindung auf das Ladevolumen/ -gewicht des LKW

Bei einem Leergewicht eines Abfuhr-LKW von 20,5 t (Wägeregebnis aus Versuchsreihe) verbleiben als Nutzlast unter Berücksichtigung der Richtlinien in der StVZO noch 19,5 t. Bei einem angenommenen Rindenanteil von 10 % besteht die Nutzlast nur aus 17,55 t Holz ohne Rinde, bei einem Rindenanteil vom 5 % (entsprechend einem Entrindungsgrad von 50 %) schon 18,53 t.

Tabelle 7: Nutzlast eines Abfuhr-LKW

Zulässiges Gesamtgewicht nach StVZO		40 t
Leergewicht LKW		20,5 t
Max. mögliche Nutzlast		19,5 t
Rindenanteil 10 %	Nutzlast Holz	17,55 t
Rindenanteil 5 %	Nutzlast Holz	18,53 t
Rindenanteil 0 %	Nutzlast Holz	19,5 t

Beim Transport ohne Rinde kann mehr Holz auf den LKW geladen werden, da die Rinde nun nicht mehr mittransportiert werden muss.

Analyse der Holzbereitstellungskette

Nach den Durchführungen eigener Versuche in beiden Debearing Head-Projekten und dem Austausch bzw. in Zusammenarbeit mit anderen Stellen (siehe 1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen) kann festgehalten werden, dass zwischen herkömmlicher Aufarbeitung und Aufarbeitung mit Debearing Head ein Mehraufwand zu erkennen ist, der in erster Linie aus dem erhöhten Holzernteaufwand resultiert.

Aufgrund der enormen „Seifigkeit“ bei frisch entrindetem Holz wird die Möglichkeit eingeschränkt, dass der Forwarder zeitlich direkt nach dem Harvester das entrindete Holz rückt. Damit das Holz beim Aufnehmen durch den Forwarder nicht aus der Ladezange rutscht und evtl. Nachgreifen erforderlich macht, sollte der Rückprozess vom Aufarbeitungsprozess zeitlich entkoppelt werden. Abhängig von den Wetterbedingungen kann der Abtrockenprozess mehrere Tage (ca. eine Woche) andauern, bis das Holz oberflächlich abgetrocknet ist.

Diese Änderung im Logistikprozess wiederum bietet aber auch die Möglichkeit, das Holz länger im Bestand an der Rückegasse liegen zu lassen. Der Zeitdruck des Rückens (und später auch der Abfuhr aus dem Wald) aus Waldschutzgründen wird minimiert. Hinsichtlich Schonung der Rückegasse bieten sich Perspektiven, da Wetter- und Bodenverhältnisse besser beachtet und der Zeitpunkt des Rückens optimiert werden kann, um möglichst schadfrei zu arbeiten.

Die Entzerrung im gesamten Logistikprozess kann z.B. in Kalamitätshochzeiten (wie sie in den Jahren 2017-2021 auftraten) zu einer deutlichen Minderung der Stresssituation sowohl beim Waldbesitzer als auch bei Rücke- und Fuhrunternehmen führen.

Nach der Holzernte kann das entrindete Holz ebenso wie nicht entrindetes Holz gepoltert werden. Entrindetes Holz trocknet bis zu 45 % schneller als nicht entrindetes Holz (Heppelmann et al., 2019; Reichenberger 2019). Eine luftige Polterung reduziert die Gefahr des Befalls mit Blaufäulepilzen. Darüber hinaus führt die schnellere Trocknung zu einer Gewichtsabnahme des Holzes, der Abtransport des Holzes kann somit effizienter gestaltet werden. Es kann mehr Holzvolumen bei gleichem Gewicht transportiert werden. Da die Oberflächenreibung der Stämme untereinander durch die Entrindung herabgesetzt wird, wird für einen sicheren Transport empfohlen, das Holz erst nach mindestens sieben Tagen Lagerung bei trockener Witterung abzutransportieren. Grundsätzliche Unterschiede bei Lagerung

und Transport zu der jahrelang praktizierten Entrindung mit Entrindungszügen an der Waldstraße gibt es bei dem Umgang mit dem entrindeten Holz nicht.

Die Holzqualität der Sägewerksabschnitte, die mit in der Vegetationszeit für eine weitgehende Entrindung ausreichenden dreimaligen Fahrt durch das Aggregat im Bestand entrindet wurden, ist nicht schlechter als die der herkömmlich im Werk entrindeten.

Analyse konkurrierender Entrindungssysteme (stationär/mobil) (KWF)

Für eine bessere Einschätzung ökologischer und ökonomischer Faktoren der Entrindung im Bestand, soll zunächst ein Blick auf die konventionellen Entrindungstechniken gerichtet werden. Nachfolgend sind die meist verbreiteten aufgeführt. Motormanuelle Entrindung, Wasserstrahlentrindung, Fliehkraft- oder auch chemische Entrindung sind dagegen nicht berücksichtigt.

Entrindung im Wald – mobile Entrindung

Bis in die 1960er Jahre wurde vornehmlich per Hand entrindet, zunächst per Axt, dann aber auch mit verschiedenen Schälseisen bzw. Ziehmessern. Diese manuelle Entrindung, die durchaus auch heute noch, wenn auch in geringem Maße, angewendet wird, ist ausgesprochen flexibel hinsichtlich der Anwendung auf verschiedene Sortimenten und garantiert eine hohe Entrindungsqualität. Jedoch geht mit ihr eine hohe körperliche Belastung einher. Der Zeitbedarf ist enorm. So wird beim Entrinden von Nadelholz bis zur Hälfte der gesamten Arbeitszeit im konventionellen Holzeinschlag dafür aufgebracht (Grammel 1988).

Die Kosten für die manuelle Entrindung variieren je nach Sortiment und Frische des Holzes stark. Sie werden mit 12 – 20 €/Fm angegeben. Diese Angabe ergibt sich aus den Kosten für Waldarbeiter pro Stunde und der Leistung der Waldarbeiter für die Entrindung nach EST (N. N. 1996).

Ende der 1960er Jahre begann die Entwicklung der mobilen Stammholzentrindung. Mobile Entrindungsanlagen sind i. d. R. auf einem LKW aufgebaute Zweikranmaschinen, die nach dem Lochrotorprinzip arbeiten. Teilweise sind sie heute mit einer geeichten Vermessungsanlage ausgerüstet.

Da heute zumeist in den Holzverarbeitenden Werken entrindet wird, ist die Anzahl der noch eingesetzten mobilen Entrindungsanlagen in Deutschland sehr gering. Nach einer Recherche im Rahmen des Projektes waren im Jahr 2019 insgesamt 17 solcher Anlagen (von 12 Unternehmen) vornehmlich im süddeutschen Raum im Einsatz (*Abbildung 20*).

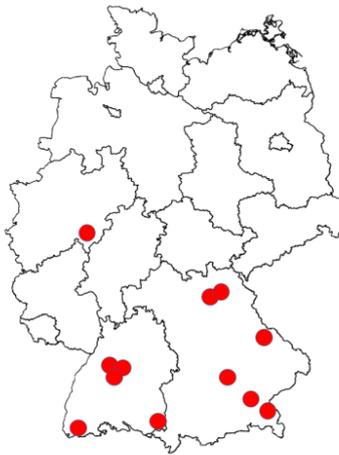


Abbildung 20: Übersichtskarte der Unternehmen, die (Stand 2019) Entrindung mit mobilen Entrindungsanlagen anbieten (Hauck)



Abbildung 21: Entrindungsmaschine Doll Klosterreichenbach (Fa. Weiss, Hauck)

Um einen Überblick über den Umfang der Entrindung, Sortimente, Kosten, Leistung oder Entrindungsqualität, aber auch logistische Aspekte wie z.B. Vorbereitung der Holzpolter zu bekommen, wurde eine schriftliche Umfrage bei diesen Unternehmen durchgeführt. Von den zwölf Unternehmen waren zehn ausgesprochen auskunftsfreudig.

Nach Auswertung der Umfrage können folgende Aussagen getroffen werden:

- Mobile Entrindungsanlagen werden heute in der Regel nur in Sägewerken eingesetzt, die nicht über eine stationäre Entrindungsanlage verfügen. Aus Waldschutzgründen oder auf speziellen Wunsch des Kunden wird das Holz im Wald entrindet. Die Entrindungsqualität ist gut, das Holz wird vollständig entrindet. Die Holzkörperbeschädigung wird von allen als sehr gering eingeschätzt.
- Entrindet wird überwiegend Nadelholz, aber auch Buche, Eiche oder Esche. Die Entrindung des Laubholzes wird von vielen als schwieriger beschrieben, da es härter und „unförmiger“ ist. Durch die veränderte Stundenleistung entstehen meist höhere Kosten bei der Laubholzentrindung.
- Hauptsächlich wird Langholz entrindet, teilweise ist aber auch Kurzholzentrindung (2,50 – 4 m Länge) möglich.
- Als Bedingungen für einen effizienten Einsatz der mobilen Entrindungsanlagen im Wald wurden optimale Poltergrößen (50 – 150 Fm), ausreichend Platz zum Ablegen des Holzes sowie LKW-befahrte Wege benannt. Sind diese Voraussetzungen vorhanden, können abhängig von der Stammstärke und Stammlänge 30 – 130 Fm/MAS entrindet werden. Bei einem veranschlagten

Kostensatz von 250 - 400 €/MAS (inkl. Fahrer) belaufen sich die Kosten für die Entrindung im Durchschnitt auf 5 – 9 €/Fm.

Entrindung im Werk – stationäre Entrindung

Die Zeit der Werksentrindung begann Ende der 1960er Jahre nach den damaligen schweren Windwürfen in Süddeutschland. Die Technik der maschinellen Entrindung schritt schnell voran.

Die Rotor-Entrindung ist die gebräuchlichste Methode zur Entrindung in Sägewerken und in der Furnierindustrie (z. B. Sperrholz und Furnierschichtholz) und kommt überall dort zum Einsatz, wo zuverlässig und sauber entrindetes Rundholz gefragt ist.

Bei der Rotor-Entrindung werden die Stämme einzeln nacheinander der Maschine zugeführt. Die Entrindung erfolgt durch die Rotation von drehenden Werkzeugen und deren Druck gegen das Holz (Rotationsprinzip).

Hierbei ist die Leistung von vielen Faktoren abhängig. So erreicht z. B. das Model PRD der Firma Pallmann (*Abbildung 22*) eine Durchsatzleistung von 15-120 t atro/h (Leidner 2015).



Abbildung 22: links: Rotorenrinder, Model PRD der Firma Pallmann, rechts: Moderne Trommelentrindungsanlage; Typ PDD der Firma Pallmann (beide Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co.KG).

Trommelentrindungsanlagen finden vor allem in der Zellstoff- und Papierindustrie Anwendung. In diesen Anlagen werden mehrere Abschnitte auf einmal entrindet (Vielstammentrindung). Die sich in der Trommel befindenden Rippen dienen der Mitnahme des Holzes, damit diese dann von oben auf die anderen Stämme herabfallen und so die Rinde abschlagen (Reibungsentrindung). Große Mengen Holz können somit sehr effizient und wirtschaftlich entrindet werden. So erreicht z.B. das Model PDD von Pallmann (*Abbildung 22*) eine Durchsatzleistung von 40-350 t atro/h (Leidner 2015).

Vergleich mobile – stationäre Entrindung

Direkte Vergleiche zwischen mobiler und stationärer Entrindung sind aufgrund der verschiedenen Art und Weise, wie die Rinde vom Holz getrennt wird, schwierig. Werner Leidner hat die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme zusammengestellt (*Tabelle 1*).

Tabelle 8: Vor- und Nachteile stationärer Anlagen (nach Leidner 2015)

Vorteile	Nachteile
----------	-----------

Maschine ist Teil der Produktionskette im Werk	Rinde wird aus dem Bestand entnommen
Maschinen mit hoher Durchsatzleistung	Höheres Transportvolumen hin zur Entrindungsanlage
Konzentrierter Rindenanfall (logistisch einfacher)	
Wirtschaftliches Arbeiten durch große Mengen	

In den stationären Anlagen anfallende Rinde wird i. d. R. für Heizzwecke und/oder als Rindenmulch verwendet bzw. vermarktet.

Tabelle 9: Vor- und Nachteile mobiler Anlagen (nach Leidner 2015)

Vorteile	Nachteile
Einsatz im Waldschutz	Hohe Kosten
Gewichtersparnis im Transport	Keine Rindennutzung
Unterstützung der Sägewerke, die keine Werksentrindung haben	Verfärbung des Holzkörpers bei Lagerung
Schnelleres Abtrocknen	Hohe Waldwegebelastung
	Bei Kurzholz aufwändiger
	Rindenkonzentration an der Waldstraße

Tabelle 10: Vor- und Nachteile des entrindenden Harvesteraggregates (nach Leidner 2015)

Vorteile	Nachteile
Keine Konzentration der Rinde an der Waldstraße	Potentielle Verletzung des Holzkörpers
Rinde bleibt als Nährstofflieferant im Bestand	
Wegebelastung wie bei normaler hochmechanisierter Holzernte	

Wird das Holz im Wald entrindet, ist die Gefahr durch Befall von Forst- und Holzschadinsekten geringer. Besonders in Zeiten hohen Schadholzanfalls, beispielsweise in Borkenkäferjahren, gewinnt man Zeit, bis Kapazitäten frei sind und das Holz tatsächlich abtransportiert werden kann. Dadurch kann eine Entzerrung der Logistikkette ohne negative Folgen für den verbleibenden Bestand erfolgen.

Analyse auftretender Effekte bei der Lagerung entrindeter Sortimente (HSWT)

Einen Hinweis auf die Lagerungseffekte bei entrindetem Holz geben zwei kleine Polter, die aus einem Hieb im Sommer 2018 in Niedersachsen entstanden sind. *Abbildung 23* und *Abbildung 24* zeigen die Polter unmittelbar nach dem Einschlag sowie im Sommer 2020.



Abbildung 23: Fichtenabschnitte 2018, links (Grünberger) und 2020, rechts (Heinrich)



Abbildung 24: Kiefernabschnitte 2018, links (Grünberger) und 2020, rechts (Heinrich)

Abbildung 25 zeigt, dass auch nach zwei Jahren Lagerung im Wald aus den zwar oberflächlich verfärbten, entrindeten Stämmen noch helles, sägefähiges Holz beim Auftrennen hervorkommt. Es trocknet dank der fehlenden Rinde schneller aus und ist deshalb für Befall durch Fäulepilze als auch für Insektenbefall – sowohl durch rindenbrütende wie auch holzbrütende Arten – in geringerem Maße anfällig wie Holz in Rinde.



Abbildung 25: Qualität des gelagerten Holzes im Sommer 2021 (Hauck)

Die Gefahr des Befalls durch Blaufäulepilze steigt mit zunehmender Holzfeuchte (Schmidt 1994). Aber Blaufäulebefall kann durch luftige Polterung, insbesondere von entrindetem Holz, minimiert werden. Im LWF-Wissen 71 (Wauer et al. 2013, S. 17f) werden umfangreiche Hinweise zur Auswahl geeigneter Flächen und zum Aufbau von geeigneten Poltern zur Lagerung von entrindetem Holz gegeben.

Analysen bei energetischer Verwertung des entrindeten Holzes (HSWT)

Bei der energetischen Verwertung von entrindetem Holz in Form der Verbrennung wird Wärme und teilweise auch zusätzlich Strom erzeugt. Als Reststoffe entstehen Asche und Feinstaub. Der Umfang der Reststoffe hängt von der chemischen Zusammensetzung der zu verbrennenden Sortimente ab. Dabei spielen die Baumart und insbesondere die Anteile der verschiedenen Baumkompartimente eine entscheidende Rolle.

Die Ascheanteile verschiedener Kompartimente bzw. Baumarten kann man der Fachliteratur entnehmen. So gibt beispielsweise Obernberger (1997) als Orientierungswert an, dass bei der Verbrennung von Holz mit Rinde ein Ascheanteil von 1 Gewichtsprozent (Gew%) bis 2,5 Gew% zurückbleibt, bei der Verbrennung von Holz ohne Rinde lediglich 0,8 Gew% bis 1,4 Gew%. Verbrennt man also entrindete Sortimente, fällt weniger Asche an.

Eine orientierende Analyse der Aschegehalte und der Feinstaubemissionen wurde von Maximilian Lankes mit Unterstützung durch das Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe in Straubing (TFZ) im Rahmen des Projektes durchgeführt (Lankes 2019). Er verglich Feinstaubwerte nach der Verbrennung von entrindetem und nicht entrindetem Holz miteinander.

Zunächst wurden Bäume mit ähnlichem Durchmesser und Rindenstruktur ausgewählt und gefällt. Dabei handelt es sich um vier Fichten und zwei Buchen aus dem Bayerischen Wald (Oberpfalz) und zwei Pappeln aus einer Kurzumtriebsplantage nahe Kaufering (Oberbayern). Die Hälfte der Proben wurde auf 50 cm lange Klötze geschnitten und danach mittels Schälleisen entrindet. Die Rundlinge wurden gespalten, gehackt und getrocknet. Mit Hackschnitzelpollen wurde der Wassergehalt und der Aschegehalt bestimmt.

An jeweils einem Tag wurden auf den Prüfständen des TFZ zwei unterschiedliche Proben mit und ohne Rinde der gleichen Baumart in einem 30 kW Hackschnitzelkessel „Powerchip 20/30“ verbrannt. Von jeder Probe wurden fünf Staubmessungen durchgeführt. Die beladenen Feinstaubfilter wurden in einem Exsikkatorschrank abgekühlt und danach in einer Wiegekammer gewogen. Der Versuchsablauf ist in *Abbildung 26* skizziert.

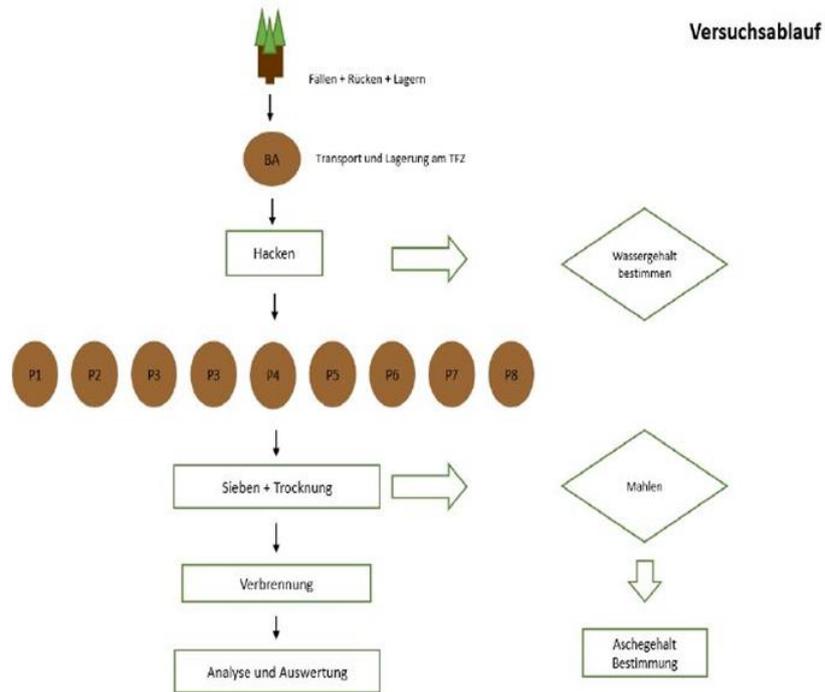


Abbildung 26: Versuchsablauf für die Bestimmung von Feinstaubemissionen und Aschegehalt bei entrindetem und unentrindetem Holz (Lankes 2019)

Die Aschegehalte (Tabelle 11) der Rinden liegen etwa um den Faktor 10 höher als die von Holz ohne Rinde. Holz mit Rinde weist – entsprechend dem Rindenanteil – im Schnitt deutlich höhere Aschegehalte auf.

Tabelle 11: Aschegehalte von Fichte, Buche und Pappel (Lankes 2019)

Probe	Aschegehalt (Ma%)
Fichte 1 m. R.	0,69
Fichte 2 m. R.	0,61
Fichte 3 o. R.	0,61
Fichte 4 o. R.	0,62
Fichte 3 Rinde	4,46
Fichte 4 Rinde	3,61
Buche m. R.	0,73
Buche o. R.	0,38
Buche Rinde	4,18
Pappel m. R.	1,74
Pappel o. R.	1,15
Pappel Rinde	6,21

Bei der Fichte ist das Bild nicht eindeutig. Die Aschegehalte der Stämme in Rinde sind tendenziell unerwartet niedrige Werte, insbesondere bei Fichte 2. Dies könnte auf nicht repräsentative Proben zurückzuführen sein. Dennoch kann man auch bei diesen Werten einen Mittelwert der Fichten mit Rinde von 0,65 % festhalten und einen Wert ohne Rinde der niedriger ist und bei 0,615 % liegt. Bei Buche und Pappel liegen die Aschegehalte der Proben mit Rinde wie erwartet deutlich höher als bei den Proben ohne Rinde.

Vergleicht man die Ergebnisse des Verbrennungsversuches (Tabelle 12) so zeigt sich, dass die Feinstaubemissionen wie erwartet bei der Verbrennung mit Rinde höher liegen als ohne Rinde. Die Fichten 1 und 3 sowie die Buchen- und Pappelproben zeigen, dass entrindete Hackschnitzel zwischen 4,4 % und 14,4 % weniger Feinstaub produzieren als Hackschnitzel mit Rinde. Die Ergebnisse der Proben Fichte 2 und 4 zeigen zwar gegensätzliche Ergebnisse. Aufgrund hoher C org.- und CO-Werte bei der Variante ohne Rinde ist dort aber von gestörten Abbrandbedingungen infolge von technischen Problemen am Versuchsstand auszugehen.

Die Ergebnisse der Feinstaubproduktion zeigen auch, dass wie vermutet die KUP-Pappel mit Werten zwischen 116 mg/Nm³ und 154 mg/Nm³ am meisten Feinstaub der drei Proben produziert. Die Werte der Fichte und der Buche liegen auf einem relativ niedrigen Niveau zwischen 35 mg/Nm³ und 56 mg/Nm³.

Tabelle 12: Feinstaubemission von Fichte, Buche und Pappel (Lankes 2019)

Probe	Feinstaubproduktion (mg/Nm ³)
Fichte 1 m. R.	45,8
Fichte 2 m. R.	40,9
Fichte 3 o. R.	39,1
Fichte 4 o. R.	66,9
Buche m. R.	51,7
Buche o. R.	43,3
Pappel m. R.	141,3
Pappel o. R.	134,5

Für die energetische Nutzung von Holz bietet die Bereitstellung von Holz ohne Rinde demnach Vorteile. Durch geringeren Ascheanfall und verringerte Feinstaubemission können die Ascheentsorgungskosten gesenkt werden und es wird weniger Feinstaub in und außerhalb der Anlage freigesetzt. Die Wartungsintensität der Verbrennungsanlage wird gesenkt und die potenzielle Gesamtlaufzeit der Anlage erhöht.

AP 3 Bewertung der Potenziale für Waldschutz und Borkenkäferprävention

Verantwortlicher Projektpartner: HSWT

Beteiligter Projektpartner: KWF

Auswahl von Nadelholzbeständen mit ersten sichtbaren Käferschäden

Eines der Hauptargumente, welches für den Einsatz von Debarking Heads spricht, ist die insektizidfreie Borkenkäferprävention. Durch die Entrindung wird den rindenbrütenden Insekten der Brutraum entzogen. Mit der Zerstörung der Brutstätte können die Weiterentwicklung und Verbreitung von Borkenkäfern reduziert werden.

Durch die in den letzten Jahren (2017 - 2021) aufgetretenen Borkenkäferkalamitäten, die so bei Projektbeantragung nicht vorhersehbar waren, und dem Anstieg der verfügbaren Harvester mit Entrindungsaggregaten konnten geeignete Versuchsflächen gefunden werden.

Analyse der Einflussgrößen auf Waldschutz und Borkenkäferbekämpfung

Basierend auf der Arbeit von Rosnau (2017), der im Rahmen der Debarking Head-Projekte untersucht hatte, wie sich vollmechanisierte Holzernte auf die Überlebensrate von Borkenkäfern in der Rinde auswirkt, wurde im Sommer 2019 ein Versuch angelegt, um den Ausflug von Buchdruckern (*Ips typographus*) aus Rindenhäufen zu untersuchen (Weiß 2020). Hierfür wurde im August 2019 die Rinde, die bei der Aufarbeitung eines Käferlochs mit einem Debarking Head angefallen ist, unter sogenannte Eklektoren in den Bestand gelegt und beobachtet. Bei Eklektoren (Abbildung 27) handelt es sich um zeltartige Fallen, an denen am oberen Ende ein Behälter angebracht ist. Flugfähige Insekten, beispielsweise Borkenkäfer, können damit gefangen werden. Der Versuch fand in einem Revier des Forstbetriebs Herzog von Württemberg im Norden des Landkreises Ravensburg (Baden-Württemberg) statt. Es wurden 18 Proben von neun Fichten untersucht.



Abbildung 27: Eklektoren im Bestand (Weiß 2020)

Vor Beginn des Versuchs wurde stichpunktartig ermittelt, wie viele Individuen der einzelnen Stadien sich in der Rinde befinden. Über einen Versuchszeitraum von vier Wochen wurde regelmäßig geprüft, ob sich Borkenkäfer im Behälter befinden. Das war zu keinem Zeitpunkt der Fall.

Dies lässt vermuten, dass sich die Käfer in den frühen („weißen“) Stadien nicht mehr bis zur Flugfähigkeit entwickelt haben und braune und schwarze Stadien nicht (mehr) zum Schwärmen aufgestiegen sind. Weitere Erklärungsansätze liefert beispielsweise der Zeitpunkt der Versuchsanlage. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich von Ende August bis Ende September 2019. Zu diesem Zeitpunkt könnten sich die flugfähigen Insekten bereits eingegraben haben bzw. in der Rinde verblieben sein, um dort zu überwintern statt erneut auszufliegen. Dies widerlegen die Wetterdaten einer Wetterstation im benachbarten Dorf sowie die Aufzeichnungen der LWF, wonach ein Ausflug von Borkenkäfern in nahegelegenen bayerischen Tiefenlagen noch im Laufe des Septembers erfolgte (Triebenbacher und Lemme 2019). Ein vom Versuchsdesign verursachter Grund für das Ausbleiben des Ausflugs könnte die Lichtdurchlässigkeit der Eklektoren sein (Burzlaff et al. 2020). Die Eklektoren wurden aus einem Projekt zur Erforschung von Totholzinsekten übernommen, in dem sie sich bewährt hatten.

Die aktuelle Haltung der Forstlichen Versuchsanstalten in Deutschland ist, dass der Einsatz von Debarking Heads nur bei weißen Borkenkäferstadien ausreichend Wirkung zeigt (Burzlaff et al. 2020) und sich auf die Bekämpfung der weißen Stadien der ersten Generation beschränken sollte. Delb et al. (2021) kommen zu dem Schluss, dass beim Einsatz von Debarking Heads „bei braunen Stadien ein Auffangen und Unschädlichmachen der abgeschälten Rinde nötig (ist), da sonst die bereits überlebenden Käfer mit der abgeschälten Rinde im Bestand verbleiben und Folgebefall verursachen können.“

Zu prüfen ist aus unserer Sicht, ob braune und schwarze Stadien, die in den Reistrinden im Bestand zurückbleiben, sich tatsächlich fertig entwickeln, nicht von Rinde geschützt überleben und zu einem Schwärmen zusammenfinden können, das zu einem neuen Stehendbefall führt. Beim in diesem Projekt durchgeführten Versuch war das nicht der Fall. Weitere Versuche (zu einem früheren Zeitpunkt im Jahr und mit größerem Stichprobenumfang) von Waldschutzexperten sind hier erforderlich und sicherlich lohnenswert. Mit der Entrindung im Bestand könnte, wenn die zur Unzeit freigesetzten braunen und schwarzen Stadien doch keinen Folgebefall verursachen, eine schon heute einsetzbare, effiziente mechanisch-technische Lösung zur Verfügung stehen, die den Einsatz von chemischen Mitteln (Insektizide) ersetzen kann.

Analyse der Einflussgrößen auf die Logistik von Käferholz

Die Entrindung mit Debarking Head kann sortimentsweise erfolgen. Gemäß der RVR Auflage vom 1. Juli 2020 (DFWR und DHWR 2020) kann frisches Käferholz in die Qualitätsklassen B oder C einsortiert werden. Wenn die rasche Abfuhr von frischem Käferholz in guter Qualität gewährleistet ist, beispielsweise von den Erdstammstücken, kann bei diesen eine mechanisierte Holzernte ohne Entrindung mit dem Debarking Head erfolgen. Die unentrindeten Holzsortimente sollten vorrangig gerückt werden. Unverkäufliche entrindete Sortimente müssen nicht gerückt werden, ihr Verbleib im Wald belässt wichtige Nährstoffe auf der Fläche und schont die Ressourcen.

Der Befall durch rindenbrütende Borkenkäfer lässt die Fichten austrocknen, in diesem Fall verhalten sich die Bäume bei der Entrindung wie die Bäume, die im Winter außerhalb der Saftzeit entrindet werden. Es können nicht mehr so hohe Entrindungsprozente erreicht werden. Die geringere Feuchte des Stammes bedingt, dass die Lagerungsdauer der Stämme bei trockener Witterung zwischen der Ernte und der Rückung verringert werden kann.

Haftner (2019) untersuchte für einen Forstbetrieb, wie das Ziel einer Vermeidung oder zumindest Verringerung eines Insektizideinsatzes bei fängischen oder befallenen Fichtenpoltern erreicht werden

kann. Neben den klassischen Instrumenten der raschen Abfuhr sowie der Lagerung außerhalb des Waldes inklusive der Nasslagerung, kann künftig der Einsatz von Debarking Heads ein wichtiger zusätzlicher Baustein der Strategie sein. Zumal die Entrindung im Privat- und Kommunalwald gefördert wird. In Staatswaldbetrieben ist in diesem Zusammenhang eine Definition und Anrechnung als Gemeinwohlleistung anzustreben. Diese Definition wäre natürlich alleine schon aus dem Gesichtspunkt der Nährstoffnachhaltigkeit ebenso sinnvoll.

Ein weiterer, ganz erheblicher, Vorteil ist, dass eine rasche Abfuhr des Käferholzes aus Waldschutzgründen nicht mehr erforderlich ist. Die Logistikkette kann somit, besonders in Zeiten hohen Holzanfalls, entzerrt werden, gerade auch auf Weichböden oder generell bei witterungsbedingt für Befahrung mit Rückefahrzeugen zu feuchten Böden.

AP 4 Nährstofffreisetzung und Humusbildung

Verantwortlicher Projektpartner: HSWT

Beteiligter Projektpartner: KWF

Anlage eines Langzeitversuchs zu Rindenzersetzungsraten

Neben den Untersuchungen zur Rindenzersetzung wurde im April 2020 ein Langzeitversuch zur Rindenzersetzung angelegt. Hierbei wurden Holzkästen, die unten hin offen sind und auf denen oben ein breitmaschiges Gitter befestigt ist, in den Wald gebracht und mit Rinde befüllt.

Ein Zersetzungskasten wurde in einen Pappelbestand (Energiewald der HSWT, nahe Erlau bei Freising) mit der Humusform Mull ausgebracht, der andere in einen Fichtenbestand im Thalhauser Forst (Lehrwald der HSWT) bei Freising auf die Humusform Moder. Im Pappelbestand gab es bei Anlage des Versuchs keine Bodenvegetation, im fichtendominierten Bestand hingegen schon (Seegras). Um eine möglichst realistische Zersetzung zu beobachten, wurde diese Vegetation nicht entfernt.

Die Anordnung der Rinde ist in beiden Zersetzungskästen gleich, entsprechend

Kiefer	Fichte	Douglasie	Lärche	Buche
--------	--------	-----------	--------	-------



Abbildung 28: Rindenzersetzungsversuch von fünf Baumarten im Pappel-Energiewald am Tag der Anlage

Das Material wurde mit dem Schälisen gewonnen. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, wurde jeweils ein Eimer mit 10 Litern Volumen mit Rinde gefüllt und anschließend in die Versuchsanordnung eingebracht.

Abbildung 29: Rindenzersetzungsversuch von fünf Baumarten in einem Fichten-dominierten Altbestand im Thalhauser Forst am Tag der Anlage

Knapp 18 Monate später (Oktober 2021) ist zu beobachten, dass – wie zu erwarten – die Umsetzung der Rinde auf dem Mullboden deutlich stärker fortgeschritten ist als auf dem Fichtenmoder mit Seegrass. Insgesamt läuft die Umsetzung der Rinde deutlich langsamer ab als die der ebenfalls mit Zersetzungskästen beobachteten von z. B. Buchenblättern oder Fichtennadeln.

Das Volumen der Rinden hat sich visuell über alle untersuchten Baumarten etwa um zwei Drittel auf dem Mullboden und nur etwa ein Drittel auf Moderboden verringert. Etwas schneller zersetzlich zeigt sich insgesamt die Buchenrinde (vgl. *Abbildung 30* mit

), am langsamsten zersetzt sich die Rinde der Douglasie mit ihren sich hydrophob verhaltenden Korkeinlagerungen.



Abbildung 30: Rindenzersetzungsversuch nach 18 Monaten, Ausschnitt Lärche (links) und Buche (rechts) auf Mullboden

Insgesamt zeigt sich visuell bzw. volumenbezogen eine unterschiedlich schnelle Umsetzung der Rinden, abhängig von Baumart und Humusform in den untersuchten Beständen. Auch hier sollten die Untersuchungen fortgesetzt werden und insbesondere Mischungen aus Laub- und Nadelstreu, Rinde sowie Zweig- und Astmaterial in Freilandversuchen auf verschiedenen Bodentypen und Humusformen beobachtet werden.

Untersuchung bodenkundlicher Parameter

Eine Untersuchung der Abbaurrate von Fichtenrinden auf Moder in einem Fichtebestand bei Freising fand im Winter 2018 auf 2019 statt. Dabei wurde zwischen Dezember und Februar über Probesäckchen ein Biomasseabbau von 13 % ermittelt, bezogen auf die Trockenmasse (Steinacker 2019).

Eine indirekte Untersuchung der bodenkundlichen Parameter fand über die Analyse der Rinde aus einem Rindenzersetzungsversuch statt, der im Sommer 2019 durchgeführt wurde (Gerthofer 2020). Hierfür wurden Rindenproben, die verschieden lang im Bestand verblieben waren, zur Nährstoffanalyse in ein Labor gegeben. Durch die Analyse der Veränderungen der Nährstoffe und -elemente in der Rinde kann darauf geschlossen werden, welche Elemente über den Versuchszeitraum in den Bestand und somit das Ökosystem zurückgeführt werden.

Es wurden der Biomasseabbau, die freigesetzten Nährelemente und die freigesetzten Nährstoffe untersucht. Dazu wurden sechs Mischproben gewonnen. Drei Proben waren lediglich zwei Tage im Wald, drei weitere die gesamte Versuchsdauer von 47 Tagen. Eine Probe wurde jeweils aus allen fünf Rindensäckchen erstellt, die jeweils auf einer Versuchslinie (Fahrspur, Rückengassenmitte und Bestand) lag. Die Analyse der Daten erfolgte durch die Agrolab GmbH mit normierten Verfahren.

Aus den Analyseergebnissen konnten *Abbildung 31* und *Abbildung 32* erstellt werden. Sie zeigen die Gehalte der Nährstoffe bzw. Nährelemente in Milligramm pro Kilogramm Rinde. In blau dargestellt sind jeweils die Gehalte zu Beginn (erste Woche), orangefarben nach sieben Wochen im Wald.

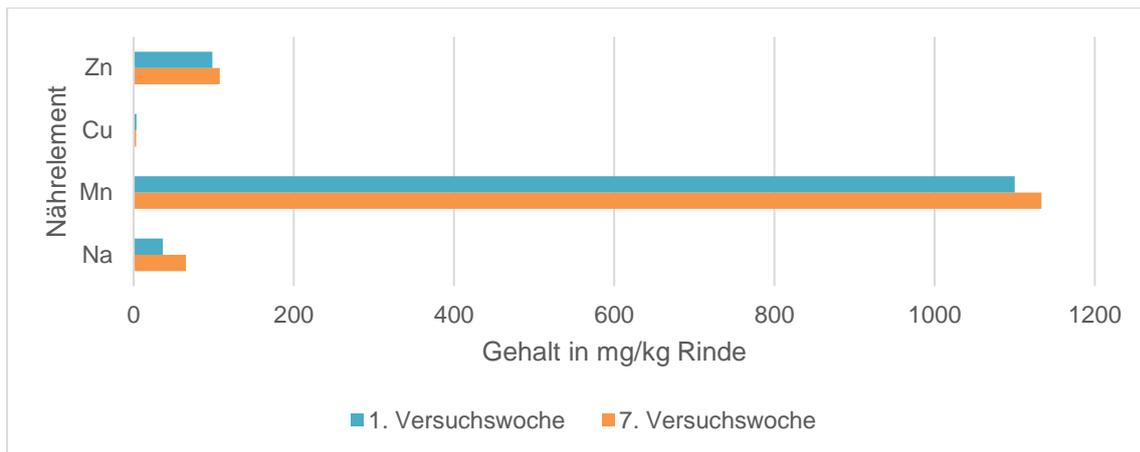


Abbildung 31: Entwicklung der Nährelementgehalte in der zurückbleibenden Rinde

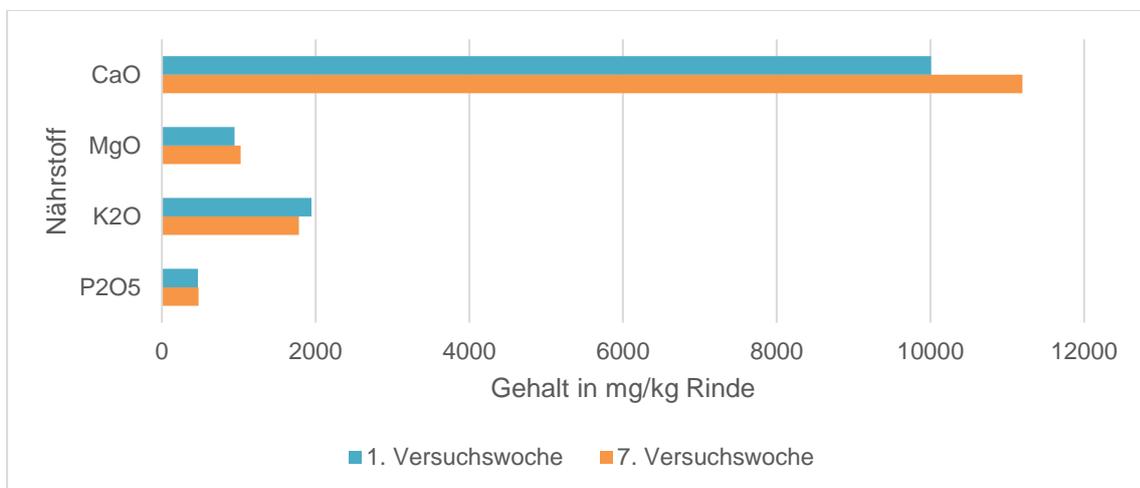


Abbildung 32: Entwicklung der Nährstoffgehalte in der zurückbleibenden Rinde

Während des Rindenzersetzungsversuchs nahm die Biomasse (trockenmassebezogen) um 13 % ab. Die Freisetzung von Kaliumoxid (K_2O) und Kupfer (Cu) erfolgte dabei überproportional zur Biomasseabnahme, was einen mit der Zeit abnehmenden Gehalt in der zurückbleibenden Rindenmasse bedeutet. Diese Stoffe stehen dem Ökosystem Wald somit vermutlich schnell wieder zur Verfügung.

Bei den Nährelementen Zink (Zn), Mangan (Mn) und Natrium (Na) nimmt der Gehalt bezogen auf die verbleibende Rindenmasse zwischen der ersten und siebten Woche dagegen zu. Bei den Nährstoffen nimmt der Gehalt bei Calciumoxid (CaO), Magnesiumoxid (MgO) und Phosphorpentoxid (P_2O_5) zu, es kommt zu einer Aufkonzentration in der Rinde und damit mutmaßlich zu einer etwas verzögerten Abgabe dieser Nährstoffe.

Insgesamt handelt es sich bei diesem Versuch um einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum und eine niedrige Stichprobendichte. Eine Wiederholung und längerfristige Untersuchung der Zusammenhänge mit höherer Stichprobendichte wäre sinnvoll.

Nichtsdestotrotz kann man als großen Vorteil des Debarking-Head-Verfahrens gegenüber dem Status Quo der Holzernte in Deutschland in Bezug auf den Nährstoffhaushalt eine langsame, kontinuierliche und verlustfreie Freisetzung von zusätzlichen Nährelementen aus der Rinde direkt im Bestand festhalten.

AP 5 Datenanalyse und Bilanzierung

Verantwortlicher Projektpartner: HSWT

Beteiligter Projektpartner: KWF

Ökonomische Bilanzierung

Die Aufarbeitung des Stammes inklusive der Entrindung durch das Harvesteraggregat dauert rund ein Drittel länger. Eine genaue Prozentzahl ist schwierig anzugeben, denn viele Faktoren, die bereits Zeitbedarf und Arbeitsproduktivität bei einer regulären Aufarbeitung mit einem Harvester beeinflussen, wirken sich auch hier aus, beispielsweise die Vertrautheit des Fahrers mit der Maschine und dem Verfahren, die Geländeverhältnisse, die Tageszeit und Witterung, das H/D-Verhältnis der Bäume sowie ihre Formigkeit und Astigkeit. Besonders erwähnenswert sind folgende Einflussfaktoren:

1. Die Jahreszeit

In den Versuchen hat sich herausgestellt, dass sich im Saftfluss ein Entrindungsprozent von bis zu 100 % (im Mittel 85 %) für die Baumarten Kiefer und Fichte erreichen lässt. Außerhalb der Vegetationszeit ließ sich die Rinde deutlich schlechter vom Stamm entfernen, was auch zu einer höheren Beschädigung des Holzkörpers führte. Hier wurde eine Entrindung von rund 60 % bei Kiefer und Fichte erreicht.

Bei Käferholz wurde in den Versuchen eine Entrindung von 80 % erreicht.

2. Die Formigkeit des Holzes

Die Formigkeit hat großen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität und die Entrindungsqualität. Bei starken Krümmungen werden Stammbereiche vor und nach der Krümmung nicht oder nur schlecht von den Entastungsmessern erreicht.

3. Die Baumart

Durch das Abschieben langer Rindenstreifen kann es vorkommen, dass sich Rindenstücke zwischen Stamm und Messrad schieben und somit die Längenmessung behindern. Die Messanlage verliert dann die Information, an welchem Teil des Stammes das Aggregat steht und welche Strecke seit dem letzten Nullschnitt zurückgelegt wurde. Dies kommt bei Kiefer, Buche und Eiche in der Saftzeit kaum vor, bei Fichten, Douglasien und Lärchen gelegentlich. Der Fahrer muss den Stamm nun aus dem Aggregat auslassen, erneut greifen und einen neuen Nullschnitt setzen, damit die Messung von vorne beginnen kann. Zwar ist das Problem einfach zu lösen, dennoch kostet es Zeit und erhöht den Kraftstoffverbrauch und den X-Holz-Anteil, wenn auch geringfügig.

Resultierend aus dem variierenden Zeitbedarf sind auch die Kosten des Arbeitsverfahrens nicht pauschal anzugeben.

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen beziffern bei der Entrindung mit entrindendem Harvesteraggregat die Kosten auf 2,50 - 5,00 €/Fm.

Beispielhaft sind in der nachfolgenden Tabelle die Arbeitsproduktivität und Kosten (*Tabelle 13, Tabelle 14*) aus dem Sommersversuch 2019 in Rheinland-Pfalz mit einem Komatsu 931 XC und einem Aggregat S132 mit Entrindungswalzen aufgeführt. Die Ergebnisse sind untereinander direkt vergleichbar, da der Holzeinschlag abwechselnd unter gleichen Bedingungen mit und ohne Entrindung durchgeführt wurde.

Die Versuche wurden im Nadelholz Fichte durchgeführt (ausscheidender Bestand: BHD 35 cm m. R., 0,70 Fm o. R. /Baum).

Tabelle 13: Vergleich Arbeitsproduktivität mit und ohne Entrindung

Arbeitsproduktivität	unentrindet	entrindet	Differenz %
Aufarbeitung mit Harvester	24 Fm/MAS	17 Fm/MAS	-29
Rücken mit Forwarder	14 Fm/MAS	13 Fm/MAS	-11

Tabelle 14: Vergleich Kosten mit und ohne Entrindung

Kosten	unentrindet	entrindet	Differenz %
Aufarbeiten mit Harvester	6,49 €/Fm	9,26 €/Fm	42
Rücken mit Forwarder	6,34 €/Fm	7,14 €/Fm	12
Gesamtkosten	12,83 €/Fm	16,40 €/Fm	27

Tabelle 15: Kostensätze zur Berechnung der Kosten in Tabelle 13

Kostensätze (Unternehmersätze)	
Fällen, Aufarbeiten Harvester	158,00 €/MAS
Rücken mit Forwarder	90,00 €/MAS

Ein Faktor, der in die ökonomische Bilanzierung eingeht, ist die Anschaffung für einen Umrüstsatz eines Harvesteraggregates. Je nach Umfang der Umrüstung, die abhängig ist vom Harvesteraggregat (Abbildung 1), liegen die Kosten in der Anschaffung zwischen 5.000 und 12.000 €. Bei manchen Aggregaten ist eine bauliche Umrüstung schlichtweg nicht möglich, so dass hier womöglich ein bestehendes in ein umrüstbares Aggregat getauscht werden müsste.

Mehrere Vor- bzw. Nachteile können nicht abschließend monetär beziffert werden. Die Entrindungskosten beim Einsatz von Debarking Heads liegen jedoch weit unter denen manueller Entrindung oder des Einsatzes von mobilen Entrindungsmaschinen.

SWOT-Analyse der Distributionswege und Stoffströme für entrindetes Holz in Deutschland

Bei einer SWOT-Analyse handelt es sich um ein klassisches Werkzeug aus der Unternehmensplanung. Ebenso kann diese für die Bewertung eines Projektes verwendet werden. Hierbei werden Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Chancen (Opportunities) und Risiken (Threats) ausgemacht und beschrieben. Dabei sollen mit der Analyse der Stärken und Schwächen der Ist-Zustand ermittelt werden, bei den Chancen und Risiken liegt das Hauptaugenmerk auf den langfristigen Auswirkungen des Einsatzes von Debarking Heads. Mit den Stärken und Schwächen wird eine interne Analyse durchgeführt, die Chancen und Risiken werden als externe Analyse betrachtet.

Die Auswertung erfolgte im Rahmen einer Bachelorarbeit an der HSWT. Die Datengrundlage bildeten die 15 Abschlussarbeiten, die an der Hochschule im Rahmen der beiden Forschungsprojekte bis März 2020 angefertigt wurden. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse des Fragebogens zur Akzeptanz der

Debarking Heads bei Forstunternehmern, der im Arbeitspaket 1 beschrieben wurde, in der Bachelorarbeit betrachtet und für die SWOT-Analyse berücksichtigt.

Die Ergebnisse der SWOT-Analyse werden in *Tabelle 16* dargestellt.

Tabelle 16: Darstellung der SWOT-Matrix zu Debarking Heads, Vergleiche beziehen sich auf das konventionelle Holzernteverfahren mit dem Harvester (nach Gardik-Karda 2020)

Stärken (S)		Schwächen (W)	
S1	Reduzierung des Nährstoffaustrags aus dem Ökosystem Wald	W1	Geringere technische Arbeitsproduktivität (Fm/MAS)
S2	Vernichtung von Bruträumen für rindenbrütende Insekten	W2	Hohe Schadensgefahr an Verjüngung und verbleibendem Bestand
S3	Verminderung von Masse und Volumen durch Entrindung und Trocknung	W3	Thermische und stoffliche Verwertung der Rinde entfallen
S4	Signifikante Reduzierung der Tiefe von Holzschäden mit Verletzung der Holzfasern durch die Vorschubwalzen	W4	Erhöhung des X-Holz-Anteils
S5	Funktionserweiterung einer bereits vorhandenen Maschine, geringer Logistikaufwand	W5	Entfernung der Rinde als Schutz vor Austrocknung und Rissbildung
S6	Hohe Entrindungsprozente in den Sommermonaten	W6	Signifikant tiefere und großflächigere Astlöcher, Faserrisse und Rücke- und Fällschäden
S7	Keine wesentlichen Veränderungen der Arbeit für den Harvesterfahrer	W7	Reduzierung des Reibbeiwerts, direkte Polterung u.U. schwierig
		W8	Geringe Auswirkungen auf Nährstoffhaushalt im Vergleich zu Kosten
		W9	Verbleib der Rinde auf Stellen der Aufarbeitung (fehlende Verteilung im Bestand)
		W10	Geringe Entrindungsprozente in den Wintermonaten
Chancen (O)		Risiken (T)	
O1	Ökologischer und effizienter Waldschutz	T1	Geringe Nachfrage an entrindetem Holz auf dem Holzmarkt
O2	Schaffung und Etablierung einer Marke sowie Zertifizierung von entrindetem Holz	T2	Umlage der höhere Holzerntekosten von Unternehmer auf Waldbesitzer
O3	Steigerung des Zuwachses und somit Steigerung der Einnahmen der Waldbesitzer	T3	Geringere Einnahmen für Waldbesitzer durch Qualitätsverlust des Stammholzes
O4	Steigerung Stammanzahl pro Fuhre durch Wegfall von Rinde und schnellere Stamm-trocknung	T4	Finanzielle Belastung der Sägewerke durch Wegfall der Einnahmen durch Rindenprodukte
O5	Senkung von Kraftstoffverbrauch und Kosten bei Holztransport		
O6	Schaffung neuer Möglichkeiten für den Waldumbau im Klimawandel auf nährstofflimitierten Standorten		
O7	Reduktion der Feinstaubbelastung und des Ascheanfalls bei energetischer Nutzung		
O8	Möglichkeit mehr Holz zu entnehmen bei gleichem Nährstoffaustrag wenn Entrindung		

In der Tabelle aufgeführte Komparative vergleichen das konventionelle Verfahren mit dem modifizierten Debarking Heads-Verfahren. Die größte Stärke von Debarking Heads ist die hohe ökologische und waldschutzrelevante Leistungsfähigkeit des Systems. Die Entrindung verbessert den Nährstoffhaushalt, ist ein effizientes Werkzeug zur Borkenkäferbekämpfung und -prophylaxe, reduziert den Kraftstoffverbrauch beim Holztransport und löst die Rinde aus der energetischen Nutzung, was zu einem geringeren Ascheanfall und weniger Feinstaubbelastung führt. Diese Vorteile sollten auch in die Vermarktung von Produkten aus mit Harvestern entrindetem Holz als umweltfreundlich und nachhaltig mit einfließen. Hier kommt beispielsweise eine Preispolitik in Betracht, die aufgrund des ökologischen Wertes des Verfahrens höhere Entgelte generiert. Des Weiteren ist an eine politische „Vermarktung“ der Umweltfreundlichkeit zu denken in Form einer staatlichen Förderung, die nicht auf die Entrindung zum Zwecke der Borkenkäferbekämpfung beschränkt bleiben sollte.

Die größte Stärke von Debarking Heads ist die hohe ökologische und waldschutzrelevante Leistungsfähigkeit des Systems. Die Entrindung verbessert den Nährstoffhaushalt, ist ein effizientes Werkzeug zur Borkenkäferbekämpfung und -prophylaxe, reduziert den Kraftstoffverbrauch beim Holztransport und löst die Rinde aus der energetischen Nutzung, was zu einem geringeren Ascheanfall und weniger Feinstaubbelastung führt. Diese Vorteile sollten auch in die Vermarktung von Produkten aus mit Harvestern entrindetem Holz als umweltfreundlich und nachhaltig mit einfließen. Hier kommt beispielsweise eine Preispolitik in Betracht, die aufgrund des ökologischen Wertes des Verfahrens höhere Entgelte generiert. Des Weiteren ist an eine politische „Vermarktung“ der Umweltfreundlichkeit zu denken in Form einer staatlichen Förderung, die nicht auf die Entrindung zum Zwecke der Borkenkäferbekämpfung beschränkt bleiben sollte.

In jedem Fall kann die ökologische und waldschutzfachliche Komponente des Verfahrens für die Vermarktung und Erzeugung eines positiven Bildes in der Öffentlichkeit eingesetzt werden. Erstrebenswert wäre dazu auch eine Steigerung der Entrindungsprozente in den Wintermonaten, um ein Verfahren präsentieren zu können, das ganzjährig voll wirksam eingesetzt werden kann.

Ebenso sollten auch die Vorteile von Debarking Heads für die Transportkosten sowie die langfristigen positiven Auswirkungen auf die Gesundheit des Waldes, den Zuwachs und folglich auch auf den Ertrag hervorgehoben werden. Die Massen- und Gewichtsreduktion kann als wichtiges Argument in Vertragsverhandlungen mit den Holzabnehmern und Frächtern dienen. Beide profitieren von dem erhöhten Transportvolumen, da in der Regel eine Abrechnung nach Festmetern erfolgt. Des Weiteren zahlt sich das geringere Gewicht für den Frächter in Form eines geringeren Kraftstoffverbrauchs aus. Für den Waldbesitzer bedeutet der Einsatz von Debarking Heads, dass die Rinde dem Nährstoffkreislauf im Wald erhalten bleibt und somit den Bäumen wichtige Nährelemente liefert.

Das Problem fehlender Abnehmer ist für Debarking Heads das größte Risiko. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Online-Befragung. Um Produkte aus der Aufarbeitung mit Entrindungsaggregaten auf dem Markt zu etablieren, empfiehlt es sich deshalb, zunächst kleine und mittlere Sägewerke als potenzielle Abnehmer anzustreben. Sie zeigen hierzu unter Umständen eine höhere Bereitschaft, da sie im Gegensatz zu großen Sägewerken ohnehin flexibler auftreten müssen, um sich auf dem Markt halten zu können. Regional sollte dabei der Schwerpunkt auf Waldgebiete Deutschlands gelegt werden, die eine schwache Nährstoffversorgung aufweisen.

Zeigen sich langfristig positive Effekte sowohl für die Säger als auch für die Waldbesitzer, ist eine Steigerung der Abnehmer möglich. Schließlich sollten neben Waldbesitzern mit größeren Waldflächen insbesondere staatliche und kommunale Wälder in die Etablierung des Verfahrens integriert werden, da diese einem öffentlichen Auftrag für eine vorbildliche Forstwirtschaft unterliegen und über eine erhebliche Waldfläche verfügen.

Weitere Verbesserungen hinsichtlich des Schadensrisikos für Verjüngung, verbleibenden Bestand und aufgearbeitetem Holzkörper sowie bezüglich der Produktivität sind erforderlich.

Dabei können weitere technische Innovationen helfen. Die positiven Effekte der Reduzierung punktueller Schäden, z.B. als Folge tiefer Eindrücke der Stachelwalzen, wird durch die Zunahme flächiger Schäden, beispielsweise durch eindringende Entastungsmesser, sozusagen egalisiert. Technische Innovationen zur Reduzierung aller Schadensarten führen zu hochwertigeren Stämmen. Ebenso sollten Debarking Heads sowohl für die Verringerung des Schadensrisikos im Bestand als auch für die Erhöhung der technischen Arbeitsproduktivität (TAP) weiter technisch optimiert werden. Ein Ziel könnte insbesondere die Senkung der Anzahl an erforderlichen Überfahrten sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Debarking Heads, obwohl sie erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen, viele ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringen. Weitere technische Innovationen und eine auf die Stärken des Verfahrens hin orientierte Vermarktung und Verhandlungsführung können dabei helfen, das modifizierte Holzernteverfahren erfolgreich in die Praxis zu bringen. Erforderlich ist dazu die Abnahme des von mit Entrindungsaggregaten aufgearbeiteten Holzes durch die Holzwirtschaft.

Life cycle assessment (LCA)

Mit Unterstützung des Forschungsbereichs Stoffstrommanagement am Lehrstuhl für Holzwissenschaft an der TUM wurden die Ökoeffizienz von Logistikketten mit Fokus auf unterschiedliche Entrindungsorte untersucht. Weil ohne Rinde weniger Volumen und trockeneres Holz transportiert werden kann, ist zu erwarten, dass weniger Diesel verbraucht wird und der Ausstoß von Treibhausgasen (in kg CO₂-Äq. nach der Methode IPCC 2013 GWP100a) und der kumulierte Energieaufwand (KEA in MJ-Äq.) durch die Entrindung im Bestand gesenkt wird. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich auch die emittierten Feinstaubmengen (in kg PM₁₀-Äq. nach der Methodensammlung ReCiPe Midpoint H) reduzieren. Dazu wurde die Methode der Ökobilanz gewählt und die Umweltwirkungen gängiger Entrindungs-technologien wurden mit denen des Debarking Head verglichen.

Dazu wurden drei Produktsysteme definiert, die unter der Verwendung unterschiedlicher Entrindungstechniken die Bereitstellung von einem Kubikmeter Fichtenschnittholz als Ziel haben. Untersucht wurde

- der Einsatz von Debarking Head in der Holzernte,
- die Entrindung durch einen mobilen Entrindungszug an der Waldstraße und
- das gängigste Verfahren mit der stationären Entrindung im Sägewerk.

Für die Arbeit wurden Literaturwerte und Daten aus der LCA-Datenbank ecoinvent v 3.5. verwendet. In der Forstwirtschaft ist grundsätzlich eine Vielzahl an Einfluss- und Störgrößen gegeben, die sich in einer Ökobilanz auswirken können. In der Arbeit von Baumann (2020) sind die Basisannahmen enthalten für die Modellierung der

- Holzernernteprozesse
- Holzurückung
- Rundholztransporte
- mobilen Entrindung
- Werksentrindung
- Einschnitt von einem Kubikmeter (m³) Schnittholz (frisch).

Tabelle 17 zeigt beispielhaft die Basisannahmen für die Modellierung der Rundholztransporte. Eine wichtige Quelle für Eingangswerte waren die Berechnungsgrundlagen des ExpResBio-Projektes (Dressler et al. 2016).

Tabelle 17: Basisannahmen für die Modellierung der Rundholztransporte (Baumann 2020)

	Kenngröße	Wert	Einheit	Quelle
Rundholztransport	Benötigte Transportmasse	1,63	m³	Kap. 2.3 Annahme
	Transportdistanzen (einfach)	25	km	Kap. 2.3 Annahme
		50	km	
		100	km	
Transportgewicht	Stammholz o.R. / w= 30%	541	kg/m³	Kap. 2.3 Annahme
	Stammholz o.R. / w= 50%	738	kg/m³	
Rundholz-LKW	Nutzlast	22.000	kg	ExpResBio
	Leergewicht	18.000	kg	ExpResBio
	techn. Nutzungspotenzial	540.000	km	EcoInvent 3.5
	Auslastungsgrad	100	%	
Diesel	Verbrauch	35	l / 100 km	EcoInvent 3.5

Nach der Modellierung der Produktsysteme wurden deren Umweltwirkungen durch die LCA-Software openLCA v.1.10.2 berechnet. Neben den unterschiedlichen Entrindungstechnologien wurden auch unterschiedliche Produktivitätsraten bei der Holzernte und unterschiedliche Transportdistanzen bis zum Sägewerk modelliert. Insgesamt wurden 27 Varianten für die Bereitstellung von frischem Fichtenschnittholz modelliert und verglichen.

Die Ergebnisse aus den Berechnungen zeigen, dass der Rundholztransport durch verminderte Transportgewichte einen hohen Einfluss auf die Umweltwirkungen der Bereitstellungskette von Sägerundholz und letztlich die gesamten Produktsysteme hat. Den Berechnungen zufolge können pro Kilometer 0,04 kg CO₂-Äq., 0,00008 kg PM₁₀-Äq. und 0,67 MJ-Äq. aufgewendeter Primärenergien eingespart werden, wenn Holz ohne Rinde und mit vermindertem Wassergehalt transportiert wird. Die Schadstoffemissionen und der kumulierte Energieaufwand steigen linear mit der Transportdistanz an.

Betrachtet man mit der Bereitstellung des Sägerundholzes nur die Schadstoffemissionen und den KEA bis zum Werkstor des Sägewerks, können in allen untersuchten Wirkungskategorien die durchschnittlichen Mehraufwendungen für Debarking Head-Holzernte gegenüber dem konventionellen Harvester nach einer Transportdistanz von 13 km kompensiert werden (Abbildung 33).

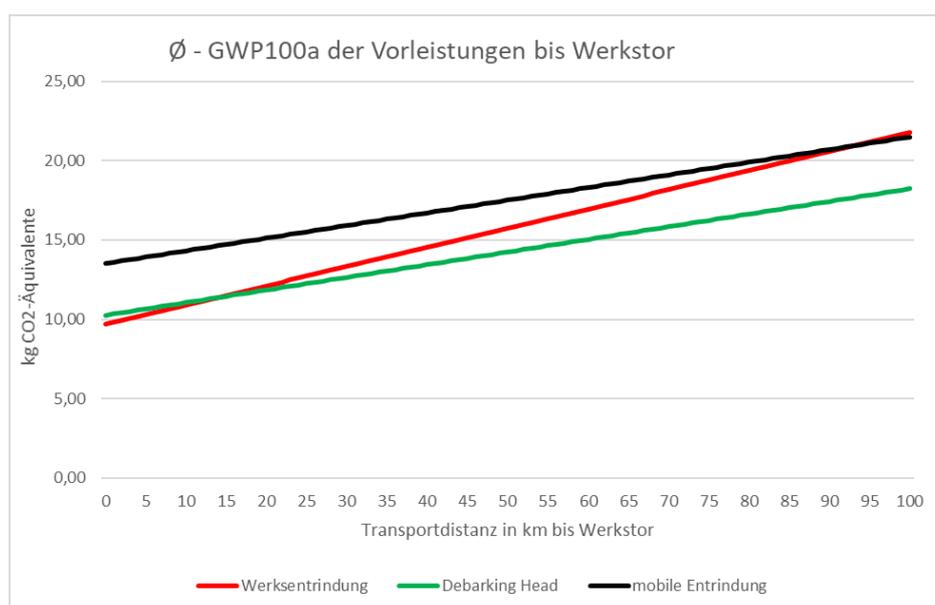


Abbildung 33: THG-Emissionen der Bereitstellungskette für Sägerundholz abhängig von den Transportdistanzen bis zum Sägewerk (Baumann, 2020)

Für eine Kompensation der THG-Emissionen des mobilen Entrindungszugs durch den Transport ohne Rinde wird eine Transportdistanz von 92 km benötigt. Der KEA und die Feinstaubemissionen durch mobile Entrindung waren in den Modellen gegenüber den THG-Emissionen erhöht. Diese beiden Wirkungskategorien benötigen zur Kompensation Transportdistanzen von über 200 km.

In der Gesamtbetrachtung der Systeme wurde die Erwartungshaltung noch übertroffen. Der zu Beginn entstehende Mehraufwand bei der Holzernte durch Debarking Head ist letztendlich mit geringeren Schadstoffemissionen und einem geringeren Primärenergieverbrauch verknüpft als die stationäre Entrindung und anschließende Rindenhackschnitzelproduktion im Sägewerk oder die mobile Entrindung. Durchschnittlich wurden ohne den Rundholztransport 17 kg CO₂-Äq., 0,0408 kg PM₁₀-Äq. und 285 MJ-Äq. im Produktsystem Debarking Head bilanziert. Die Werte der Werksentrindung liegen analog bei 18 kg CO₂-Äq., 0,0413 kg PM₁₀-Äq. und 301 MJ-Äq. Bei der mobilen Entrindung ohne Rundholztransport liegen die Werte durchschnittlich bei 20 kg CO₂-Äq., 0,0549 kg PM₁₀-Äq. und 333 MJ-Äq.

Das bedeutet, dass auch ohne die Kompensationsmöglichkeit durch den Rundholztransport der Einsatz von Debarking Head klima- und ressourcenschonender ist als die gängigen Entrindungstechnologien. Im Durchschnitt über alle berechneten Varianten hinweg lag das GWP_{100a} im Produktsystem Debarking Head bei 22 kg CO₂-Äq., bei der mobilen Entrindung bei 25 kg CO₂-Äq. und bei der Werksentrindung bei 25 kg CO₂-Äq.

Die Feinstaubemissionen belaufen sich durchschnittlich auf 0,0496 kg PM₁₀-Äq. beim Debarking Head, 0,0553 kg PM₁₀-Äq. bei Werksentrindung und 0,0643 kg PM₁₀-Äq. bei mobiler Entrindung. Der KEA im Produktsystem Debarking Head liegt durchschnittlich bei 362 MJ-Äq., bei der Werksentrindung bei 419 MJ-Äq. und bei 427 MJ-Äq. wenn ein mobiler Entrindungszug zum Einsatz kommt.

Unter den getroffenen Annahmen emittiert das Produktsystem Debarking Head somit durchschnittlich 13 % weniger THG und 10 % weniger Feinstaub als das System mit Werksentrindung und verbraucht 14 % weniger Primärenergie.

Der Einsatz der Debarking Head-Technologie ist in allen berechneten Varianten die klimaschonendste Alternative. Auch der Aufwand von Primärenergie und der Feinstaubausstoß sind in Modellen mit Debarking Head stets geringer. Die höchsten negativen Umweltwirkungen in allen Wirkungskategorien sind beim Einsatz mobiler Entrindungszüge zu erwarten.

Der Debarking Head-Einsatz bringt neben den Vorteilen für den Waldschutz und der Minderung des Nährstoffaustrags eine Optimierung der Ökoeffizienz der Holzbereitstellung mit sich. Deswegen ist es auch und gerade unter europäischen Verhältnissen sinnvoll, diese Technologie weiter zu etablieren. Eine ökonomische Bewertung der Vorteile durch Belassen der Rinde im Wald ist bei der Analyse der Ökoeffizienz nicht enthalten.

Auch die mobile Entrindung kann bei Borkenkäferkalamitäten eine ökologisch günstigere Alternative im Vergleich zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln sein. Durch erhöhte Schadstoffemissionen und den erhöhten Primärenergiebedarf sollte die mobile Entrindung aber nur in Ausnahmesituationen angewendet werden. Die Entrindung im Bestand durch Debarking Heads wäre hier sowohl ökologisch als auch ökonomisch vorteilhafter.

AP 6 Ergebnistransfer in die Praxis

Verantwortlicher Projektpartner: KWF

Beteiligter Projektpartner: HSWT

Abschließende Bewertung des Systems in seiner Gesamtheit und Empfehlungen für eine Markteinführung

Mit den Projekten Debarking Heads I und Debarking Heads II wurde der Einsatz entrindender Harvesterköpfe in Deutschland erforscht. Lag das Augenmerk während des ersten Projektes vornehmlich auf dem Verbleib der rindengebundenen Nährstoffe im Bestand, so gewann im Verlauf des zweiten Projektes die insektizidfreie Borkenkäferprävention aufgrund der Kalamitätslage eine enorme Bedeutung.

Mit Abschluss der Projekte kann man davon ausgehen, dass das Verfahren, mit entrindenden Harvesterköpfen direkt im Bestand zu entrinden, in der Praxis angekommen ist. Trotz der Mehrkosten beim Einsatz von Debarking Heads birgt diese Technik besonders aus waldschutzfachlicher Sicht und hinsichtlich des Nährstoffhaushaltes des Bodens ein großes Potenzial in sich. Problematisch ist, dass die Akzeptanz von entrindetem Holz bzw. der Einsatz von Entrindungsaggregaten durch die Abnehmerseite gehemmt wird.

- Durch den Einsatz von entrindenden Harvesterköpfen werden hohe Anteile der Rinde vom Stamm entfernt. Verbleibende Rindenanteile trocknen zudem schneller aus. Rindenbrütenden Insekten wird somit der Brutraum entzogen, die Weiterentwicklung und der damit einhergehende Ausflug der Insekten werden gehemmt. In Zeiten von erhöhtem Absatzdruck auf dem Holzmarkt, beispielsweise nach Windwurf oder Insektenkalamitäten, sind die Insektizid-Behandlung oder andere Maßnahmen des Waldschutzes bei entrindetem Holz hinfällig. Die Entrindung ist aus Sicht von Waldschutzexperten nur sinnvoll, wenn die Käfer im frühen („weißen“) Entwicklungsstadium sind. Die höchste Wirksamkeit der Entrindung wird im Frühjahr mit Auftreten des ersten Neubefalls erreicht.
- Der Einsatz von Debarking Heads ist besonders zur Aufarbeitung verstreuter Kleinmengen (Käferlöcher) geeignet.
- Eine sortimentsweise Entrindung der Stämme ist möglich. Bei Aufarbeitung ein und desselben Baumes können Sortimente, die sofort abgefahren werden, nicht entrindet, Sortimente, die länger im Wald lagern, entrindet werden.
- Das Verfahren bietet logistische Vorteile beim Rücken, insbesondere auf Weichböden, da beim Rücken von entrindetem Fichtenholz geeignete Bedingungen abgewartet werden können. Es besteht kein Zeitdruck, da weder ein Ausflug von Borkenkäfern droht noch eine Besiedlung. Beim Rücken selbst wird weniger Last getragen und es werden in Summe weniger Überfahrten nötig.
- Die Logistikkette von entrindetem Holz unterscheidet sich, wenn die Stämme trocken sind, nicht signifikant von den Abläufen der Logistikkette von unentrindetem Holz. Empfohlen wird, eine einwöchige Trocknungsdauer vor der Rückung/Abfuhr einzuhalten.
- Da die Rinde nicht mittransportiert und trockeneres Holz geladen wird, erhöht sich die Transportkapazität der LKW. Der Treibstoffverbrauch pro Kubikmeter Holz wird geringer. Die Ökoeffizienz der Bereitstellungskette mit Entrindung im Bestand ist höher als die konventionellen Logistikketten mit Werksentrindung oder Entrindung an der Waldstraße. Die Vorteilhaftigkeit steigt mit zunehmender Transportentfernung.
- Rückmeldungen der Akteure zeigen, dass der Nährstoffgehalt im Ökosystem nicht der Haupttreiber für die Umrüstung ist.
- Eine Verletzung des Holzkörpers ist marginal und bei bestimmten Sortimenten irrelevant.

- Bläue tritt, wie bei unentrindetem Holz, zwar auch bei entrindetem Holz auf, ist aber insbesondere bei einer von Kalamitätsholz dominierten Marktlage kein Ausschlusskriterium.



Abbildung 34: Einsatz von Debarking Heads in einem Käferloch (Lippert)

Wissenstransfer

Zur Darstellung von Holzernteverfahren verwendet das KWF die von der TU Dresden entwickelte Darstellungsvariante – das Funktiogramm. Für die Darstellung des Einsatzes entrindender Harvester wurde ein eigenes Piktogramm (Abbildung 35) entwickelt, der Prozess der Entrindung ist speziell gekennzeichnet (Abbildung 36).

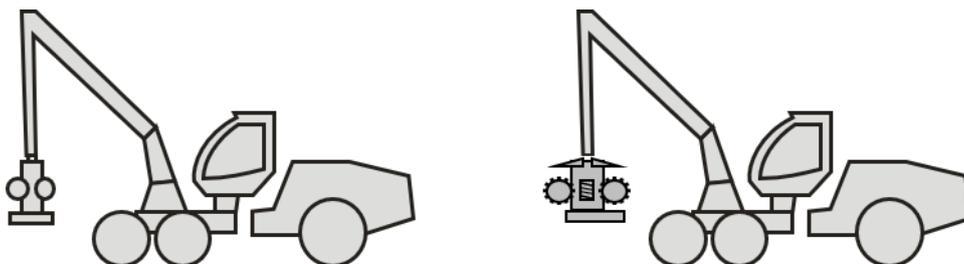


Abbildung 35: Piktogramm Harvester mit herkömmlichem Aggregat (links) und mit Entrindungsaggregat (rechts)

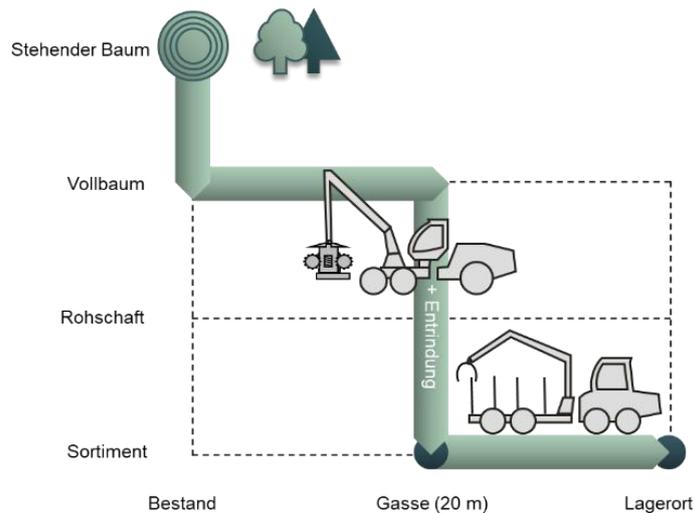


Abbildung 36: Funktionsdiagramm für Einsatz von Debarking Heads

Um eine umfangreiche Information der Fachöffentlichkeit zu gewährleisten, wurden die Ergebnisse des Projektes, die an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis generiert werden, während der gesamten Projektlaufzeit in Print- und Onlinemedien vorgestellt.

Zur Präsentation des Projektes im Rahmen der KWF-Sonderschau auf der INTERFORST 2018 wurde ein Flyer erarbeitet (Abbildung 37), um Vertreter von Forstbetrieben aller Waldeigentumsarten sowie Forstunternehmer für das Projekt zu interessieren.



Abbildung 37: Projektflyer Debarbing Head II - Interforst

Für die finale Projektpräsentation im Rahmen der 18. KWF-Tagung in Schwarzenborn wurde ein zweiter Flyer erarbeitet (Abbildung 38), der neben einer kurzen Projektvorstellung die Vorteile und die Projektergebnisse enthält.



Abbildung 38: Projektflyer Debarking Heads 2020

Um Fachpublikum direkt zu erreichen und die Chance zu Diskussionen zu nutzen, wurde das Projekt auf verschiedenen nationalen und internationalen Wissenschaftsveranstaltungen präsentiert (Tabelle 18). Im Rahmen von zentralen Branchenveranstaltungen wurden gezielt Fachleute und Multiplikatoren über das Projekt und die Zwischenergebnisse informiert.

Tabelle 18: Projektpräsentationen auf Tagungen und Messen

24. - 25.04.2018	Fachpressefahrt der Interforst in St. Martin - Vorstellung des Systems
18. - 22.06.2018	Interforst 2018 KWF-Sonderschau
24. - 27.09.2018	Forstwissenschaftliche Tagung Göttingen - Posterpräsentation
25. - 27.09.2018	FORMEC 2018 Madrid – Vortrag „Debarking Heads, a potential solution to modern forestry challenges in Europe? “ Auszeichnung bester wissenschaftlicher Vortrag.
27. - 31.05.2019	LIGNA 2019 Präsentation des Projektes am Stand Debarking Heads im Rahmen der KWF-Sonderschau „Forstwirtschaft 4.0“
06. - 10.10.2019	FORMEC 2019 Sopron - Vortrag "Development and validation of a measurement system used to calculate the debarking percentages of processed logs" sowie Posterpräsentation
Sommer 2021	KWF Tagung: Vorbereitung eines Exkursionspunktes „Debarking Heads. Logistikkette - Nährstoffe – Waldschutz (mit Arbeitsinput bis zur Absage der KWF-Tagung)

Über die Teilnahme an Tagungen und Messen hinaus wurden, wo immer möglich, Einladungen zu Tagungen, Workshops und Expertenrunden angenommen, um über Vortragsarbeit einen umfassenden Ergebnistransfer zu gewährleisten (Tabelle 19). Diese Art der Öffentlichkeitsarbeit ist besonders wertvoll, da die Diskussion mit anderen Wissenschaftlern bzw. Praktikern neue Impulse für die Projektarbeit lieferten. Darüber hinaus konnte so die Bekanntheit des Arbeitsverfahrens in der Praxis erhöht werden.

Tabelle 19: Vorträge über das Projekt und die Zwischenergebnisse

22.03.2018	21. Forstlicher Unternehmertag der Technischen Universität München
06.08.2018	Vorstellung des Systems in Kooperation mit der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW Bayern e.V.) in Eichstätt
30.08.2018	Vortrag auf der Klagenfurter Holzmesse in Österreich

12.10.2018	"Debarking Heads am Harvester - Renaissance der Entrindung im Wald als Waldschutz?", Informationstagung 2018 der forstlichen Zusammenschlüsse in Bayern an der Waldbauernschule in Kelheim/Goldberg
05.02.2019	Kompetenzzentrum Waldtechnik-Landesforsten (KWL) Rheinland-Pfalz- Vortrag zur Akquise von Praxispartnern für Versuchskette
21.02.2019	„Debarking Heads“, Uni Freiburg
14.05.2019	Projektvorstellung, Sitzung des Fachausschusses „Forstmaschinen“, Maienfeld (Schweiz)
08.11.2019	Projektvorstellung, Verwaltungsratssitzung des KWF
29.11.2019	„Debarking Heads - a system to protect against beetle infection in Middle Europe?“, Vortrag vor Vertretern der Finnish Contrator Assosiation - Ponsse
02.02.2021	Entrindung, Debarking Heads, Uni Freiburg
10.02.2021	Projektvorstellung Debarking Heads, Weiterbildungsveranstaltung Niedersächsische Landesforsten

Im Mai 2018 fanden Gespräche und Dreharbeiten mit dem Bayerischen Rundfunk für einen Filmbeitrag zu den Debarking Heads im TV-Format 'Unser Land' statt. Dieser wurde am 1. Juni 2018 ausgestrahlt. Stand Ende Oktober 2021 hat dieser Beitrag 270.000 (!) Aufrufe auf Youtube.

Im Mai 2020 konnten die Ergebnisse des Projektes zudem erstmals über eine Online-Seminareinheit in dem Modul "Holzlogistik und spezielle Holzernettechnik" für das 4. Semester des Forstingenieur-Studiengangs an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf in die Lehre einfließen.

Ergänzt wurden die Aktivitäten durch Publikationen (*siehe 2.5 Veröffentlichungen*) in branchenrelevanten Fachzeitschriften. Die Publikationen erfolgten jeweils in enger Zusammenarbeit bzw. Abstimmung beider Projektpartner.

Die bereits mit dem Vorgängerprojekt erstellte Debarking-Heads-Webseite (<https://www.kwf-online.de/index.php/forschungsprojekte/debarking-heads>) wurde ständig erweitert und aktualisiert. Dadurch ist der Wissenstransfer über die Online-Medien gewährleistet.

Im April 2020 erschien ein Artikel zu den Projektergebnissen in der *LWF aktuell 125* mit dem Titel „Debarking Heads – Entrindende Harvesterköpfe reduzieren den Nährstoffentzug, fördern den Waldschutz und ermöglichen eine Optimierung der Logistikkette“. Er liefert einen Umriss der bisherigen Projektergebnisse für ein Fachpublikum.

Im Juli 2020 erschien ein Artikel in der "*Forst und Technik*". Darin lag das Hauptaugenmerk auf den technischen und maschinellen Modifikationen beim Einsatz eines Debarking Heads.

Am 10. Juli 2020 wurde zudem ein Artikel im *Holz-Zentralblatt 28* veröffentlicht (Bennemann et al. 2020). Als Reaktion auf diesen Artikel äußerten vier Waldschutzexperten in einem Kommentar, der im *Holz-Zentralblatt 30* abgedruckt wurde (Burzlaff et al. 2020), Zweifel an der Waldschutzwirksamkeit von Debarking Heads. Auf ebendieser Zeitungsseite wird ein Beitrag über den Einsatz von Debarking Heads im Nationalpark Bayerischer Wald abgedruckt. Daraus geht hervor, dass Praktiker dort mit der Wirksamkeit von Entrindungsaggregaten bzgl. der erreichten Entrindung und der Wirksamkeit gegen Borkenkäfer zufrieden sind. Für 2021 ist der Einsatz von drei Unternehmern mit entrindenden Harvesteraggregaten mit einem Volumen von 15.000 Festmetern vorgesehen (tel. Auskunft Baierl, 2021).

Die Projektergebnisse wurden auch über die Publikationen hinaus in vielen Telefonaten und schriftlichen Anfragen verbreitet. Bei den Projektpartnern riefen, häufig in Folge von Publikationen, u.a. Mitarbeiter von Forstbetrieben, Forstverwaltungen, Forschungsanstalten, Unternehmer, Holzexporteure an, um Informationen zu Debarking Heads zu erfragen. Dieser Austausch wurde genutzt um Meinungsbilder der verschiedenen Akteure zum Aggregat einzuholen und somit das Projekt weiter voranzubringen.

Im Laufe des Projektes wurde neben den Publikationen im Rahmen des Projektes mehrere Artikel ohne Beteiligung von HSWT oder KWF zu Debarking Heads veröffentlicht. Eine Auflistung dieser uns bekannten Artikel findet sich in *Kapitel 2.5.2 Nicht Projektintern (weitere Medien)*. Diese Aufnahme in verschiedene Medien kann als Indikator gewertet werden, dass der Einsatz von Entrindungsaggregate ein für die Praxis interessantes und relevantes Verfahren ist.

2.2 Gesammelte Erfahrungen im Projektverlauf

Mit dem Aufstockungsbescheid vom 08.07.2019 wurde die Verlängerung der Projektlaufzeit (geplant bis 31.12.2019) bis zum 31.07.2020 von der FNR bewilligt. Durch die Corona-bedingte Verschiebung der KWF-Tagung wurde ein Antrag auf kostenneutrale Verlängerung des Projektes bis 31.07.2021 gestellt, der ebenfalls bewilligt wurde.

Aufgrund der außergewöhnlichen Witterungssituationen in den zurückliegenden Jahren und den Auswirkungen der Corona-Pandemie kam es während der Projektlaufzeit immer wieder zu Änderungen in der Planung und Durchführung der Projektarbeit.

Geplante Versuche für das Frühjahr 2018 in Bayern konnten auf Grund der witterungsbedingten frühen Ausbreitung des Borkenkäfers nicht realisiert werden, da die vorgesehenen Harvesterkapazitäten seitens der Unternehmer nicht zur Verfügung standen. Der Wegfall von geplanten Harvestereinsätzen konnte so kurzfristig nicht von anderen Forstunternehmern und Flächeneigentümern kompensiert werden. Für die Versuchsplanung kam erschwerend hinzu, dass im Sommer 2018 ein bundesweiter Einschlagsstopp für Nadel-Frischholz verhängt wurde.

Ein im August 2018 durchgeführter Versuch in einem Kiefern-mischbestand der Niedersächsischen Staatsforsten musste wegen der Situation, dass die Wälder extremer Hitze und Trockenheit ausgesetzt waren, abgebrochen werden und lieferte nur unzureichende Ergebnisse. Aufgrund seit drei Monaten fehlender Niederschläge war die Rinde für die Jahreszeit ungewöhnlich trocken und ließ sich nur unbefriedigend vom Holz ablösen. Die nachfolgend geplanten Analysen der Holzlogistik mit tatsächlich rindenfreiem Holz konnten deshalb nicht durchgeführt werden.

Die umfassenden Versuche in Rheinland-Pfalz 2019 haben zwar später als geplant begonnen, konnten aber im beabsichtigten Umfang durchgeführt werden.

Aufgrund der Corona-Pandemie war es nicht möglich, geplante Frühjahrsversuche im Jahr 2020 durchzuführen.

Ein ursprünglich im Projektantrag vorgesehener Workshop für interessierte Akteure aus dem Cluster Forst&Holz konnte letztendlich nicht umgesetzt werden. Geplant war die Umsetzung über den Exkursionspunkt mit Fachbesuchern bei der mittlerweile zweimal verschobenen KWF-Tagung.

Mit Verschiebung der 18. KWF-Tagung auf den Sommer 2021 konnte die geplante finale Projektpräsentation eines über Jahre hinweg entwickelten innovativen Arbeitsverfahrens im Rahmen der ursprünglichen Projektlaufzeit nicht realisiert werden. Mit kostenneutraler Verlängerung der

Projektlaufzeit wurde sie zu einem neuen Termin im Sommer 2021 im Rahmen der 18. KWF-Tagung geplant. Mit dieser kostenneutralen Verlängerung des Projektes wurde zwar die Möglichkeit geschaffen, die Projektergebnisse im Rahmen der Exkursion einem breiten Fachpublikum zu präsentieren, allerdings brachte dies auch Schwierigkeiten mit sich. Bei den Projektpartnern ist jeweils die Stelle des Projektbearbeiters aus Projektgeldern finanziert. Die kostenneutrale Verlängerung ermöglichte es also nicht, diese Personen weiter zu beschäftigen. Dies bedeutete insbesondere an der HSWT den Wegfall der Projektbearbeiterin. Die Betreuung des Exkursionspunktes auf der KWF-Tagung musste mit bestehendem Personal und Hilfskräften geplant und vorbereitet werden (Abbildung 39, Abbildung 40). Mit der Verschiebung der KWF-Tagung im März 2021 wurden zum zweiten Mal nicht mehr oder nicht voll über die Projektfinanzierung abgedeckte Kapazitäten unwirksam verbraucht.

Forstwirtschaft erleben

3.2.3 Debarking Heads in der Praxis – Nährstoffe - Waldschutz - Logistik

Nährstoffentzug bei der Holzernte minimieren – durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen (2014-2017)

Entwicklung und Bewertung von Logistikketten bei Einsatz von entrindenden Harvesterfällköpfen (2017-2020)

Bei diesem Exkursionsbild handelt es sich nicht um ein klassisches Arbeitsverfahren, sondern um eine Modifikation eines bereits bekannten Arbeitsablaufabschnittes (unter anderem durch technische Umbauten am Harvesteraggregat).

Beurteilung:
PEFC
FSC

Präsentation

- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT), Fakultät Wald und Forstwirtschaft
- Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V. (KWF)
- Firma N.N.

www.kwf-online.de

HESSEN
Bundesforst
HessenForst
DEMO FAIRS

Abbildung 39: Vorbereitete Eingangstafel für Exkursionspunkt zur 18. KWF-Tagung

Forstwirtschaft erleben

3.2.3 Debarking Heads in der Praxis – Nährstoffe - Waldschutz - Logistik

- ▶ Minimieren des Nährstoffaustrages aus dem Bestand
- ▶ Insektizidfreie Borkenkäfer-Prävention
- ▶ Reduzierung von Transportmasse und -volumen (Einsparung von Kraftstoff)
- ▶ Reduktion von Asche und Feinstaub durch Minimierung der Rindenanteile bei Verbrennung
- ▶ Entlastung von Sägewerken und holzverarbeitender Industrie ohne eigene Entrindungsanlage

Forstwirtschaft erleben

3.2.3 Debarking Heads in der Praxis – Nährstoffe - Waldschutz - Logistik

- Modifizierte Harvesterköpfe mit Entrindungswalzen (-messern)
- Laub- und Nadelholz
- Entrindungsqualität ca. 80 % (stark abhängig vom Saftfluss)
- Zeitaufwand plus ca. 15 %
- Kraftstoffverbrauch plus ca. 15 %
- **Kosten 2,50 – 5,50 €/Fm**

www.kwf-online.de

Abbildung 40: Vorbereitete Inhaltstafeln zur 18. KWF-Tagung

Für die Auswertung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Holz (AP 1 Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz – Schlussfolgerungen für die Logistik) wäre eine kooperative Mitarbeit der Holz- und Sägeindustrie wünschenswert gewesen, um breiter abgesicherte Erkenntnisse zu gewinnen.

2.3 Verwertung

Innerhalb des Projektes „Debarking Head“ wurde die technische Machbarkeit der Nutzung von modifizierten Harvesteraggregaten unter mitteleuropäischen Verhältnissen aufgezeigt. Während des Projektverlaufs deutete vieles darauf hin, dass für das entrindete Rundholz wohl eine von den gängigen Verhältnissen abweichende Logistikkette erforderlich sein wird. Deren Analyse und Beurteilung zählte zu den Hauptaufgaben im Projekt „Debarking Heads II“

War zunächst die Verbesserung der Nährstoffversorgung durch Belassen der Rinde im Waldbestand ausschlaggebend für Untersuchungen zum Einsatz entrindender Harvesteraggregate, rückten im Verlauf der Projektlaufzeit Forstschutzaspekte in Bezug auf rinden- und holzbrütende Insekten in den Vordergrund. Ein für die Forstwirtschaft folgenschweres Zusammenspiel mehrerer Faktoren wie Sturmschäden und extrem trockene und heiße Sommer, schuf ideale Bedingungen für eine Massenvermehrung von Borkenkäfern. Nachdem die Entrindung im Wald stark zurückgegangen war, ist dieses Thema durch die Waldschutzsituation nun wieder hochaktuell – mit Hilfe innovativer Technik. Durch den Einsatz entrindender Harvesteraggregate wird den Käfern der Brutraum insektizidfrei entzogen. Bei befallenen Bäumen werden die Borkenkäfer in den Larven- und Puppenstadien zuverlässig vernichtet. Vom entrindeten Holz geht dann keine weitere Borkenkäfergefahr aus, so dass die Holzlogistik hier deutlich entlastet wird. Ein Einsatz von Debarking Heads ist ein wirkungsvolles Instrument, um den Käfer in Latenz zu halten.

Ein enormer Vorteil des Einsatzes von Debarking Heads liegt in der Flexibilität bei der Aufarbeitung. Schnell kann sogar bei einem Baum zwischen Aufarbeitung von Abschnitten in Rinde, die kurzfristig abgefahren werden, und dem Entrinden von Sortimenten, die länger im Wald lagern, gewechselt werden. Das Entrinden aus Waldschutzsicht ist dann sinnvoll, wenn die Sortimente bis zum Abschluss der Käferentwicklung nicht aus dem Wald abgefahren werden (können).

Der Absatz von im Wald entrindetem Rundholz erfolgt nicht immer reibungslos. So kann die Akzeptanz der großen Sägewerke gegenüber harvesterentrindetem Holz immer noch als gering bezeichnet werden. Die Rinde, als „Zugabe“ auf das gehandelte Holz, wird meist thermisch verwertet und im eigenen Werk eingesetzt oder z.B. zu Rindenmulch verarbeitet und weiterverkauft. Dass die Bereitschaft, auf dieses Koppelprodukt zu verzichten, gering ist, erscheint nachvollziehbar. Jedoch wird beim Einsatz von Debarking Heads aus Waldschutzgründen nur über den Sommer entrindetes Holz angeboten, so dass nur bei einem Teil des vermarkteten Holzes die Rinde „fehlt“.

Vorbehalte der Sägeindustrie hinsichtlich der Holzqualität können ausgeräumt werden. Eine Zunahme von Holzbeschädigungen mit Anzahl der Überfahrten und Walzenüberschneidungen ist zwar nachgewiesen, allerdings ist die Qualität des Holzes mit den richtigen Maschineneinstellungen und max. drei Überfahrten (zur Begrenzung dieser Beschädigungen) nicht schlechter als nach konventioneller Aufarbeitung mit Werksentrindung.

Durch die Entrindung ergeben sich noch weitere Vorteile. So muss die fehlende Rinde nicht mehr transportiert werden. Ein verringerter Kraftstoffverbrauch ist sowohl finanziell als auch ökologisch attraktiv. Nicht zuletzt entsteht beim Verbrennen entrindeten Holzes weniger Asche und die Feinstaubemissionen fallen geringer aus.

Während der gesamten Projektlaufzeit lag ein Hauptaugenmerk auf dem Transfer der Projektergebnisse in die Praxis. Die Diskussionen auf der INTERFORST 2018 und LIGNA 2019 sorgten trotz des letztendlich nicht realisierbaren Exkursionspunkts „Debarking Heads in der Praxis – Nährstoffe-Waldschutz-Logistik“ auf einer 18. KWF-Tagung für eine höhere Akzeptanz dieser Technik in der Praxis. Ergänzt wurde der Praxistransfer durch vielfältige Vorträge und Exkursionen, Veröffentlichungen und durch eine aus dem Projekt heraus entstandene Dissertation.

Die Webseiten des KWF, die während der Projektlaufzeit erstellt und ständig aktualisiert wurden, werden auch weiterhin gepflegt. Somit ist sichergestellt, dass auch in Zukunft die Projektergebnisse öffentlich zugänglich sind. Ebenso bleibt die Projektseite der HSWT verfügbar. Mit der Aufnahme des *Harvestereinsatzes mit Entrindung im Wald* in die „Datenbasis Waldarbeit und Forsttechnik“ stehen auch Leistungsdaten und Kosten zur Kalkulation dieses Arbeitsverfahrens für jedermann online zur Verfügung.

Waren 2018 erst 15 entrindende Harvesteraggregate in Deutschland im Einsatz, sind es nun mehr als 40 (Stand 2020), auch in den Nachbarländern Deutschlands ist eine Zunahme des Einsatzes dieser Holzerntetechnik zu verzeichnen.

Deutschland ist eines der walddreichsten Länder der Europäischen Union. Mit 11,4 Millionen Hektar ist knapp ein Drittel der Gesamtfläche mit Wald bedeckt. Um die forstlichen Ressourcen und die von ihnen ausgehenden vielfältigen Waldfunktionen zu erhalten, sollten die Möglichkeiten, die der technische Fortschritt mit sich bringt, genutzt werden. Die Kalamitäten in den letzten Jahren stellten die Waldbesitzenden vor zusätzliche Herausforderungen, die sicher nicht ohne zusätzliche finanzielle Mittel erbracht werden können. Seit 2020 wird in Deutschland das Entrinden zur Borkenkäferbekämpfung flächendeckend von den Bundesländern gefördert. Dies beeinflusst sicher auch manchen Waldbesitzer, sich für die Entrindung direkt im Bestand zu entscheiden.

Die Forschungsprojekte Debarking Heads I und II liefern Informationen zu einer Technik, die erhebliche logistische und ökologische Vorteile in sich birgt. Sie bietet Potenziale im Waldschutz und überzeugt hinsichtlich des Nährstoffmanagements in der Waldbewirtschaftung. Zugleich findet sie bereits den Weg aus der Forschung in die Praxis.

2.4 Erkenntnisse von Dritten

Während der Durchführung des Vorhabens bestand intensiver Kontakt und Erfahrungsaustausch zu und mit Dritten. Die Erkenntnisse, die die Projektpartner während beider Debarking Head-Projekte gewonnen haben, wurden bestätigt.

Forschungsprojekt Boku

Die Experten von der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) und des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) in Österreich arbeiteten bei ihren Versuchen mit einem Debarking Head von John Deere. Im Unterschied zu den in Deutschland durchgeführten Versuchen von KWF und HSWT wurde aber sortimentsweise aufgearbeitet. Der Stamm wurde also nicht zuerst in voller Länge durch das Aggregat bewegt, sondern nur eine Standardlänge lang. Diese Standardlänge wurde dann entrindet und abgelängt (Holzleitner et al. 2020 sowie Perny et al. 2021).

Bei den Versuchen wurden vergleichbare Entrindungsprozente von 75 % erreicht bei einer um 25 % verminderten Produktivität. Beim Rücken, das sieben Tage nach der Aufarbeitung bei trockener Witterung stattfand, traten keine Probleme auf, die Stämme konnten sicher von der Kranzange gefasst und gehalten werden.

Für die Beurteilung der Eignung von Debarking Heads als Waldschutzmaßnahme wurden auch einige von Borkenkäfern besiedelte Fangbäume entrindet. Festgestellt wurde, dass sich die frühen („weißen“) Stadien zuverlässig nicht weiter entwickeln konnten. Auch ältere Stadien und adulte Käfer wurden zu einem hohen Prozentsatz letal geschädigt (Holzleitner, 2020; Perny et al. 2021). Auch bei den Studien in Österreich gilt es noch abschließend abzuklären und einzuwerten, in welchem Ausmaß tatsächlich Borkenkäfer den Entrindungsvorgang unbeschadet überleben können und imstande sind, neue Fichten zu befallen.

FAWF Trippstadt

Nährstoffkalkulationen zum Einsatz Debarking Head – Vollmechanisierte Holzernte mit gleichzeitiger Entrindung in einem Fichtenbestand im Forstamt Idarwald

(Zusammenfassung und Fazit aus der zur Erstellung des Berichtes noch nicht veröffentlichten Dokumentation von Schuck, FAWF)

In der Vegetationszeit erreicht der Debarking Head einen Entrindungsgrad von nahezu 100 % bei der Baumart Fichte. Die bisherigen Nährstoffkalkulationen mit dem rheinland-pfälzischen Entscheidungsunterstützungssystem (Decision Support System (DSS)-Nährstoffbilanzen) gehen von einer Holzernte in der Vegetationsruhe aus. Darum wurde im Ansatz geprüft, ob sich die Nährelementgehalte in der Vegetationsruhe gegenüber der Vegetationszeit signifikant unterscheiden. Für die Kalkulationen wurden allerdings die Gehalte der Vegetationsruhe verwendet.

Das Belassen der Rinde im Bestand ist auf jeden Fall positiv zu bewerten, schließlich bedeutet es ein Nährstoffplus gegenüber der Nutzungsvariante Derbholz mit Rinde.

Im Einsatzbestand des Debarking Head im Forstamt Idarwald sind dies über die „Umtriebszeit“ betrachtet bei Kalium 2,5 [kg/ha*a], Calcium 2,9 [kg/ha*a], Magnesium 0,3 [kg/ha*a], Schwefel [kg/ha*a], Stickstoff [kg/ha*a] und Phosphor 0,2 [kg/ha*a]. Das „Mehr“ an Rindennährstoffen

entspricht, in diesem Fichtenbestand, beispielweise bei dem Element Calcium der siebenfachen jährlichen Mineralverwitterung (nachschaaffenden Kraft).

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass der Einsatz von entrindenden Harvesteraggregaten helfen kann, die Waldschutzproblematik zu entspannen. Durch die Entrindung wird den rindenbrütenden Insekten Brutraum entzogen. Dies kann helfen Kahllagen zu verhindern und ist somit auch ein Beitrag für den Nährstoffrückhalt im Ökosystem.

Das „Belassen der Rinde in den Beständen“, erweckt den Anschein, dass sich die Rinde nach Abschluss der Holzernte im Bestand verteilt befindet. Jedoch ist dies nicht der Fall, die Rinde und das Reisig konzentrieren sich an den Feinerschließungslinien der Bestände. Im Einsatzbestand des Debarking Head wurde das Reisig-Rinden-Material mit dem Forwarder (10-m-Kran) zurück in den Bestand verteilt. Diese Zone der Reisig-Rinden-Rückverteilung wurde flächenmäßig erfasst und mit einem Aufschlag für die Rückverteilung mit der Nadelstreu bedacht (insg. 2.500 m²). Durch die gewählten Arbeitsverfahren und den Abstand der Rückegasse ergeben sich zwei weitere Zonen: zum Einem das Zwischenfeld (liegt außerhalb der Kranreichweite des Harvesters 5.000 m²) und die Zone innerhalb dieser Reichweite, auf der aber keine Reisig-Rinden-Rückführung (Kranzone ohne Rückführung 2.500 m²) erfolgt ist.

Auch findet die Entrindung nicht in allen Altersphasen der Bestände statt.

Es wurden in drei Varianten verschiedene Arbeitsverfahren in ihrem Ergebnis auf die Nährstoffbilanzierung in den drei Zonen abgeprüft.

Tabelle 20: Drei Varianten von Arbeitsverfahren zur Überprüfung der Nährstoffbilanzierung

Variante	Beschreibung	Alter [Jahre]
E	konventioneller Harvester	≥ 30 ≤ 100
F	konventioneller Harvester & Debarking Head	
	Phase 1: konventioneller Harvester	≥ 30 < 50
	Phase 2: Debarking Head	≥ 50 ≤ 100
G	konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte	
	Phase 1: konventioneller Harvester	≥ 30 < 50
	Phase 2: Debarking Head	≥ 50 ≤ 80
	Phase 3: motormanuelle Holzernte	≥ 85 ≤ 100

Die Entzüge bzw. das Nährstoffplus wurden dann für die drei Zonen in eine Bilanzierung eingerechnet.

Die Berechnung der Entzüge erfolgt dabei mit gewissen Annahmen, die nicht durch Messdaten belegt sind, in Klammern [] stehen die Festlegungen für die Kalkulationen:

- Eingriffsstärken und altersabhängige Flächenausdehnung der Reisig-Rinden-Rückverteilung mit dem Forwarder in den Bestand [1.500 m²]
- Nährstoffrückverteilung mit der Nadelstreu [bereits im Humusvorrat berücksichtigt, zusatzfläche Nährstoffrückverteilung (1.000 m²), Streu nährstoffärmer als lebende Nadeln]
- X-Holz % und Verteilung im Bestand bei Harvesteraufarbeitung [10 % und flächig]
- fällungsbedingte Astabbrüche bei der Fichte in Abhängigkeit von Alter und Holzernteverfahren [25% über alle Alter hinweg und unabhängig vom Arbeitsverfahren]

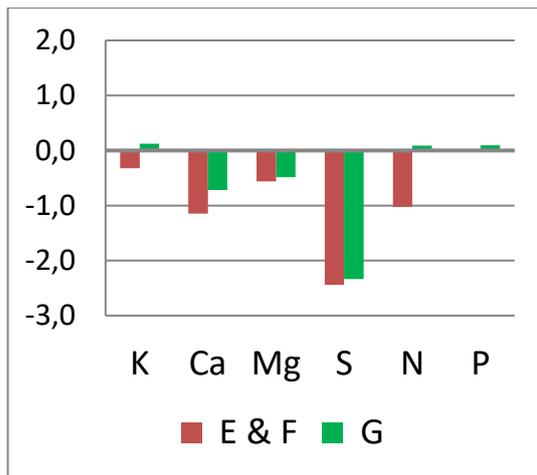


Abbildung 41: Nährstoffbilanz in der Kranzone **ohne** Rückverteilung [2.500 m²]

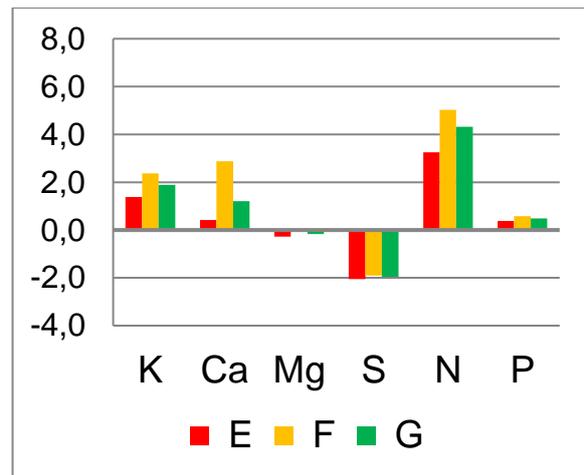


Abbildung 42: Nährstoffbilanz in der Kranzone **mit** Rückverteilung [2.500 m²]

Fazit

Die Berechnung der Entzüge bzw. Nährstoffverteilungen, in einem virtuellen mit Silva erzeugten Fichtenbestand, innerhalb der drei Zonierungen:

- Zwischenfeld [5.000 m²]
- Kranzone ohne Reisigrückführung [2.500 m²]
- Kranzone mit Reisigrückführung [2.500 m²]

in Kombination mit den geprüften Varianten der Arbeitsverfahren:

- konventioneller Harvester
- konventioneller Harvester & Debarking Head
- konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte

zeigen, dass der Einsatz des Debarking Head zwar ein deutliches Nährstoffplus bedeutet, dies aber sehr beschränkt ist - und zwar auf die Zone, in der es gelingt, mit dem Forwarder Rinde und auch Reisig in den Bestand zurück zu verteilen. Durchaus als kritisch gesehen werden kann die Ausweisung der „Kranzone ohne Reisigrückverteilung“, da sie doch durch die Durchwurzelung mit der Zone der Rückverteilung und durch die nicht geradlinige Abgrenzung der Zonen mit dieser verbunden ist. Aufgezeigt wurde, dass vollmechanisierte Holzernteverfahren zu einer Nährstoffverschlechterung im Zwischenfeld führen können (Tabelle 21).

Tabelle 21: Bestand Idarwald K, Ca, Mg - Nährstoff (+/-), nach Zone und Variante. Humus und Mineralboden Vorräte

Debarking Head Entzug [kg/ 100 Jahre]	Zone	Bezugsfläche [m ²]	konventioneller Harvester (E)	konventioneller Harvester und Debarking Head (F)	Konventioneller Harvester, - Debarking Head und motormanuelle Holzernte (G)	Humus und Mineralboden -vorrat [kg/Bezugsfläche]
K	Zwischenfeld	5.000	-129,9	-129,9	-36,1	138
	Kranzone ohne Rückverteilung	2.500	-64,9	-64,9	-20,3	69
	Kranzone mit Rückverteilung	2.500	105,7	204,4	156,1	69
Ca	Zwischenfeld	5.000	-219,8	-219,8	-132,1	221
	Kranzone ohne Rückverteilung	2.500	-109,9	-109,9	-67,0	111
	Kranzone mit Rückverteilung	2.500	46,3	293,2	126,1	111
Mg	Zwischenfeld	5.000	-32,2	-32,2	-16,5	78
	Kranzone ohne Rückverteilung	2.500	-16,1	-16,1	-8,5	39
	Kranzone mit Rückverteilung	2.500	12,0	39,0	22,8	39

Dass sich langfristig ein überhöhter Entzug der Nährstoffe negativ auswirkt, zeigen Nachwirkungen der Streunutzung im 20. Jahrhundert. Die Folgen sind Zuwachseinbußen und eine in der Folge eher begrenzte Baumartenauswahl, da nur wenige Baumarten mit mangelhafter Nährstoffversorgung auskommen.

Wie aus *Tabelle 21* ersichtlich wird, hat zwar die Variante F (hier wird der Debarking Head am längsten eingesetzt, ab Alter ≥ 50 bis zum Umtriebsalter 100 Jahren) in der Kranzone mit Rückverteilung das größte Nährstoffplus, aber auch in den beiden Kranzonen höhere Entzüge als die Variante G: konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte (dort erfolgt der Einsatz des Debarking Head im Altersbereich $\geq 50 \leq 80$). Die Variante G verzeichnet in der Zone der Rinden-Reisigrückführung auch ein Plus an Nährstoffen.

Insgesamt ist die Variante G: konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte für den Nährstoffhaushalt am günstigen zu bewerten. Dazu trägt die motormanuelle Holzernte bei, bei der das Reisig über die Fläche verteilt im Bestand zurück bleibt. Abschätzungen dazu können in der Praxis mit Hilfe von Nährelement-Vorratstafeln, gestaffelt nach Wuchsleistungen erfolgen (siehe Forstliche Standortaufnahme 7. Auflage 2016). Ein 120jähriger Fichtenbestand, auf einem armen devonischen Standort (unteres Wertespektrum), der EKL II.O., [840 Vfm m.R./ha] hat beispielweise einen Calciumvorrat im Reisig von 80 [kg/ha], überschlägig würde bei der motormanuellen Holzernte mit einer Entnahme von 80 [Vfm m.R./ha] mit dem Reisig ca. 7,6 [kg/ha] im Bestand verbleiben.

Eine Betrachtung der Verhältnisse der Entzüge in Relation zu den Vorräten in Humus und Mineralboden macht die Bedeutung des Nährstoffmanagements, das auch mit der Zusammensetzung verschiedener Arbeitsverfahren möglich erscheint, nochmals deutlich. Beispielsweise führen ein Harvestereinsatz über die komplette Umtriebszeit und auch die Variante F: konventioneller Harvester & Debarking Head beim Magnesium dazu, dass im Zwischenfeld über einen Zeitraum von 100 Jahren dort 32,2 [kg/5000 m²] entzogen würden, dies entspricht 41 % des Humus und Mineralbodenvorrates. Beim Nährelement Calcium sind es nahezu 100 %. Die Variante G: konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte schneidet hier deutlich besser ab, der Magnesiumentzug entspricht hier 21 % des Humus-Mineralbodenvorrates und bei Calcium sind es 60 %.

Fazit

Das Arbeitsverfahren G: konventioneller Harvester & Debarking Head & motormanuelle Holzernte erscheint unter Aspekten der Nährstoffversorgung von Fichtenbeständen das Vorteilhafteste zu sein. Es entspricht, zumindest in der Abfolge, wohl am ehesten der gängigen Praxis. Die verschiedenen Altersrahmen können hier nochmals angepasst werden. Auch sollten für die zukünftige Beurteilung, soweit möglich, Datengrundlagen erweitert werden:

- Eingriffsstärken und altersabhängige Flächenausdehnung der Reisig-Rinden-Rückverteilung mit dem Forwarder in den Bestand
- Nährstoffrückverteilung mit der Nadelstreu
- X-Holz % und Verteilung im Bestand bei Harvesteraufarbeitung
- fällungsbedingte Astabbrüche bei der Fichte in Abhängigkeit von Alter und Holzernteverfahren
- Bedeutung von Gehaltsunterschieden zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten, in der Vegetationszeit und in der Vegetationsruhe

Die Ausweitung der Datenerhebungen und Kalkulationen auf weitere Baumarten und Standorte wären ein weiterer wichtiger Baustein für mehr Erkenntnisgewinn.

Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten Rheinland-Pfalz

Das Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten Rheinland-Pfalz informiert mit einem Flyer (Abbildung 43) über den Einsatz entrindender Harvesterköpfe.

Entrindungsqualität:

Rindenzustand	Entrindungs-%
Frischholz oder Neubefall in frühen Entwicklungsstadien	90 – 100 %
Käferholz in einem fortgeschrittenen Befallsstadium	80 – 90 %
Erdstück (unrund)	50 – 60 %

Leistung und Kosten:

- Optimale Stückmasse / Baum = 0,8 bis 1,2 fm
- Durchschnittsleistung = 20 fm / MAS; Leistungseinbuße von bis zu 40 %
- Erhöhte Belastung von Fahrer und Maschine
- Mehrkosten von 5,00 € bis 5,50 € / fm

Einfluss auf die Holzqualität des Sägeholzes:

- Deutlich höhere Disposition zur Holzverblauung (1)
- Walzeneindrücke sind entlang der Waldkante des Hauptprodukts erkennbar (2)
- Zunahme von Holzbeschädigungen mit der Anzahl der Überfahrten und Walzenüberschneidungen



Funktionsprinzip und Verfahrenshinweise:

- Schneller Umbau binnen weniger Stunden
- Wechsel von Walzen, (Messer) und Messrad
- Die Walzen drehen den Baum, schneiden die Rinde spiralförmig ein und streifen zusammen mit den Messern die Rinde ab
- Vermessung neu kalibrieren und bis zum Erreichen des maßgenauen Harvestermaßes nachjustieren
- 3 vollständige Baumüberfahrten
- Drehen des Aggregats nach jeder Baumüberfahrt
- Mehrfachmanipulation ganzer Bäume erhöht den Platzbedarf und das Schadensrisiko im Bestand
- Rücken nach oberflächlichem Abtrocknen der Sorten

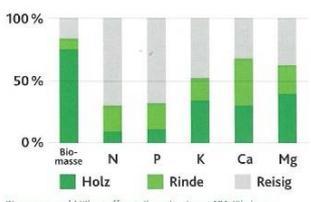
Aufarbeitungsqualität:

- Nicht schlechter als nach konventioneller Aufarbeitung mit Werksentrindung
- Maximal 3 Baumüberfahrten zur Begrenzung der Holzbeschädigungen
- Schäden durchdrehender Walzen bei zu starkem Holz (> 1,2 fm) und grobstämmigen Bäumen
- Abtrennen von Starkholzstämmen durch den Forstwirt
- Keine Schwachholzabschnitte aus der Krone aushalten



Nährstoffnachhaltigkeit:

- Das Belassen der Rinde im Bestand kann wesentlich zur Absenkung der Nährstoffzüge beitragen.
- Der Rinde kommt im Nährstoffvorrat eine besondere Bedeutung zu. Während die Prozentanteile der Biomasse sehr gering (10 %) sind, können die %-Anteile der Nährstoffe die Spanne von 17–38 % abdecken. (N 20 % / P 21 % / K 17 % / Ca 38 % / Mg 24 %)



Biomasse und Nährstoffverteilung in einem 131-jährigen Fichten-Bestand: Forstamt Birkenfeld (690 Vfm/ha) Umweltkontrollstation-Leisel

- Der Harvester legt Rinde, Äste und Kronen konzentriert am Rückgassenrand ab und der Forwarder verteilt die Biomasse in einem letzten Arbeitsschritt zurück in die Kranzone.



Erfolgskriterien

Borkenkäferbekämpfung:

- Höchste Wirksamkeit im Frühjahr mit dem ersten Auftreten von Neubefall.
- Ausschließlich Bäume mit Käfern im weißen Entwicklungsstadium werden entrindet; im braunen Stadium unterbleibt die Entrindung!
- Entrinden ist nur sinnvoll bei Sortimenten, die bis zum Abschluss der Käferentwicklung nicht aus dem Wald abgefahren werden.
- Flexibler Wechsel bei der Aufarbeitung eines Baumes zwischen der Aufarbeitung in Rinde von Sägehölzern, die kurzfristig abgefahren werden und dem Entrinden von länger waldlagernden Hölzern, bei denen die Bläue keine Rolle spielt.
- Unentrindete Hauptsortimente vorrangig rücken, unverkäufliche entrindete Sortimente müssen nicht gerückt werden. Ihr Verbleib im Wald schont die Ressourcen und lässt wichtige Nährstoffe auf der Fläche.
- Entrinden im weißen Larvenstadium ersetzt den Hacker bzw. den Holztransport aus dem Wald.
- Der entrindende Harvester ist besonders zur Aufarbeitung verstreuter Kleinmengen (Frühjahrsbefall) geeignet.
- Die Effektivität der Entrindung durch Harvester lässt mit der fortschreitenden Borkenkäferentwicklung und der Überlappung der Entwicklungsstadien am gleichen Baum nach und macht spätestens ab August den Rückbau zur Standardaufarbeitung sinnvoll.



[wald-rlp.de]

KONTAKT

Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten (KWL)
 Koblenzer Str. 71, 54411 Hermeskeil
 Tel. 06503/9279-20
 Fax 06503/9279-27
 Mail: kwl@wald-rlp.de

Rheinland-Pfalz

DEBARKING HEADS

Einsatz von entrindenden Harvesterköpfen





Landesforsten
Rheinland-Pfalz
Wald. Werte. Wahren.

Abbildung 43: Flyer Debarking Heads, Landesforsten Rheinland-Pfalz

2.5 Veröffentlichungen

2.5.1 Projektintern

Nachfolgende Tabelle (Tabelle 22) zeigt die Veröffentlichungen, die projektintern verfasst wurden. Sie sind ein wichtiger Teil des Ergebnistransfers.

Tabelle 22: Liste der Publikationen nach Erscheinungsjahr

2018
Heinrich, Bernd; Grünberger, Jochen; Seeling, Ute (2018): Entwicklung und Bewertung von Logistikketten beim Einsatz von entrindenden Harvesterfällköpfen (Debarking Heads II), Abstract FowiTa Göttingen, S. 413
Grünberger, Jochen (2018): Debarking Head II – Logistikketten beim Einsatz von entrindenden Harvesterköpfen. FTI 3/18
Grünberger, Jochen (2018): Das Holz im Wald entrinden. Lohnunternehmer aktuell 10/18
2019
Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen (2019): Hightech im Wald – die Rinde bleibt im Bestand. Mein Wald mein Holz 2/19
Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen (2019): Hightech im Wald – die Rinde bleibt im Bestand. Der Bayerische Waldbesitzer 2/19
Hauck, Andrea; Prüm, Hans-Joachim (2019): Debarking Head im Hunsrück – Vollmechanisierte Holzernte mit gleichzeitiger Entrindung, FTI 4/19
Hauck, Andrea; Heinrich, Bernd; Heppelmann, Joachim B., Grünberger, Jochen; Seeling, Ute; Wittkopf, S. (2019): Developing and evaluating logistic chains when using debarking processor heads (debarking heads II), Proceedings of the 52nd International Symposium on Forestry Mechanization, University of Sopron Press, S. 506 ff
Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen (2019): Die Rinde bleibt im Bestand. Der Landwirt 20/19
Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen (2019): Wenn die Rinde im Wald bleibt. Wald und Holz 9/19
Heppelmann, Joachim B.; Labelle, Eric R.; Seifert, Thomas; Seifert, Stefan; Wittkopf, Stefan (2019): Development and Validation of a Photo-Based Measurement System to Calculate the Debarking Percentages of Processed Logs, Remote Sensing 11 (9). S. 1133. DOI: 10.3390/rs11091133
Heppelmann, Joachim B.; Labelle, Eric R.; Wittkopf, Stefan (2019): Static and Sliding Frictions of Roundwood Exposed to Different Levels of Processing and Their Impact on Transportation Logistics. Forests 10 (7). S. 568. DOI: 10.3390/f10070568
Heppelmann, Joachim B.; Labelle, Eric R.; Wittkopf, Stefan; Seeling, Ute (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. S. 1067-1081. DOI:

10.1007/s10342-019-01225-y. https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-019-01225-y	Online	verfügbar	unter:
Schlussbericht DH1 (2019): Schlussbericht zum Vorhaben "Nährstoffentzug bei der Holzernte minimieren durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen "Debarking Heads" (Debarking Heads 1). Veröffentlicht am 20.09.2019. 100 S.			
2020			
Bennemann, Caroline; Heppelmann, Joachim B.; Wittkopf, Stefan; Hauck, Andrea; Grünberger, Jochen; Heinrich, Bernd; Seeling, Ute (2020): Debarking Heads. LWF-aktuell 2/20, S.44 ff			
Bennemann, Caroline; Hauck, Andrea; Heppelmann, Joachim B.; Wittkopf, Stefan (2020): Ernter entrindet. Forst und Technik 7/2020. S.24-29			
Bennemann, Caroline; Hauck, Andrea; Heppelmann, Joachim B.; Grünberger, Jochen; Wittkopf, Stefan (2020): Entrindung bei der vollmechanisierten Holzernte. Holz-Zentralblatt 28. S.519, 521			
Bennemann, Caroline; Radlmayr, Gerhard (2020): Debarking Heads stärken das Ökosystem Wald und tragen durch Borkenkäferprävention zur Entspannung am Holzmarkt bei. Pressemitteilung im Informationsportal Wissenschaft. Online verfügbar unter http://n.idwf.de/751910			
Heppelmann, Joachim B. (2020): Modifying conventional harvesting heads: a technical approach to in-stand debarking under Central European conditions. Dissertation am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der TUM. 158 S.			
Hauck, Andrea (2021): Debarking Heads – vollmechanisierte Holzernte mit gleichzeitiger Entrindung. Forstunternehmerjahrbuch 2020 S., 66-68			
2021			
Hauck, Andrea; Wittkopf, Stefan (2021): Debarking Heads in der Praxis: Nährstoffe – Waldschutz – Logistik. AFZ Der Wald 13/14, S. 52-54			
Hauck, Andrea (2021): Debarking Head in der Praxis. Forst, Holz und Jagd Taschenbuch 2022, S. 257ff			

2.5.2 Nicht Projektintern (weitere Medien)

Weitere Veröffentlichungen, die zum Projekt bzw. Debarking Heads erschienen sind, bei denen die Projektbeteiligten jedoch nur Zuarbeit geleistet haben und nicht als Autoren aufgeführt werden, finden sich in *Tabelle 23*. Diese Publikationen erhöhen die Außenwirkung des Projektes und leisten daher auch einen Beitrag zur Verbreitung der Projektergebnisse bzw. der Technik.

Tabelle 23: Liste externer Publikationen

2019
Parschau, Jörg (2019): Rinde runter! WaldTech Oktober 2019. S.22-24
2020
Hölling, Doris (2020): Die Rinde bleibt im Bestand. Online verfügbar unter https://www.waldwissen.net/technik/holzernte/maschinen/wsl_holzernte_mit_entrindung/index_DE
Newsletter Forstzentrum (Juni 2020): https://www.forstzentrum.de/index.php/de/aktuell/509-debarking-heads-projekte
N.N (2020): Entrindung mit S-Harvesteraggregaten. Just Forest NO 1/2020. S.32-33
Rescalli, Reto (2020): Mit dem Harvester gegen die Borkenkäfer. Wald und Holz 7/2020. S.16-19

3 Literaturverzeichnis

- Baierl, Franz (2021): Mündliche Informationen zu den bisherigen und geplanten Debarking Head Einsätzen der Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald. Telefonat am 17.06.2021
- Baumann, David (2020): Life Cycle Assessment von Debarking Heads - Vergleich ausgewählter Umweltwirkungen der Fichtenschnittholzbereitstellung unter Verwendung verschiedener Entrindungstechnologien. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 100 S.
- Bennemann, Caroline; Hauck, Andrea; Heppelmann, Joachim B.; Grünberger, Jochen; Wittkopf, Stefan (2020): Entrindung bei der vollmechanisierten Holzernte. Debarking Heads leisten einen Beitrag zur insektizidfreien Borkenkäfer-Prävention. In: *Holz-Zentralblatt* (28), S. 519, 521.
- Burzlauff T., Delb H., Hahn A., Rohde M. (2020): "Zweifel an ausreichender Wirksamkeit". Waldschutzfachliche Stellungnahme zum Artikel "Entrindung bei der vollmechanisierten Holzernte". In: *Holz-Zentralblatt* (30), S. 550.
- Delb, H., Seitz, G., Burger, M., Burzlauff, 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.
- DFWR; DHWR (Hg.) (2020): Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR). 3. aktualisierte. Online verfügbar unter <https://v2.verband-crm.de/dateien/9233-42/rahmenvereinbarung%20f%C3%BCr%20den%20rohholzhandel%20in%20deutschland>.
- Dressler, D.; Engelmann, K.; Bosch, F.; Böswirth, T.; Bryzinski, T.; Effenberger, M.; Haas, R.; Hijazi, O.; Hülsbergen, K.; Jorissen, T.; Klein, D.; Maze, M.; Richter, K.; Röder, H.; Schulz, C.; Serdjuk, M.; Strimitzer, L.; Widmann, B.; Tiemann, A.; Weber-Blaschke, M.; Wolf, C.; Zerle, P.; Remmele E. (2016): ExpResBio – Ergebnisse, Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen, Abschlussbericht – Langfassung. (Hrsg. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing). Online verfügbar unter: https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/nachhaltigkeit/dateien/121206_expressbio_abschlussbericht_langfassung_ge.pdf
- Gardik-Karda, Stefan (2020): SWOT-Analyse der Logistikkette für entrindetes Holz in Deutschland. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 78 S.
- Gerthofer, Matthias (2020): Untersuchungen zur Zersetzungsgeschwindigkeit anfallender Rinde bei der vollmechanisierten Holzernte unter Einsatz eines entrindenden Harvesterfällkopfes (Sommerversuch). Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 56 S.
- Grammel, Rolf (1988): Holzernte und Holztransport. Grundlagen. Hamburg: Parey. Pareys Studententexte Nr. 60, 242 S.
- Haftner, Lukas (2020): Debarking Head Einsatz als Alternative zur Polterspritzung - Vergleich für den Forstbetrieb Freising. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 58 S.

- Heppelmann, Joachim B.; Labelle, Eric R.; Wittkopf, Stefan (2019): Static and Sliding Frictions of Roundwood Exposed to Different Levels of Processing and Their Impact on Transportation Logistics. *Forests* 10 (7). S. 568. DOI: 10.3390/f10070568
- Holzleitner, Franz; Holzfeind, Thomas; Kanzian, Christian; Perny Bernhard (2021); Entrindung mit dem Harvester – Ein Pilotversuch. Beitrag unter waldwissen.net vom 02.07.2021
- Huber, Christoph (2018): Prozessabläufe in der holzbearbeitenden Industrie hinsichtlich der Logistikkette und der Weiterverarbeitung der anfallenden Rinde. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 82 S.
- Labelle, Eric; Breinig, Lorenz; Spinelli, Raffaele (2019): Extent and severity of damages caused to spruce roundwood by harvesting heads in standard versus debarking configurations. *European Journal of Forest Research* 138(187). DOI:10.1007/s10342-018-01161-3
- Lankes, Maximilian (2019): Analyse der Feinstaubemissionen von Stämmen mit und ohne Rinde bei Fichte, Buche und Pappel. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 72 S.
- Leidner, Werner Peter (2015): Werk statt Wald - Entwicklung der Rundholzentrindung in Deutschland. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 52 S.
- N.N. (1996): Tarifvertrag über die Entrindung von Holzerntearbeiten nach dem Erweiterten Sortentarif vom 3. Mai 1979.
- N.N. (2006a): Verladeempfehlung für Rohholz (bis 6 Meter), längs geladen, zur Ladungssicherung für den Straßentransport. Hg. v. Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Polizei Nordrhein-Westfalen, Polizei Niedersachsen, BAG, BGF, GDV, AGR, BdHG, BGL, DFWR, GD Holz, VHI, VDP, VDS, DHWR, DFUV, KLSK.
- N.N. (2006b): Verladeempfehlung für Rohholz, quer geladen, zur Ladungssicherung für den Straßentransport. Hg. v. Innenministerium des Landes Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Polizei Nordrhein-Westfalen, Polizei Niedersachsen, BAG, BGF, GDV, AGR, BdHG, BGL, DFWR, GD Holz, VHI, VDP, VDS, DHWR, DFUV, KLSK.
- Obernberger, Ingwald (1997): Aschen aus Biomassefeuerungen - Zusammensetzung und Verwertung. In: VDI Bericht, Bd. 1319, S. 199–222. Online verfügbar unter <https://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Obernberger-BiomasseaschenVerwertung-1997-05-20.pdf>.
- Perny, Bernhard; Hoch, Gernot; Holzleitner, Franz (2021): Harvester gegen Borkenkäfer. *Forstzeitung*, 04-2021, 14-16
- Reichenberger, Alois (2019): Ermittlung der Oberflächenhaftung entrindeter Stämme. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 50 S.
- Rosnau, Felix (2017): Einfluss der mechanisierten Holzernte auf Leben und Tod von Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*). Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 80 S.
- Schlussbericht DH1. Schlussbericht zum Vorhaben "Nährstoffentzug bei der Holzernte minimieren durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen "Debarking Heads (Debarking Heads 1)" (2019).

- Schmidt, Olaf (1994): Holz- und Baumpilze. Biologie, Schäden, Schutz, Nutzen. Berlin, Heidelberg: Springer. 246 S.
- Statistisches Bundesamt (Hg.) (2020): Zahlen zum Holzeinschlag 2019. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Wald-Holz/_inhalt.html.
- Steinacker, Max (2019): Untersuchungen zur Zersetzungsgeschwindigkeit von Fichtenrinde aus Debarking-Head-Einsätzen (Winterversuch). Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 58 S.
- StVZO, vom 26.04.2012: Straßenverkehrs-Zulassung-Ordnung.
- Ulrich, E. (2021): Information auf der Webpage von France Bois Foret (franceboisforet.fr). <https://franceboisforet.fr/2021/10/11/lecorcage-une-reponse-au-risque-sanitaire-et-a-la-fertilite-des-sols/> (zuletzt abgerufen am 29.10.2021)
- Triebenbacher, Cornelia; Lemme, Hannes (2019): Zweite Generation in den tieferen bis mittleren Lagen (bis 800 m NN) ausgeflogen. Blickpunkt Waldschutz 11/2019. LWF. Online verfügbar unter <http://www.lwf.bayern.de/waldschutz/monitoring/227656/index.php>.
- Wauer, Alexandra; Kubatta-Große, Marc; Lutze, Michael (2013): Verfahren der Rundholzlagerung. LWF-Wissen Nr. 71. 76 S.
- Weiß, Lena (2020): Untersuchungen zur Ausflugrate des Buchdruckers (*Ips typographus*) bei vollmechanisierter Holzernte mit entrindendem Harvesterfällkopf. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising. Fachbereich Holzenergie, 63 S.

V Anhang

Zusammenfassungen Bachelorarbeiten

Im Folgenden werden die Zusammenfassungen der im Projekt bearbeiteten Bachelorarbeiten aufgeführt. Die Abschlussarbeiten, die mit HSWT gekennzeichnet sind, wurden unter Betreuung von Caroline Bennemann, Dr. Joachim B. Heppelmann und Prof. Dr. Stefan Wittkopf an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf bearbeitet. Die Arbeiten, die mit KWL gekennzeichnet sind, wurden an verschiedenen Hochschulen bearbeitet und vom KWL betreut.

Alle Bachelorarbeiten können tiefergehend interessierten Lesern auf Anfrage bei den Autoren des Abschlussberichtes gerne zugänglich gemacht werden. Diese Arbeiten und der immense Input der Bacheloranden an praktischer Arbeit, Datenerhebung und –auswertung sowie Diskussion und Ideen, für den an dieser Stelle herzlich gedankt sei, sind wesentlicher Bestandteil des Debarking Head Projektes.

Baumann, David (2020): Life Cycle Assessment von Debarking Heads - Vergleich ausgewählter Umweltwirkungen der Fichtenschnittholzbereitstellung unter Verwendung verschiedener Entrindungstechnologien. HSWT

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung langzeitlicher ökologischer Folgen der Verwendung von Debarking Heads. Die Annahmen zum verringerten Dieserverbrauch in der Logistikkette Holz lassen erwarten, dass der Ausstoß von Treibhausgasen (in kg CO₂-Äq. nach der Methode IPCC 2013 GWP100a) und der kumulierte Energieaufwand (KEA in MJ-Äq.) durch die Entrindung im Bestand gesenkt werden können. Zusätzlich sollte untersucht werden, ob auch die emittierten Feinstaubmengen (in kg PM₁₀-Äq. nach der Methodensammlung ReCiPe Midpoint H) in der Logistikkette Holz durch Debarking Head-Einsätze reduziert werden können. Um diese Erwartungen bestätigen oder zu widerlegen, wurde die Methode der Ökobilanz gewählt und die Umweltwirkungen gängiger Entrindungstechnologien wurden mit denen des Debarking Head verglichen.

Zu diesem Zweck wurden drei Produktsysteme definiert, die unter der Verwendung unterschiedlicher Entrindungstechniken die Bereitstellung von einem m³ frischem Fichtenschnittholz, unverpackt als Ziel haben. Untersucht wurde der Einsatz von Debarking Head in der Holzernte, die Entrindung durch einen mobilen Entrindungszug an der Waldstraße und das gängigste Verfahren mit der stationären Entrindung im Sägewerk.

Für die Arbeit wurden keine Primärdaten erhoben. Sie stützt sich auf Literaturwerte und die Daten aus der LCA-Datenbank ecoinvent v 3.5. In der Forstwirtschaft ist grundsätzlich eine Vielzahl an Einfluss- und Störgrößen gegeben, die sich in einer Ökobilanz auswirken können. Um diese zu reduzieren, wurde die Ökobilanz durch getätigte Annahmen unter optimalen Bedingungen durchgeführt. Nach der Modellierung der Produktsysteme wurden deren Umweltwirkungen durch die LCA-Software openLCA v.1.10.2 berechnet.

Erwartungsgemäß sollten sich die Umweltwirkungen der Produktsysteme in den Prozessen Holzernte, Entrindung und Rundholztransport unterscheiden. Daher wurden neben den unterschiedlichen Entrindungstechnologien auch unterschiedliche Produktivitätsraten bei der Holzernte und unterschiedliche Transportdistanzen bis zum Sägewerk modelliert. Insgesamt wurden 27 Varianten für die Bereitstellung von frischem Fichtenschnittholz modelliert und verglichen.

Die Ergebnisse aus den Berechnungen zeigen, dass der Rundholztransport durch verminderte Transportgewichte einen hohen Einfluss auf die Umweltwirkungen der Bereitstellungskette von Sägerundholz und letztlich die gesamten Produktsysteme hat. Im vorliegenden Idealmodell können pro km 0,04 kg CO₂-Äq., 0,00008 kg PM₁₀-Äq. und 0,67 MJ-Äq. aufgewendeter Primärenergien eingespart werden, wenn Holz ohne Rinde und mit vermindertem Wassergehalt transportiert wird. Die

Schadstoffemissionen und der kumulierte Energieaufwand steigen linear mit der Transportdistanz an. Der Transport ohne Rinde kann höhere Schadstoffemissionen kompensieren, die durch einen angenommenen 10 % Mehraufwand bei der Holzernte durch Debarking Head oder Mehraufwände bei Entrindung durch Entrindungszüge entstehen.

Betrachtet man mit der Bereitstellung des Sägerundholzes nur die Schadstoffemissionen und den KEA bis zum Werkstor des Sägewerks, können in allen untersuchten Wirkungskategorien die durchschnittlichen Mehraufwendungen für Debarking Head-Holzernte gegenüber dem konventionellen Harvester nach einer Transportdistanz von 13 km kompensiert werden. Für eine Kompensation der THG-Emissionen des mobilen Entrindungszugs durch den Transport ohne Rinde wird eine Transportdistanz von 92 km benötigt. Der KEA und die Feinstaubemissionen durch mobile Entrindung waren in den Modellen gegenüber den THG-Emissionen erhöht. Diese beiden Wirkungskategorien benötigen zur Kompensation Transportdistanzen von über 200 km, welche nicht im betrachteten Rahmen der Arbeit liegen.

In der Gesamtbetrachtung der Systeme wurde die Erwartungshaltung noch übertroffen. Der zu Beginn entstehende Mehraufwand bei der Holzernte durch Debarking Head ist letztendlich mit geringeren Schadstoffemissionen und einem geringeren Primärenergieverbrauch verknüpft als die stationäre Entrindung und anschließende Rindenhackschnitzelproduktion im Sägewerk oder die mobile Entrindung. Durchschnittlich wurden ohne den Rundholztransport 17,2 kg CO₂-Äq., 0,0408 kg PM₁₀-Äq. und 285,72 MJ-Äq. im Produktsystem Debarking Head bilanziert. Die Werte der Werksentrindung liegen analog bei 17,53 kg CO₂-Äq., 0,0413 kg PM₁₀-Äq. und 301,19 MJ-Äq. Bei der mobilen Entrindung ohne Rundholztransport liegen die Werte durchschnittlich bei 20,27 kg CO₂-Äq., 0,0549 kg PM₁₀-Äq. und 332,96 MJ-Äq.

Das bedeutet, dass auch ohne die Kompensationsmöglichkeit durch den Rundholztransport der Einsatz von Debarking Head klima- und ressourcenschonender ist als die gängigen Entrindungstechnologien.

Im Durchschnitt über alle Varianten hinweg lag das GWP_{100a} im Produktsystem Debarking Head bei 21,65 kg CO₂-Äq., bei der mobilen Entrindung bei 24,93 kg CO₂-Äq. und bei der Werksentrindung bei 24,95 CO₂-Äq.

Die Feinstaubemissionen belaufen sich durchschnittlich auf 0,0496 kg PM₁₀-Äq. beim Debarking Head, 0,0553 kg PM₁₀-Äq. bei Werksentrindung und 0,0643 kg PM₁₀-Äq. bei mobiler Entrindung.

Der KEA im Produktsystem Debarking Head liegt durchschnittlich bei 361,8 MJ-Äq., bei der Werksentrindung bei 419,3 MJ-Äq. und bei 427,1 MJ-Äq. wenn ein mobiler Entrindungszug zum Einsatz kommt.

Durchschnittlich emittiert das Produktsystem Debarking Head somit 13 % weniger THG und 10 % weniger Feinstaub als das System mit Werksentrindung und verbraucht 14 % weniger Primärenergie.

Die Unterschiede zwischen dem Modell Werksentrindung und mobile Entrindung betragen durchschnittlich 1 % weniger THG-Emissionen, 14 % weniger Feinstaubausstoß und ein 2 % geringerer kumulierter Energieaufwand, wenn im Werk entrindet wird.

Der Vergleich der vorliegenden Ergebnisse war nicht uneingeschränkt möglich, weil sich die Ergebnisse von anderen Ökobilanzen aufgrund der Datenverfügbarkeit und den gewählten Methoden zur Wirkungsabschätzung unterscheiden können. Ein Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Ergebnissen aus der Literatur konnte beim Rundholztransport und beim Einschnitt im Sägewerk Abweichungen aufzeigen, die darauf hinweisen, dass in der vorliegenden Arbeit Prozesse tendenziell unterbewertet wurden. Beim Rundholztransport mit Rinde lagen die vorliegenden Ergebnisse zu ca. 16 % unter den Werten der Vergleichsliteratur. Der Herstellungsprozess im Sägewerk lag sogar rd. 50 % unter dem Wert aus der Vergleichsliteratur. Damit sind bei der Betrachtung der Gesamtsysteme

insgesamt Unterbewertungen in einer Größenordnung von ca. 20 % möglich, welche durch unterschiedliche Datengrundlagen, Systemmodellierungen und Methoden entstehen können.

Die Unterbewertung der Umweltwirkungen einzelner Prozesse deutet darauf hin, dass die absoluten Emissionen und Energieaufwendungen für die Bereitstellung von 1 m³ frischem Fichtenschnittholz in allen Produktsystemen höher liegen sollten. Da es sich aber um einen Vergleich von mehreren Produktsystemen handelt und diese Prozesse über relative Bezüge zueinander verfügen, können die Ergebnisse für das nachfolgende Fazit als hinreichend angenommen werden.

Der Einsatz der Debarking Head-Technologie ist in diesem Idealmodell in allen vergleichbaren Varianten die klimaschonendste Alternative. Auch der Aufwand von Primärenergie und der Feinstaubausstoß sind in Modellen mit Debarking Head stets geringer. Die höchsten negativen Umweltwirkungen bringt in allen Wirkungskategorien der Einsatz mobiler Entrindungszüge mit sich. Tendenziell sind damit die Annahmen, die zur Erstellung dieser Arbeit geführt haben, bestätigt.

Der Debarking Head-Einsatz bringt neben den Vorteilen für den Waldschutz und der Minderung des Nährstoffaustrags auch auf lange Sicht positive ökologische Vorteile mit sich. Deswegen ist es unter europäischen Verhältnissen sinnvoll, diese Technologie weiter zu etablieren. Eine ökonomische Bewertung der Vorteile durch Belassen der Rinde im Wald wurde vorliegend nicht angefertigt.

Auch die mobile Entrindung könnte in bedrohlichen Borkenkäfersituationen eine ökologisch günstige Alternative zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln darstellen. Durch erhöhte Schadstoffemissionen und den erhöhten Primärenergiebedarf sollte die mobile Entrindung aber nur in Ausnahmesituationen angewendet werden. Die Entrindung im Wald durch Debarking Heads wäre hier ökologisch und ökonomisch vorteilhafter.

Biwer, Mario (2020): Erfahrungen mit dem Einsatz von „Debarking Heads“ bei der mechanisierten Holzernte. KWL

Die globale Klimaveränderung trifft seit einigen Jahren spürbar die deutsche Forstwirtschaft. Gerade die Witterungsbedingungen der zu heißen und zu trockenen Sommermonate haben dem Borkenkäfer optimale Ausbreitungsmöglichkeiten geschaffen. Im Ergebnis der damit zusammenhängenden Ereignisse sind angesichts signifikant wachsender Schadholzmengen und entsprechendem Preisverfall enorme wirtschaftliche Schäden bei der Waldbewirtschaftung zu beklagen.

Der Massenvermehrung der Borkenkäfer – insbesondere des Buchdruckers – soll die Zerstörung bzw. der Entzug von bruttauglichem Material direkt entgegenwirken. Als eine Möglichkeit dazu soll bei der Aufarbeitung von Käferholz die Baumrinde mithilfe spezieller Harvesteraggregate, den sogenannten „Debarking Heads“, direkt im Wald abgestreift werden, vor allem bei der Baumart Fichte.

Mit der vorliegenden Bachelorarbeit sollen schwerpunktmäßig Informationen und Erkenntnisse über Anschaffungsgründe, Einsatzbereiche sowie Arbeitsverfahren von Debarking Heads des Herstellers Komatsu Forest bzw. Log Max erhoben werden. Aussagekräftige Daten hierzu wurden bei verschiedenen diese spezielle Technik nutzenden Forstbetrieben in Deutschland erhoben. Dabei hat sich bei den befragten Unternehmern die Eindämmung der Borkenkäferkalamität als zentraler Beweggrund für die Geräteschaffung erwiesen. Der Haupteinsatzbereich der verwendeten Debarking Heads liegt laut Umfrage im mittelstarken Fichtenholz. Neben den geringeren Aufarbeitungsleistungen der Harvester mit Debarking Heads und dem erhöhten Kraftstoffverbrauch bei der zusätzlichen Entrindung des Ernteguts wurde hier zudem über zusätzliche ergonomische Belastungen für die Maschinenführer berichtet.

Um die Produktivität eines Harvesters mit und ohne Debarking Head zu vergleichen, wurden am Kompetenzzentrum Waldtechnik Landesforsten Rheinland-Pfalz die Aufarbeitungsleistungen an vorgerückten Holzmengen untersucht. Die statistische Auswertung zeigt, dass bei einer durchschnittlichen Stückmasse von ca. 1,2 Fm die Aufarbeitungsleistung je Zeiteinheit mit einem Debarking Head 30 % unter der konventionellen Aufarbeitung liegt. Die Aufarbeitungskosten mit zusätzlicher Entrindung liegen somit 50 % über der Aufarbeitung ohne Entrindung. Neben den wirtschaftlichen Aspekten spielt aus ökologischer Sicht die direkte Entrindung im Waldbestand eine wichtige Rolle. In der Rinde eines Baumes sind wertvolle Mineralstoffe gebunden. Diese Rinde verbleibt bei einem Debarking Head-Einsatz im Wald und wird dem Nährstoffkreislauf wieder zugeführt.

Gardik-Karda, Stefan (2020): SWOT-Analyse der Logistikkette für entrindetes Holz in Deutschland. HSWT

Ziel der Bachelorarbeit war die Herausarbeitung der Stärken und Schwächen von Debarking Heads sowie der Chancen und Risiken des Systems entlang der gesamten Logistikkette in Deutschland.

Zu Beginn erfolgte eine kurze Darstellung der Hintergründe und des bisherigen Verlaufs der beiden Forschungsprojekte (Stand Juni 2020). Diese wiesen neben der technischen Umsetzbarkeit von Debarking Heads auch deren wichtige Beiträge zu einer Verbesserung und Aufrechterhaltung der Nährstoffverfügbarkeit und zur Eindämmung von Borkenkäferkalamitäten nach. Zudem wurde die Integration des Systems in eine funktionierende und wirtschaftlich ablaufende Logistikkette entwickelt. Dabei wird deutlich, dass mit Debarking Heads ein nachhaltiger, für den Waldschutz vorteilhafter und zugleich ökonomisch effizienter Lösungsansatz für die Forstwirtschaft angestrebt wird.

Eine Online-Befragung verschaffte einen Einblick in die Verbreitung von Entrindungsaggregaten in Deutschland. Die Teilnehmer konnten Erfahrungen beschreiben, die sie in der Praxis im Zusammenhang mit Debarking Heads bereits gesammelt haben. Des Weiteren konnten sie aus ihrer Sicht Vorzüge und Möglichkeiten sowie Nachteile und Hindernisse von und für Debarking Heads darlegen. Von den 239 angeschriebenen Forstunternehmern beteiligten sich 24 (10 %).

Die SWOT-Analyse zeigte die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des von Debarking Heads auf. Durch die umfassende Betrachtung insbesondere wirtschaftlicher und ökologischer Gesichtspunkte kann sie von einer Vielzahl von Anwendern genutzt werden. Waldbesitzer, Forstunternehmer, Frächter und Holzabnehmer können dadurch ihren Kenntnisstand zu entrindenden Harvesteraggregaten vertiefen und die Ergebnisse in ihre unternehmerischen Strategieentwicklungen und Entscheidungen einfließen lassen.

Die größte Stärke von Debarking Heads ist die hohe ökologische und waldschutzrelevante Leistungsfähigkeit des Systems. Die Entrindung verbessert den Nährstoffhaushalt, ist ein effizientes Werkzeug zur Borkenkäferbekämpfung und -prophylaxe, reduziert den Kraftstoffverbrauch beim Holztransport und löst die Rinde aus der energetischen Nutzung, was zu einem geringeren Ascheanfall und weniger Feinstaubbelastung führt. Diese Vorteile sollten auch in die Vermarktung von Produkten aus mit Harvestern entrindetem Holz als umweltfreundlich und nachhaltig mit einfließen.

Hier kommt beispielsweise eine Preispolitik in Betracht, die aufgrund des ökologischen Wertes des Verfahrens höhere Entgelte generiert. Des Weiteren ist an eine politische „Vermarktung“ der Umweltfreundlichkeit zu denken in Form einer staatlichen Förderung, die nicht auf die Entrindung zum Zwecke der Borkenkäferbekämpfung beschränkt bleiben sollte.

In jedem Fall kann die ökologische und waldschutzfachliche Komponente des Verfahrens für die Vermarktung und Erzeugung eines positiven Bildes in der Öffentlichkeit eingesetzt werden. Erstrebenswert wäre dazu auch eine Steigerung der Entrindungsprozente in den Wintermonaten, um ein Verfahren präsentieren zu können, das ganzjährig voll wirksam eingesetzt werden kann.

Ebenso sollten auch die Vorteile von Debarking Heads für die Ökonomie des Transports sowie die langfristigen positiven Auswirkungen auf die Gesundheit des Waldes, den Zuwachs und folglich auch auf den Ertrag hervorgehoben werden. Die Massen- und Gewichtsreduktion kann als wichtiges Argument in Vertragsverhandlungen mit den Holzabnehmern und Frächtern dienen. Beide profitieren von dem erhöhten Transportvolumen, da in der Regel eine Abrechnung nach Festmetern erfolgt. Des Weiteren zahlt sich das geringere Gewicht für den Frächter in Form eines geringeren Kraftstoffverbrauchs aus. Für den Waldbesitzer bedeutet der Einsatz von Debarking Heads, dass die Rinde dem Nährstoffkreislauf im Wald erhalten bleibt und somit den Bäumen wichtige Nährelemente liefert.

Das Problem fehlender Abnehmer ist für Debarking Heads das größte Risiko. Dies zeigen auch die Ergebnisse der Online-Befragung. Um Produkte aus der Aufarbeitung mit Entrindungsaggregaten auf dem Markt zu etablieren, empfiehlt es sich deshalb, zunächst kleine und mittlere Sägewerke als potenzielle Abnehmer anzustreben. Sie zeigen hierzu unter Umständen eine höhere Bereitschaft, da sie im Gegensatz zu großen Sägewerken ohnehin flexibler auftreten müssen, um sich auf dem Markt halten zu können. Regional sollte dabei der Schwerpunkt auf Waldgebiete Deutschlands gelegt werden, die eine schwache Nährstoffversorgung aufweisen.

Zeigen sich langfristig positive Effekte sowohl für die Säger als auch für die Waldbesitzer, ist eine Steigerung der Abnehmer möglich. Schließlich sollten neben Waldbesitzern mit größeren Waldflächen, insbesondere staatliche und kommunale Wälder in die Etablierung des Verfahrens integriert werden, da diese einem öffentlichen Auftrag für eine vorbildliche Forstwirtschaft unterliegen und über eine erhebliche Waldfläche verfügen.

Weitere Verbesserungen hinsichtlich des Schadensrisikos für Verjüngung, verbleibenden Bestand und aufgearbeitetem Holzkörper sowie bezüglich der Produktivität sind erforderlich.

Dabei können weitere technische Innovationen helfen. Die positiven Effekte der Reduzierung punktueller Schäden, z.B. als Folge tiefer Eindrücke der Stachelwalzen, wird durch die Zunahme flächiger Schäden, beispielsweise durch eindringende Entastungsmesser, sozusagen egalisiert. Technische Innovationen zur Reduzierung aller Schadensarten führen zu hochwertigeren Stämmen. Ebenso sollten Debarking Heads sowohl für die Verringerung des Schadensrisikos im Bestand als auch für die Erhöhung der TAP weiter technisch optimiert werden. Ein Ziel könnte insbesondere die Senkung der Anzahl an erforderlichen Überfahrten sein.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Debarking Heads, obwohl sie erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen, viele ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringen. Weitere technische Innovationen und eine auf die Stärken des Verfahrens hin orientierte Vermarktung und Verhandlungsführung können dabei helfen, das modifizierte Holzernteverfahren erfolgreich in die Praxis zu bringen. Erforderlich ist dazu die Abnahme des von mit Entrindungsaggregaten aufgearbeiteten Holzes durch die Holzwirtschaft.

Gerthofer, Matthias (2020): Untersuchungen zur Zersetzungsgeschwindigkeit anfallender Rinde bei der vollmechanisierten Holzernte unter Einsatz eines entrindenden Harvesterfällkopfes (Sommerversuch). HSWT

Ziel dieser Arbeit war es, die Zersetzung von Fichtenrinde, wie sie im Zuge von Debarking Head-Einsätzen entsteht, während der Sommermonate zu untersuchen. Hierzu wurden die Erkenntnisse zum Versuchsaufbau aus der Arbeit von Steinacker (2019) herangezogen. Es stand die Frage im Vordergrund, ob die Zersetzung unter wärmeren Witterungsbedingungen schneller abläuft als in den Wintermonaten. Dies ließ sich aus dem Versuchsverlauf nicht bestätigen.

Zu Beginn wurden die Grundlagen erläutert. Hierzu zählen der Aufbau und Funktion der Rinde, die Witterungseinflüsse (Lufttemperatur, Bodentemperatur, Kronentraufe) und die Zersetzung bzw. der Stoffkreislauf im Ökosystem Wald. Die Witterungseinflüsse sind von zentraler Bedeutung, da sie direkten Einfluss auf die Zersetzung der Rinde bzw. die hierfür verantwortlichen Mikroorganismen wie Pilze oder Bakterien haben. Diese Mikroorganismen werden direkt durch die kleinstandörtliche Temperatur und Feuchtigkeit in ihrer Aktivität beeinflusst. Des Weiteren wurde näher auf die Funktionsweise und die Auswirkungen der Debarking Heads auf die Bestände, die Holzernte und nachfolgende Logistik eingegangen.

Vorangegangene Versuche im Rahmen des Projekts Debarking Heads I zeigten bereits, dass durch die Entrindung während der Holzernte bis zu 31 % der Nährstoffe im Bestand verbleiben können und so die Fertilität des Bodens erhalten bleiben kann (Heppelmann et al. 2019b).

Auf Grundlage des Versuchs von Steinacker (2019) wurden Rindensäcke auf drei Versuchslinien, Rückegassenmitte, Rückegassenfahrspur und Bestand neben der Rückegasse, ausgebracht. Vor Ausbringung der Rindenproben Mitte August 2019, wurde deren Trockenmasse ermittelt. Zum Ende des Versuchs im Oktober hatte die Trockenmasse um etwa 13 % abgenommen. Die Verläufe der Gewichtsverluste der Versuchslinien Rückegassenmitte, Fahrspur und Bestand wurden in Abhängigkeit von den Witterungsparametern untersucht. Dabei konnte ein Zusammenhang zwischen Trockenmasseabnahme und Niederschlag (Kronentraufe), sowie zwischen den Temperaturveränderungen der Umgebung und des Bodenbereichs festgestellt werden.

Auf die praktische Durchführung des Versuchs hin folgte eine Nährstoffanalyse der Rindenproben im Labor. Die Laboranalyse ergab eine Freisetzungsquote der Elemente Kalium und Kupfer betreffend von ca. 8 %. Bezieht man jedoch den Trockenmasseverlust in die Berechnung mit ein, erhöht sich diese Quote auf rund 20 %. Gerade im Hinblick auf den Klimawandel ist die schnelle Rückführung von Kalium in dieser Menge positiv zu bewerten. Andere wichtige Nährelemente wie Calcium, Magnesium oder Phosphor werden dagegen wohl langsamer zurückgeführt, da sich während des Versuchs eine geringere Freisetzungsquote abzeichnete.

Eine Entrindung im Zuge der Holzernte direkt im Bestand kann also aufgrund der häufigeren Wiederkehr von Holzerntemaßnahmen die Rückführung bzw. den Verbleib von Nährelementen bzw. Nährstoffen kontinuierlich sicherstellen und im Vergleich zu den bisherigen Methoden fördern.

Haftner, Lukas (2020): Debarking Head Einsatz als Alternative zur Polterspritzung - Vergleich für den Forstbetrieb Freising. HSWT

Bereits seit 2014 betreibt die Hochschule Weihenstephan Forschung zu Debarking Heads. Die Harvesterentrindung bringt einige Vorteile mit sich. Das Belassen der Rinde im Wald verbessert die Nährstoffversorgung. Beim Transport kann Volumen eingespart werden, bei der Verbrennung werden Feinstaubemissionen gemindert. Bei der Ernte von Borkenkäferholz zeigt das System auch waldschutzfachliches Potential.

Von einem Staatsforstbetrieb wie dem Forstbetrieb Freising wird eine vorbildliche Wirtschaftsweise verlangt. Die vorbildliche Wirtschaftsweise schließt den Grundsatz des integrierten Pflanzenschutzes gemäß §2 Nr.2 PflSchG mit ein. Demnach soll der Spritzmitteleinsatz nur als „ultima ratio“ erfolgen.

Zielsetzung der Arbeit war es, herauszufinden welche wirtschaftlichen Vor- und Nachteile dem Forstbetrieb Freising durch den Einsatz von Schläggregaten entstehen würden und welche Vor- und Nachteile die Harvesterentrindung bei der Aufarbeitung von Borkenkäferholz mit sich bringt.

Die extreme klimatische Situation mit sehr warmen und trockenen Sommern in den letzten Jahren und ein erhöhtes Brutraumangebot durch zahlreiches Sturmholz führten zu einer Massenvermehrung der Fichtenborkenkäfer. Auch der Forstbetrieb Freising ist von dieser Kalamität betroffen. Im Jahr 2016 belief sich der durch Borkenkäfer hervorgerufene Schadholzanteil am Fichtengesamteinschlag auf 73 %, 2017 auf 45 % und 2018 auf 48 %.

Um Borkenkäferkalamitäten einzudämmen, mussten in den vergangenen Jahren 40-50 % des Schadholzes chemisch behandelt werden. Vor dem Hintergrund der vorbildlichen Wirtschaftsweise und des integrierten Waldschutzes ist es für den Forstbetrieb interessant, wie sich die Kosten entwickeln würden, wenn man maschinell mit dem Harvester entrindet und dadurch den Spritzmitteleinsatz minimiert. Hätte man 2017 und 2018 die gespritzte Menge mit dem Harvester entrindet, wären die Kosten um 20,6 % auf 211.000 € und 36,9 % auf 134.000 € gestiegen.

Für private Forstbetriebe ist eine Förderung der Entrindung i. d. H. v. 5 €/Fm möglich. Bei anzunehmenden maximalen Mehrkosten der Harvesterentrindung von 5,50 €/Fm müssen nur noch 0,50 €/Fm vom Forstbetrieb getragen werden. Aufgrund der sich verschärfenden Borkenkäferproblematik ist seit 01.07.2019 in Bayern nicht nur die Harvesterentrindung an sich, sondern auch die an keine Maßnahmen gebundene „Vorbereitung der insektizidfreien Borkenkäferbekämpfung“ i. d. H. v. 5 €/Fm förderfähig. Es ergibt sich somit eine mögliche Gesamtförderhöhe von 10 €/Fm und ein daraus resultierender positiver Deckungsbeitrag.

Um ein Zukunftsszenario entwerfen zu können, war es nötig, den Berechnungen eine konkrete Käferholzmenge zu Grunde zu legen. Eine Schätzung der zukünftigen Menge war nur schwer möglich, da verschiedene Faktoren wie z.B. Witterungsverlauf, Befallskontrollen und Aufarbeitungsgeschwindigkeit eine Rolle spielen.

Deshalb wurden drei Szenarien entworfen. Ein wahrscheinliches Szenario, ein aus Sicht des Forstbetriebes optimales Szenario mit dementsprechend niedriger Käferholzmenge und ein Negativszenario mit einer hohen Schadholzmenge. Die Käferholzmengen bewegen sich dabei zwischen 35.000 Fm und 150.000 Fm. Die sich daraus ergebenden Kosten reichen von 171.063 € bis 847.500 €, je nach zukünftigem Umgang.

Aus Gründen des ökologischen Waldschutzes könnte es ein Ziel des Forstbetriebes Freising sein, nur noch 20 % des befallenen Holzes zu spritzen. Vor dem Hintergrund der verfügbaren Maschinen und aus arbeitsorganisatorischen Gründen erscheint es möglich 20 % mit dem Harvester zu entrinden. Nimmt man wie im Bekämpfungsszenario 3 an, zusätzlich 20 % direkt ins Werk verbringen zu können, 25 % des Holzes trocken und 15 % nass zu lagern, ergäben sich bei einem Schadholzanfall von 40.000 Fm im Jahr 2020 Gesamtkosten in Höhe von 226.000 €.

Die dem Forstbetrieb zukünftig entstehenden Kosten hängen mehr von der konkreten Schadholzmenge ab, als von der Art der Behandlung. Entscheidend für den Umgang sollte die Effizienz des eingesetzten Verfahrens sein, um einer Befallsausweitung entgegen zu wirken.

Es kann angenommen werden, dass eine Komplettrindung den Buchdrucker etwa so stark reduziert wie ein Abtransport oder die Polterspritzung.

Huber, Christoph (2018): Prozessabläufe in der holzbearbeitenden Industrie hinsichtlich der Logistikkette und der Weiterverarbeitung der anfallenden Rinde. HSWT

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wird eine Datenerhebung der derzeitigen Transport-, Lager- und Verarbeitungsprozesse und der Weiterverarbeitung der anfallenden Rinde vollzogen. Des Weiteren wird die Verwendungsbereitschaft der holzbearbeitenden Unternehmen hinsichtlich

harvesterentrindetem Rundholz untersucht, um gegebenenfalls abschließend eine Aussage gegenüber einer möglichen Vermarktung von im Wald entrindetem Holz treffen zu können.

Das hierfür ausgewählte Datenerhebungsinstrument stellt ein Fragebogen dar, welcher Vertreter der holzbearbeitenden Industrie (Säge-, Holzwerkstoff- und Zellstoff-/Papierwerke) zur Beantwortung mittels Online-Umfrage vorgelegt wurde.

Bei Betrachtung der Umfrageergebnisse ist festzustellen, dass es viele verschiedene Interessensfelder innerhalb der holzbearbeitenden Betriebe gibt, da die Holzbearbeitung einen sehr heterogenen Industriezweig mit vielen verschiedenen Anforderungen an den Holzrohstoff darstellt. Zudem wird festgestellt, dass sich große Unternehmen mit hohem jährlichen Einschnittvolumen auf die anfallende Rinde eingestellt haben, sei es in Form der Weiterverarbeitung zu Rindenprodukten oder dem Nutzen für betriebseigene Versorgungsanlagen. Die Verwendungsbereitschaft von großen Betrieben kann daher nur als gering betrachtet werden. Die Aufgeschlossenheit zur Verwendung von entrindetem Stammholz der Unternehmen steigt jedoch mit absteigender Betriebsgröße. Eine Aussage, ob die Vermarktung von harvesterentrindetem Rundholz möglich ist, hängt von vielen betriebspezifischen Gegebenheiten ab und kann demnach nicht pauschal getroffen werden.

Lankes, Maximilian (2019): Analyse der Feinstaubemissionen von Stämmen mit und ohne Rinde bei Fichte, Buche und Pappel. HSWT

Für das Forschungsprojekt „Debarking Heads“ der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) und des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) sollte geklärt werden, ob bei der Verbrennung weniger Feinstaub bei entrindeten Hackschnitzeln anfällt als bei Hackschnitzeln mit Rinde. Dazu wurden mit dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Straubing zusammen Verbrennungsversuche durchgeführt.

Zunächst wurden Bäume mit ähnlichem Durchmesser und Rindenstruktur ausgewählt und gefällt. Dabei handelt es sich um vier Fichten und zwei Buchen aus dem Bayerischen Wald (Oberpfalz) und zwei Pappeln aus einer Kurzumtriebsplantage nahe Kaufering (Oberbayern). Die Hälfte der Proben wurde auf 50 cm lange Klötze geschnitten und danach mittels Schälisen entrindet. Am TFZ wurden die Rundlinge gespalten, gehackt und getrocknet. Mit Hackschnitzelproben wurde der Wassergehalt und der Aschegehalt bestimmt.

An jeweils einem Tag wurden zwei unterschiedliche Proben in einem 30 kW Hackschnitzelkessel „Powechip 20/30“ mit Rinde und ohne Rinde der gleichen Baumart verbrannt. Von jeder Probe wurden fünf Staubmessungen durchgeführt. Die beladenen Filter wurden in einem Exsikkatorschrank abgekühlt und danach in einer Wiegekammer gewogen.

Vergleicht man die Ergebnisse des Verbrennungsversuches so wird eine klare Tendenz deutlich. Die Fichten 1 und 3 sowie die Buchen- und Pappelproben zeigen, dass entrindete Hackschnitzel zwischen 4,4 % und 14,4 % weniger Feinstaub produzieren als Hackschnitzel mit Rinde. Die Ergebnisse der Proben Fichte 2 und 4 zeigen zwar gegensätzliche Ergebnisse. Aufgrund hoher C org.- und CO-Werte bei der Variante ohne Rinde ist dort aber von gestörten Abbrandbedingungen auszugehen.

Die Ergebnisse der Feinstaubproduktion zeigen, dass wie vermutet die KUP-Pappel, die aus zwischen 116 mg/Nm³ und 154 mg/Nm³ und somit am meisten Feinstaub der drei Proben produziert. Die Werte der Fichte und der Buche liegen auf einem relativ ähnlichen Niveau zwischen 35 mg/Nm³ und 56 mg/Nm³.

Die Aschegehaltsbestimmungen, die nach der Norm DIN-EN 14775 durchgeführt wurden zeigen, dass bei Hackschnitzeln ohne Rinde deutlich weniger Asche anfällt. Die Fichte ohne Rinde liegt bei 0,61 %

und die Fichte mit Rinde bei 0,65 %. Auch bei der Buche ohne Rinde 0,38 % wurde deutlich weniger Asche gemessen als bei der Buche mit Rinde 0,73 %. Am meisten Asche produziert die Pappel mit Rinde 1,74 %. Bei der Pappel ohne Rinde fällt deutlich weniger an 1,15 %.

In der reinen Rinde von Fichte 4,0 %, Buchenrinde 4,2 % und Pappelrinde 6,2 % sind die Aschegehalte deutlich höher.

Abschließend ist festzuhalten, dass das Forschungsprojekt „Debarking Heads“ ein Schritt in die richtige Richtung ist. In dieser Arbeit wird eine klare Tendenz sichtbar: Hackschnitzel, die aus entrindeten Bäumen hergestellt werden, produzieren bei der Verbrennung zum einen deutlich weniger Asche und zum anderen wird weniger Feinstaub emittiert.

Reichenberger, Alois (2019): Ermittlung der Oberflächenhaftung entrindeter Stämme. HSWT

Entrindete Stämme unterschieden sich erwartungsgemäß deutlich in ihren Eigenschaften von Stämmen in Rinde. Dabei war der Gleit-Reibbeiwert von frisch aufgearbeiteten und entrindeten Stämmen um fast 37 % geringer als der Gleit-Reibbeiwert von Stämmen in Rinde.

Im Laufe der Zeit stieg der Gleit-Reibbeiwert der entrindeten Stämme deutlich an. Nach sieben Tagen betrug dieser bereits 87 % des Referenzwertes in Rinde, nach 21 Tagen 90,6 %. Wasser hatte einen starken Einfluss auf die Eigenschaften der entrindeten Stämme. So erreichten die Stämme unter Wassereinfluss, in Form von zweimaliger Beregnung pro Tag, nach sieben Tagen nur 60,6 % des Referenzwertes. Nach 21 Tagen fand nur eine geringe Steigerung auf 61,3 % statt. Dauerhafte Nässe führt zu sehr niedrigen Reibbeiwerten, während kurze vereinzelte Schauer schnell kompensiert werden können.

Für den Transport von entrindeten Stämmen empfiehlt sich daher eine Wartezeit von drei Wochen bei relativ trockener Witterung. Dauerhaft feuchte Witterung wirkt sich negativ auf die Transportfähigkeit aus. Eine trockene Verladung ist äußerst wichtig. Nach dreiwöchiger Wartezeit können sich die Eigenschaften von entrindeten Stämmen positiv auf die Logistik auswirken, da aufgrund der fehlenden Rinde mehr Holz transportiert werden kann und dieses auch eine hohe Reibung aufweist. Die Versuchsanlage lieferte gute Werte, in zukünftigen Untersuchungen können noch andere Bedingungen abgebildet werden, insbesondere nasse Bedingungen für Stämme in Rinde.

Steinacker, Max (2019): Untersuchungen zur Zersetzungsgeschwindigkeit von Fichtenrinde aus Debarking-Head-Einsätzen (Winterversuch). HSWT

Ziel dieser Arbeit war es, einen Versuchsaufbau zur Untersuchung der Zersetzungsgeschwindigkeit von Fichtenrinde, wie sie beim Debarking-Head-Verfahren im Bestand verbleibt, zu entwickeln und praktisch zu erproben.

Zunächst wurde der chemische Aufbau von Rinde näher betrachtet, um anschließend den Vorgang ihrer Zersetzung und ihre verwertungstechnisch relativ geringe Bedeutung besser nachvollziehen zu können. Die Zersetzung erfolgt vor allem durch Mikroorganismen, wobei deren Aktivität vom Mikroklima abhängig ist.

Seit etwa 30 Jahren wird Rundholz überwiegend im Sägewerk auf stationären Anlagen entrindet. Im Pilot-Projekt "Debarking Heads I" wurde allerdings herausgefunden, dass technisch modifizierte, entrindende Harvesteraggregate unter mitteleuropäischen Verhältnissen bei der vollmechanisierten Holzernte einsetzbar sind. Bei konventionellen Aggregaten wurde in vorausgegangenem

Bachelorarbeiten ein durchschnittliches Entrindungsprozent von 8,7 Prozent festgestellt. Die Entrindungsqualität bei entrindenden Aggregaten ist abhängig von der Jahreszeit. So konnten im Winter bei drei Überfahrten lediglich 35 bis 54 Prozent festgestellt werden, während der Saftzeit hingegen 73 bis 90 Prozent. Somit ist die Technik mit dieser Anzahl an Überfahrten bisher nur im Sommer sinnvoll einsetzbar.

Trotz ihrer geringen Bedeutung hinsichtlich der Biomasse hat die Rinde erheblichen Anteil am im Bestand gebundenen Nährstoffvorrat. Ein vorheriger Zersetzungsversuch, allerdings mit Zweigen, zeigte eine Trockenmasseabnahme von knapp 20 Prozent des Ausgangsgewichts in den ersten sechs Versuchsmonaten. Dies wurde als Anhaltspunkt für den zu erwartenden Versuchsablauf genommen.

Es entstand ein Versuchsaufbau basierend auf Trocknung und Einwaage der Trockenmasse der Fichtenrinde. Dieser wurde von Dezember 2018 bis Februar 2019 im Lehrwald der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf praktisch erprobt. Die Auswertung ergab eine Trockenmasseabnahme von etwa 13 Prozent des Ausgangsgewichts im Versuchszeitraum. Bezüglich des Einflusses der Witterung auf die Trockenmasseabnahme während des Versuchszeitraums konnte keine Korrelation mit den untersuchten Temperatur- und Niederschlagsparametern festgestellt werden.

Um die resultierende Nährstofffreisetzung im Versuchszeitraum berechnen zu können wurden Mittelwerte der Rindengehaltswerte aus der Literatur (Weis/Göttlein 2012) verwendet. Zunächst wurde die Freisetzung pro Kilogramm Rinde im Versuchszeitraum ermittelt, wobei von Proportionalität zur Trockenmasseabnahme ausgegangen wurde. Diese Werte lagen für Calcium bei etwa 1,4 g/kg, für Kalium bei etwa 0,3 g/kg Rinde und für Magnesium bei etwa 0,1 g/kg. Anschließend wurden diese Werte in ein Praxisbeispiel eines in einer Verjüngungsnutzung gewöhnlichen Hiebes von 60 Erntefestmetern pro Hektar verarbeitet. Hier konnte herausgefunden werden, dass dadurch zum Ende des Versuchszeitraums eine Freisetzung von 1,57 kg/ha Calcium, 0,38 kg/ha Kalium und 0,13 kg/ha Magnesium zustande kommen würde. Beim Vergleich dieser Werte mit jährlichen Bedarfswerten von Fichtenbeständen aus der Literatur (Weis und Göttlein 2012) wurde festgestellt, dass die Nährstofffreisetzung abhängig von der Standortsqualität von unterschiedlich hoher Bedeutung ist.

Als großer Vorteil des Debarking-Head-Verfahrens in Bezug auf den Nährstoffhaushalt ist die langsame, kontinuierliche und verlustfreie Freisetzung von Nährelementen festzuhalten.

Weiß, Lena (2020): Untersuchungen zur Ausflugrate des Buchdruckers (*Ips typographus*) bei vollmechanisierter Holzernte mit entrindendem Harvesterfällkopf. HSWT

Untersuchungen zur Ausflugrate des Buchdruckers bei vollmechanisierter Holzernte mit entrindendem Harvesterfällkopf sollten in dieser Bachelorarbeit durchgeführt werden, um den Einfluss dieses Aggregats auf die Käfer zu erörtern. Ziel war es, die nachfolgenden Fragen beantworten zu können:

- 1) Wie viele Buchdrucker befinden sich in der entfernten Rinde?
- 2) Wie ist der Zustand der Buchdrucker in der Rinde?
- 3) Wie viele der Buchdrucker fliegen innerhalb des vierwöchigen Beobachtungszeitraums aus der am Boden liegenden Rinde aus?

Ein Versuch im August und September 2019 im Revier Altshausen des Forstbetriebs Herzog von Württemberg sollte zur Klärung der Fragen beitragen. Dieser Versuch wurde in einen Käferhieb integriert, der mit dem Harvester Eco Log 590D und dem entrindenden Aggregat Log Max 6000B durchgeführt wurde.

Über einer Plane wurden neun Probestämme – Fichten – entrindet. Die Rinde konnte nach der Aufarbeitung eingesammelt werden und pro Baum in drei Proben aufgeteilt werden. Zwei Proben davon

wurden nach vorherigem Abwiegen unter jeweils eine Eklektoypyramide gelegt, welche im Anschluss eingegraben wurde. Die dritte Probe eines Probebaums wurde ebenfalls abgewogen und als Referenzmenge verwendet. Diese wurde in beschriftete Müllsäcke verpackt und am darauffolgenden Tag auf Käfer untersucht. Anzahl, Entwicklungsstadium und Vitalitätszustand der Käfer wurden erfasst und die Ergebnisse den jeweiligen Probebäumen zugewiesen. Eine identische Zusammensetzung der Käfer in an anderen beiden Proben eines Probebaums wurde unterstellt.

Insgesamt wurden neun Referenzproben ausgezählt. Hierbei wurden die Entwicklungsstadien und der Vitalitätszustand betrachtet. Der größte Anteil der Käfer entfällt mit 34 % auf tote Puppen. Mit 25 % haben tote schwarze Imagines den zweitgrößten Anteil. Auf die anderen Sparten entfallen folgende Anteile in absteigender Reihenfolge: 14 % tote braune Imagines, 8 % lebende braune Imagines, 8 % lebende schwarze Imagines, 5 % lebende Puppen und nur 6 % auf Larven – davon 4 % auf tote und 2 % auf lebende Larven. Der Anteil der toten Individuen ist mit 77 % deutlich höher als der Anteil der lebenden Käfer mit 22 % und könnte in dieser Höhe auch durch die flächige und mehrfachwirkende Überföhrung durch den entrindenden Fällkopf bedingt sein. Pro Kilogramm waren im Schnitt 15 lebende Käfer enthalten.

Es befanden sich insgesamt 18 Proben unter den Eklektoren. Zwei davon dienten als Nullprobe. In dem vierwöchigen Beobachtungszeitraum, in dem die Fallen jeden Donnerstag kontrolliert wurden, konnten keine Käfer in den Kopfdosen der Eklektoypyramiden aufgefunden werden.

Bei der Nachkontrolle, bei der sechs Proben der Rindenproben unter den Eklektoypyramiden nochmals untersucht wurden, wurden keine Larven und Puppen aufgefunden – weder tot noch lebend. 44 % der aufgefundenen Käfer waren tote schwarze Imagines. Auf lebende schwarze Imagines entfielen 25 %. Mit 31% wurden weniger braune Imagines gefunden als schwarze: 16 % lebende und 15 % tote braune Imagines. Dies entspricht einem Verhältnis lebend zu tot von 40 zu 60. Im Schnitt sind nur noch zwei lebende Käfer pro Kilogramm Rinde zu finden. Das bedeutet eine Reduktion von 83 % im Vergleich zu der Anzahl lebender Käfer in den Referenzproben.

Aus den Ergebnissen kann die Aussage, dass das entrindende Aggregat den Ausflug der Käfer vollständig verhindert, dennoch nicht sicher getroffen werden, da viele Faktoren wie der Zeitpunkt oder der Versuchsaufbau das Ergebnis des Ausflugs aus der Rinde beeinflussen.

Es sollten weitere Versuche, vor allem zum Verbleib und der Schwärmfähigkeit der lebenden Individuen in der Rinde, durchgeführt werden, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob eine Entrindung von befallenen Stämmen mit entrindendem Harvesterfällkopf zur Prävention von Buchdruckerbefall ausreicht.

VI Anlagen

Teilvorhaben 1

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Bewertung Waldschutz, Ökoeffizienz und Handlungsempfehlungen

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Zur umfassenden Beurteilung des neu zu entwickelnden Arbeitsverfahrens sollten technische, ökologische und betriebswirtschaftliche Analysen durchgeführt werden. In Ergänzung zur der im Projekt Debarking Head 1 untersuchten Holzerntetechnik sollte nun die gesamte Wertschöpfungskette, bis in die Holzindustrie, betrachtet werden. Bewertet werden sollten alle potentiellen Einflüsse auf die Wertschöpfung und die Chancen, aber auch Risiken bei der Verwertung von im Wald entrindeten Holz.

Neben den auf den Nährstoffhaushalt erhofften Effekten, die bereits auch in Projekt 1 Eingang fanden, sollte nun auch ein Hauptaugenmerk auf die Wirkungen hinsichtlich der Waldschutzsituation gelegt werden.

Ziel des gesamten Projektes war, mit den Ergebnissen eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, um Unternehmen die Potenziale dieses modifizierten Verfahrens aufzuzeigen und dem Einsatz von Debarking Heads den Weg in die Praxis zu ebnen.

Für die Durchführung der Projektarbeiten war die intensive Zusammenarbeit der beiden Projektpartner unerlässlich, da alle Arbeitspakete gemeinsam bearbeitet wurden.

Bearbeitete Arbeitspakete

AP 1 Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz – Schlussfolgerungen für die Logistik

- Analyse und Aufstellung der potenziellen Absatzwege für entrindetes Rundholz
- Kontakt mit Forstunternehmern und Sägewerkern zur Akzeptanz von entrindetem Holz, Einbindung von Versuchen im laufenden Sägewerksbetrieb

AP 2 Konzeption, Analyse und Bewertungen der Holzlogistikketten

- Holzernte mit Rundholzentrindung
- Holzurückung
- Analyse auftretender Effekte bei der Lagerung entrindeter Sortimente
- Analyse bei energetischer Verwertung des entrindeten Holzes

AP 3 Bewertung der Potenziale für den Waldschutz und Borkenkäferprävention

- Auswahl von Nadelholzbeständen mit ersten sichtbaren Käferschäden
- Analyse der Einflussgrößen auf Waldschutz und Borkenkäferbekämpfung

AP 4 Nährstofffreisetzung und Humusbildung

- Anlage eines Langzeitversuches zu Rindenzersetzungsraten
- Untersuchung bodenkundlicher Parameter

AP 5 Datenanalyse und Bilanzierung

- SWOT-Analyse der Distributionswege und Stoffströme für entrindetes Holz in Deutschland

- Life cycle assessment (LCA)

AP 6 Ergebnistransfer in die Praxis

- Abschließende Bewertung des Systems in seiner Gesamtheit und Empfehlungen für die Markteinführung
- Wissenstransfer

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Über Umfragen wurden Sägewerke und Forstunternehmer befragt. Bei Forstunternehmern sind die Debarking Heads bekannt. Bei den Pionieren, die die Technik bereits angeschafft haben, überwiegen die Einsätze im Bereich Waldschutz. Das Thema der Verminderung der Nährstoffentzüge ist nicht die Triebfeder der auftraggebenden Forstbetriebe. Bei Sägewerken besteht insbesondere bei Standorten mit eigenen stationären Entrindungsanlagen eine geringe Akzeptanz für bereits entrindete Sortimente.

Zur Ladungssicherheit wurden Versuche angelegt und durchgeführt. Wichtigste Empfehlung ist es, das frisch nach der Entrindung seifige Holz etwa eine Woche oberflächlich abtrocknen zu lassen, bevor es gerückt oder aus dem Wald gefahren wird.

Rund ein Drittel des Einschlags in Deutschland wird energetisch genutzt. Um die erwartbar positiven Einflüsse von entrindetem Holz im Bereich Holzenergie zu belegen, wurden bei einem Verbrennungsversuch Hackschnitzel mit und ohne Rinde verglichen. Erzielt wurde bei den Versuchen ein deutlich geringerer Ascheanfall und etwa 10 % verringerte Feinstaubemissionen. Entrindete Energieholzsortimente ermöglichen geringere Ascheentsorgungskosten, weniger Feinstaubbildung und -emission sowie geringere Wartungskosten und längere Laufzeiten von Holzverbrennungsanlagen.

Im Bereich der Bewertung der Potenziale im Bereich Waldschutz wurde im Rahmen des Projekts ein Eklektorenversuch durchgeführt. Bei diesem Versuch wurden die frühen („weißen“) Stadien zuverlässig durch die Entrindung an ihrer Weiterentwicklung gehindert. Ältere Stadien und adulte Käfer, soweit Sie die mechanische Belastung überlebt hatten, sind nicht mehr aus den im Bestand zurückbleibenden Rindenhäufen ausgeflogen.

Nährstofffreisetzung und Humusbildung wurden untersucht über Laboranalysen der Nährstoffgehalte in ausgebrachten Rindensäckchen sowie über Streukastenversuche. In den Rindensäckchen nahm die Trockenmasse innerhalb von sieben Sommerwochen um 13 % ab. Kaliumoxid (K_2O) und Kupfer (Cu) nahmen in ihrer Konzentration überproportional zur Biomasse ab. Zink (Zn), Mangan (Mn) und Natrium (Na) sowie Calciumoxid (CaO), Magnesiumoxid (MgO) und Phosphorpentoxid (P_2O_5) nahmen zu, es kommt zu einer Aufkonzentration in der Rinde und damit mutmaßlich zu einer etwas verzögerten Abgabe dieser Nährstoffe. Die Streukastenversuche zeigten eine unterschiedlich schnelle Umsetzung der Rinden, abhängig von Baumart und Humusform in den untersuchten Beständen. Insgesamt kann man eine langsame, kontinuierliche und verlustfreie Freisetzung von zusätzlichen Nährelementen aus der Rinde direkt im Bestand festhalten als Benefit von Holzernemaßnahmen mit Debarking Head.

Über Bachelorarbeiten wurden eine SWOT-Analyse und ein LCA der Logistikkette mit Debarking Head durchgeführt. Die SWOT-Analyse schloss die Ergebnisse aller im Rahmen des Projekts durchgeführten Bachelorarbeiten ein. Das LCA belegte, dass das neue Holzernteverfahren Debarking Head eine hohe Ökoeffizienz aufweist, indem es zu geringeren Treibhausgas- und Feinstaubemissionen führt sowie einen geringeren Primärenergieverbrauch pro Kubikmeter Schnittholz aufweist als die verglichenen Ketten mit Entrindung im Werk oder Entrindung mit Lochrotorenmaschinen auf der Waldstraße. Da die Rinde nicht mittransportiert und trockeneres Holz geladen wird, erhöht sich die Transportkapazität der LKW. Der Treibstoffverbrauch pro Kubikmeter Holz wird geringer. Mit zunehmender Die Vorteilhaftigkeit steigt mit zunehmender Transportentfernung.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Debarking Heads, obwohl sie erst am Anfang ihrer Entwicklung stehen, viele ökologische und ökonomische Vorteile mit sich bringen. Weitere technische Innovationen und eine auf die Stärken des Verfahrens hin orientierte Vermarktung und Verhandlungsführung können dabei helfen, das modifizierte Holzernteverfahren erfolgreich in die Praxis zu bringen. Erforderlich ist dazu die Abnahme des von mit Entrindungsaggregaten aufgearbeiteten Holzes durch die Akteure in der Holzwirtschaft.

Eine besonders hohen Verbreitungsgrad erreichte ein Fernsehbeitrag im Bayerischen Rundfunk in der Reihe „Unser Land“. Der 5-minütige Beitrag wurde auch im Nachgang über youtube bereits 270.000 Mal angeklickt (Stand Oktober 2021). Wissenschaftlich wurde das Projekt über Vorstellungen bei FORMEC-Treffen sowie über drei Review- Publikationen und die Dissertation von Dr. Joachim B. Heppelmann bekannt und verfügbar gemacht. Leider konnten trotz zweimaliger Vorbereitung eines entsprechenden Exkursionspunktes die Projektergebnisse nicht im Rahmen einer KWF-Tagung vorgestellt werden. Für die forstliche Praxis gab es unter anderem eigene Fachartikel in LWFaktuell, Forst&Technik sowie dem Holzzentralblatt.

Teilvorhaben 2

Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.

Konzeption und Bewertung der Logistikkette

Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Zur umfassenden Beurteilung des neu zu entwickelnden Arbeitsverfahrens sollten technische, ökologische und betriebswirtschaftliche Analysen durchgeführt werden. In Ergänzung zu der im Projekt Debarking Head 1 untersuchten Holzerntetechnik sollte nun die gesamte Wertschöpfungskette, bis in die Holzindustrie, betrachtet werden. Bewertet werden sollten alle potentiellen Einflüsse auf die Wertschöpfung und die Chancen, aber auch Risiken bei der Verwertung von im Wald entrindeten Holz.

Neben den auf den Nährstoffhaushalt erhofften Effekten, die bereits auch in Projekt 1 Eingang fanden, sollte nun auch ein Hauptaugenmerk auf die Wirkungen hinsichtlich der Waldschutzsituation sowie der Logistikkette bei Einsatz von Debarking Heads gelegt werden.

Ziel des gesamten Projektes war, mit den Ergebnissen eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, um Unternehmen die Potenziale dieses modifizierten Verfahrens aufzuzeigen und dem Einsatz von Debarking Heads den Weg in die Praxis zu ebnen.

Für die Durchführung der Projektarbeiten war die intensive Zusammenarbeit der beiden Projektpartner unerlässlich, da alle Arbeitspakete gemeinsam bearbeitet wurden.

Bearbeitete Arbeitspakete

AP 1 Erfassung der Anforderungen der Holzindustrie an entrindetes Rundholz – Schlussfolgerungen für die Logistik

- Analyse und Aufstellung der potenziellen Absatzwege für entrindetes Rundholz
- Kontakt mit Forstunternehmern und Sägewerkern zur Akzeptanz von entrindetem Holz, Einbindung von Versuchen im laufenden Sägewerksbetrieb

AP 2 Konzeption, Analyse und Bewertungen der Holzlogistikketten

- Holzernte mit Rundholzentrindung
- Holzurückung
- Holztransport
- Analyse konkurrierender Entrindungssystem (stationär, mobil)

AP 3 Bewertung der Potenziale für den Waldschutz und Borkenkäferprävention

- Auswahl von Nadelholzbeständen mit ersten sichtbaren Käferschäden
- Analyse der Einflussgrößen auf die Logistik von Käferholz

AP 5 Datenanalyse und Bilanzierung

- Ökonomische Bilanzierung

AP 6 Ergebnistransfer in die Praxis

- Abschließende Bewertung des Systems in seiner Gesamtheit und Empfehlungen für die Markteinführung
- Wissenstransfer

Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Für die Erreichung der Ziele in diesem Vorhaben war es unumgänglich, mehrere Versuche durchzuführen. Zunächst wurden Versuchseinsätze in Bayern und Niedersachsen geplant, die Aufnahmemethodiken dazu erarbeitet. Leider konnten diese beiden Versuche nicht (Einschlagsstopp in Bayern) bzw. nur teilweise (Abbruch wegen extremer Trockenheit in Niedersachsen) durchgeführt werden.

Eine groß angelegte Versuchskette zum Einsatz von entrindenden Harvesterköpfen Harvester - Forwarder - Transport - Sägewerk wurde gemeinsam mit dem KWL Hermeskeil (Rheinland-Pfalz) konzeptioniert, organisiert und durchgeführt. Hierbei wurde die Logistikkette vom Baum zum Brett, also von der Holzernte mit Harvester und Forwarder bis zum Transport ins Sägewerk betrachtet. Es wurden verschiedene Unternehmen in die Sommersversuche 2019 in Rheinland-Pfalz eingebunden. Die entrindeten Abschnitte konnten ohne Beanstandung (!) an örtliche Sägewerke vermarktet werden. Ein direkter Vergleich von Werksentrindung und Harvesterentrindung ergab keinerlei Qualitätsunterschiede.

Die Auswertung der Nährstoffbilanz der o.a. Versuchskette erfolgte in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF). Die Ergebnisse zeigen, dass beim zusätzlichen Einsatz von Debarking Heads (ab einem entsprechenden Bestandesalter) mit Rückverteilung der Rinde durch den Forwarder in der Kranzone ein Nährstoffplus gegenüber dem Einsatz konventioneller Harvester zu verzeichnen ist.

Die Kopplung von Arbeitsverfahren über das gesamte Bestandesalter hinweg von konventionellem Harvestereinsatz, Debarking Heads und motormanuellem Holzeinschlag (in der Kranzwischenzone) erscheint unter den Aspekten der Nährstoffversorgung von Fichtenbeständen das vorteilhafteste zu sein. Es entspricht, zumindest in der Abfolge, wohl am ehesten der gängigen Praxis. Einen positiven Einfluss hat die Rückverbringung der Rinde durch den Forwarder.

Während der Versuche wurde erneut bestätigt, dass es beim Einsatz von Debarking Heads zu einem erhöhten Mehraufwand kommt. Die Aufarbeitung des Stammes mit der zusätzlichen Entrindung durch das Harvesteraggregat dauert rund ein Drittel länger als die konventionelle Aufarbeitung mit einem Harvester. Eine genaue Prozentzahl ist schwierig anzugeben, denn viele Faktoren, die bereits Zeitbedarf und Arbeitsproduktivität bei einer regulären Aufarbeitung mit einem Harvester beeinflussen, wirken sich auch hier aus, beispielsweise die Vertrautheit des Fahrers mit der Maschine und dem Verfahren, die Geländeverhältnisse, die Tageszeit und Witterung, der Durchmesser/die Dimensionen der Bäume sowie ihre Formigkeit und Astigkeit.

Durch die Entrindung der Stämme nimmt ihre Oberflächenreibung ab. Dies muss bei der Rückung und für die Ladungssicherung beim Holztransport beachtet werden. Hinsichtlich der Rückung kann empfohlen werden, das Holz mindestens einen, besser mehrere Tage (ca. eine Woche) trocknen zu lassen, ehe es gerückt wird. Während der Versuche zeigte sich, dass sich zu keinem Zeitpunkt Lade-Nachteile bei dem entrindeten Holz gegenüber dem unentrindeten Holz ergaben. Es ist somit anzunehmen, dass die Entrindung keinen Einfluss auf die Ladedauer hat, wenn die Holzoberfläche abgetrocknet ist. Eine zunächst vermutete, außergewöhnliche Verschmutzung von Waldwegen und Straßen mit Restrindenstücken wurde nicht beobachtet.

Durch den Einsatz von entrindenden Harvesteraggregaten werden hohe Anteile der Rinde vom Stamm entfernt. Verbleibende Rindenanteile trocknen zudem schneller aus. Rindenbrütenden Insekten wird somit der Brutraum entzogen, die Weiterentwicklung und der damit einhergehende Ausflug der Insekten werden gehemmt. In Zeiten vom erhöhten Absatzdruck auf dem Holzmarkt, beispielsweise nach Sturm- oder Insektenkalamitäten, sind eine Insektizid-Behandlung oder andere Maßnahmen des Waldschutzes bei entrindetem Holz häufig. Da das entrindete Holz zudem aus Waldschutzgründen

nicht direkt abgefahren werden muss, kommt es zu einer Entzerrung in der Logistikkette und somit zu einer Entspannung beim Holztransport ins Werk.

Durch den flexiblen Einsatz von entrindenden Harvesteraggregaten besteht die Möglichkeit, die Stämme sortimentsweise zu entrinden. Aufarbeitung in Rinde von Sortimenten, die schnell abgefahren werden können, kann sich mit Aufarbeitung von länger lagernden Sortimenten (bei denen z.B. Bläue keine Rolle spielt) abwechseln. Ein eventueller Verbleib von unverkäuflichen, aber entrindeten Sortimenten im Wald bewirkt eine positivere Nährstoffbilanz.

Debarking Heads sind aufgrund ihrer enormen Flexibilität für die Aufarbeitung von Kleinmengen (Käferlöcher) geeignet.

Die Analyse konkurrierender Entrindungssysteme ergab, dass die Entrindung direkt im Bestand kostengünstiger als die Entrindung per Hand oder per Entrindungsmaschine ist. Entrindungsanlagen können nur effizient bei großem Holzanfall arbeiten. Auch hier zeigt sich wieder der Vorteil der Flexibilität beim Einsatz entrindender Harvesteraggregate.

Der Sägeindustrie geht bei im Bestand entrindetem Holz ein wichtiges Nebenprodukt verloren. In der Regel wird das Holz im Fm o. R. gehandelt (und bezahlt), die Rinde jedoch vom Waldbesitzer „kostenlos mitgeliefert“. Einer Entrindung im Wald sieht die Sägeindustrie eher skeptisch entgegen, wird die Rinde doch energetisch genutzt oder als im Garten- und Landschaftsbau beliebtes Produkt vermarktet.

Ein großes Arbeitspaket war der Ergebnistransfer in die Praxis. Auch hier haben beide Projektpartner eng zusammengearbeitet.

Die Projektwebseite (<https://www.kwf-online.de/index.php/forschungsprojekte/debarking-heads>) wurde ständig aktualisiert. Einen Überblick über die Unternehmen in Deutschland, die derzeit Debarking Heads einsetzen, wurde während der Projektlaufzeit konzipiert, programmiert und ständig aktualisiert. Diese online verfügbare Karte erreicht man unter www.dh2.kwf-online.de.

Angedacht war, das Projekt mit einem Exkursionspunkt auf der 18. KWF-Tagung zu präsentieren. Mit Verschiebung der Tagung in das 2024 ist eine Realisierung nun während der Projektlaufzeit nicht mehr möglich. Das Projekt wurde unter dem Punkt 3.2.3 Debarking Heads in der Praxis: Nährstoffe – Waldschutz – Logistik ausführlich beschrieben und im Exkursionsführer, dem AFZ-Sonderheft 13/14, veröffentlicht.

Zahlreiche weitere Veröffentlichungen und Vorträge dienten der Präsentation dieses Projektes.

Für die Durchführung der Projektarbeit nahmen die Projektpartner Kontakt zu Forstbetrieben, Unternehmern, Waldbesitzern, Herstellern und potenziellen Kooperationspartnern auf. War zu Beginn des Projektes die Anzahl der eingesetzten Debarking Heads sehr niedrig (ca. 5 - 10), konnte während der Projektlaufzeit eine Zunahme an in Deutschland verfügbaren entrindenden Harvesteraggregaten verzeichnet werden. Das ermöglichte den Projektpartnern einen intensiven Erfahrungsaustausch insbesondere mit den Unternehmern, die diese Technik einsetzen.

Gerade die letzten Jahre mit dem Auftreten der Borkenkäferkalamitäten haben einen erhöhten Informationsbedarf an Technik zur Entrindung erfordert. Beratung von Waldbesitzenden zum Einsatz, zu dessen Vor- und Nachteilen gehörten somit zum Alltagsgeschäft.

Man kann behaupten, dass die Arbeit in dem Projekt mitgeholfen hat, dieses Arbeitsverfahren in Deutschland weiter zu etablieren.