

# **Schlussbericht**

## **zum Vorhaben**

Thema:

**Verbundvorhaben: Nährstoffentzug bei der Holzernte minimieren durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen "Debarking Head"**

**Teilvorhaben 1: Untersuchung und Weiterentwicklung der entrindenden Harvesterfällköpfen**

**Teilvorhaben 2: Technische Bewertung und Verfahrenskonzepte**

Zuwendungsempfänger:

**Teilvorhaben 1: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf**

**Teilvorhaben 2: Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.**

Förderkennzeichen:

**22013213, 22012214**

Laufzeit:

**01.09.2014 bis 31.12.2017**

Veröffentlicht am:

**20.09.2018**

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

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 beim Autor.

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis:.....	6
1 Ziele .....	8
1.1 Aufgabenstellung .....	9
1.2 Stand der Wissenschaft und Technik .....	10
1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	12
2 Ergebnisse .....	14
2.1 Erzielte Ergebnisse .....	14
2.1.1 Arbeitspaket: Auswahl der Fällköpfe .....	14
2.1.2 Arbeitspaket: Auswahl der Bestände .....	16
2.1.3 Arbeitspaket: Technische- und Verfahrensmodifikationen.....	17
2.1.4 Hauptstudie: Ernteleistung .....	27
2.1.5 Hauptstudie: Entrindungsqualität .....	45
2.1.6 Arbeitspaket: Bewertung und Auswirkung auf den Nährstoffhaushalt .....	54
2.1.7 Arbeitspaket: Ökonomische Bewertung .....	59
2.1.8 Arbeitspaket: Zusammenfassende Verfahrensbewertung und Empfehlung für Einsatzbereiche .....	62
2.1.9 Arbeitspaket: Praxistransfer.....	63
2.1.10 Nebenergebnisse: Vergleich Entrindungsraten Konventionelles Aggregat.....	67
2.1.11 Nebenergebnisse: Maßhaltigkeit und Längenmessung.....	68
2.1.12 Nebenergebnisse: Untersuchungen Borkenkäfer.....	69
2.1.13 Nebenergebnisse: Untersuchungen Bestandesschäden.....	73
2.1.14 Nebenergebnisse: Untersuchungen Holzschäden .....	73
2.2 Verwertung.....	74
2.3 Erkenntnisse von Dritten .....	75
2.4 Veröffentlichungen (erfolgte und geplante).....	75
3 Anhang.....	77
3.1 Teilvorhaben 1: Untersuchung und Weiterentwicklung der entrindenden Harvesterfällköpfen FKZ 22013213 - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.....	77
3.1.1 Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens.....	77
3.1.2 Bearbeitete Arbeitspakete.....	77
3.1.3 Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens.....	79
3.1.4 Zusammenfassung Bachelorarbeiten.....	79
3.2 Teilvorhaben 2: Technische Bewertung und Verfahrenskonzepte FKZ 22012214 – Kuratorium für Walddarbeit und Forsttechnik e. V. ....	92

## Abschlussbericht Debarking Head I

3.2.1	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens.....	92
3.2.2	Bearbeitete Arbeitspakete.....	92
3.2.3	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens.....	93
4	Literatur.....	95

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Literaturrecherche in Science Direct .....	11
Abbildung 2: Prototypen im Projekt "Debarking Head".....	15
Abbildung 3: Verteilung der Versuchsbestände in Deutschland.....	16
Abbildung 4: Vorschubwalzen für John Deere H 480 C- Aggregat.....	17
Abbildung 5: Schematische Darstellung des Aufwerfens der Rinde.....	18
Abbildung 6: Aufstellung verschiedener Vorschubwalzen-Typen .....	19
Abbildung 7: Konventionelle Messräder neben montiertem Messrad.....	19
Abbildung 8: Schematischer Aufbau eines Harvesterfällkopfes .....	20
Abbildung 9: Arbeitsablauf bei der konventionellen, vollmechanisierten Holzernte .....	22
Abbildung 10: Auszug Anpressdruck .....	23
Abbildung 11: Auszug Anpressdruck .....	23
Abbildung 12: Auszug Anpressdruck .....	24
Abbildung 13: Messräder der Aggregate im Projekt.....	24
Abbildung 14: Auszug einiger Stichproben zum Längenmaß.....	25
Abbildung 15: Holzpolter mit z. T. ermittelter Stückzahl .....	26
Abbildung 16: Rückseite eines Holzpolters mit erkennbar zu langen Abschnitten.....	26
Abbildung 17: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus .....	27
Abbildung 18: Sortierung .....	28
Abbildung 19: Zusammenhang Arbeitsablaufabschnitte .....	30
Abbildung 20: Definitionsdatei AAA 1 .....	30
Abbildung 21: Auszug aus Auswertung einer Arbeitszeitstudie.....	31
Abbildung 22: Definitionsdatei AAA 2 .....	32
Abbildung 23: Maschinenkostenkalkulation ohne Entrindung .....	34
Abbildung 24: Maschinenkostenkalkulation mit Entrindung .....	35
Abbildung 25: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2015.....	37
Abbildung 26: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Winterversuchen 2015/2016 ..	38
Abbildung 27: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Winterversuchen 2016/2017 ..	39
Abbildung 28: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2016.....	40
Abbildung 29:Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2017 .....	41
Abbildung 30: Daten aus nicht verwertbarem Sommerversuch 2017 .....	42
Abbildung 31: Daten aus nicht auswertbarem Winterversuch 2016/2017 .....	42
Abbildung 32: Dummy-Stamm zur Evaluation der Netzmessmethode .....	46
Abbildung 33: Korrelation der Standardabweichung bei verschiedener Maschenweite.....	46
Abbildung 34: Arbeitsschritte bei der Rindenmessung mit stemsurf.....	47
Abbildung 35: Messung mit photooptischen Verfahren .....	48
Abbildung 36: 3D-Punktwolke aufgenommener Stämme .....	48
Abbildung 37: 6 m langer Rindenabzug - typisch für Fichte in der Vegetationszeit .....	49
Abbildung 38: Auflistung der im Projekt gemessenen Entrindungsprozente .....	50
Abbildung 39: Auflistung der gemittelten Entrindungsprozente .....	51
Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Entrindungsprozente .....	52
Abbildung 41: Aufteilung der mittleren Entrindungsprozente nach Jahreszeiten .....	53
Abbildung 42: Nährstoffgehalte der einzelnen Baumkompartimente der Fichte .....	54
Abbildung 43:Austauschbare Vorräte an basisch wirkenden Kationen .....	55
Abbildung 44: Verbleibende Nährstoffmengen bei Verwendung eines entrindenden Harvesteraggregates .....	55
Abbildung 45: Darstellung des Nährelementbedarfs [kg/ha] eines Fichtebestandes .....	56
Abbildung 46: Skizze zur Verteilung von Rinde bei Entrindung im Bestand .....	58
Abbildung 47: Praxistransfer: Eingangstafel KWF Tagung 2016.....	64
Abbildung 48: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016 .....	64
Abbildung 49: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016 .....	65
Abbildung 50: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016 .....	65
Abbildung 51: Standgespräche Auswertung KWF Tagung 2016 .....	66

## Abschlussbericht Debarking Head I

Abbildung 52: Durchschnittliche Entrindungsrate konventioneller Harvesterfällköpfe .....	67
Abbildung 53: Entrindungsprozente der einzelnen Stärkeklassen im Vergleich .....	68
Abbildung 54: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Sortimentslängen.....	69
Abbildung 55: Borkenkäfervertilgende Wespen auf Rindenabzügen .....	72
Abbildung 56: Eindringtiefenverteilung der verschiedenen Vorschubwalzen.....	74

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der verfügbaren entrindenden Harvesterfällköpfe.....	15
Tabelle 2: Im Projekt "Debarking Head" modifizierte Bauteile .....	20
Tabelle 3: Aufstellung der Kostenkalkulation unter Berücksichtigung des Produktivitätsverlustes durch die Entrindung .....	43
Tabelle 4: Auflistung der ermittelten Entrindungsprozente nach Baumarten .....	52
Tabelle 5: Nährelementverbleib unter Einsatz eines entrindenden Harvesteraggregates ....	56
Tabelle 6: Deckung des gesamten Nährstoffbedarfs über 120 Jahren durch entrindende und konventionelle Harvesteraggregate .....	56
Tabelle 7: Vergleich des Nährstoffverbleibs bei Einsatz von konventionellen und entrindenden Harvesteraggregaten .....	57
Tabelle 8: Kosten für die Rückführung der Nährstoffe in.....	57
Tabelle 9: Aufstellung der Kostenkalkulation unter Berücksichtigung des Produktivitätsverlustes durch die Entrindung .....	60
Tabelle 10: Vergleichende Gegenüberstellung, mobile Entrindungsanlage und Debarking Head .....	61
Tabelle 11: Anzahl der Buchdrucker nach Entwicklungsstadium, Entnahmeort und Vitalitätszustand .....	70
Tabelle 12: Anteil der lebenden Buchdrucker .....	70
Tabelle 13: Anzahl der Kupferstecher nach Entwicklungsstadium, Entnahmeort und Vitalitätszustand .....	70
Tabelle 14: Anteil lebender Kupferstecher .....	71

**Abkürzungsverzeichnis:**

AAA - Arbeitsablaufabschnitte

a - Jahr

BAYSF - Bayerische Staatsforsten

BHD - Brusthöhendurchmesser (1,3m)

BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

BU - Buche

Ca - Kalzium

D – Durchmesser

DOUGL - Douglasie

EI - Eiche

FI - Fichte

fm - Festmeter

FORMEC - Symposium "Forestry Mechanization"

FoWiTa - Forstwissenschaftliche Tagung

H - Höhe

ha - Hektar

HSWT - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

JD - John Deere 1270 E mit H 480 C

K – Kalium

KIE - Kiefer

KON - reguläre Aufarbeitung (mit Entrindungswalzen)

KWF - Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.

LM - Timber Pro 630 mit Log Max 7000

LWF - Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

m.R. - mit Rinde

MAS - Maschinenarbeitsstunde

Mg - Magnesium

N - Stickstoff

NLF - Niedersächsische Landesforsten

## Abschlussbericht Debarking Head I

Nr. - Nummer

o.R. - ohne Rinde

P – Phosphor

PO- Ponsse Scorpion mit H7

TM - Trockenmasse

TUM - Technische Universität München

UE - reguläre Aufarbeitung (mit Standardwalzen)

UK - United Kingdom

VE - Entrindet

WS - Walzenspur

ZF – Zwischenfeld

## 1 Ziele

Der Entzug von Nährstoffen durch intensive Holzerntemaßnahmen, insbesondere bei der Nutzung von Vollbäumen, wird zunehmend kritisiert. Dies führt soweit, dass die Nachhaltigkeit der Forstwirtschaft insgesamt in Frage gestellt wird. Neben den Zweigen und Nadeln ist gerade die den Stämmen anhaftende Rinde überproportional nährstoffreich (vgl. u. a. Hagemann et al. 2008, Kölling et al. 2007). Die Rinde enthält eine vergleichbare Menge der Nährelemente K, Ca, Mg oder P wie das Stammholz, obwohl der Gewichtsanteil der Rinde nur rund 10% beträgt (Weis und Göttlein 2013). Damit kann auf nährstoffschwächeren Standorten schon die Stammholznutzung mit Rinde die natürliche Nährstoffnachlieferung übersteigen (Wilpert et al. 2011) und es ist zu befürchten, dass damit langfristig auch die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt wird (vgl. Ergebnisbericht (FKZ: 22015407) „Forschungsvorhaben: Möglichkeiten und Grenzen der Vollbaumnutzung“, Spellmann et al. 2013).

Das Hauptziel der vorliegenden Studie war es, eine grundsätzliche Möglichkeit der Modifikation von in Europa genutzten Harvesterfällköpfen nach Vorbild der in Plantagen weltweit genutzten "Debarking Heads" festzustellen. Die Qualität, sowie die Auswirkung der Entrindung auf die Fällprozesse und die Kostenstruktur der Holzernte, sollten untersuchen werden.

Zusätzlich sollten wissenschaftliche Erkenntnisse über die zeitliche und qualitative Entrindbarkeit der mitteleuropäischen Hauptbaumarten gewonnen werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein forsttechnisches Verfahren entwickelt, um Rinde unmittelbar bei den Holzerntemaßnahmen im Bestand zu belassen und dadurch den Nährstoffaustausch zu senken. Abschließend sollte zu diesem neuartigen, ressourcenschonenden technischen Verfahren in der vollmechanisierten Holzernte Einsatzbereiche und Einsatzempfehlungen definiert, sowie die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen benannt werden.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden kombinierte Fäll- und Entrindungsköpfe unter mitteleuropäischen Waldverhältnissen getestet und modifiziert. Mit solchen "Debarking Heads", die ursprünglich für die Plantagenwirtschaft mit Eukalyptus-Arten in Südafrika entwickelt wurden und dem Projekt als Ausgangspunkt für Modifikationen dienten, ist eine Entrindung der Stämme bereits beim Fäll- und Aufarbeitungsprozess auf oder neben der Rückegasse möglich. Das Projekt leistet einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung moderner und ökosystemverträglicher Holzerntemaßnahmen. Neue Lösungswege sind vor dem Hintergrund gestiegener Energieholznutzung und der damit einhergehenden Entnahme nährstoffreicher Baumkompartimente für eine nachhaltige Waldwirtschaft von besonderer Bedeutung. Das Thema Nährstoffnachhaltigkeit spielt in aktuellen wissenschaftlichen Diskussionen über eine standortgerechte Holzernte eine wichtige Rolle.

Bedingt durch die Witterung der letzten Jahre, rückte das Thema der Entrindung im Bestand auch aus waldschutzfachlicher Sicht in den Fokus. Hier zeigte das System ebenfalls vielversprechende Potentiale in der Behandlung durch Borkenkäfer (*Ips typographus*) befallener Bestände.

Nicht zuletzt haben Energieholzsortimente ohne Rinde positive Effekte auf die Feinstaubemissionen von Kleinfeuerungsanlagen und Heizwerken. Etwa ein Viertel bis ein Drittel des Einschlags in den deutschen Wäldern geht direkt in die energetische Nutzung

Ausführende des vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. geförderten Kooperationsprojekts waren die Fakultät Wald und Forstwirtschaft der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HSWT) und das Kuratorium für Walddarstellung und Forsttechnik e.V. (KWF).

## 1.1 Aufgabenstellung

Das Hauptaugenmerk im Projekt "Debarking Head" lag auf der Entwicklung und Modifikation aktuell in der Holzernte genutzter Harvesterfällköpfe deutscher Forstunternehmer nach dem Vorbild speziell für die Entrindung entwickelter Harvesterfällköpfe. Die Aggregate wurden nach ihrer Modifizierung hinsichtlich ihrer Entrindungsleistung (erreichbares Entrindungsprozent bei dreifacher Überfahrung des Stammes) und ihrer Arbeitsleistung (Festmeter Holz/ Stunde) untersucht, um wissenschaftliche Erkenntnisse über die zeitliche und qualitative Entrindbarkeit der mitteleuropäischen Hauptbaumarten (Fichte - *Picea abies* und Kiefer - *Pinus sylvestris*) zu gewinnen. Hierfür wurde mit den drei größten Anbietern von Holz-Erntetechnik auf dem deutschen Markt zusammen gearbeitet, um die umfassende Expertise dieser Marktführer zu integrieren. Entsprechend modifiziert und getestet wurden folgende Aggregate:

- H 480 C - John Deere
- 7000 C – Log Max
- H7 - Ponsse

Folgende Arbeitspakete und Meilensteine wurden im Vorfeld als Grundlage für Projektplanung und Ablauf formuliert und erfolgreich abgeschlossen:

1. Auswahl der Harvesterfällköpfe  
M1: - Harvesterfällköpfe sind ausgewählt  
- Harvesterfällköpfe stehen zur Verfügung
2. Auswahl der Bestände  
M2: Bestände sind ausgewählt
3. Pilotstudie  
M3: - Pilotstudie abgeschlossen  
- Methodik für die Hauptstudie abgeschlossen
4. Technische und Verfahrensmodifikationen  
M4: Ansätze zu technischen Modifikationen
5. Hauptstudien  
M5: - Daten zu Entrindungsleistungen  
- Daten zu Entrindungsqualitäten
6. Bewertung und Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt  
M6: Bewertung Nährstoffhaushalt abgeschlossen
7. Ökonomische Bewertungen  
M7: Ökonomische Bewertung abgeschlossen
8. Zusammenfassende Verfahrensbewertung  
M8: Zusammenfassende Bewertung abgeschlossen
9. Empfehlung für Einsatzbereiche  
M9: Bevorzugte Einsatzbereiche definiert
10. Praxistransfer der Untersuchungsergebnisse  
M10: Präsentation bei Fachtagungen und -messen

Aus den Ergebnissen der Hauptstudie und anderen veröffentlichten Untersuchungen wurden Rückschlüsse auf den Verbleib von Nährstoffen im Bestand gezogen und errechnet, sowie Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und möglichen Einsatzbereichen getroffen. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden zeitnah in verschiedenen Formaten publiziert und diskutiert, was eine differenzierte Betrachtung unter der Einbeziehung weiterer Anwendungsmöglichkeiten und Themenfelder ermöglichte. Für das Projekt interessante und

wichtige Nebenuntersuchungen wurden in Form von studentischen Abschlussarbeiten an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf durchgeführt.

## 1.2 Stand der Wissenschaft und Technik

Studien aus Skandinavien belegen, dass die Ertragskraft der Wälder durch den Nährstoffentzug durch Vollbaumnutzung erheblich beeinträchtigt werden kann. Vollbaumnutzung verursachte dort nach 20 Jahren Beobachtungszeit einen Zuwachsrückgang von 8% bei Kiefer und 13% bei Fichte (Helmsaari et al. 2011). Auch aus Mitteleuropa gibt es Hinweise, dass intensive Holznutzung zu Zuwachsrückgängen führen kann (Sterba et al. 2003). Die Praxis reagiert darauf mit einer Anpassung der Holzernteintensität in Abhängigkeit von der Standortgüte. Diese wird anhand der Standortkarten, anhand der Nährstoffvorräte in Boden und Bestand (Meiwes 2008) oder anhand von aufwendigen Nährstoffsbalanzen (Weis et al. 2009, v. Wilpert et al 2011) beurteilt. Ein Resultat dieser Studien sind die so genannten „Ampelkarten“, aus denen der Umfang einer möglichen Nutzung bezogen auf die Nährstoffverfügbarkeit des jeweiligen Standorts ersichtlich wird.

Ein anderer Ansatz wäre, die Rinde weiter erst an den Industrieanlagen abzulösen und – logistisch noch am ehesten lösbar – in Form von Holzasche in die Wälder rückzuführen. Ein derartiger Ansatz wurde z.B. für ein Projekt in Oberschwaben intensiv untersucht (v.Wilpert et al. 2011) und von den Autoren der Studie auch propagiert. Allerdings stößt die Ausbringung von Holzasche auf Kritik, da Holzasche ein basisches Oxid ist und damit das Waldökosystem stark verändert (Reif et al. 2014). Denkbar wäre auch, die Rinde in pelletierter Form in den Wald rückzuführen (Ettl et al. 2009). Wenn die Rinde aber erst einmal die Werke erreicht hat, ist es schwer, sie wieder aus den integrierten Rohstoffkonzepten auszuleiten – sie wird in der Regel energetisch an den Standorten verwertet und liefert z.B. für die Schnittholztrocknung Wärme (vgl. Friedrich et al. 2013). Zudem ist absehbar, dass die industriennahe Entrindung mit folgender Pelletierung, Rücktransport und Ausbringung sehr aufwändig und langfristig nicht ökonomisch sein wird.

Wesentlich interessanter erscheint deshalb, die Rinde bereits während der Holzernte abzutrennen und im Bestand zu belassen. Eine an den Ernteprozess gekoppelte Entrindung durch den Harvester wäre nicht nur bodenökologisch vorteilhaft; auch das Transportvolumen würde geringer, und der Entrindungsprozess in der holzbearbeitenden Industrie könnte entfallen.

Weiterhin könnten schwächer dimensionierte Stammabschnitte für die Energieholzgewinnung zur Herstellung von "Premium-Scheitholz- und – Hackschnitzel" sowie A1-Pellets gemäß EN 14961-2 (beste, rindenfreie Qualität) verwendet werden. Diese Premiumbrennstoffe führen beim Endkunden zu einem deutlich geringeren Ascheinfall und deutlich geringeren Feinstaubanteilen in den Abgasen. Feinstaubemissionen aus der Holzfeuerung tragen erheblich zur Belastung mit gesundheitsschädlichem Feinstaub in Deutschland bei. Schätzungen des BMU zufolge tragen kleine Holzfeuerungen zu 27 % der PM2,5-Emissionen bei (Ewens 2014).

Untersuchungen der HSWT (Höge 2012) zeigen beispielsweise, dass bei Fichtenscheitholz ohne Rinde nur die halbe Menge an Asche anfällt im Vergleich zu Scheitholz mit Rinde. Hochgerechnet auf die über 10 Millionen Scheitholzfeuerstätten in Deutschland könnte über den Einsatz rindenfreier Brennstoffe eine erhebliche Reduktion der Feinstaubemissionen erzielt werden. Im von der FNR mitfinanzierten Forschungsprojekt "Konkurrenz um Holz" liefen am Fachgebiet Holzenergie der HSWT bereits entsprechende Berechnungen mit Methoden der Ökobilanzierung.

Auch für Pappelplantagen wäre eine Entrindung interessant. Pappelholz wird zunehmend in Heizwerken oder zur Pelletproduktion eingesetzt. Das gilt sowohl für die zukünftig weiter zunehmenden Kurzumtriebsplantagen als auch für Flächen und Baumreihen aus zurückliegenden „Pappelwellen“ des letzten Jahrhunderts. Abschließende wissenschaftliche Studien zu Emissionen bei der Verbrennung von Pappelholz fehlen noch, allerdings erscheint eine Entrindung für diese Baumart ökologisch vorteilhaft, da sie aufgrund vergleichsweise hohen Kalium-Gehaltes insbesondere in der Rinde eine Aerosolbildung begünstigen kann und somit überproportional hohe Feinstaubemissionen aufweisen kann. Grundsätzlich spielt die Brennstoffqualität eine hohe Rolle und der Einsatz nicht genormter Brennstoffe wie Holzhackschnitzel kann dazu führen, dass Emissionsgrenzwerte überschritten werden.

Außerhalb des Projektes wurden im Forschungsfeld 'entrindende Harvesterfällköpfe' keine Publikationen identifiziert, welche sich direkt mit den Eigenschaften, Modifikationen oder der Entwicklung von entrindenden Aggregaten befassen. Dies liegt ursächlich daran, dass solche Forschungen bisher ausschließlich von den Herstellern dieser Aggregate, ohne Anbindung an wissenschaftliche Institutionen, durchgeführt und somit als Unternehmensinterne nicht veröffentlicht wurden.

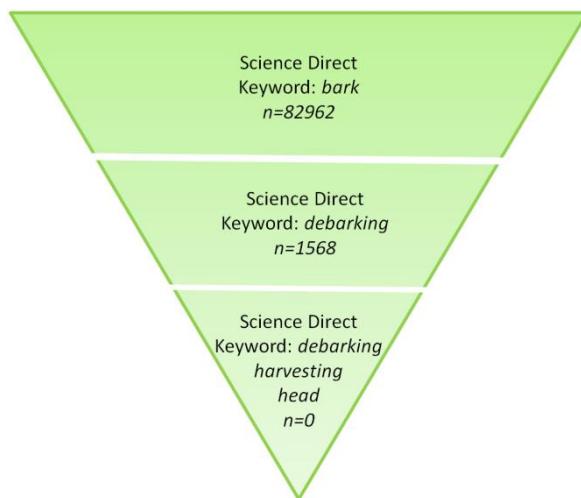


Abbildung 1: Übersicht Literaturrecherche in Science Direct

Als Beleg hierfür dient eine Suchanfrage in einer der größten wissenschaftlichen Datenbanken - Science Direct. Auch wenn auf den ersten Blick über Entrindung viele Veröffentlichungen existieren, ergibt die genaue Analyse, dass es sich hierbei um Themen handelt, welche für dieses Projekt, wenig bis nicht von Bedeutung sind. Nach dem Filtern und Eingrenzen relevanter Themen beschäftigen sich beispielsweise fünf Veröffentlichungen (mit der noch höchsten Relevanz) mit:

1. Bark-scratching of storm-felled trees preserves biodiversity at lower economic costs compared to debarking [Anm. hier händische Entrindung]
2. Debarking and drying of downy birch (*Betula pubescens*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) fuelwood in conjunction with multi-tree harvesting [Anm. nur Streifenentrindung über angebrachte Bolzen auf den Entastungsmesser - kein 'Debarking Head']
3. Effects of deer debarking on masting and trunk radial growth of Hondo spruce, *Picea jezoensis* var. *hondoensis*, in a subalpine forest of central Japan [Anm. Schäden durch schälendes Wild]

4. Long-term patterns and impacts of grey squirrel debarking in Lady Wood young-growth stands (UK)

5. Impact of season, stem diameter and intensity of debarking on survival and bark re-growth pattern of medicinal tree species, Benin, West Africa

Die Entrindung im Bestand mit Hilfe 'entrindender Harvesterköpfe' stößt im Kontext mit der Borkenkäferproblematik, auch in anderen europäischen Ländern auf großes Interesse. So gab es im Projekt eine Anfrage der staatlichen Institution aus Polen - Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych in Bedoniu (ORWLP). Auch ein erneuter Forschungsauftrag des BMEL - Projektvorschläge für die Entwicklung von Konzepten zur Abwehr biotischer Schädlinge - zeigt den dringenden Forschungsbedarf auf diesem Feld.

Eine technische Entwicklung für entrindende Harvesterköpfe, die für eine weiterführende Untersuchung interessant werden wird, sind sogenannte "double-edge rollers". Hierbei handelt es sich um eine Veränderung der aufgeschweißten Lamellen auf den Vorschubwalzen der Aggregate. Sie helfen die auftretenden Holzbeschädigungen signifikant zu verringern. Ein führender Papier- und Zellstoffhersteller hat in Südafrika unlängst eine Aufforderung an alle Subunternehmer herausgegeben, diese neuen Walzen einzusetzen. Parallel befindet sich hierzu derzeit ein Forschungsprojekt an der Stellenbosch University (Südafrika) in der Planungsphase, in welchem die erwarteten Vorteile wissenschaftlich belegt werden sollen.

### 1.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde von einem kompetenten Konsortium durchgeführt.

Hauptpartner waren die HSWT und das KWF.

- HSWT: Gesamtleitung, Rekrutierung der Versuchsflächen, Vorbereitung und Durchführung der Ernteeinsätze, ökonomische und ökologische Beurteilung, vertreten durch Prof. Dr. Stefan Wittkopf (Fachbereich Holzenergie).
- KWF: Technische Beurteilung, Koordination der Technik-Entwicklung, Einbindung von Experten, z. B. Herr Eberhard Guba (Landesforsten Niedersachsen), vertreten durch Bernd Heinrich (Leiter Fachressort Bioenergie und Stoffkreisläufe).

Die Auswahl und **Bereitstellung der Testbestände in Niedersachsen und Bayern** wurden jeweils durch die zugehörigen Landesforsten unterstützt (Niedersächsische Landesforsten **NLF**; Bayerische Staatsforsten **BaySF**).

Technische Unterstützung, sowie Umrüstsätze wurden von den **drei Herstellern** der Harvesterköpfe:

- John Deere
- Log Max
- Ponsse

kostenneutral zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren wurden Leistungen im Bereich der Software- und Maschineneinführung (Opti4G; Ponsse Bear) von den Herstellern übernommen. Durch das Projekt war es somit möglich, ein gut funktionierendes Netzwerk für den Informationsaustausch und die gegenseitige Unterstützung zwischen den Projektpartnern und den involvierten Unternehmen aufzubauen. Dieses Netzwerk half dabei, Ideen integrativ zu entwickeln und die Fachexpertise aller Beteiligten einfließen zu lassen.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Bei der Erarbeitung und Aufstellung der wissenschaftlichen Untersuchungen und Evaluationen, nach der Maßgabe der guten wissenschaftlichen Praxis, wurde der Lehrstuhl für forstliche Verfahrenstechnik der Technischen Universität München, unter der Leitung von Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle, direkt über die laufende Promotion von Herrn Heppelmann, dem Projektmitarbeiter der HSWT, eingebunden.

Für die Ergebnisevaluation seitens der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf gab es eine enge Zusammenarbeit mit Dr. Stefan Seifert und der Firma Scimond um ein entsprechendes Messsystem für die Entrindungsqualität zu entwickeln. Bei den Aufnahmeverfahren wurde konstruktiv mit Trimble und Allterra zusammengearbeitet, um die optimale Vermessungstechnik zur Aufnahme der Entrindungsqualität zu entwickeln. Hierbei wurden von Allterra mehrere Messsysteme kostenneutral für Tests zur Verfügung gestellt (Trimble V10, Faro Freestyle 3D, Trimble Total Station) und Hilfestellung bei der Auswertung 3D-formatierter Darstellungen geleistet.

Zur Ermittlung der im Projekt gewünschten Daten (Ernteleistung, Entrindungsgrad, Rindenverteilung usw.) war es unerlässlich, dass Forst-Unternehmer ihre Harvesterköpfe und Trägermaschinen, Rückezüge, aber auch Maschinenführer und gegebenenfalls weitere Leistungen im infrastrukturellen Bereich zur Verfügung stellen. Bislang wurden diese Leistungen von den Firmen Forstbetrieb Raker (Niedersachsen) und Forstservice Harrer&Mayer GbR (Bayern) erbracht.

## 2 Ergebnisse

### 2.1 Erzielte Ergebnisse

#### 2.1.1 Arbeitspaket: Auswahl der Fällköpfe

Entrindende Harvesterfällköpfe wurden Anfang des 21. Jahrhunderts im Zusammenhang mit der fortschreitenden Mechanisierung der Plantagenwirtschaft in Südamerika und Afrika entwickelt. Mit diesem Mechanisierungsschritt, weg von der händischen, hin zu maschinellen Entrindung, konnte die Produktivität in der Holzernte weiter gesteigert und Kosten gesenkt werden. Aufgrund des Einsatzbereiches der "Debarking Heads" wurden diese Aggregate auf Basis existierender Fällköpfe teilweise grundlegend neu entwickelt und an die Anforderungen angepasst. Es wurde Vieles, beginnend bei der Rahmengeometrie, über die Anordnung der Schweißnähte, Krümmung und Schleifwinkel der Entastungsmesser, veränderter Längenmessung, Aufbau der Vorschubwalzen, bis hin zur Ausrichtung der Vorschubwalzen verändert. Die Summe der Modifikationen machen die "Debarking Heads" perfekt für die Entrindung in der Plantagenwirtschaft von *Eucalyptus spec.* und *Pinus radiata*. Über 80 Prozent des so produzierten Holzes ist für die Papier und Zellstoffindustrie bestimmt. In solchen "tree farms" wachsen ausschließlich Bäume desselben Klons einer Baumart. So wird versucht, eine geringe Durchmesser-Spreitung, möglichst einheitliche Schaftlängen und eine homogene Altersstruktur zu erreichen. Diese Bedingungen vereinfachen eine Anpassung der Ernteaggregate.

Die gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald in Mitteleuropa unterschieden sich maßgeblich von der Plantagenwirtschaft in der südlichen Hemisphäre. Die deutsche Forstwirtschaft setzt diese in ihren Konzepten um, daher finden sich die eben beschriebenen Strukturen in den hiesigen Wäldern außer zu Versuchszwecken nicht. Zudem sind die Zielstärken, welche das Holz vor der Ernte erreichen soll, fast doppelt so hoch wie in den tropischen Plantagen. Hintergrund ist der Anspruch, ein möglichst ausgewogenes und wohlsortiertes „Warenlager“ bereitstellen zu können. Das bedeutet, dass der Wald im Idealfall, neben den ökologischen Ansprüchen, möglichst alle Verwendungsoptionen für Holz aus ein und derselben Fläche zu jedem Zeitpunkt bedienen kann. Die Folge ist, dass immer häufiger zu einer plenterartigen Bewirtschaftung (verschiedene Baumarten, alle Alters- und Stärkeklassen innerhalb eines Bestandes) übergegangen wird.

Nach Analyse der Ausgangssituation wurde entschieden, keine spezialisierten Entrindungsköpfe für Eukalyptus zu testen, sondern auf die für europäische Bedingungen entwickelte Aggregate zurückzugreifen und diese entsprechend dem Vorbild aus Südafrika/Amerika zu modifizieren.

Somit entstanden äußerst flexibel einsetzbare Systemlösungen, welche schnell an verschiedenste Anforderungen angepasst werden können. Ein großer Vorteil dieser Herangehensweise ist, dass Forst-Unternehmer, welche ihre Maschinen auf Entrindung umrüsten wollen, kein neuen Harvesterkopf erwerben müssen, sondern mit geringerem finanziellen Aufwand und nur wenigen Einstellungen an der Trägermaschine, in der Lage sind, diese Dienstleistung zusätzlich anbieten zu können. Damit steigt die Akzeptanz dieses Verfahrens in der Unternehmerschaft. Gespräche mit Forst-Unternehmern haben ergeben, dass die Alternative, zwei unterschiedliche Harvesterköpfe im Wechsel je nach Bedarf einzusetzen, bei den momentan gängigen Aufarbeitungspreisen von Holz, aufgrund der hohen Investitionskosten, finanziell nicht tragbar und somit keine Option sind.

Als erster Schritt wurde eine Analyse zu auf dem Markt verfügbaren entrindenden Harvesterfällköpfen durchgeführt, siehe Tabelle 1. Hierbei flossen Informationen von Experten sowohl aus Brasilien, als auch aus Südafrika ein. Parallel wurde Kontakt zu

## Abschlussbericht Debarking Head I

mehreren Herstellern von Harvesteraggregaten aufgenommen und eine Auswahl zu testender Harvesterfällköpfe getroffen.

Abgesehen von der **technischen Kompatibilität der Bauteile**, beginnend bei der **Kette: Vorschubwalzen** (ggf. **Entastungsmesser** und **Messrad**) **passend zum Harvesterkopf**, **passend zur Trägermaschine**, bis zur **Trägermaschine mit entsprechender Software**, mussten bei der Auswahl der Harvesterköpfe für dieses Projekt auch der Faktor "Mensch" berücksichtigt werden. Die Erfahrung des Maschinenführers und eine aufgeschlossene Einstellung zum Projekt durch den Fahrer und den Eigentümer der Maschine sind essentiell für realistische Leistungsdaten bei der Ernte und Aufarbeitung. Weiterhin ergeben sich auch durch den Waldbesitz und den Holzabnehmer eventuelle Einschränkungen. Die unverzichtbare Unterstützung der Hersteller wiederum ist häufig mit personellen oder regionalen Wünschen verknüpft. Ganz wesentlich ist die Auswahl des Harvesterkopfes auch von der Verfügbarkeit sowie der Kompatibilität zur Basismaschine in Deutschland abhängig.

Diese grundlegenden Notwendigkeiten erschweren und verteuern die Ausschreibungen von Unternehmerleistungen, bzw. reduzieren ganz erheblich den Kreis an Unternehmern, die in der Lage sind, alle o. g. Bedingungen zu erfüllen.

Die Auswahl fiel auf folgende Aggregate:

- John Deere H 480 C
- Log Max 7000 C
- Ponsse H7



Abbildung 2: Prototypen im Projekt "Debarking Head", von links nach rechts: Log Max 7000 C, John Deere H 480 C, Ponsse H7

Tabelle 1: Übersicht der verfügbaren entrindenden Harvesterfällköpfe

Manufacturing company	AFM	CAT	CTL	Guerra	John Deere	Kesla	Komatsu	Lako	LogMax	
Model	45 no yes 60 euca	HH44 no yes 40 HW	H270 II ad no	IGSA 680A yes ad	H 480 ad 25 RH	ad 28 RH	C202E yes 370E	63 D yes ad	E6 yes ad 75	6000 B ad 7000 C
Designed for debarking:	= purpose build debarking harvesting head									
Yes	= purpose build debarking harvesting head									
No	= not purpose build for debarking but used for debarking									
ad (adatable)	= not purpose build for debarking but easy modified with kits									

## 2.1.2 Arbeitspaket: Auswahl der Bestände

Die Auswahl der Bestände geschah in enger Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Behörden und Forstbetrieben, sowie den Forst-Unternehmern. Die ausgesuchten Bestände befanden sich in Niedersachsen (Revier Ahlhorn) und in Bayern (Revier Allersberg), siehe Abbildung 3.

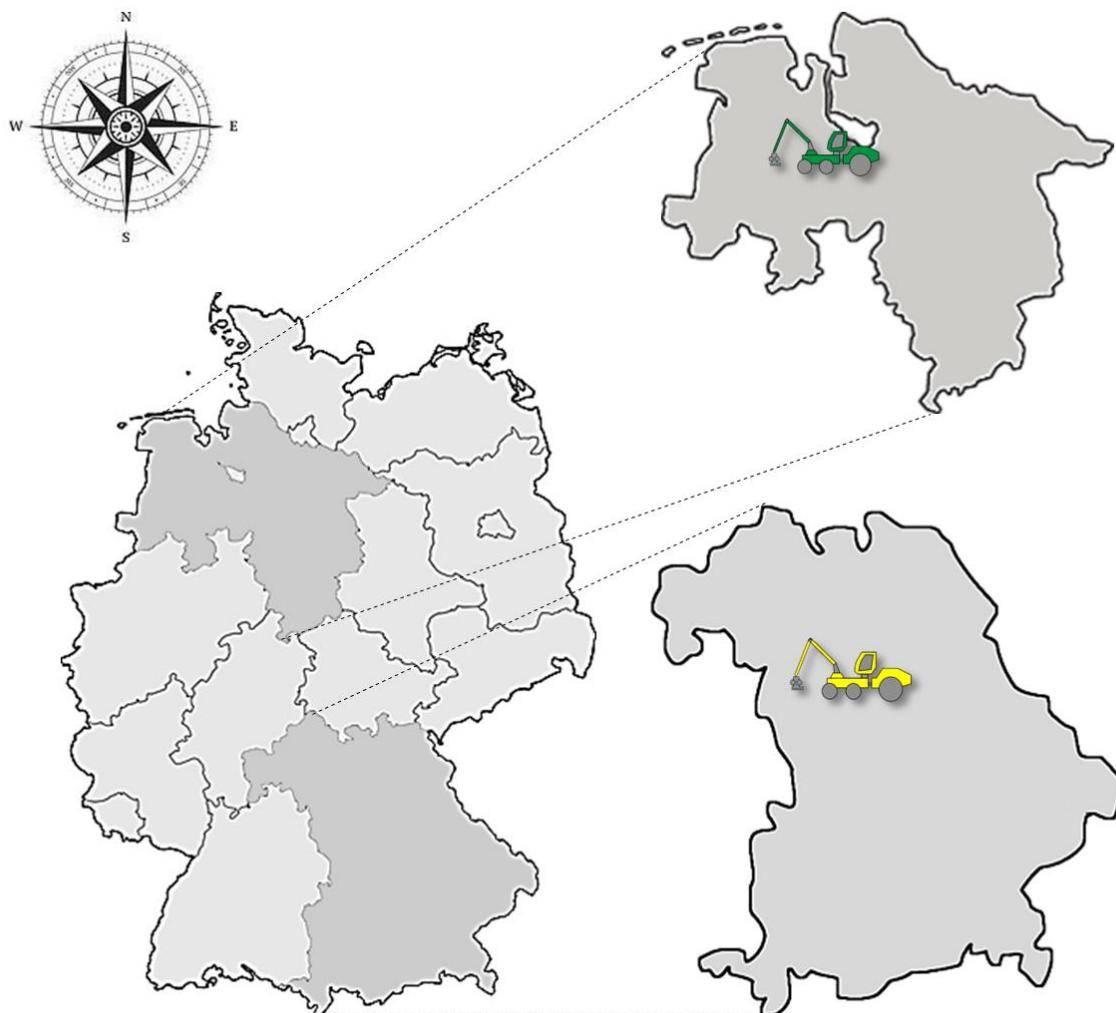


Abbildung 3: Verteilung der Versuchsbestände in Deutschland

Für die ersten Versuche wurde darauf geachtet, dass die Durchmesser-Spreitung sich im Arbeitsoptimum (optimal processing range) des getesteten Fällkopfes befand. Aufgrund ihrer Bedeutung für die Forstwirtschaft (prozentualer Anteil an Fläche und Einschlag), lag der Fokus der Untersuchung auf den **Baumarten Fichte** (*Picea abies*) **und Kiefer** (*Pinus sylvestris*). Zudem wurden Harvester zur Holzernte in Nadelholzbeständen entwickelt und erbringen aufgrund der monopodialen Wuchsform hier ihre optimale Leistung. Für das Projekt "Debarking Head" wurden folgende **Anforderungen an den Bestand** formuliert:

- **Baumarten: Fichte/Kiefer** mit Beimischung Buche, Eiche und Pappel
- **Stärkeklassen: Alle Stärkeklassen** möglich, **Fokus auf Industrieholz-Sortierung**, größerer BHD vorteilhaft für Abdeckung der Sortenvielfalt
- **Kurzholz und Langholz möglich**, Langholz kein Muss

- Breite Forststraße oder Polterplatz in unmittelbarer Nähe für Vermessung von Probestämmen notwendig
- Bestände mit geringem Verjüngungsaufkommen für Pilotversuche von Vorteil -> Sicht für Maschinenführer

Aufgrund der Notwendigkeit der Einbindung der Versuche in die reguläre Holzernte des Forstbetriebes (Maßnahme zu Kostensenkung) wurden die Anforderungen nicht zu strikt formuliert, um eine gewisse Flexibilität zu gewährleisten.

### 2.1.3 Arbeitspaket: Technische- und Verfahrensmodifikationen

Im Projekt "Debarking Head" wurden drei verschiedene Harvesterfällköpfe technisch umgerüstet, um einen Entrindungseffekt bei der Aufarbeitung zu erzielen. Der Umbau wurde mit Unterstützung und Teilen der Hersteller durchgeführt. Es wurde versucht die Umbaumaßnahmen möglichst gering zu halten, um im späteren Einsatz die Kosten für die Umrüstung ebenfalls gering zu halten. Die wichtigste Modifikation war der Austausch der Vorschubwalzen von Stachelwalzen auf Entrindungswalzen (mit Stegen), siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Vorschubwalzen für John Deere H 480 C- Aggregat; Außen die konventionellen Stachelwalzen; In der Mitte der komplette Eukalyptus-Umrüstsatz (äußere und innere Vorschubwalzen)

Dieser besondere Walzentyp sorgt für eine Drehung des Stammes entlang der Längsachse im Aggregat, damit die Entastungsmesser mit der Rinde über die gesamte Oberfläche Kontakt haben. Zusätzlich sorgen die messerartigen Lamellen (Stege) auf den Vorschubwalzen für ein Einschneiden der oberen Rindenschicht, wodurch das Aufnehmen und Abschieben der Rinde durch die Entastungsmesser optimiert wird, siehe Abbildung 5.

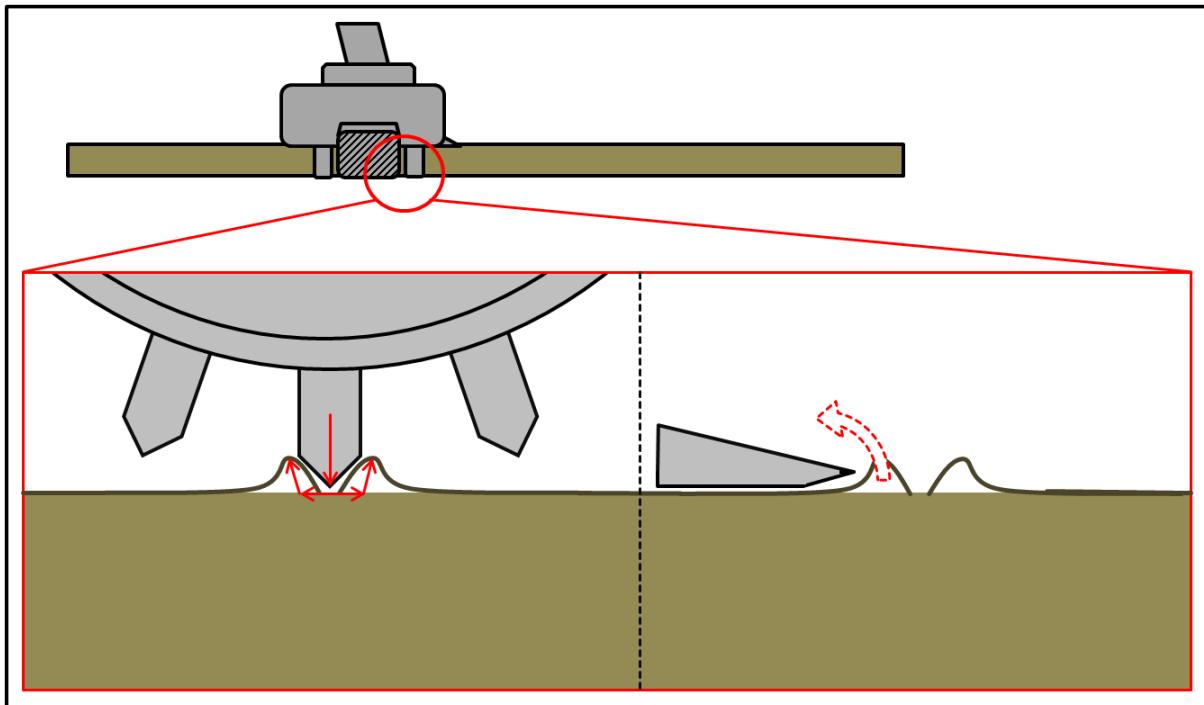


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Aufwerfens der Rinde durch seitliche Verdrängung. Abstehende Rindenstücke werden, wie rechts dargestellt, vom Messergrat erreicht und abgetragen

Im Grunde lassen sich die **Entrindungswalzen** in 3 Unterkategorien unterteilen:

- Single-Edge
- Double-Edge
- Diamond-Shape

Während der Versuche kamen bei Log Max und Ponsse Single-Edge Walzen zum Einsatz (Abbildung 6B), während Ponsse auf das hybride Diamond-Shape System vertraut, bei dem sich eine normale Lamellenreihe mit einer unterbrochenen Lamellenreihe abwechselt, siehe Abbildung 6D. Dies kann die Traktion beim Vorwärtsschub erhöhen, allerdings wurde hierbei die geringste Drehfrequenz der Stämme beobachtet. Eine neue Entwicklung deren Einsatz derzeit u.a. auf südafrikanischen Plantagen getestet wird sind die sog. Double-Edge Walzen. Hierbei werden zwei Lamellen direkt nebeneinander aufgeschweißt. Dabei bildet sich ein doppelter Grat mit einem M-Querschnitt, siehe Abbildung 6C. Es wird erwartet, dass durch diese Ausformung der Lamellen die Holzbeschädigungen und Eindringtiefe der Messergrate signifikant verringert werden, ohne die Entrindung negativ zu beeinflussen. Aufgrund der frühen Entwicklungsphase und schlechten Verfügbarkeit war es noch nicht möglich diese Walzen in den Versuchseinsätzen zu testen.

# Abschlussbericht Debarking Head I

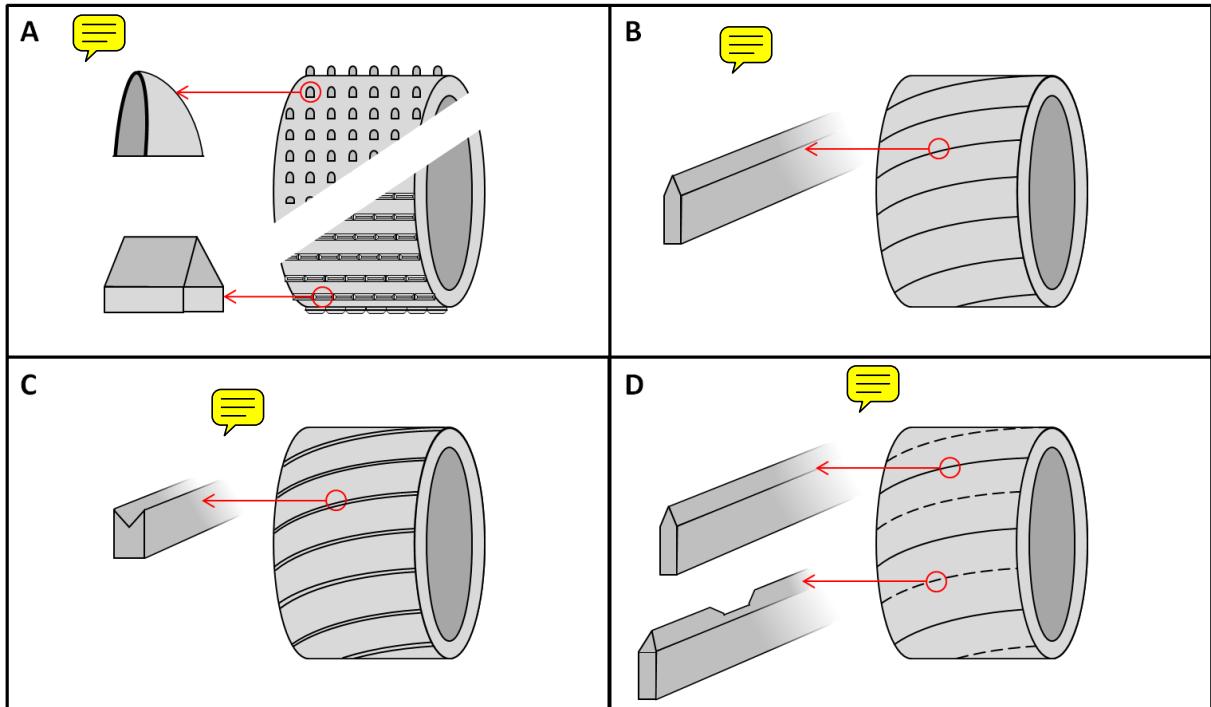


Abbildung 6: Aufstellung verschiedener Vorschubwalzen-Typen: A) konventionelle Stachelwalze mit rundem oder geradem Grat; B) Single-Edge Walze mit einfacher Lamelle; C) Double-Edge Walze mit Doppel-Grat Lamelle; D) Diamond-Shape Walze mit abwechselnd einfacher Lamelle und unterbrochener Lamelle (siehe auch Abbildung 2 Ponsse H7)

Ebenso mussten an den verschiedenen Aggregaten weitere Teile verändert werden, um ein bestmögliches Entrindungsergebnis zu erhalten, siehe Abbildung 8 und Tabelle 2. Um eine Beschädigung des Aggregates zu verhindern und das Messergebnis zu verbessern, wurden beispielsweise die **Messräder** an den Aggregaten H7 von Ponsse und H 480 C von John Deere **ausgetauscht**. Es bestand die Möglichkeit, dass die auftretende Querbelastung dieses Bauteiles zu einer massiven Beschädigung des Aggregates führt. Deshalb wurde es durch ein breiteres und weniger "aggressives" Messrad ersetzt, siehe Abbildung 7.



Abbildung 7: Links: Konventionelle Messräder neben montiertem Messrad für Entrindung von John Deere; Rechts: Von Links: Messrad für konventionelle Aufarbeitung, innerhalb des Projekts angefertigter Prototyp für Entrindung, Messrad für Entrindung von John Deere

# Abschlussbericht Debarking Head I

Alle Modifikationen werden in Abbildung 8 und Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Im Projekt "Debarking Head" modifizierte Bauteile

Aggregat Typ	Kopfmesser	Obere Entastungsmesser	Untere Entastungsmesser	Bodenmesser	Äußere Vorschubwalzen	Innere Vorschubwalzen	Messrad
Log Max 7000C	-	-	-	-	X	-	-
John Deere H480C	-	-	-	-	X	X	X
Ponsse H7	X	X	-	X	X	X	X

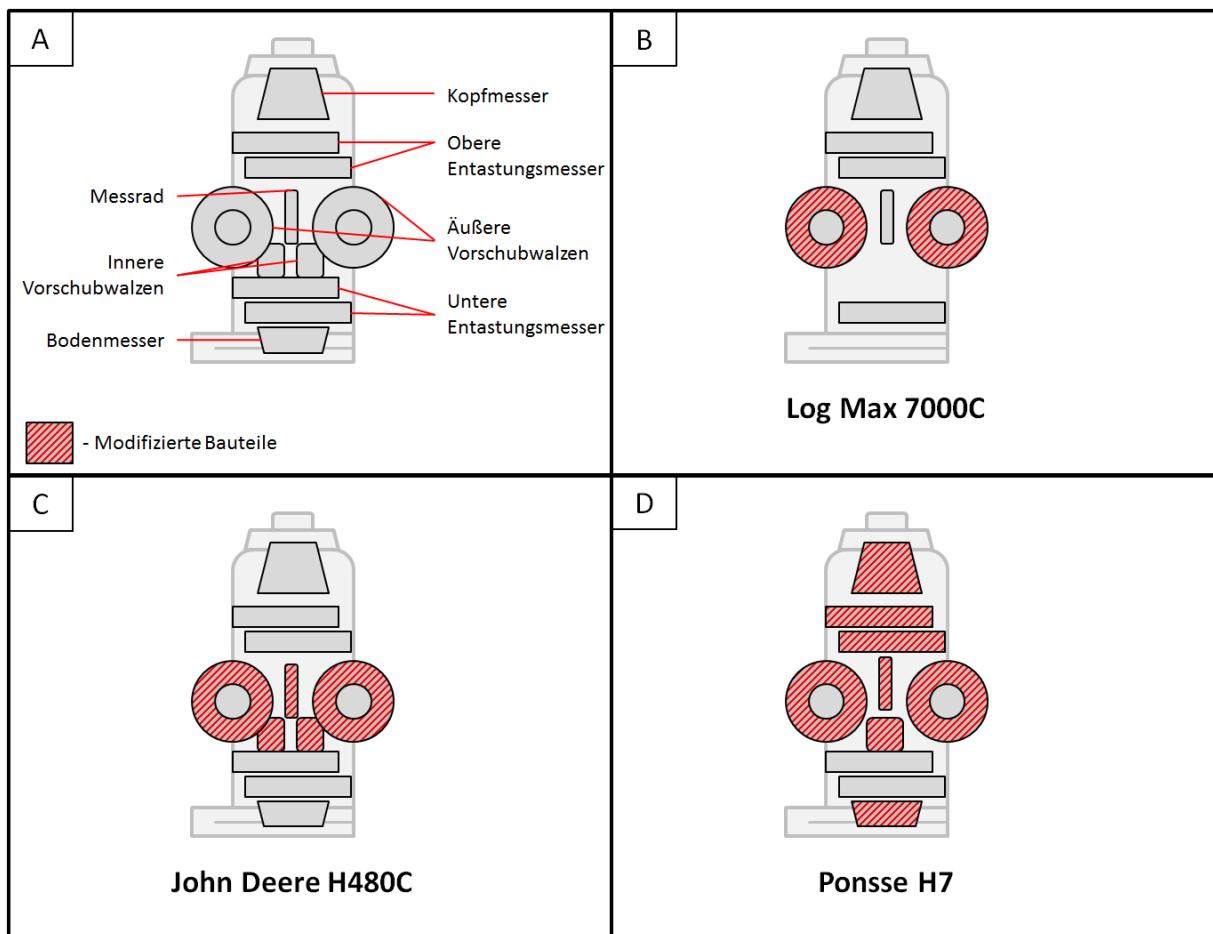


Abbildung 8: A) Schematischer Aufbau eines Harvesterfällkopfes; B) Modifikationen des Log Max 7000 C-Aggregates; C) Durchgeführte Modifikationen des John Deere H 480 C-Aggregates; D) Modifikationen des Ponsse H7-Aggregates

Zusätzlich zu den technischen Modifikationen an den Fällköpfen mussten auch Änderungen an den Trägermaschinen durchgeführt werden. Einstellungen wie:

- Walzen-Anpressdruck
- Messer-Anpressdruck
- Vorschubgeschwindigkeit
- Druckkurven
- Anstellwinkel Entastungsmesser
- Kalibrierung des Längenmaßes
- etc.

Sie sind abhängig von Baumart, Länge und Durchmesser der zu entnehmenden Bäume, Maschinentyp, Kronendimension etc. und müssen deshalb für jede Maschine, aber auch für jeden neuen Bestand spezifisch eingestellt, bzw. nachjustiert werden. Diese Einstellungen sind auch Teil der konventionellen Aufarbeitung und stellen somit keine Innovation durch das erprobte System dar. Dennoch ist das präzise Einstellen dieser Faktoren ungleich wichtiger und aufwendiger als im regulären Holzeinschlag. Es erfordert einen erfahrenen Maschinenführer, der das vollständige Potential der Einstellmöglichkeiten eines Harvesters nutzen kann.

Der Prozess der Holzbereitstellung bleibt bei dem vorliegenden System unverändert, mit einer Ausnahme: Nachdem der Stamm gefällt wurde, wird der Baum in seiner kompletten Länge vor und zurück durch das Aggregat bewegt. Hierbei wird der Stamm um die eigene Längsachse in Rotation versetzt und entrindet. Das Einteilen in die Sortimente und das Ablängen geschieht in einem dritten Schritt am Ende des Aufarbeitungsprozesses, siehe Abbildung 9.

Aus den Beobachtungen geht hervor, dass sich die Entrindung bei unterschiedlichen Aggregaten unterschiedlich vollzieht. So wird ein Großteil der Rindenmenge bei den getesteten Aggregaten von Log Max und Ponsse in der Vorwärtsbewegung des Aggregates vom Holz getrennt, während das Aggregat von John Deere diesen Effekt in der Rückwärtsbewegung erbringt. Durch das Anbringen von zusätzlichen Kopf- und/oder Fußmessern, ggf. deren nicht starre sondern bewegliche Befestigung, könnten hier zusätzliche Entrindungseffekte erzielt werden. Möglicherweise könnte dadurch der eben beschrieben Effekt mit der „Hauptentrindungsrichtung“ beeinflusst werden.

Um mögliche Bestandesschäden auf das geringste Maß zu reduzieren, muss der Maschinenführer beim Manipulieren des Stamms in seiner vollen Länge besonderes Augenmerk auf den umstehenden Bestand legen. Bei starken Kronen empfiehlt es sich, den Stamm nach dem ersten Durchzug zu zopfen, da ansonsten starke Äste in der Krone und am Stamm die axiale Drehung des Baumes behindern können. Zusätzlich können durch die schwer einzuschätzenden Äste Bestandesschäden verursacht werden. Eine zusätzliche, aber praktisch nicht marktverfügbare, Zopfsäge am Fällaggregat könnte hierbei den Arbeitsfluss, der durch das Absägen und erneute Greifen des Stammes beeinträchtigt wird, optimieren.

Einige Tests haben gezeigt, dass das Drehen des Aggregates um 180 Grad nach dem Zopfschnitt, und somit eine entgegengesetzte Aufarbeitungsrichtung, zwar das Entrindungsprozent erhöhen kann, dennoch ist anzunehmen, dass dieses Vorgehen nicht praxistauglich ist. Die Holzbeschädigungen sind hier augenscheinlich höher. Grund dafür ist die Ausrichtung der Entastungsmesser, die nun so ausgerichtet sind, dass sie durch den Messersturz in das Holz eindringen können. Hinzu kommt, dass sich durch das mehrmalige Auslassen (zuerst am Zopf, dann am Fuß), sowie das Drehen und die erneute Aufnahme des Stammes der Arbeitsfluss von dem bislang üblichen Arbeitsverfahren stark unterscheidet und auch mehrfach unterbrochen wird. Von den Maschinenführern wird das

als „belastender“ beschrieben, weil mehr Konzentrationsaufwand erforderlich ist und man die Software des Harvesters nicht „auf Automatik“ stellen kann. Durch die Einstellung „Automatik“ werden vorher bestimmte Bewegungen des Aggregates von der Maschine selbstständig ausgeführt. Dies betrifft vor allem das selbstständige Vermessen und maßbedingte Sortieren des zu bearbeitenden Stammes und die selbstständige Bewegung des Aggregates an die nächste sortimentsgerechte Schnittstelle am Stamm.

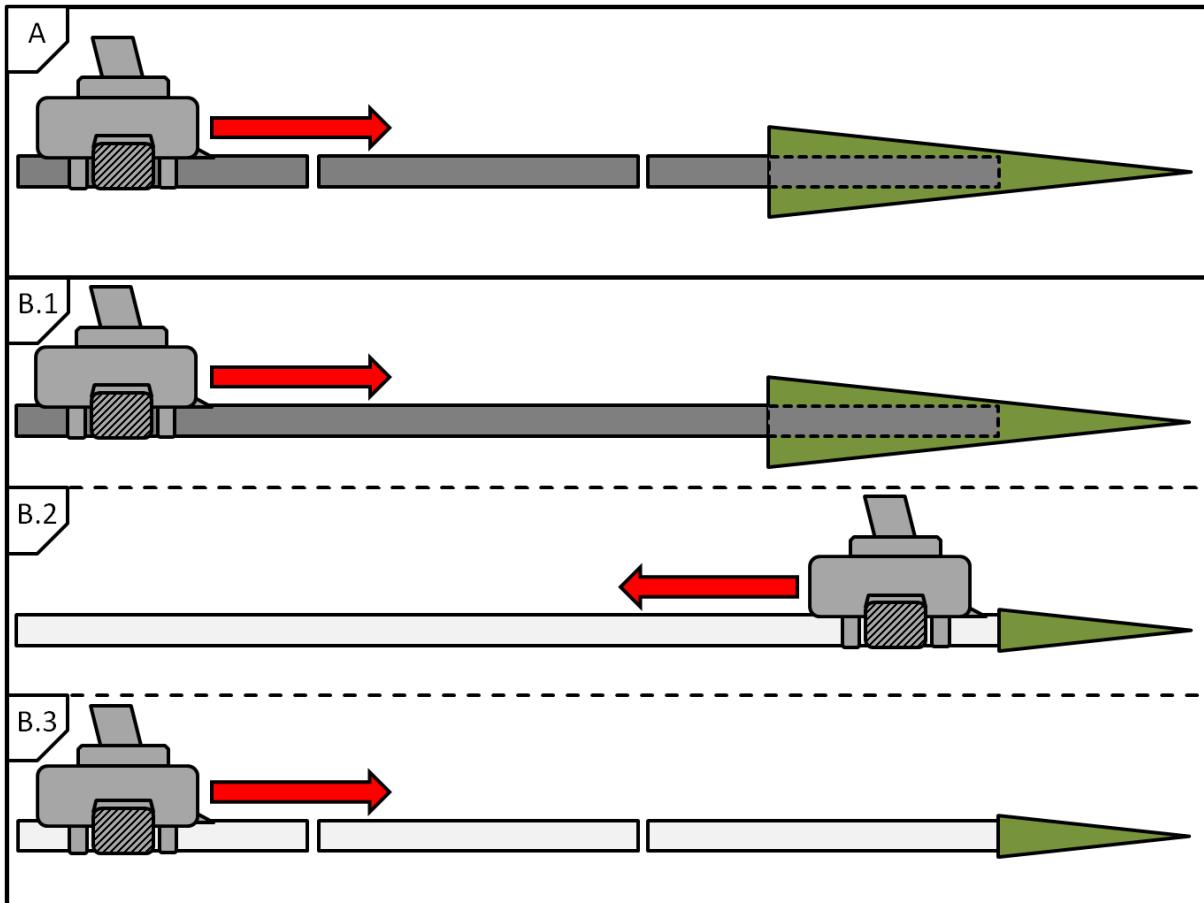


Abbildung 9: A) Arbeitsablauf bei der konventionellen, vollmechanisierten Holzernte - Entasten sowie in Sortimente Einteilen und Ablängen in einem Arbeitsschritt; B.1) Entasten und Entrinden des Stammes auf der gesamten Länge; B.2) (Entrinden) und Zurückfahren des Fällkopfes über die gesamte Länge auf Ausgangsposition; B.3) Nullschnitt, Einteilen in Sortimente und Ablängen des entrindeten Stammes

### Anpressdruck

In der Pilotstudie wurden Versuche zum **Anpressdruck der Vorschubwalzen** durchgeführt, um das Aggregat für die anschließenden Versuche besser einstellen zu können und um grundsätzliche Erfahrungen und Werte zu gewinnen. Hierbei wurde versucht einen **Anpressdruck zu finden**, der einerseits **fest genug** ist, um eine verfahrensgerechte Ernte und vor allem Aufarbeitung des Holzes zu ermöglichen, gleichzeitig **aber** den **Holzkörper nicht bzw. möglichst wenig zu beschädigen** und somit den anschließenden Verwendungszweck nicht zu gefährden. Der erreichte Entrindungsgrad wurde in diesem Versuch als niederrangig eingestuft und daher nicht separat erfasst.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Da zu diesem Zeitpunkt noch kein Messverfahren zur Holzbeschädigung vorlag, wurde die **vertretbare Holzbeschädigung qualifiziert geschätzt**. Hierbei war der Holzkäufer und spätere Eigentümer anwesend. Ein Auszug:

Stamm-Nr.	Abschnitt-Nr.	Maß mit Maßband	Maßangabe des Harvesters		Differenz	Bildnummer	Druckmin in Bar	Druckmax in Bar	Kubikmeter lt. Harvester
		Länge (mm)	Länge (mm)	Durchmesser (mm)					
2	1	268	302	154	34	9998	120	160	0,076
	2	298	303	146	5	9998	120	160	0,053
	3	301	303	125	2	9998	120	160	0,045
	4	294	301	99	7	9998	120	160	0,030
	5	295	301	78	6	9998	120	160	0,018



Abbildung 10: Auszug Anpressdruck

Stamm-Nr.	Abschnitt-Nr.	Maß mit Maßband	Maßangabe des Harvesters		Differenz	Bildnummer	Druckmin in Bar	Druckmax in Bar	Kubikmeter lt. Harvester
		Länge (mm)	Länge (mm)	Durchmesser (mm)					
5	1	304	303	207	-1	9996	160	170	0,128
	2	304	303	196	-1	9996	160	170	0,098
	3	302	301	164	-1	9996	160	170	0,078
	4	303	303	141	0	9996	160	170	0,055
	5	299	301	116	2	9996	160	170	0,042
	6	311	315	70	4	9996	160	170	0,024



Abbildung 11: Auszug Anpressdruck

# Abschlussbericht Debarking Head I

Stamm-Nr.	Abschnitt-Nr.	Maß mit Maßband	Maßangabe des Harvesters		Differenz	Bildnummer	Druckmin in Bar	Druckmax in Bar	Kubikmeter lt. Harvester
			Länge (mm)	Länge (mm) Durchmesser (mm)					
7	1	305	302	194	-3	9993	65		0,112
	2	301	302	190	1	9993	65		0,086
	3	302	302	169	0	9993	65		0,078
	4	304	301	148	-3	9993	65		0,059



Abbildung 12: Auszug Anpressdruck

## Längenmaß

Die Holzabschnitte aus den Versuchen zum Anpressdruck wurden gleichzeitig verwendet, um das Längenmaß des Harvesters zu kontrollieren. Bei der regulären Aufarbeitungsweise wird der aufzuarbeitende Stamm mittels der Vorschubwalzen durch das Aggregat gezogen, bzw. geschoben. Während dieses Prozesses wird, nach dem sogenannten „Nullschnitt“, durch das Aggregat die zurückgelegte Strecke ermittelt, um den durch die Holzsortierung vorgegebene Punkt zu ermitteln, an dem der Abschnitt abgetrennt werden muss. Dies geschieht bei den meisten Aggregaten entweder durch ein Messrad oder mittels der Vorschubwalzen. Die in den Versuchen verwendeten Aggregate ermittelten das Längenmaß alle durch die Verwendung eines Messrades.

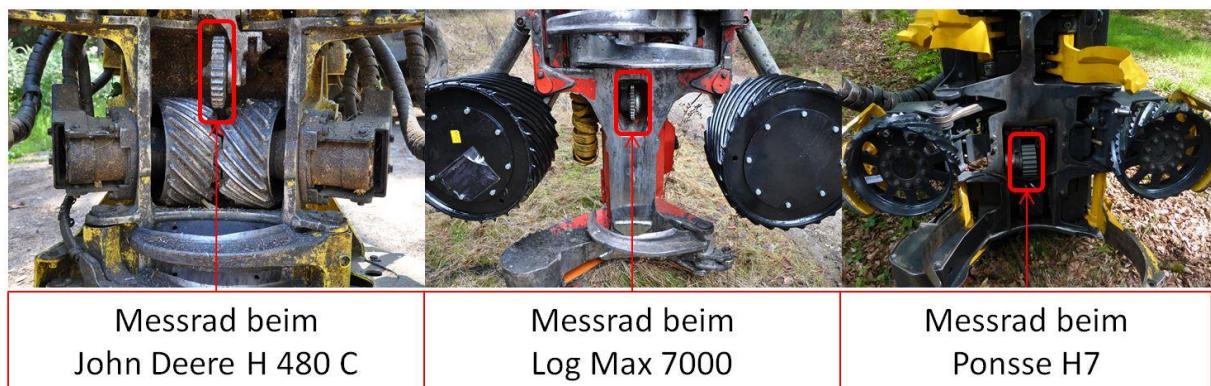


Abbildung 13: Messräder der Aggregate im Projekt

Da der Stamm sich im Verlauf der Aufarbeitung um die eigene Längsachse dreht und der Stamm ohne die Rinde sehr glatt und rutschig ist, wurde vermutet, dass es zwischen dem Maß des Harvesters und dem realen Maß des Holzabschnittes zu deutlich messbaren Abweichungen kommt. Bei der kleinen Stichprobe zeigte sich, dass rund 15% der nachgemessenen Abschnitte nicht in das vorgegebene Sägefenster passten.

Abschlussbericht Debarking Head I

Stamm-Nr.	Abschnitt-Nr.	Maß mit Maßband	Maßangabe des Harvester		Differenz
			Länge (mm)	Durchmesser (mm)	
1	1	302	301	139	-1
	2	299	302	117	3
	3	301	302	104	1
	4	294	301	77	7
2	1	268	302	154	34
	2	298	303	146	5
	3	301	303	125	2
	4	294	301	99	7
	5	295	301	78	6
3	1	302	302	133	0
	2	303	303	104	0
	3	303	304	88	1
	4	297	302	67	5
4	1	304	303	131	-1
	2	301	301	119	0
	3	302	302	98	0
	4	300	302	91	2
5	1	304	303	207	-1
	2	304	303	196	-1
	3	302	301	164	-1
	4	303	303	141	0
	5	299	301	116	2
	6	311	315	70	4
6	1	309	302	168	-7
	2	300	301	155	1
	3	303	303	141	0
	4	297	301	123	4
	5	299	303	101	4
	6	299	302	74	3
7	1	305	302	194	-3
	2	301	302	190	1
	3	302	302	169	0
	4	304	301	148	-3

Abbildung 14: **Auszug** einiger Stichproben zum Längenmaß

Dieses Ergebnis wurde in den folgenden Versuchen immer wieder stichprobenartig überprüft.

- Nachmessungen am Polter: Hierbei wurde die Stückzahl der Abschnitte im jeweiligen Polter ermittelt. Auf der Rückseite des Polters wurden die Abschnitte ausfindig gemacht, die offensichtlich nicht dem Sägefenster entsprachen. Diese wurden gezählt und dann zur Gesamtstückzahl ins Verhältnis gesetzt.



Abbildung 15: Holzpolter mit z. T. ermittelter Stückzahl



Abbildung 16: Rückseite eines Holzpolters mit erkennbar zu langen Abschnitten

- Messung der Abschnitte zur Ermittlung des Entrindungsgrades: Alle Abschnitte die zur Ermittlung des Entrindungsgrades herangezogen wurden, wurden einzeln in der Länge vermessen. Zwar gab es auch hier Über- oder Unterschreitungen des Sägefensters, jedoch nur in einer, für hochmechanisierte Holzernte üblichen Größenordnung.

Bei allen nachfolgenden Längenmessungen, sowohl in der Pilot- als auch in der Hauptstudie, lag der **Prozentsatz der Abschnitte die aufgrund ihrer Länge nicht in das Sägefenster fielen, bei unter 3%.** Bei einer Über- oder Unterschreitung des Sägefensters handelte es sich in der Regel um einer Verfehlung des Sägefensters von weniger als 4 cm. Das in der ersten Messung ein Prozentanteil von 15% erreicht wurde, dürfte an der geringen Stückzahl gelegen haben.

Es gab während der gesamten Projektlaufzeit keine Rückmeldungen durch die jeweiligen Holzkäufer. Hier scheint das im Werk entrindet angelieferte Holz nicht durch unüblich häufige Über- oder Unterschreitung des Sägefensters aufgefallen zu sein.

## 2.1.4 Hauptstudie: Ernteleistung

Die Akzeptanz des Entrindens im Bestand mittels eines Harvesterkopfes bei Forstunternehmern und Waldbesitzern, hängt maßgeblich an Leistungszahlen, insbesondere an den Faktoren Ernteleistung, Entrindungsgrad und Holzbeschädigung, die in diesem Verfahren erreicht werden. Zunächst wichtigster Faktor ist die Ernteleistung, denn selbst wenn das Verfahren einen hohen Entrindungsgrad bei gleichzeitig niedriger Holzbeschädigung aufweist: Sollte die Holzernte zu teuer sein, ist eine Umsetzung dieses Verfahrens in der Praxis kaum vorstellbar.

Um den Mehraufwand, der durch die zusätzliche Entrindung entsteht zu ermitteln, wurden folgende Punkte beachtet, um eine Vergleichbarkeit zu schaffen. Diese Versuchsanordnungen wurden an jedem Versuchsort und bei jeder Versuchsreihe angewandt.

### Bestand/ Hiebsordnung

Für die Versuche wurden Flächen gewählt, auf denen der Bestand möglichst homogen ist und im idealen Aufarbeitungsbereich des Harvesterkopfes und der Trägermaschine liegt. Zusätzlich sollten die Gegebenheiten vor Ort (z. B. Bodenfeuchte, Hanglagen, Blocküberlagerung) die Maschine nicht in ihrer Leistungsfähigkeit einschränken. Damit wurde erreicht, dass die jeweilige Maschine in ihrem Optimum arbeiten kann und nicht durch äußere (im Rahmen der Studie kaum zu analysierende) Faktoren beeinträchtigt wird. Des Weiteren mussten die Bestände eine Größe aufweisen, die es ermöglichte, zunächst ausreichend Holz für Einstellungen und Tests des Harvesterkopfes zu haben, dann jede erste Rückegasse (Entrindung) und im Anschluss jede zweite Rückegasse (konventionelle Aufarbeitung) zu befahren, siehe hierzu auch Abb. 9. Durch diese Vorgehensweise wurde erreicht, dass alle Leistungsdaten im selben Bestand erhoben wurden und Schwankungen in der Bestandesstruktur minimiert, relativiert oder gar ausgeschlossen wurden.

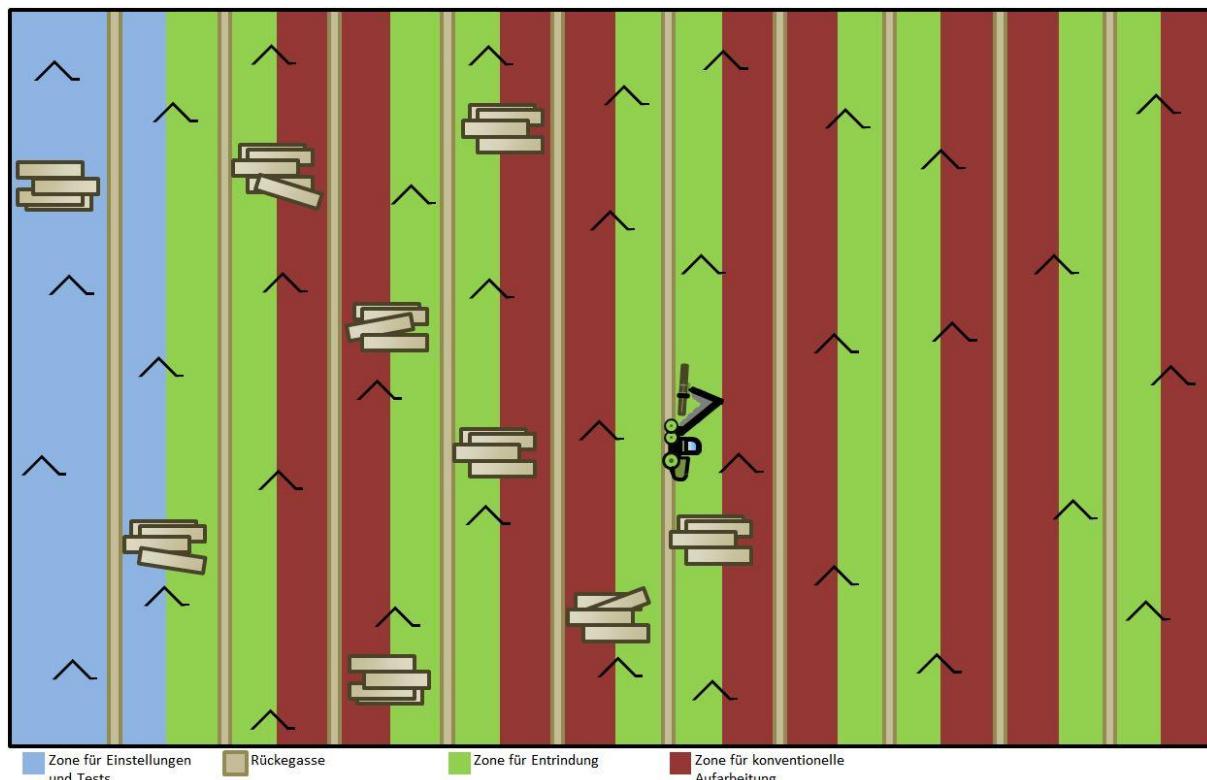


Abbildung 17: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Nachdem die Umrüstung und Einstellungen des Harvesterkopfes abgeschlossen waren (blaue Zone), wurde jede erste Rückegasse mit dem auf Entrindung umgerüsteten Harvesterkopf aufgearbeitet (grüne Zone) und dabei die entsprechenden Daten erhoben. In einem zweiten Durchgang wurden, mit dem nun wieder auf konventionelle Aufarbeitung zurückgebautem Harvesterkopf, die verbleibenden Rückegassen aufgearbeitet (rote Zone). Mit denselben Methoden und Messpunkten wurde auch die konventionelle Aufarbeitung erfasst und so vergleichbare Daten erhoben.

Trotz dieser Vorbereitung war es nicht immer möglich vergleichbare Daten zu erheben. Vor allem durch kurzfristige Änderungen, z. B. Trägermaschinenverfügbarkeit oder massiver Borkenkäferbefall mit Frischholz-Einschlagsstopps, führten dazu das zwar alle Versuche gemacht werden konnten, aber nicht alle Ergebnisse gleichermaßen gut verwertbar sind. Auf einige Datensätze muss daher verzichtet werden, da der Vergleich weit außerhalb der Norm liegt und somit das Ergebnis unverhältnismäßig verfälscht.

### Sortierung

Die Sortierung des Holzes ist in jeder Holzerntemaßnahme ein leistungsbeeinflussender Faktor. Um Ungenauigkeiten zu reduzieren, die sich durch z. B. den Wechsel in der Sortierung zwischen Lang- und Kurzholzsortimenten oder andere Sortierungsanweisungen ergeben, wurden **für die Datenerhebung möglichst wenige und einfache Sortimente gewählt**. Es handelte sich, da das Holz im Anschluss an die Versuche regulär verkauft werden sollte (wichtig zur Senkung der Versuchskosten), um **marktübliche Sortimente**. Für alle Rückegassen, sowohl die für die Entrindung, als auch die mit der konventionellen Aufarbeitung, wurde dieselbe Sortierung verwendet.

BA	Güte	Länge in m	Länge in m	Länge in m	Länge in m
Kiefer	B/C	3		4	
Kiefer	C/D		3,6		
Kiefer	IL	3			
Fichte	B/C			4	5
Fichte	IL	3			
Buche	IL	3			
Eiche	IL	3			
Lärche	B/C	3			
Lärche	IL	3			
Douglasie	B/C	3			
Douglasie	IL	3			

Abbildung 18: Sortierung

### Maschine

**Leistungsbeeinflussende Faktoren, die sich durch die Trägermaschine und den Harvesterkopf ergeben, wurden durch die Verwendung derselben Maschine egalisiert.** Die einzigen Veränderungen, die an dem jeweiligen Harvesterkopf durchgeführt wurden, waren die Installationen der zur Entrindung notwendigen Bauteile, die durch den jeweiligen Hersteller zur Verfügung standen. **Für alle Rückegassen, sowohl die für die Entrindung, als auch die mit der konventionellen Aufarbeitung, wurde dieselbe Trägermaschine und derselbe Harvesterkopf verwendet.**

## Maschinenführer/Eigentümer

Bei der Auswahl des Maschinenführers spielen gleich mehrere Faktoren eine Rolle, die sich z. T. sehr stark auf die Leistung auswirken kann. Hierzu zählt das persönliche Können und die Übung, sowie die Erfahrung des Maschinenführers, auch in der direkten Verknüpfung mit einer bestimmten Trägermaschine, ebenso wie die innerbetriebliche Einstellung gegenüber diesem Projekt. Um Leistungsschwankungen, ggf. sogar gewünschte, zu minimieren, wurden mit den Eigentümern der Trägermaschinen Verträge geschlossen, die zum Inhalt hatten, dass durch die Verwendung der Trägermaschine für die Versuchsreihen dieses Projektes keine finanziellen Nachteile entstehen. Durch den Einsatz des immer selben Maschinenführers sind vergleichbare persönliche Fähigkeiten gewährleistet. Noch vor Beginn des eigentlichen Versuches mit der Datenerhebung (nach dem Einstellen der Maschine), bekam der Maschinenführer den Auftrag, sich mit dem Verfahren weiter vertraut zu machen, bis die Übungsschwelle überschritten ist.

## Eigentümer der Waldfläche

Der jeweilige Eigentümer der Waldflächen und Bestände wurde vor Beginn der Versuche über die möglichen Beschädigungen am verbleibenden Bestand und an den Sortimenten informiert. Absprachen wurden festgehalten.

Verwendete Geräte und Software für Arbeitszeitstudien und Arbeitsstudien:

- Algiz 7 von Handheld Group AB, mit Betriebssystem Windows 7 Ultimate von Microsoft Corporation
- Toughbook CF-19 von Panasonic Corporation, mit Betriebssystem Windows 7 Professional von Microsoft Corporation
- TimCap, Version 2.0, von Georg-August-Universität Göttingen
- Hero 4 Silver von GoPro Inc.
- Hero 4 Black von GoPro Inc.
- HP EliteDesk 700 G1 MT von HP Inc., mit Betriebssystem Windows 7 Professional von Microsoft Corporation
- Microsoft Excel 2010 von Microsoft Corporation
- StanForD von Kuratorium für Walddarbeit und Forsttechnik e. V., Version 1.3.7.49

## Arbeitszeitstudien

Zur Durchführung der Arbeitszeitstudien mussten zunächst eine geeignete Arbeitszeitstudienmethode gewählt und die Arbeitsablaufabschnitte (AAA) für die Holzernte mit dem Harvester definiert werden. Die Arbeitszeitstudien wurden mittels Fortschrittszeitverfahren erhoben. Für die ersten Versuche wurden die AAA verwendet, die auch in der Maschinenprüfung des Kuratoriums für Walddarbeit und Forsttechnik e. V. angewandt werden. Diese sind wie folgt eingeteilt:

- Unterstand umschneiden
- Fahren/ Orientieren
- Fällen/ Vorrücken
- Aufarbeiten
- Reisig ablegen
- Rauhbeige nachbessern
- sachl. Verteilzeit
- pers. Verteilzeit
- Pause/ Erholung

## Abschlussbericht Debarking Head I

Ergänzt wurden diese AAA durch den weiteren AAA „Versuchsbedingte Standzeit“. Hier wurden versuchsbedingte Standzeiten, wie zum Beispiel die Montage der Kameras, das Herunterladen der Daten oder Absprachen mit dem Maschinenführer, erfasst, da diese Zeiten später nicht berücksichtigt werden sollten. Der Zykluswechsel wurde auf den AAA „Aufarbeiten“ gelegt.

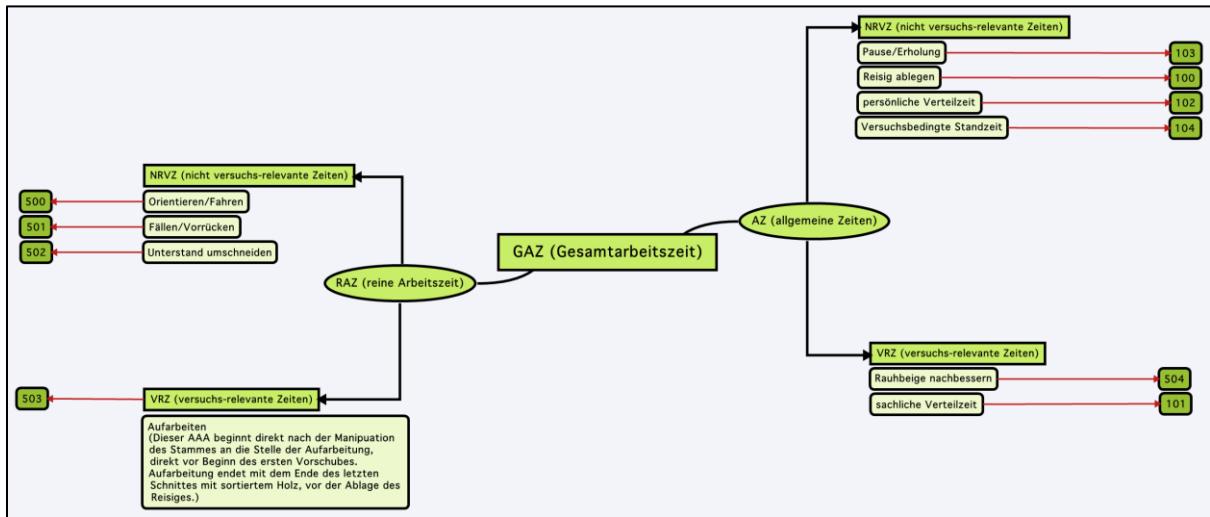


Abbildung 19: Zusammenhang Arbeitsablaufabschnitte

Definitionsdatei:

```

Harvester_Vorlage_jg_150624.txt - Editor

Datei Bearbeiten Format Ansicht ?

!versuch
!Zeitnehmer
#500 Fahren/orientieren
#501 Fällen/vorrücken
#502 Unterstand umschneiden
#503 !Aufarbeiten
#504 Rauhbeige nachbessern
100 Reisig ablegen
101 sachl. Verteilzeit
102 pers. Verteilzeit
103 Pause/Erholung
104 Versuchsbedingte standzeit

```

Abbildung 20: Definitionsdatei AAA 1

# Abschlussbericht Debarking Head I

Auszug aus Anwendung:

150630_1109.txt										
Versuch	Harpstedt1	1								
Zeitnehmer	jg	1								
30.06.2015										
11:09:31.35										
DATUM	Versuch	Zeitnehmer	UHRZEIT	DAUER	AAA	AGG	CORR	ZYKLUS	BEMERKUNG	
30.06.2015	1	1	11:09:53	2134	503	0	0	1		
30.06.2015	1	1	11:09:56	352	100	0	0	2		
30.06.2015	1	1	11:10:04	824	500	0	0	2		
30.06.2015	1	1	11:10:10	602	501	0	0	2		
30.06.2015	1	1	11:10:21	1100	500	0	0	2		
30.06.2015	1	1	11:10:49	2756	503	0	0	2		
30.06.2015	1	1	11:10:52	331	100	0	0	3		
30.06.2015	1	1	11:11:00	727	500	0	0	3		
30.06.2015	1	1	11:11:05	524	501	0	0	3		
30.06.2015	1	1	11:11:11	620	500	0	0	3		
30.06.2015	1	1	11:11:47	3569	503	0	0	3		
30.06.2015	1	1	11:11:52	505	100	0	0	4		
30.06.2015	1	1	11:12:02	1008	500	0	0	4		
30.06.2015	1	1	11:12:08	610	501	0	0	4		
30.06.2015	1	1	11:12:42	3404	503	0	0	4		
30.06.2015	1	1	11:12:52	1017	100	0	0	5		
30.06.2015	1	1	11:13:06	1373	501	0	0	5		
30.06.2015	1	1	11:13:53	4749	503	0	0	5		
30.06.2015	1	1	11:13:59	510	100	0	0	6		
30.06.2015	1	1	11:14:06	798	500	0	0	6		
30.06.2015	1	1	11:14:20	1308	501	0	0	6		
30.06.2015	1	1	11:14:44	2430	503	0	0	6		
30.06.2015	1	1	11:14:53	900	100	0	0	7		
30.06.2015	1	1	11:15:03	1058	501	0	0	7		
30.06.2015	1	1	11:15:39	3588	503	0	0	7		
30.06.2015	1	1	11:15:43	370	100	0	0	8		
30.06.2015	1	1	11:15:47	401	500	0	0	8		
30.06.2015	1	1	11:16:05	1781	501	0	0	8		
30.06.2015	1	1	11:17:15	7000	503	0	0	8		
30.06.2015	1	1	11:17:19	406	100	0	0	9		
30.06.2015	1	1	11:17:34	1550	500	0	0	9		

Abbildung 21: Auszug aus Auswertung einer Arbeitszeitstudie

Um die späteren Arbeitszeitstudien möglichst vergleichbar und aussagekräftig gestalten zu können, wurde zunächst durchdacht, in welchem AAA sich die Entrindung abspielt und damit entscheidend wird. Es herrschte die Annahme, dass auf AAA wie zum Beispiel „Fahren/Orientieren“, „Fällen/Vorrücken“ oder „pers. Verteilzeit“ keine Auswirkung aufgrund der Entrindung zukommt. Im Pilotversuch ging es zunächst darum zu ermitteln, ob es durch den Vorgang der Entrindung während der Aufarbeitung zu Unterschieden in den definierten AAA, insbesondere in AAA „sachlichen Verteilzeiten“, kommt.

Tatsächlich ergaben diese ersten Arbeitszeitstudien, dass sich zeitliche Auswirkungen ausschließlich im AAA „Aufarbeiten“ auswirken. Alle anderen AAA bleiben unberührt. Bei späteren Arbeitszeitstudien in diesem Projekt wurde diese Tatsache immer wieder bestätigt. Für die weiteren Arbeitszeitstudien wurden daher neue AAA definiert, um die Eingabe durch den Bediener zu vereinfachen. Hierbei gab es nur noch die beiden AAA:

- Aufarbeiten
- sonstige Zeiten

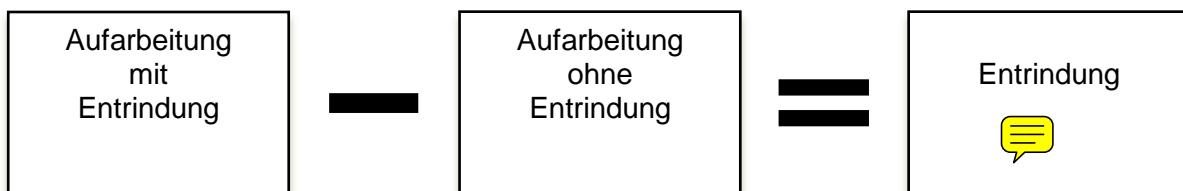
Definitionsdatei

```
!Versuch
!Aufnehmer
#500 !Aufarbeiten
100 Sonstige Zeit
```

Abbildung 22: Definitionsdatei AAA 2

Die verwendeten Messpunkte wurden hierbei jedoch nicht verändert, um die Vergleichbarkeit der erhobenen Daten nicht zu gefährden.

Der **AAA „Aufarbeiten“** konnte nicht noch weiter reduziert werden, da in diesem Zeitraum mehrere Abläufe zur selben Zeit stattfinden (Entasten, Längen- und Durchmesserermittlung, Sortierung, Einschneiden), inklusive der Entrindung. Allerdings finden (mit Ausnahme der Entrindung) diese Abläufe bei beiden zu vergleichenden Verfahren statt, so dass sich diese gegenseitig aufheben. **Mit diesem AAA wurde sowohl die konventionelle Holzernte als auch die Holzernte mit dem entrindenden Harvesterkopf aufgenommen.** Da möglichst alle Faktoren, die die Leistung betreffen, egalisiert wurden, ergibt sich daraus:



## Maschinendaten

Zusätzlich zu den Arbeitszeitstudien wurden die Maschinendaten der Harvester ausgelesen und verwertet. Je nach Hersteller der Maschine (bzw. der Software) können hier unterschiedliche Daten, zum Teil auch mit verschiedenen Definitionen, ausgewertet werden. Die wichtigsten Daten sind hierbei:

- fm/h
- l/fm
- Prozessierungszeit (min)/fm
- fm/Abschnitt
- Einzelstammliste (PRI)
- Stammkurven (STM)
- Preismatrix (APT)
- Produktionsdaten (PRD)

## Auswertung

Die Daten der Arbeitszeitstudie wurden mittels Excel sortiert und anschließend ausgewertet. Hierbei können die verwendeten Harvester in der Realität nicht ohne weiteres direkt miteinander verglichen werden, da diese aus verschiedenen Leistungsklassen stammen und somit eine gemeinsame Basis fehlt. Um jedoch rechnerisch geeignete Werte zu erhalten wurde für alle Versuche dieselbe Maschinenkalkulation, einmal ohne Entrindungsaggregat, einmal mit Entrindungsaggregat hinterlegt. Die hier verwendeten Daten gelten lediglich als Richtwerte. Falls eigene Betriebliche Daten und Erfahrungen vorliegen, wird dringend empfohlen, diese zu verwenden.

Die tatsächlichen Kosten können, abhängig von vielen Faktoren wie dem Anschaffungspreis oder dem tatsächlichen Alter des Harvesters, stark variieren. Zusätzlich dienen diese Maschinenkostenkalkulationen und die folgenden Auswertungen lediglich der Herleitung einer Größenordnung. Wichtige, aber betriebsabhängige Einflussgrößen, vor allem der Unternehmensgewinn, fehlen und sind nicht berücksichtigt. Das hat Einfluss auf den tatsächlichen Endpreis der Dienstleistung „Holzeinschlag mit Entrindung“.

Da die Umrüstsätze für die unterschiedlichen Aggregate sehr unterschiedlich umfangreich ausfallen, wurde für die Kalkulation der zusätzlichen Investition in einen Umrüstsatz, ein einheitlicher Wert von 10.000,-€ angenommen. Der tatsächliche Betrag kann Einfluss auf die Aufarbeitungskosten haben. Die Werte wurden auf Grundlage der KWF-Forstmaschinenkalkulation erhoben.

# Abschlussbericht Debarking Head I

## Maschinenkalkulation ohne Entrindungsaggregat:

Anschaffungspreis der kompletten Maschine inkl. Montage und Überführungskosten, Zubehör, Rabatte, Skonto ohne Mehrwertsteuer	An	400000,00 €
Restwert	R	100000,00 €
Veralterungszeit in Jahren (max. Nutzungsdauer)	N	8 Jahre
Technische Gesamtnutzungsdauer in MAS	H	14000 MAS
Abschreibungsdauer in Jahren	Aj	6 Jahre
Abschreibungsdauer in MAS	Amas	10500 MAS
Auslastungsschwelle H:N	Sw	1750 MAS/Jahr
Voraussichtliche jährliche Auslastung (MAS/Jahr)	a	1500 MAS/Jahr
Kraftstoffverbrauch in l/MAS	Kv	16 l/MAS
Kraftstoffkosten inkl. Transport und Lagerung	Kk	1,60 €/l
Faktor für Reparatur und Wartung	r	1,1
Faktor für Schmierstoffkosten	sm	0,25
Zinsfuß in %	i	8,0 %
<b>Abschreibung</b>		
Wenn a größer oder gleich Sw, dann (An - R) / Amas		33,33 €/MAS
Wenn a kleiner als Sw, dann (An - R) / (Aj x a)		
<b>Finanzierungskosten/Jahr</b>	20000,00 €/Jahr	13,33 €/MAS
((An + R) / 2 x i% / 100)		
<b>Instandhaltungskosten (RW)</b>		31,43 €/MAS
(An / H) x r		
<b>Betriebstoffkosten (B)</b>		32,00 €/MAS
Kv x Kk x (1 + sm)		
<b>Umsetzen, An- und Abfahrt/Jahr</b>	9975,00 €/Jahr	6,65 €/MAS
- Sachkosten (Maschinenkosten, Tieflader, PKW-KM): 2€/MAS	3000,00 €/Jahr	
- Lohnkosten (Fahrerlohn, Auslösung): Lohnkosten € x 0,15	6975,00 €/Jahr	
<b>Sonstige Kosten/Jahr (S)</b>		
- differenzierte Vorkalkulation	41100,00 €/Jahr	27,40 €/MAS
+ Haftpflichtversicherung	700,00 €/Jahr	
+ Technische Maschinen-Versicherung 1,4% von An	5600,00 €/Jahr	
+ Unterbringung	800,00 €/Jahr	
+ Unternehmensbezogene Kosten 5,0% von An	20000,00 €/Jahr	
+ Organisation (Einsatzlenkung) 3,0% von An	12000,00 €/Jahr	
+ Finanzierung der Forderungen (4-6 Wochen)	2000,00 €/Jahr	
- pauschalierte Vorkalkulation	40000,00 €/Jahr	26,67 €/MAS
+10% von An		
<b>Lohnkosten</b>		
Lohnkosten einschließlich LNK (hier 100%)		
+ Fahrer 1: 15,50 €/Std. x 2,0		31,00 €/MAS
+ Schichtfaktor		1,0
+ Fahrer 2: 15,50 €/Std. x 2,0 (Schichtf. -1)		0,00 €/MAS
<b>Gesamtkosten ohne MwSt.</b>		175,15 €/MAS
<b>Kosten ohne Lohn und MwSt. (Sachkosten)</b>		144,15 €/MAS

Abbildung 23: *Maschinenkostenkalkulation ohne Entrindung*



# Abschlussbericht Debarking Head I

## Maschinenkalkulation mit Entrindungssaggregat:

Anschaffungspreis der kompletten Maschine inkl. Montage und Überführungskosten, Zubehör, Rabatte, Skonto ohne Mehrwertsteuer	An	410000,00 €
Restwert	R	102500,00 €
Veralterungszeit in Jahren (max. Nutzungsdauer)	N	8 Jahre
Technische Gesamtnutzungsdauer in MAS	H	14000 MAS
Abschreibungsdauer in Jahren	Aj	6 Jahre
Abschreibungsdauer in MAS	Amas	10500 MAS
Auslastungsschwelle H:N	Sw	1750 MAS/Jahr
Voraussichtliche jährliche Auslastung (MAS/Jahr)	a	1500 MAS/Jahr
Kraftstoffverbrauch in l/MAS	Kv	16 l/MAS
Kraftstoffkosten inkl. Transport und Lagerung	Kk	1,60 €/l
Faktor für Reparatur und Wartung	r	1,1
Faktor für Schmierstoffkosten	sm	0,25
Zinsfuß in %	i	8,0 %
<b>Abschreibung</b>		
Wenn a größer oder gleich Sw, dann (An - R) / Amas		34,17 €/MAS
Wenn a kleiner als Sw, dann (An - R) / (Aj x a)		
<b>Finanzierungskosten/Jahr</b>	20500,00 €/Jahr	13,67 €/MAS
((An + R) / 2 x i% / 100)		
<b>Instandhaltungskosten (RW)</b>		32,21 €/MAS
(An / H) x r		
<b>Betriebstoffkosten (B)</b>		32,00 €/MAS
Kv x Kk x (1 + sm)		
<b>Umsetzen, An- und Abfahrt/Jahr</b>	9975,00 €/Jahr	6,65 €/MAS
- Sachkosten (Maschinenkosten, Tieflader, PKW-KM): 2€/MAS	3000,00 €/Jahr	
- Lohnkosten (Fahrerlohn, Auslösung): Lohnkosten € x 0,15	6975,00 €/Jahr	
<b>Sonstige Kosten/Jahr (S)</b>		
- differenzierte Vorkalkulation	42040,00 €/Jahr	28,03 €/MAS
+ Haftpflichtversicherung	700,00 €/Jahr	
+ Technische Maschinen-Versicherung 1,4% von An	5740,00 €/Jahr	
+ Unterbringung	800,00 €/Jahr	
+ Unternehmensbezogene Kosten 5,0% von An	20500,00 €/Jahr	
+ Organisation (Einsatzlenkung) 3,0% von An	12300,00 €/Jahr	
+ Finanzierung der Forderungen (4-6 Wochen)	2000,00 €/Jahr	
- pauschalierte Vorkalkulation	41000,00 €/Jahr	27,33 €/MAS
+10% von An		
<b>Lohnkosten</b>		
Lohnkosten einschließlich LNK (hier 100%)		
+ Fahrer 1: 15,50 €/Std. x 2,0		31,00 €/MAS
+ Schichtfaktor		1,0
+ Fahrer 2: 15,50 €/Std. x 2,0 (Schichtf. -1)		0,00 €/MAS
<b>Gesamtkosten ohne MwSt.</b>		177,72 €/MAS
<b>Kosten ohne Lohn und MwSt. (Sachkosten)</b>		146,72 €/MAS

Abbildung 24: Maschinenkostenkalkulation mit Entrindung

**Darstellung der wichtigsten Kennzahlen aus den einzelnen Versuchen**

Hierbei stehen folgende Abkürzungen zur Verfügung:

VE = Entrindet

UE = reguläre Aufarbeitung (mit Standardwalzen)

KON = reguläre Aufarbeitung (mit Entrindungswalzen)

KIE = Kiefer

FI = Fichte

DOUGL = Douglasie

BU = Buche

EI = Eiche

JD = John Deere 1270 E mit H 480 C

LM = Timber Pro 630 mit Log Max 7000

PO = Ponsse Scorpion mit H7

## Abschlussbericht Debarking Head I

<b>fm/h</b>		<b>Sommer</b>	<b>JD</b>	<b>Versuch 1 KIE VE</b>									
11,0	10,3	12,3	10,7	16,2	16,2	13,2	6,6	6,3	11,7	21,3	17,2	12,3	
<b>I/fm</b>		<b>Sommer</b>	<b>JD</b>	<b>Versuch 2 KIE VE</b>									
1,32	1,50	1,53	1,29	0,85	0,76	0,96	1,83	1,86	0,91	0,71	0,78	1,10	
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>		<b>Sommer</b>	<b>JD</b>	<b>Versuch 3 KIE VE</b>									
2,92	2,72	2,58	2,68	1,76	1,65	1,85	3,33	4,40	2,05	1,37	1,64	1,83	
<b>fm/Abschnitt</b>		<b>Sommer</b>	<b>JD</b>	<b>Versuch 4 KIE VE</b>									
0,18	0,18	0,18	0,17	0,26	0,43	0,33	0,12	0,10	0,31	0,24	0,23	0,18	
<b>Durchschnittswerte</b>													
<b>fm/h</b>													
11,1													
<b>I/fm</b>													
1,4													
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>													
2,72													
<b>fm/Abschnitt</b>													
0,18													

Abbildung 25: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2015 mit John Deere in Niedersachsen

## Abschlussbericht Debarking Head I

Versuch 5 wird nicht weiter berücksichtigt, da es sich um eine konventionelle Aufarbeitung handelte, die mit den Entrindungswalzen, aber ohne Entrindung, durchgeführte wurde. Hierbei stellte sich das erwartete Resultat ein, dass es bei konventioneller Aufarbeitung mit üblichen Arbeitsverfahren keinen zeitlich messbaren Unterschied zu den regulären Walzen gibt.

Die Versuche 6-10 behandelten die Baumarten Douglasie, Buche, Eiche, Lärche. Die Versuche dienten der Feststellung der grundsätzlichen technischen Machbarkeit. Da es nicht möglich war, geeignete Vergleichsdaten ohne Entrindung zu erheben, bleiben diese Versuche zunächst unberücksichtigt.

Die Versuche 11 und 12 wurden nicht mit in den Durchschnittswert integriert, da Veränderungen im Bestand sich zu deutlich auf die Leistung auswirkten. Siehe fm/Abschnitt.

**Die obige Versuchsreihe ist grundsätzlich am Aussagekräftigsten zu bewerten, da hier die Bedingungen am besten waren und die aufgearbeitete Holzmenge mit rund 860fm am umfangreichsten.**

	Winter	JD	Versuch 14 KIE KON	Winter	JD	Versuch 15 KIE VE	Winter	JD	Versuch 16 KIE UE
<b>fm/h</b>	13,9			10,6			9,2		
<b>I/fm</b>	1,05			1,25			1,24		
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>	2,24			2,79			2,66		
<b>fm/Abschnitt</b>	0,19			0,26			0,16		
<b>Durchschnittswerte</b>						%			
<b>fm/h</b>						13,2			
<b>I/fm</b>						0,8			
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>						4,5			
<b>fm/Abschnitt</b>						38,5			

Abbildung 26: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Winterversuchen 2015/2016 mit John Deere in Niedersachsen

## Abschlussbericht Debarking Head I

Versuch 14 wird nicht weiter berücksichtigt, da es sich um eine konventionelle Aufarbeitung handelte. Sie Erläuterung Versuch 5.

	Winter	LM	Versuch 20 FI VE	Winter	LM	Versuch 21 FIE UE
<b>fm/h</b>	24,4		38,9			
<b>I/fm</b>	x		x			
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>	1,80		0,48			
<b>fm/Abschnitt</b>	0,17		0,16			
<b>Durchschnittswerte</b>			%			
<b>fm/h</b>			37,3			
<b>I/fm</b>						
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>			73,3			
<b>fm/Abschnitt</b>			5,9			

Abbildung 27: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Winterversuchen 2016/2017 mit Log Max in Bayern

Abschlussbericht Debarking Head I

	Sommer	JD	Versuch 17 KIE VE	Sommer	JD	Versuch 18 KIE VE	Sommer	JD	Versuch 19 KIE UE
<b>fm/h</b>	19,8		x			x	12,3		
<b>I/fm</b>	x		x			x	x		
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>	1,52		x			x	1,04		
<b>fm/Abschnitt</b>	0,36		x			x	0,13		
<b>Durchschnittswerte</b>				%					
<b>fm/h</b>			37,9						
<b>I/fm</b>									
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>			31,6						
<b>fm/Abschnitt</b>			63,9						

Abbildung 28: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2016 mit John Deere in Niedersachsen

Die Daten von Versuch 18 sind aufgrund eines defekten Datenträgers nicht verwendbar.

## Abschlussbericht Debarking Head I

	Sommer		PO		Versuch 23 Fl VE		Sommer		PO		Versuch 24 Fl VE		Sommer		PO		Versuch 25 Fl UE		Sommer		PO		Versuch 26 Fl UE		
	fm/h	I/fm	Prozessierungszeit (min)/fm	fm/Abschnitt	Durchschnittswerte	fm/h	I/fm	Prozessierungszeit (min)/fm	fm/Abschnitt	%	fm/h	I/fm	Prozessierungszeit (min)/fm	fm/Abschnitt	%	fm/h	I/fm	Prozessierungszeit (min)/fm	fm/Abschnitt	%	fm/h	I/fm	Prozessierungszeit (min)/fm	fm/Abschnitt	%
<b>fm/h</b>	36,5	0,52	0,76	0,26		33,8	0,61	0,76	0,28		51,0	0,37	0,43	0,27		40,8	38,0	44,7	12,5		63,1	0,38	0,41	0,22	
<b>I/fm</b>																									
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>																									
<b>fm/Abschnitt</b>																									
<b>Durchschnittswerte</b>																									
<b>fm/h</b>																									
<b>I/fm</b>																									
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>																									
<b>fm/Abschnitt</b>																									

Abbildung 29: Zusammenstellung der wichtigsten Daten aus Sommerversuchen 2017 mit Ponsse in Bayern

Die Werte der Versuche 23-26 stimmen grundsätzlich in deren Tendenz, dass die Entrindung mehr Aufarbeitungszeit und Kraftstoff in Anspruch nimmt. Dennoch wurden die Versuche kurzfristig in kleinen, recht unterschiedlichen (Hanglage, BHD, z. T. zugefällt) Käfernestern erhoben und sind damit nicht darstellbar vergleichbar.

## Abschlussbericht Debarking Head I

	Sommer	LM	Versuch 22 Fl VE
<b>fm/h</b>	x		
<b>l/fm</b>	x		
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>	x		
<b>fm/Abschnitt</b>	x		
<b>Durchschnittswerte</b>			
<b>fm/h</b>			
<b>l/fm</b>			
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>			
<b>fm/Abschnitt</b>			

Abbildung 30: Daten aus nicht verwertbarem Sommerversuch 2017 mit Log Max in Bayern

	Winter	PO	Versuch
<b>fm/h</b>	x		
<b>l/fm</b>	x		
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>	x		
<b>fm/Abschnitt</b>	x		
<b>Durchschnittswerte</b>			
<b>fm/h</b>			
<b>l/fm</b>			
<b>Prozessierungszeit (min)/fm</b>			
<b>fm/Abschnitt</b>			

Abbildung 31: Daten aus nicht auswertbarem Winterversuch 2016/2017 mit Ponsse in Bayern

# Abschlussbericht Debarking Head I

Der Versuch 22 und ein Winterversuch haben keine verwertbaren Daten ergeben.

**Tabelle 3: Aufstellung der Kostenkalkulation unter Berücksichtigung des Produktivitätsverlustes durch die Entrindung**

		Harvester mit normalem Aggregat	Harvester mit entrindendem Aggregat	Differenz %	Differenz €
Versuche Sommer mit John Deere 1270 E Aggregat H 480 C	fm/MAS	12,3	11,1	-9,8	
	€/fm	14,24	16,01	11,06	1,77
Versuch Winter mit John Deere 1270 E Aggregat H 480 C	fm/MAS	9,2	10,6	15,2	
	€/fm	19,04	16,77	-13,55	-2,27
Versuch Winter mit Timber Pro 630 Aggregat 7000	fm/MAS	38,9	24,4	-37,3	
	€/fm	4,50	7,28	38,21	2,78
Versuche Sommer mit John Deere 1270 E Aggregat H 480 C	fm/MAS	12,3	19,8	61,0	
	€/fm	14,24	8,98	-58,65	-5,26
Versuche Sommer Ponsse Scorpion mit H 7	fm/MAS	57,1	33,8	-40,8	
	€/fm	3,07	5,26	41,66	2,19
Unterstellte Kostensätze (Unternehmersätze): Maschine + Lohn/LNK	€/MAS	175,15	177,72		

Die Gegenüberstellung der Versuche hat ergeben, dass die Produktivität im Vergleich z. T. stark differiert. Dennoch beträgt der rechnerisch egalisierte Wert für die **zusätzliche Leistung „Entrindung mit dem Harvester“** nur -5,27€/fm bis 2,78€/fm. Lässt man hierbei die Versuche außen vor, die ungünstige Bedingungen hatten (siehe einzelne Versuchsdarstellung oben), ergibt sich hieraus eine Spreite zwischen -2,27€/fm bis 2,78€/fm. Eine Entrindung mit einem Harvesterkopf dürfte somit, auch unter etwas veränderten Eingangsgrößen bis zu 5,50€/fm liegen. Es bleibt zu berücksichtigen, dass wichtige Faktoren für den Endpreis der Leistung (z. B. unternehmerischer Gewinn) in diesem Wert nicht enthalten sind.

Durch die vielen leistungsbeeinflussenden Faktoren (Bestand, Sortimente, Maschinenzustand, persönliches Können und Tagesform des Fahrers, Tageszeit, etc.) ist es nicht ohne weiteres möglich, diese Ergebnisse auf einen anderen Hieb oder Betrieb zu übertragen. Gegebenenfalls müssten die Werte für den jeweiligen Betrieb angepasst werden (z. B. Maschinenkosten, Personalkosten etc.).

## Dokumentation durch Videos

Die Arbeitszeitstudien wurden in diesem Projekt durch Videoaufnahmen dokumentiert. Für diese Aufnahmen gibt es mehrere Bedürfnisse. 1. Durch unvorhersehbare Störungen während der Zeitaufnahme kann es passieren, dass die Arbeitszeitstudie unbrauchbar wird. 2. Eine Beschädigung der Datei führt zur Unbrauchbarkeit der Datei mit den Zeiten der Arbeitszeitstudie (tatsächlich mehrfach im Projekt vorgekommen). 3. Eine Videoaufnahme versetzt die auswertende Person in die Lage, eine Arbeitszeitstudie wiederholen zu können. Interessant wird eine solche Wiederholung der Arbeitszeitstudie vor allem dann, wenn Beginn und Ende eines AAA anders definiert werden. So wäre es beispielsweise möglich, das bereits beschriebene Durchrutschen bei der Längenmessung (4.3 Technische und Verfahrensmodifikation, Seite 19) separat herauszumessen und diese Werte zu verwenden. 4. Die Aufnahmen der Kameras dienten der Dokumentation von verschiedenen Versuchsaufbauten und für Bildmaterial, dass für Präsentationen (4.12 Praxistransfer) benötigt wurde. Die besonders kleinen und robusten Kameras ermöglichen auch Detail-Aufnahmen des Aggregates, die ohne sie, aufgrund von Sicherheitsabständen und Gefährdung der Mitarbeitenden, nicht möglich gewesen wären. Durch eine im Projekt verwendete Drohne war es in einigen Beständen möglich, die Verteilung der Rinde im Bestand zu skizzieren.

## Rückung des Holzes

Im Zuge der Versuchsreihen wurden Erfahrungen im Bereich der Rückung gesammelt, es wurden aber keine Daten gesondert erhoben und ausgewertet. Die Beobachtungen legen aber nahe, dass für den Bereich Holzlogistik, beginnend bei der Rückung, umfangreichere Erhebungen sinnvoll sind, da es durch die Entrindung zu Einsparungen sowohl beim Volumen als auch bei der Masse des Holzes kommt.

Eine wichtige Erkenntnis bei der Rückung des entrindeten Holzes war, dass die zunächst erwartete Unrückbarkeit des Holzes, schnell überwunden ist. Durch das Abnehmen der Rinde vom Holz ist das Holz zunächst sehr feucht und glatt. Die Verhältnisse gleichen einer Tauchung in Schmierseife. Dadurch entstehen für den Maschinenführer des Rückezuges Probleme beim sicheren Greifen und Laden des Holzes. In ebenen Flächen ist dieses Problem noch relativ gering, jedoch wird es mit zunehmender Hanglänge (abhängig von der Fahrtrichtung des Rückezuges) nahezu nicht möglich, das Holz sicher im Rungenkorb zu transportieren. Auf der Forstbetriebsstraße und am Polterplatz angekommen, ist es aufwendig, mit diesem Holz saubere und vor allem sichere Polter zu erstellen. Durch diese Probleme ergeben sich eine Vielzahl von kurzen Verzögerungen, die am Ende zu einem spürbaren Leistungsverlust des Rückezuges führen dürften. Allerdings ist dieses Problem schnell gelöst, indem man in die Bereitstellungskette zwischen der Holzernte und der Rückung einige Tage Pause einfügt. Bei sonnigen Verhältnissen waren bereits zwei bis drei Tage Zeit zum Abrocknen des aufgearbeiteten Holzes völlig ausreichend, um Holz in einem Trocknungszustand zu erhalten, der eine reguläre Rückung zuließ. Sollte das Wetter nicht direkt sonnig sein, ist es sinnvoll das Holz rund eine Woche ruhen zu lassen, damit es entsprechend abrocknen kann, bevor mit der Rückung begonnen wird.

Einige Sortimente erfordern eine Bereitstellungskette von Holz „just in time“, zum Beispiel Papierholz, das frisch im Werk ankommen soll. Gegeben falls muss auf ein solches Sortiment oder auf die Entrindung verzichtet werden.

## Konventionelle Aufarbeitung mit Entrindungswalzen

In einigen Versuchsreihen wurde getestet, ob es möglich ist mit den umgebauten Harvesterköpfen, also mit Entrindungswalzen, konventionell Holz aufzuarbeiten und ob es hierbei zu Leistungsunterschieden kommt. Durch Arbeitszeitstudien und weitere Beobachtungen konnte festgestellt werden, dass es in den Versuchsreihen dieses Projektes keine Leistungsunterschiede gab. Daraus kann gefolgt werden, dass mit Entrindungswalzen auch Holz ohne zu Entrinden aufgearbeitet werden kann. Der Vorteil dieser Anwendung liegt in der Flexibilität für den Maschinenbetreiber. Es ist damit möglich in ein und demselben Hieb verschiedene Leistungen für verschiedene Sortimente anbieten zu können, ohne einen Harvesterkopfumbau oder Walzenwechsel vornehmen zu müssen. Denkbar wäre zum Beispiel, aus einem Stamm drei oder vier Kurzholzlängen mit Entrindung zu ernten, während für das Industrie- oder Papierholz am Ende des Stammes auf die Entrindung verzichtet wird. Oder: Im aktuellen Hieb wird eine Entrindung zur Borkenkäferprävention durchgeführt, ein weiterer Folgeauftrag erfordert ebenfalls eine Entrindung des Holzes. Dazwischen bietet sich ein dritter, kurzer Auftrag an, für den keine Entrindung gewünscht ist. Es ist nicht notwendig, für den kurzen Zwischenlauftrag die Walzen zu wechseln und im Anschluss wieder umzubauen. Der Maschinenführer kann einfach mit den Entrindungswalzen konventionell aufarbeiten. Er muss lediglich das mehrmalige Durchziehen des Stammes durch das Aggregat unterlassen.

## Verschleiß

Von mehreren Experten wird ein erhöhter Verschleiß am Aggregat, aber vor allem an der Kransäule erwartet. Im Laufe des Projektes war es nicht möglich einen Verschleiß an den entsprechenden Bauteilen zu erkennen. Dies ist sicherlich auf die geringe Aufarbeitungsmenge im Projekt im Verhältnis zu Aufarbeitungsmenge in der Gesamtaufzeit des Harvesters zurückzuführen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die zusätzlichen Stammmanipulationen auch zu zusätzlichen Verschleißerscheinungen führen können. Ob diese so stark werden, dass diese im Verhältnis zur regulären Aufarbeitung messbar werden und somit in der Maschinenkostenkalkulation berücksichtigt werden müssen, kann gegenwärtig nicht beantwortet werden.

### 2.1.5 Hauptstudie: Entrindungsqualität

#### Aufnahmemethoden:

Für die Evaluation und Messung des Entrindungsprozentes wurden in der Projektlaufzeit drei verschiedene Systeme getestet:

1. Netzmessmethode/Knotenzählung
2. Photooptisches Aufnahmeverfahren
3. 3D-Lasergestütztes Aufnahmeverfahren

Die Netzmessmethode wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit von Herrn Marcel Eder an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf getestet. In dieser Arbeit wurden auf "Dummy-Stämmen" vordefinierte Papierformen angebracht, welche entrindete Stellen am Stamm simulierten. Auf diese Stämme wurden im Anschluss Netze mit verschiedenen Maschenweiten aufgelegt und Knotenpunkte innerhalb der "entrindeten" Stellen gezählt, siehe Abbildung 32. Die Maschenweite der Netze diente für den folgenden Schritt zur Kalkulation des Entrindungsprozentes.

## Abschlussbericht Debarking Head I



Abbildung 32: Dummy-Stamm mit definierten Flächen zur Evaluation der Netzmessmethode für Entrindungsprozente Eder, M. 2015)

Das so ermittelte Prozent wurde anschließend mit der bekannten "entrindeten" Fläche (in Abbildung 32 gelbe Flächen) verglichen und die Standardabweichung und der Standardfehler ermittelt. Durch die Verknüpfung der beiden Werte mit der benötigten Zeit pro Aufnahme konnte die optimale Maschenweite für die Bewertung der Entrindung ermittelt werden, siehe Abbildung 33.

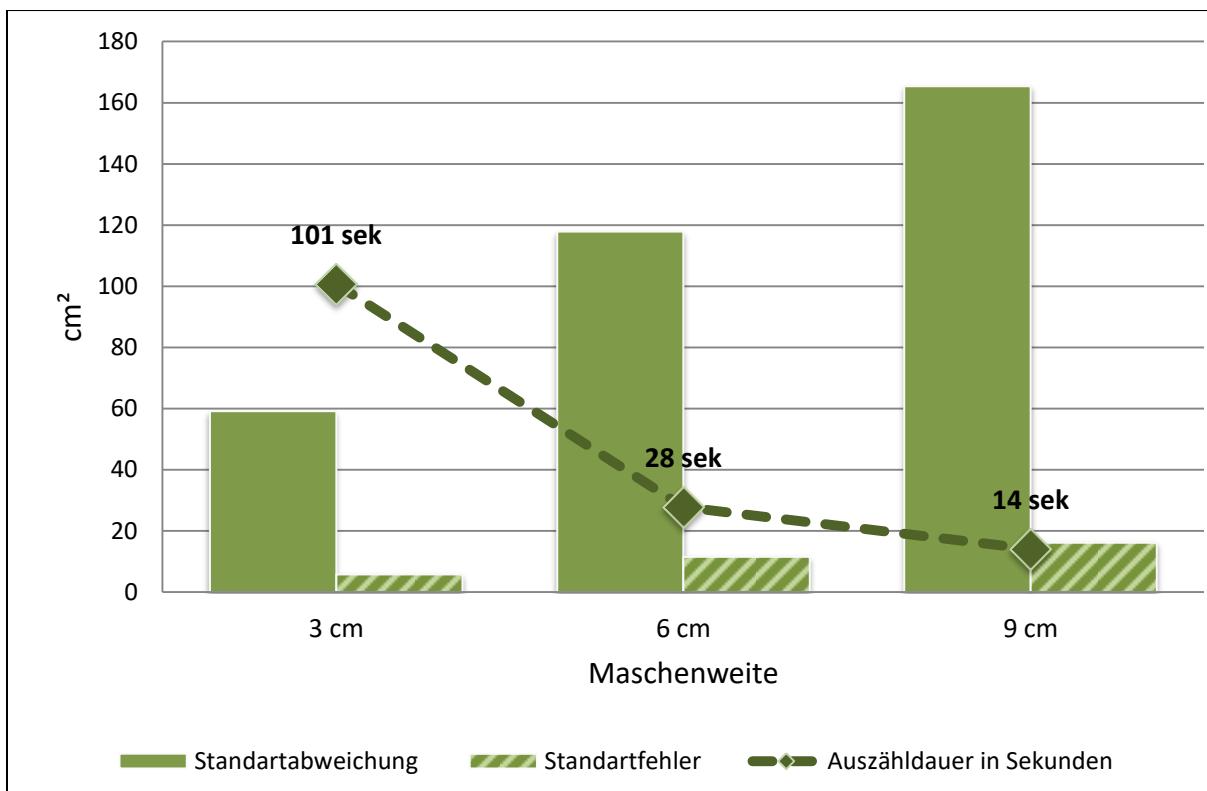


Abbildung 33: Korrelation der Standardabweichung und des Standardfehlers zur Auszählzeit der Knotenpunkte bei verschiedener Maschenweite (Daten Bachelorarbeit, Eder, 2015)

# Abschlussbericht Debarking Head I

Wie erwartet zeigte sich, dass bei der geringsten Maschenweite (3 cm) das Ergebnis die höchste Genauigkeit aufwies, die Auszähldauer sich jedoch vervielfachte. Auf Grund dieser Ergebnisse und der nicht zufriedenstellenden Praktikabilität des Verfahrens wurde entschieden, ein photooptisches Verfahren zu entwickeln.

Die Weiterentwicklung der im folgenden beschriebenen Messsysteme und die Auswertung der Daten geschieht derzeit innerhalb einer Promotion des Projektmitarbeiters Joachim Bernd Heppelmann, in Kooperation mit dem Lehrstuhl für forstliche Verfahrenstechnik an der Technischen Universität München (TUM), unter Leitung von Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle.

Das photooptische Evaluationsverfahren wurde innerhalb des Projekt ins Zusammenarbeiten mit Dr. Stefan Seifert und dem Unternehmen Scimond entwickelt. Es stützt sich auf einfache Photoaufnahmen einer Spiegelreflexkamera. Zusätzlich werden händisch der Anfangs- und Enddurchmesser, sowie die Stammlänge gemessen. Das Photo wird anschließend in das Programm "stemsurf" eingelesen und Polygone werden über die Rindenreste am Stamm gelegt. Zusammen mit den händischen Messdaten errechnet das Programm die Krümmung des Stammes berücksichtigend, das Entrindungsprozent und gibt dieses als Textdatei aus, siehe Abbildung 34.

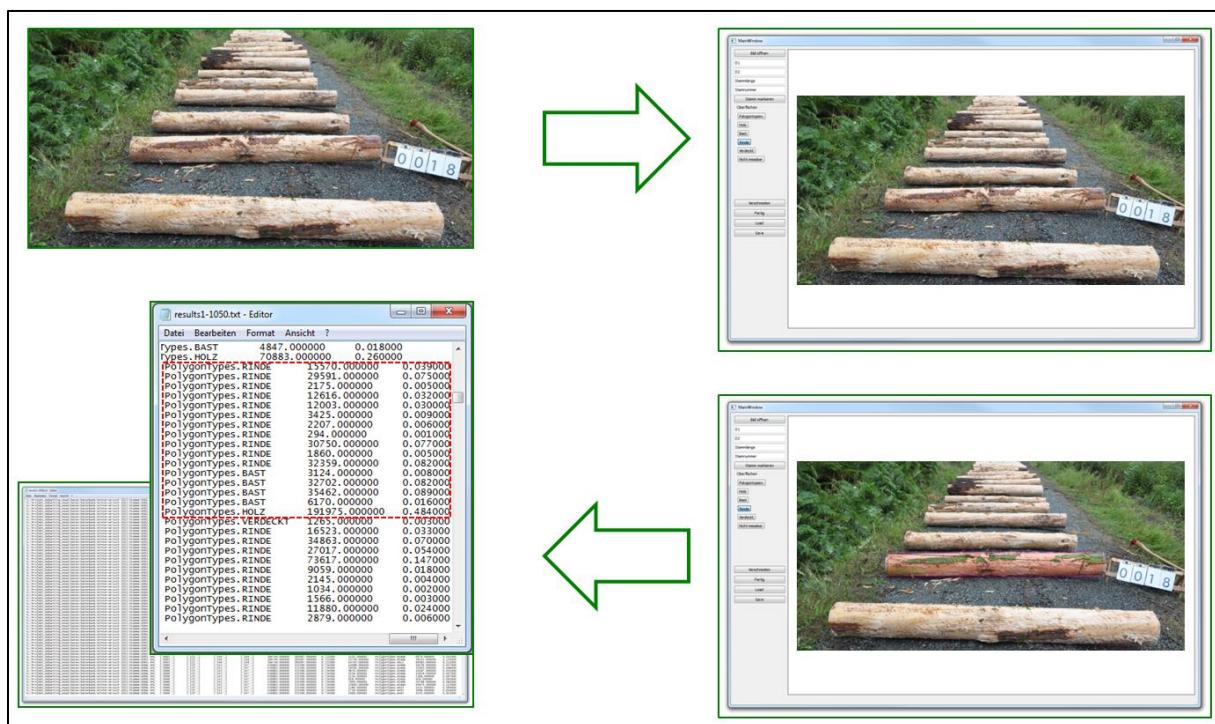


Abbildung 34: Arbeitsschritte bei der Rindenmessung mit stemsurf: 1. Einpflegen der Bilder in das Programm| 2. Definieren der Polygone und Einfügen der Messwerte| 3. Berechnung der Rindenfläche an der Gesamtoberfläche (absolut und relativ)

Tests belegen, dass über eine große Stichprobenanzahl das mittlere Entrindungsprozent äußerst genau die Wirklichkeit abbildet. Jedoch haben die Einzelwerte nur begrenzte Aussagekraft, da bei der photooptischen Analyse nur maximal 50 % der Gesamtoberfläche abgebildet und vermessen werden. Somit ist eine unregelmäßige Verteilung der verbleibenden Rindenrestflächen am Stamm nur bedingt auswertbar. Es wurde daher entschieden, ein weiteres Messverfahren zu testen.

Eine Vermessung der gefällten und entrindeten Stämme mit einem 3D-LiDAR-System bietet viele Vorteile. So können nicht nur verschiedene Aufnahmestandpunkte miteinander verknüpft werden, was ein 3D Bild von allen Seiten des Stammes ermöglicht, sondern auch

physikalische Größen wie Krümmung, Abholzigkeit, Astigkeit, etc. direkt am Computer bestimmt werden. Ohne den Stamm zu drehen, kann so bis zu 90% der Oberfläche erfasst werden, siehe Abbildung 35.

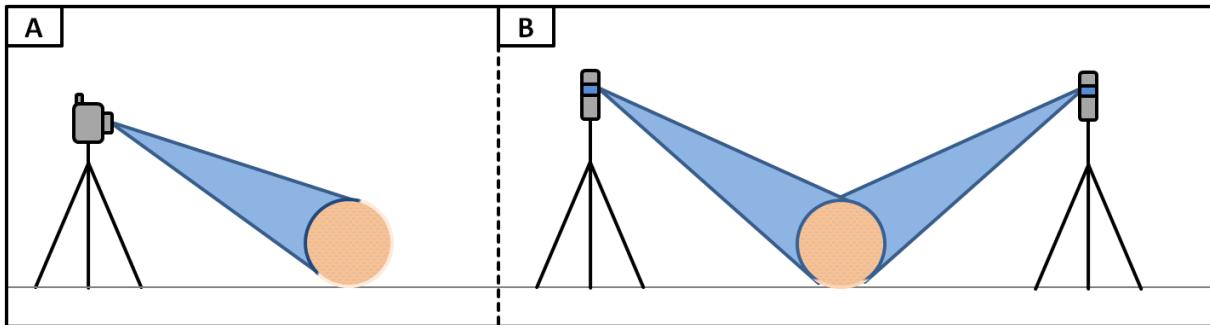


Abbildung 35: A) Messung mit photooptischen Verfahren - max. 50% der Oberfläche| B) Messung mit lasergestütztem Verfahren - bis zu 90% der Oberfläche

Die Aufnahmen wurden mit einem TX5-Laserscanner der Firma Trimble durchgeführt, welcher vom Lehrstuhl für forstliche Verfahrenstechnik/TUM zur Verfügung gestellt wurde. Ein weiterer großer Vorteil ist die Möglichkeit, mehrere Stämme mit wenigen Standpunkten gleichzeitig zu vermessen und physikalische Werte wie: Länge, Durchmesser, etc. direkt im Büro bestimmen zu können, was einen positiven Einfluss auf die Genauigkeit und Wetterunabhängigkeit der Versuche hat, siehe Abbildung 36. Die Ermittlung des Entrindungsprozentes soll ebenfalls über stemsurf erfolgen, nachdem das 3D-Modell des Stammes in eine 2D-Oberfläche abgerollt wurde. Dieser Vorgang befindet sich derzeit weiterhin in der Entwicklung und wird baldmöglichst für die erhobenen Daten eingesetzt. Durch diesen Schritt kann die Problematik der Verzerrung durch die Krümmung eines Stammes gelöst werden.



Abbildung 36: Links: 3D-Punktwolke aufgenommener Stämme zur Untersuchung der Entrindungsqualität; Rechts: Im Projekt verwendet Laserscanner der Firma Faro

### **Entrindungsergebnis**

Die Versuchseinsätze zeigen vielversprechende Ergebnisse. Auch mit geringen technischen Modifikationen war es besonders in den Sommer-Monaten möglich, hervorragende Ergebnisse zu erzielen. Sowohl für Fichte als auch Kiefer lag das durchschnittliche Entrindungsprozent zwischen 74 und 90 %. Die Rinde wurde von den Entastungsmessern gut aufgenommen und häufig in meterlangen Stücken (insbesondere Fichte) abgelöst, siehe Abbildung 37. In den Wintermonaten wirkte sich der Verlust der Trennschicht zwischen Rinde und Holz, durch die Einstellung des Saftflusses im Phloem, spürbar negativ auf das Entrindungsergebnis aus. Die Entastungsmesser waren oft nicht in der Lage, die Rinde aufzunehmen und in großen Stücken abzulösen. Das Entrindungsprozent sank deutlich auf unter 54 %. Gleichzeitig nahmen die Holzbeschädigungen im Vergleich zum Sommer zu. Der Einfluss der Jahreszeiten auf Holzbeschädigung wird derzeit an der TUM in einer Bachelor- und Masterarbeit untersucht. Erste Ergebnisse sind im Anhang des Berichtes dargestellt. Sie zeigen, wie sich die Eindrucktiefe der Vorschubwalzen auf die Qualität des entrindeten Holzes auswirkt.



Abbildung 37: 6 m langer Rindenabzug - typisch für Fichte in der Vegetationszeit

### **Entrindungsprozent**

Wirft man einen ersten Blick auf den Datensatz von 1720 vermessenen Stammabschnitten, wird deutlich, dass vor allem durch die unterschiedlichen Jahreszeiten deutliche Abweichungen innerhalb der gemessenen Entrindungsprozente existieren. Eine Ausnahme bildet hierbei der Ponsse Winterversuch (V5), da dieser auf Grund der schwierigen Verfügbarkeit der Maschine im späten April und somit im Wechsel zur Vegetationsperiode stattfinden musste, siehe Abbildung 38. Während des Versuch-Einsatzes zeigte sich, dass die gefällten Bäume schon im Saft standen und somit Entrindungswerte ähnlich der Sommerergebnisse aufweisen. Dieser Versuch wird daher im fortlaufenden zwar als Winterversuch betitelt, sollte aber als ein weiterer Sommerversuch verstanden werden.

Ebenfalls Auffälligkeiten finden sich bei dem Sommerversuch von LogMax (V6). Aufgrund der bayernweit auftretenden Borkenkäferschäden und dem damit einhergehenden Frischholz-Einschlagstopps der Bayerischen Staatsforsten, fanden die Versuche V6 und V7

mit Käferholz statt. Ein Borkenkäferbefall am Baum jedoch bewirkt eine Limitierung des Saftflusses und Assimilat-Transportes, bis hin zum Absterben des Baumes.

Aus diesem Grund wurde im LogMax Sommerversuch (V6) eine große Bandbreite an Entrindungswerten gemessen. Dieser Effekt scheint im Ponsse Sommerversuch (V7) deutlich weniger stark ausgeprägt. Dies könnte in Zusammenhang mit der Funktionsweise der vollzogenen Modifikationen liegen. Während wie Eingangs beschrieben (Abbildung 8) am LogMax-Aggregat lediglich die Walzen getauscht wurden, waren die Modifikationen am Ponsse-Aggregat deutlich umfangreicher. Eine Modifikation der Entastungsmesser scheint somit für die Aufarbeitung von Käferholz vorteilhaft, da somit Beeinträchtigungen der Entrindung durch Störungen im Saftfluss ausgeglichen werden können. Dennoch können auch Fahrer und Maschine, sowie bestands-typische Parameter für die Abweichungen verantwortlich sein.

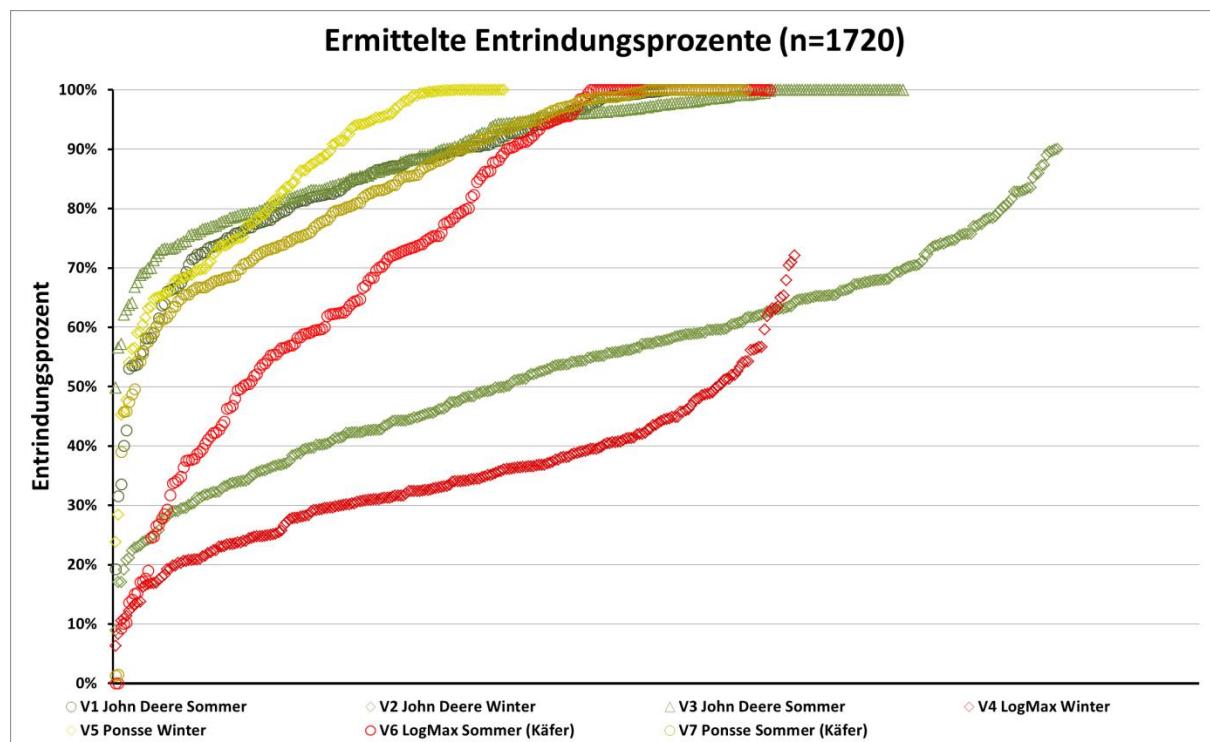


Abbildung 38: Auflistung der im Projekt gemessenen Entrindungsprozente unterteilt nach Versuchseinsätzen

Betrachtet man die gebildeten Mittelwerte über die beiden Hauptbaumarten hinweg für die einzelnen Versuchseinsätze, bestätigt sich die Annahme, dass die Entrindung im Sommer signifikant besser funktioniert. Die Mittelwerte schwanken im Sommer zwischen 90% und 74% und im Winter zwischen 54% und 35%, siehe Abbildung 39. Der Ponsse Winterversuch (V5) sollte aus den oben genannten Gründen extra betrachtet und gewertet werden. Zum jetzigen Zeitpunkt empfiehlt sich das System vor allem für die Sommermonate.

Für die Wintermonate besteht somit noch Optimierungsbedarf um die Entrindungsqualität anzugeleichen. Ein Lösungsansatz wäre die Modifikation des Aufarbeitungsprozesses um den Baum, anstatt der im Versuch angewandten drei Überfahrten, fünf bis neun Mal zu überfahren. Dies bedingt allerdings eine weitere Senkung der Produktivität und verstärkt die Holzbeschädigungen. In den Plantagen auf denen sich das System dauerhaft im Einsatz befindet, sind fünf bis neun Überfahrten gängige Praxis, da die Entrindung im Vordergrund steht und Holzbeschädigungen für die Zellstoffproduktion von geringem Interesse sind.

Zusätzlich konnte eine Steigerung des Entrindungsprozentes innerhalb der beiden John Deere Sommerversuche (V1 und V3) beobachtet werden. Dies lag maßgeblich an 2 Faktoren:

1. Die gesteigerte Erfahrung des Maschinenführers
2. Die verbesserten Ausgangsbedingungen (Durchmesser, Wuchsform, etc.) im Bestand des zweiten Sommerversuches (V3).

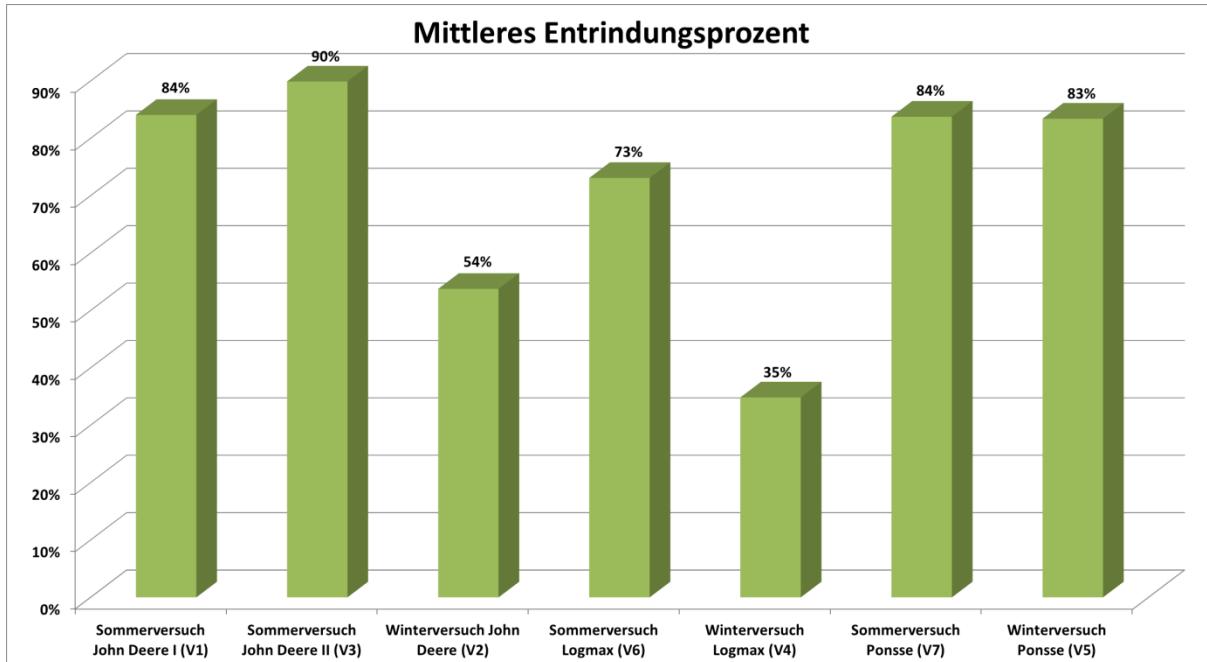


Abbildung 39: Auflistung der gemittelten Entrindungsprozente über die Baumarten hinweg für die einzelnen Versuchseinsätze

Innerhalb der Häufigkeitsverteilung der Entrindungsgrade der Versuche ergibt sich ein charakteristisches Bild für die untersuchten Jahreszeiten, siehe Abbildung 40. Im Sommer akkumulieren sich die Entrindungsprozente an der oberen Grenze. Ausreißer und niedrigere Entrindungsprozente nehmen mit fallender Tendenz in ihrer Häufigkeit ab. Für die Häufigkeitsverteilung der Entrindungsprozente in den Winterversuchen bildet sich das Maximum der Häufigkeit für den Versuch V2 bei 55 % und für V4 bei 35 %. Auffällig ist, dass es in gleichen Maßen Abweichungen sowohl in den höheren als auch niedrigeren Bereich gibt und die Häufigkeitsverteilung eine Normalverteilung bildet. Dies bedeutet, dass der oben angegebene Mittelwert ein gutes Maß für die Wirklichkeit bildet.

# Abschlussbericht Debarking Head I

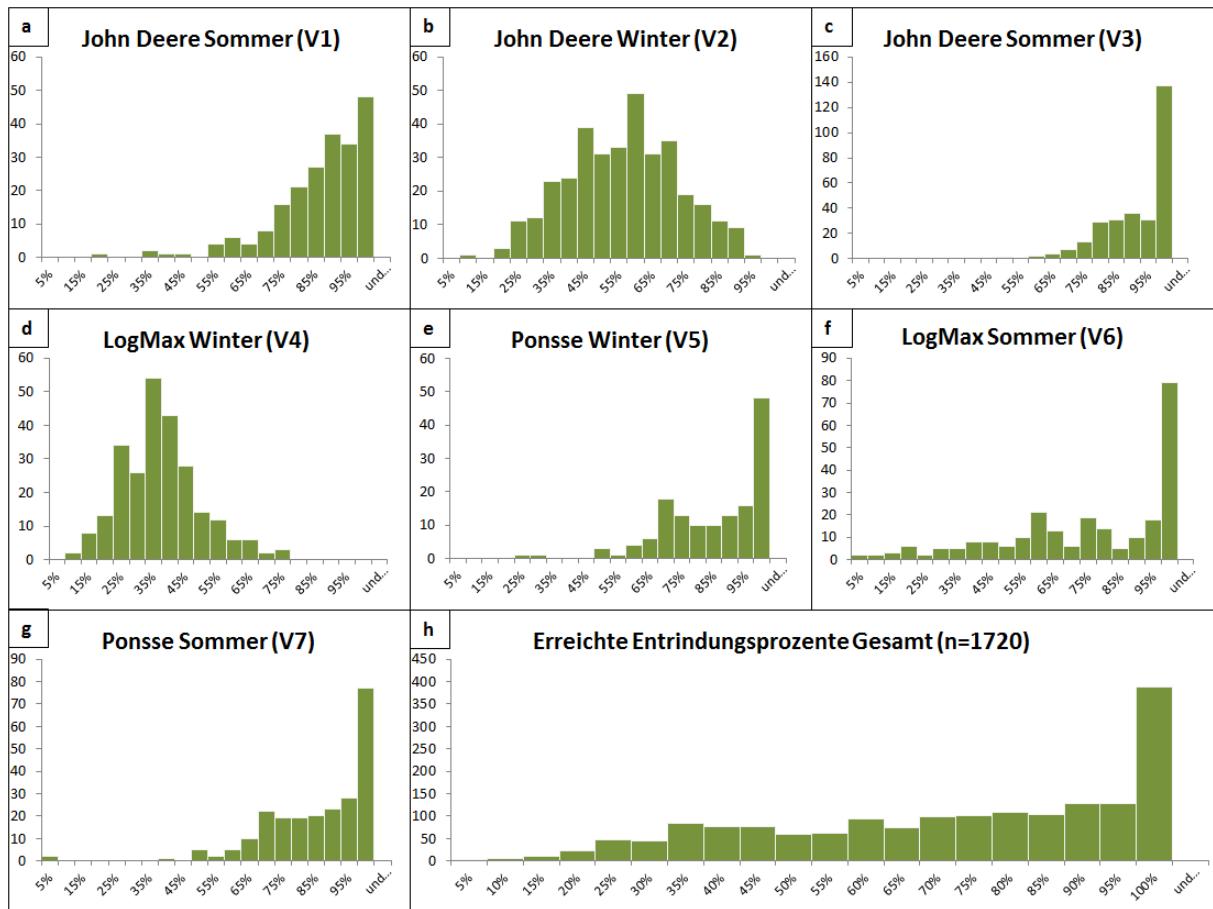


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Entrindungsprozente

Bei einem Blick auf die gemittelten Entrindungsergebnisse der zwei untersuchten Hauptbaumarten (Fichte und Kiefer), ergeben sich auch hierbei einige Unterschiede, siehe Tabelle 4. Aufgrund der Standortbedingungen und Ausgangssituationen (Einbindung in den laufenden Fällbetrieb, Borkenkäferproblematik, Frischholzeinschlagstopp, etc.) konnten nicht bei allen Versuchen Daten zu beiden Baumarten gleichermaßen erhoben werden. So wurden im Versuchseinsatz V3 ausschließlich Kiefern und in den Einsätzen V7 und V8 ausschließlich Fichten (mit Käfer befallen) geerntet. Dennoch lässt sich abschließend sagen, dass sich beide Baumarten bei der Entrindung ähnlich verhalten. Im Sommer lässt sich die Fichte geringfügig besser entrinden, da durch die flächige Struktur der Rinde, diese in langen Stücken abgelöst werden kann, wohingegen die Rinde der Kiefer gerade am unteren Bereich durch die schuppige Struktur stärker fragmentiert wird. Im Winter kehrt sich dieser Effekt um, da die schuppige Borke den Entastungsmessern eine größere Angriffsfläche zu bieten scheint, siehe Tabelle 4.

Tabelle 4: Auflistung der ermittelten Entrindungsprozente nach Baumarten

	Sommer-versuch John Deere I (V1)	Sommer-versuch John Deere II (V3)	Winter-versuch John Deere (V2)	Sommer-versuch Logmax (V6)	Winter-versuch Logmax (V4)	Sommer-versuch Ponsse (V7)	Winter-versuch Ponsse (V5)
Fichte	87%		43%	73%	35%	84%	85%
Kiefer	82%	90%	56%		38%		81%
Gesamt	84%	90%	54%	73%	35%	84%	83%

### **Einfluss des Stammdurchmessers auf das Entrindungsprozent**

Die Versuche haben gezeigt, dass der Stammdurchmesser einen gewissen Einfluss auf das Entrindungsprozent hat. Dies hängt zum einen mit dem Verlust der Griffigkeit der Vorschubwalzen bei kleiner werdendem Durchmesser zusammen, zum anderen an dem Umstand, dass kleinere Durchmesser meist am Ende in der Krone auftreten, an einem Punkt, an dem die Entrindung durch eine arme Wuchsform und hohe Astigkeit zusätzlich eingeschränkt ist.

Untersucht man die Entrindungsprozente getrennt nach Baumart, Jahreszeit und Durchmesserkategorie kann diese Beobachtung aus dem Feld jedoch nicht zweifelsfrei bestätigt werden, siehe Abbildung 41. Hierzu müssen weitere Daten ausgewertet werden, um den Stichprobenumfang zu erhöhen.

Um die Einflussfaktoren Astigkeit, Krümmung, Abholzigkeit und Wuchsform auf die Entrindung zu bestimmen, werden die gewonnenen 3D-Laserdaten weiterführend durch die Promotion ausgewertet und in einem anschließenden Projekt verwendet (FKZ: 22028316). Dies ist wichtig, um ein besseres Verständnis für die Problematiken bei der Entrindung europäischer Baumarten mit entrindenden Harvesterfällköpfen zu bekommen.

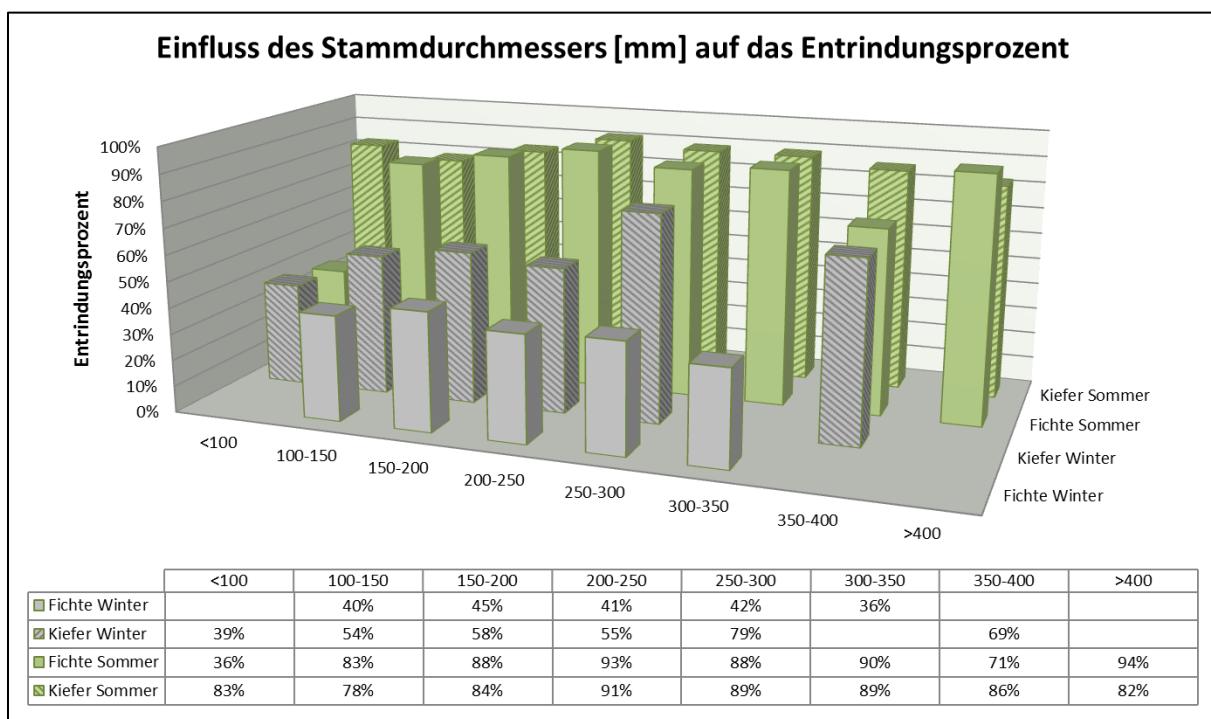


Abbildung 41: Aufteilung der mittleren Entrindungsprozente nach Jahreszeiten und Durchmesserkategorien für die untersuchten Baumarten

## 2.1.6 Arbeitspaket: Bewertung und Auswirkung auf den Nährstoffhaushalt

Die Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt wurden von Frau Julia Fangauer im Rahmen Ihrer Abschlussarbeit an der Hochschule Weihenstephan bearbeitet. Im Folgenden wird aus dieser Arbeit zitiert:

In einem natürlichen Stoffkreislauf, der nicht anthropogen beeinflusst ist, erfolgt ein Biomasseaustrag durch Boden- und Streuerosion, Auswaschung und gasförmige Verluste (Krapfenbauer und Buchleitner 1981). Im Wirtschaftswald tritt zudem ein Nährstoffaustrag durch Biomasseentzug infolge von Begründungs-, Pflege- und Holzerntemaßnahmen auf (Ulrich et al. 1975). Die dadurch entzogenen Nährstoffe müssen durch den Stoffeintrag und die Nährstofffreisetzung durch Bodenverwitterung ausgeglichen werden. Bei intensiver Nutzung ist dies oft nicht mehr möglich und es kommt zu Bodenversauerung, geringerem Wachstum und niedrigeren Elementgehalten (Kölling et al. 2007; Göttlein und Weis 2011).

Kalium, Calcium und Magnesium sind sogenannte Basenkationen und damit für den Säurestatus der Böden verantwortlich. Stickstoff und Phosphor hingegen sind am Aufbau der Baumbiomasse und am Stoffwechsel der Bäume beteiligt (Kölling 2013). In Abbildung 42 werden die prozentualen Anteile der Rinde am Vorrat der einzelnen Nährstoffe dargestellt.

In den letzten Jahren wurden auch bisher nicht verwertbare Teile der Biomasse, wie die Äste, Nadeln und Blätter, zusätzlich genutzt. Die Ursachen liegen zum einen in der Attraktivität der thermischen Nutzung aufgrund der hohen Nachfrage nach Energieholz und der, durch den Klimawandel bedingten, steigenden Borkenkäferproblematik. Davon betroffen ist vor allem die Baumkrone (Kölling 2010).

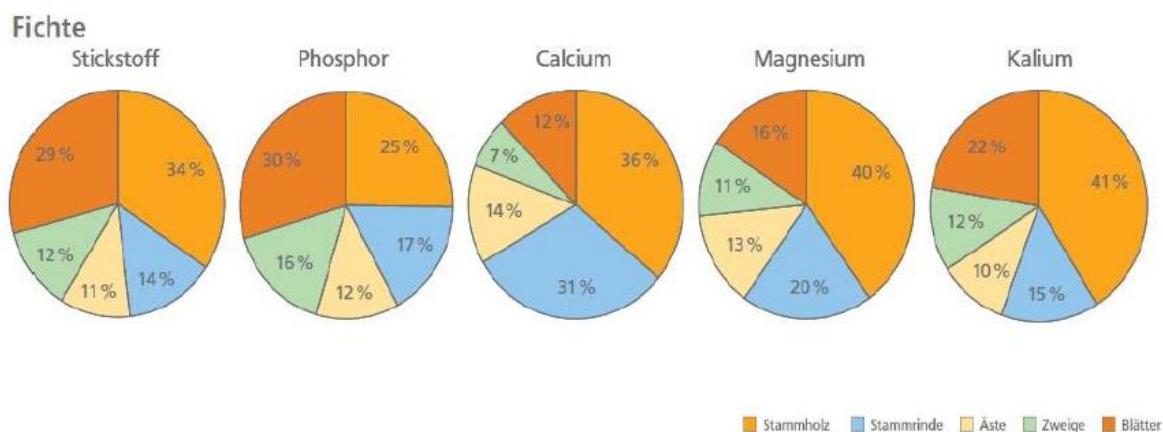


Abbildung 42: Nährstoffgehalte der einzelnen Baumkompartimente der Fichte (Weiß und Göttlein 2012)

Die Entrindung mittels Debarking Head stellt demnach eine gute Möglichkeit dar, zusätzlich je nach Nährelement zwischen 14 und 31 Prozent der im Regelverfahren der Holzernte entnommenen Nährstoffe im Bestand zu belassen und die Fertilität des Bodens zu bewahren. Wie Abbildung 43 zeigt, gibt es allein in Bayern einige Standortbereiche, auf denen eine Entrindung aus nährstofffachlicher Sicht vorteilhaft wäre.

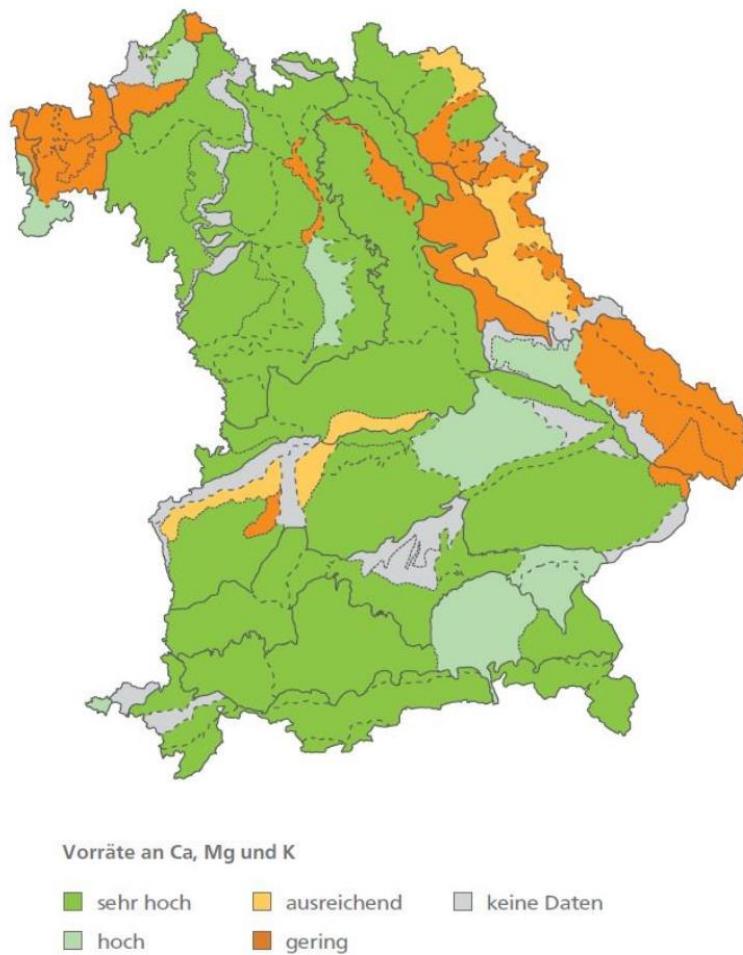


Abbildung 43: Karte Bayern - Austauschbare Vorräte an basisch wirkenden Kationen bis in 30 cm Bodentiefe (Kölling et al. 2007)

Je nach Durchforstungszeitpunkt können durch Entrindung unterschiedlich große Mengen an Nährstoffen potentiell im Bestand verbleiben. Im Grunde gilt: Desto später der Erntezeitpunkt, umso höher der Nährstoffaustrag, wenn nicht entrindet wird, siehe Abbildung 44.

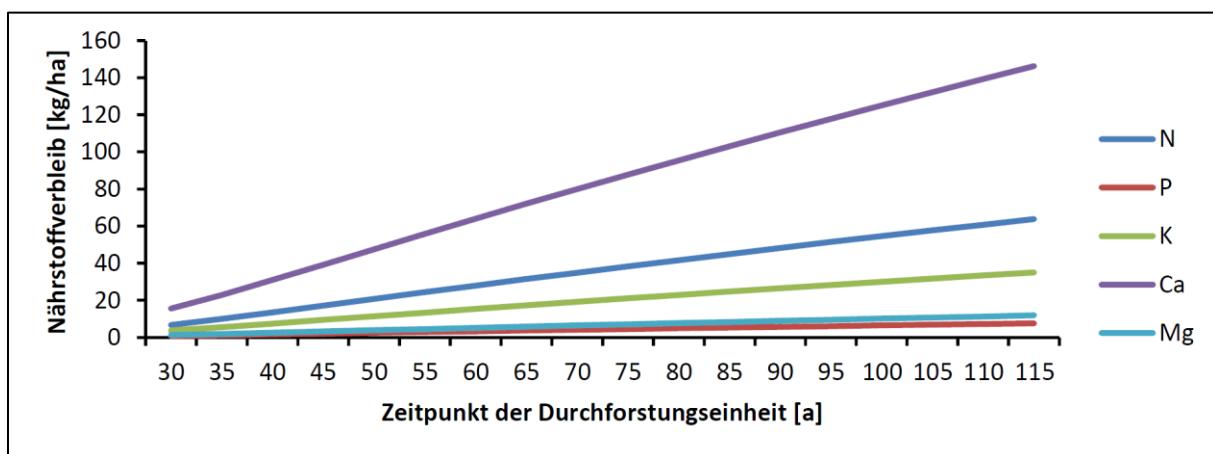


Abbildung 44: Verbleibende Nährstoffmengen bei Verwendung eines entrindenden Harvesteraggregates während der Zwischennutzungen in [kg/ha\*a] (Fangauer 2017)

# Abschlussbericht Debarking Head I

Der durchschnittliche Nährstoffverbleib in g/fm geerntetes Holz wird in Tabelle 5 aufgeführt:

Tabelle 5: Nährelementverbleib [g/fm] unter Einsatz eines entrindenden Harvesteraggregates (Fangauer 2017)

Nährelement	N	P	K	Ca	Mg
Nährstoffverbleib [g/fm]	92,41	10,89	50,78	211,85	17,12

Weiter wurde der durchschnittliche Gesamtbedarf an Nährstoffen eines Fichtenbestandes betrachtet. Von diesen Werten ausgehend, wurden die Anteile des Bedarfs, die bereits durch die Verwendung der einzelnen Aggregattypen gedeckt werden, berechnet. In Tabelle 6 und Abbildung 45 werden der durchschnittliche Gesamtbedarf von Fichtenbeständen in [kg/ha] in Anhalt an Weis und Göttlein (2012) sowie die prozentualen Anteile der verbleibenden Rinde durch (Teil-) Entrindung von Aggregaten am Bedarf aufgeführt.

Tabelle 6: Deckung des gesamten Nährstoffbedarfs über 120 Jahren durch entrindende und konventionelle Harvesteraggregate (Fangauer 2017)

Nährelement	Bedarf [kg/ha]	Debarking Head [%]	Konventionell [%]
N	1974	8 %	1 %
P	156	12 %	1 %
K	744	11 %	1 %
Ca	2040	17 %	2 %
Mg	216	13 %	1 %

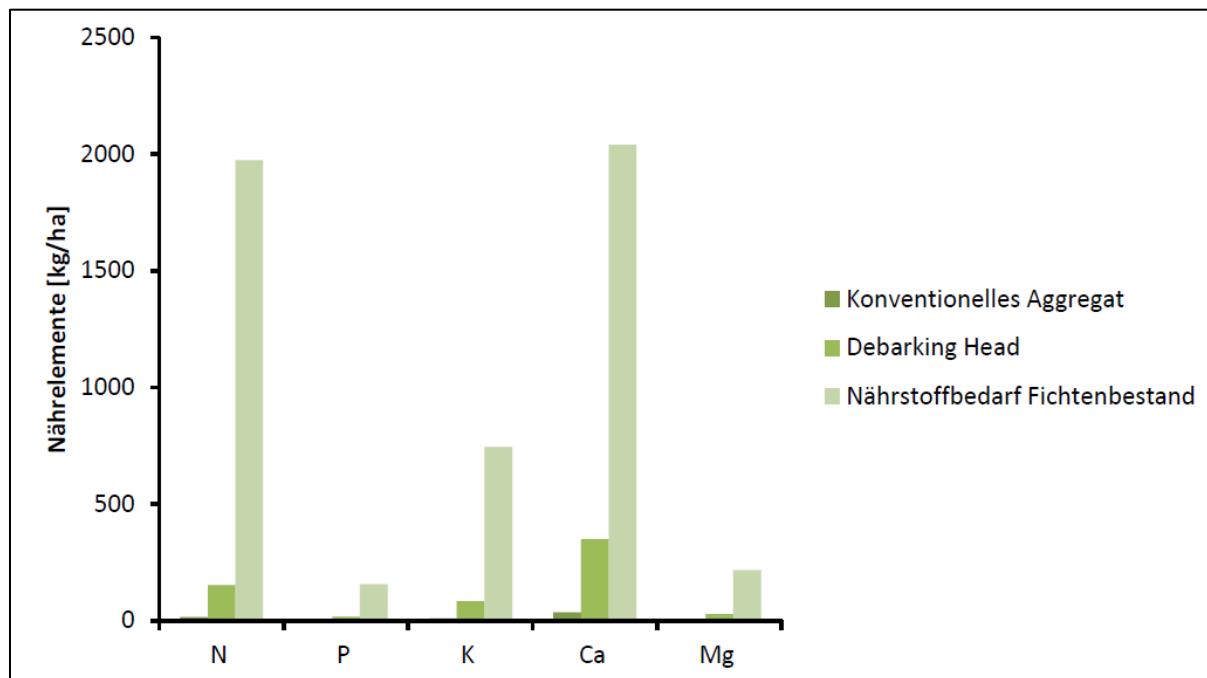


Abbildung 45: Darstellung des Nährelementbedarfs [kg/ha] eines Fichtebestandes sowie der Nährstoffmengen [kg/ha], die durch konventionelle und entrindende Aggregate im Bestand verbleiben (Fangauer 2017)

## Abschlussbericht Debarking Head I

Insgesamt bleiben somit bei einer Vollnutzung mit einem entrindenden Harvesteraggregat rund 630 kg/ha rindengebundene Nährstoffe im Bestand zurück. Bei der konventionellen vollmechanisierten Ernte sind es im Vergleich nur rund 64 kg/ha, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Vergleich des **Nährstoffverbleibs in [kg/ha]** bei Einsatz von konventionellen und entrindenden Harvesteraggregaten über eine **Umrübszeit von 120 Jahren** (Fangauer 2017)

Einheit	Harvesteraggregat	Nutzungsvariante	N	P	K	Ca	Mg
[kg/ha]	Konventionelles Aggregat	Zwischennutzung	6,38	0,75	3,51	14,63	1,18
		Endnutzung	9,19	1,08	5,05	21,06	1,70
		Gesamtnutzung	<b>15,78</b>	<b>1,86</b>	<b>8,67</b>	<b>36,18</b>	<b>2,92</b>
	Debarking Head	Zwischennutzung	63,76	7,52	35,03	146,18	11,81
		Endnutzung	88,80	10,47	48,79	203,59	16,45
		Gesamtnutzung	<b>152,56</b>	<b>17,99</b>	<b>83,83</b>	<b>349,77</b>	<b>28,26</b>

Kalkuliert man zusätzlich die Kosten für eine theoretische Rückführung dieser Rohstoffe als Mineraldünger, basierend auf Zahlen von Weiß und Göttlein (als Kompensation zum Entzug der Nährstoffe ohne Entrindung), ergibt sich ein Einsparpotential von rund 2700 €/ha und Umrübszeit bei der Nutzung eines entrindenden Harvesterfällkopfes, siehe Tabelle 8.

Tabelle 8: Kosten für die Rückführung der Nährstoffe in [€/ha] (Fangauer 2017)

Einheit	Harvesteraggregat	Nutzungsvariante	N	P	K	Ca	Mg	Gesamt
[€/ha]	Konventionelles Aggregat	Zwischennutzung	432,22	51,59	93,82	77,48	10,54	665,66
		Endnutzung	601,98	71,85	130,67	107,91	14,69	927,09
		Gesamtnutzung	<b>1034,20</b>	<b>123,43</b>	<b>224,50</b>	<b>185,39</b>	<b>25,23</b>	<b>1592,75</b>
	Debarking Head	Zwischennutzung	61,55	7,35	13,36	11,03	1,50	94,79
		Endnutzung	85,72	10,23	18,61	15,37	2,09	132,01
		Gesamtnutzung	<b>147,27</b>	<b>17,58</b>	<b>31,97</b>	<b>26,40</b>	<b>3,59</b>	<b>226,80</b>

Ein wichtiger Faktor ist auch die Verteilung der Rinde im Bestand. Verfahrensbedingt werden die Bäume in sog. **Aufarbeitungskorridoren** entrindet. Das hängt mit dem Platzbedarf des Verfahrens zusammen, um die Stämme in voller Länge manipulieren zu können. Je nach Platzbedarf werden deshalb sequenziell mehrere Bäume in einem Korridor aufgearbeitet und die Rinde dort konzentriert. Da es jedoch unproduktiv wäre, weiterentfernte Bäume in denselben Korridor zu ziehen, entstehen entlang der Rückegasse in unregelmäßigen Abständen **Rindenakkumulationen**. Diese Rindenhaufen befinden sich nur selten direkt auf der Rückegasse, sondern meist ein bis zwei Meter neben der Rückegasse und somit auf unbeeinflussten Boden, siehe Abbildung 46. Durch weitere Verfahrensmodifikationen kann die flächige Verteilung im Bestand noch weiter optimiert werden.

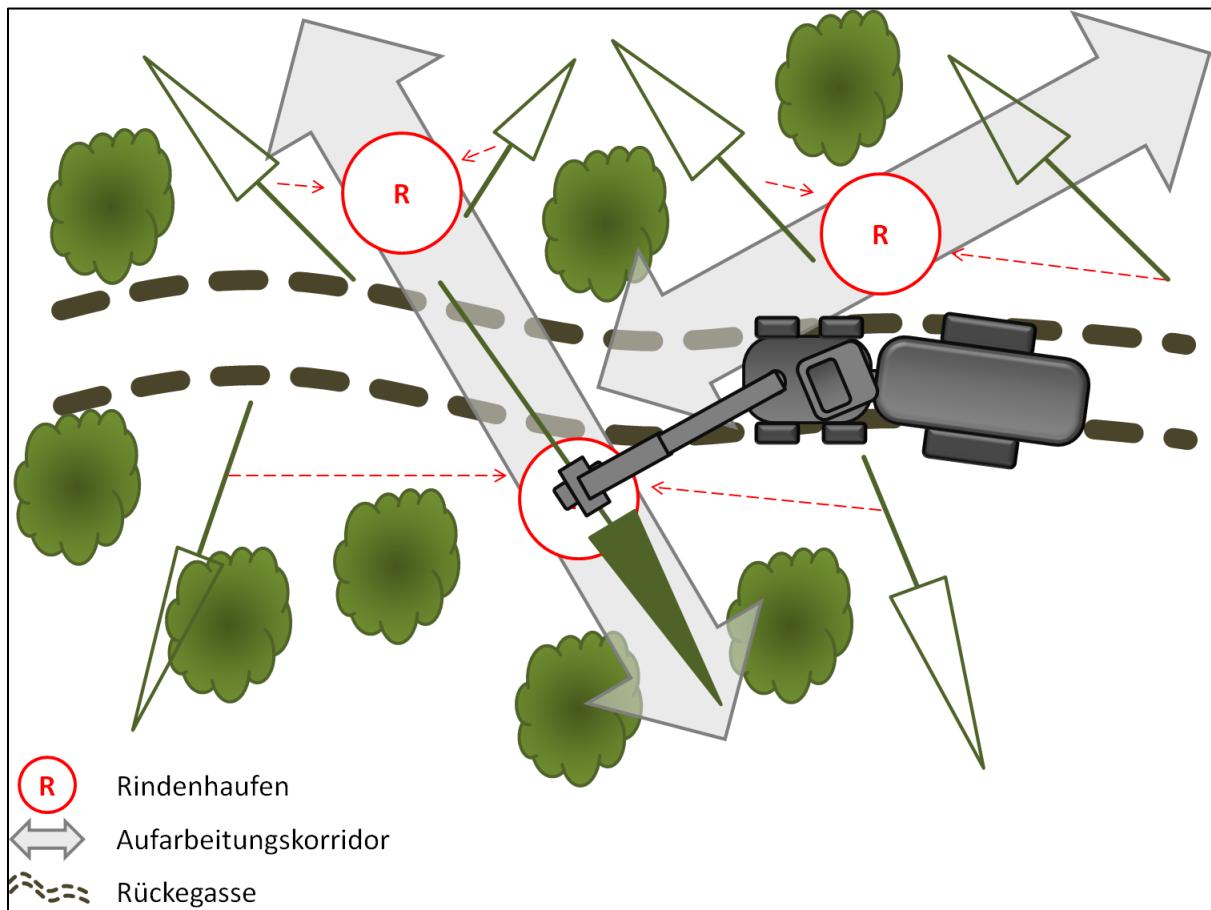


Abbildung 46: Skizze zur Verteilung von Rindenakkumulationen bei Entrindung im Bestand

## 2.1.7 Arbeitspaket: Ökonomische Bewertung

Die reine Aufarbeitungszeit des Stammes nahm unter den Versuchsbedingungen rund ein Drittel mehr Zeit in Anspruch. Die Gesamtleistung Fm/MAS, des Verfahrens frei Waldstraße, reduziert sich damit aber lediglich um rund 10%. Dies wird bedingt durch viele Faktoren, welche ebenfalls die Arbeitsproduktivität bei einer regulären Aufarbeitung mit einem Harvester beeinflussen (z. B. Vertrautheit des Fahrers mit der Maschine und dem Verfahren, Geländeverhältnisse, Tageszeit, Witterung, H/D-Verhältnis der Bäume, sachliche Verteilzeiten).

Besonders starken Einfluss haben folgende Faktoren:

- **Jahreszeit**

In den Versuchen hat sich herausgestellt, dass sich in der Vegetationszeit ein Entrindungsprozent von rund 87% für die Baumarten Kiefer und Fichte erreichen lässt. Die Baumarten Douglasie, Lärche, Buche und Eiche verhielten sich ähnlich, der Entrindungsgrad wurde aber nicht in repräsentativer Menge erfasst. Im Winter ließ sich die Rinde deutlich schlechter vom Stamm entfernen, was auch zu einer höheren Beschädigung des Holzkörpers führte. Im Durchschnitt wurde hier eine Entrindung von 55% bei der Kiefer und 41% bei der Fichte erreicht.

- **Formigkeit des Holzes**

Die Formigkeit hat einen deutlichen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität und die Entrindungsqualität. Bei starken Krümmungen im Holz werden Bereiche vor und nach der Krümmung nicht oder nur schlecht von den Entastungsmessern erreicht.

- **Baumart**

Bei den Baumarten Kiefer, Buche, Eiche kommt es in der Vegetationszeit vernachlässigbar selten, bei den Baumarten Fichte, Douglasie, Lärche oft vor, dass beim Abschieben langer Rindenstreifen ein Rindenstück zwischen Stamm und Messrad gerät und so verhindert, dass das Messrad (ob des fehlenden Kontaktes zum Stamm) sich dreht. Das Aggregat „verliert“ hierbei das Maß, die Steuerung „weiß“ zu diesem Zeitpunkt nicht mehr, an welchem Teil des Stammes das Aggregat steht und welche Strecke seit dem letzten Nullschnitt zurückgelegt wurde. Der Fahrer muss den Stamm aus dem Aggregat lassen, 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.

Die folgenden Zahlen in Tabelle 9 resultieren ausschließlich auf einem Versuch in Kiefer im Juni/Juli 2015 in Niedersachsen. Im selben Bestand wurden Arbeitsstudien zur konventionellen und zur Aufarbeitung mit Entrindung durchgeführt (selber Bestand, selber Harvester, selber Fahrer).

Der Mehrzeitbedarf ist nicht als abschließend zu bewerten und wurde nur für die Beispielrechnung (in einer realistischen Höhe) festgelegt. Der tatsächliche Mehrverbrauch an Kraftstoff liegt vermutlich niedriger, da beim Versuch mit der Entrindung (gegenüber konventioneller Aufarbeitung) die Außentemperatur ungleich höher war. U. a. Klimaanlage und Kühler verzerren hier das Ergebnis.

# Abschlussbericht Debarking Head I

Tabelle 9: Aufstellung der Kostenkalkulation unter Berücksichtigung des Produktivitätsverlustes durch die Entrindung

Nadelholz Kie/(Fi)				
ausscheidender Bestand	Fm o.R./Abschnitt	0,18		
BHD cm m.R.	20			
Arbeitsproduktivität		Harvester mit normalem Aggregat	Harvester mit entrindendem Aggregat	Differenz %
Aufarbeitung mit Harvester	Fm/MAS	12,3	11,1	-9,8
Rücken mit Forwarder	Fm/MAS	9,0	9,0	
<b>Kosten</b>				
Aufarbeitung mit Harvester	€/Fm	13,01	15,05	15,7
Rücken mit Forwarder	€/Fm	12,22	12,22	
<b>Gesamtkosten</b>	€/Fm	<b>25,23</b>	<b>27,27</b>	<b>8,1</b>
Kostensätze (Unternehmersätze): Maschine inkl. Lohn/LNK		Harvester mit konventionellem Aggregat	Harvester mit entrindendem Aggregat	
		€/MAS	€/MAS	
Fällen/Aufarbeiten Harvester		160,00	167,00	
Rücken mit Forwarder		110,00	110,00	

Um die schlussendlichen Mehrkosten pro Festmeter für den Forstunternehmer beziffern zu können müssen jedoch noch weitere Kostenfaktoren berücksichtigt werden:

- Investitionskosten für Umrüstsätze
- Standzeiten der Maschine für Umbauten
- Minderleistung während Einarbeitungszeit für Maschinenführer
- Höherer Verschleiß der Maschine

Einen pauschalen Gesamt-Mehr kostenaufwand anzugeben ist mit Abschluss des Projektes nicht möglich, da z.B. die Investitionskosten für die Umrüstung von Seiten der Hersteller noch nicht angegeben werden kann und höchst wahrscheinlich sehr unterschiedlich ausfallen wird. Auch werden Daten zum Verschleiß erst nach längerer Zeit des Einsatzes im Vergleich zu konventionellen Fällköpfen bezifferbar sein. Eine vorsichtige Kostenschätzung ist derzeit, abhängig von den Ausschreibungsmöglichkeiten, ein Kostenmehraufwand pro Festmeter von bis zu 5€/fm in der Holzernte.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Die ersten Hochrechnungen zeigen zudem, dass dieses System der Entrindung im Vergleich mit dem nächsten Konkurrenten, der mobilen Entrindungsanlage Vorteile bieten kann:

Tabelle 10: Vergleichende Gegenüberstellung, mobile Entrindungsanlage und Debarking Head

mobile Entrindung	Debarking Head
ca. 5€/fm*	bis zu 5€/fm**
Extra Maschine	Harvester
Transport Maschine	Umbau Harvester
hohe Treibstoffmehrkosten	geringe Treibstoffmehrkosten
zusätzlicher Arbeitsschritt	Einbindung in den Ernteprozess/ Verringerung der Arbeitsproduktivität
gutes Entrindungsergebnis***	gutes Entrindungsergebnis***
zusätzliche Planung für Entrindungszug notwendig	keine weitere Planung notwendig/ Einbindung in den Ernteprozess
Entrindung punktuell außerhalb	Entrindung flächig im Bestand
aktive Rückführung der Nährstoffe notwendig	Nährstoffe verbleiben direkt im Bestand (flächig verteilt neben den Rückegassen)

\* abhängig von Angebot; Maschine; Transportentfernung; Baumart; Durchmesserklasse; Fahrer; etc. (Löffler, 1991, S.186)  
\*\* abhängig von Bestand; Maschine; Fahrer; Altersklasse/Durchmesserklasse; Baumart; Jahreszeit; etc.  
\*\*\* abhängig von Baumart; Jahreszeit; Formigkeit; Astigkeit; Abholzigkeit; etc.

## 2.1.8 Arbeitspaket: Zusammenfassende Verfahrensbewertung und Empfehlung für Einsatzbereiche

Zum Abschluss des Projektes lässt sich sagen, dass die Modifikationen an den verschiedenen Harvesteraggregaten erfolgreich verliefen und vor allem für die Sommerzeit die Erwartungen übertrafen. Für die Winterzeit gibt es derzeit noch ein Verbesserungspotenzial, sollte ein Einsatz ebenfalls zu dieser Jahreszeit gewünscht sein.

Unter winterlichen Bedingungen war es mit den verwendeten Aggregaten nicht möglich zufriedenstellende Entrindungsergebnisse in Relation zur auftretenden Holzbeschädigung zu erhalten. Verschiedene Lösungsansätze (v. a. Veränderung der Anzahl der Überfahrten mit dem Aggregat, Schleifen der Entastungsmesser, Veränderung der Walzen- und/oder Messeranpressdrücke) führten zu keiner Verbesserung. Da die Ergebnisse der Winterversuche somit nur begrenzt verwertbar waren, wurden die Anzahl und die Dauer der Winterversuche reduziert.

Folgende positive Einflüsse durch die Nutzung von entrindenden Harvesterfällköpfen unter mitteleuropäischen Bedingungen konnten innerhalb des Projektes bisher nachgewiesen werden:

1. Gerade auf nährstoffschwachen Standorten kann, wie in 2.1.6 dargestellt, die Entrindung im Bestand helfen Nährstoffproblematiken zu entschärfen. Mit der Entrindung können bis zu 12% der benötigten Nährstoffe für einen kompletten Baum-Lebenszyklus bereitgestellt werden. Diese Menge muss nicht aus Verwitterung und zusätzlicher Mineralisation abgedeckt werden.
2. Rinden gebundenen Nährstoffe sorgen zusätzlich für einen hohen Ascheanteil und Feinstaubausstoß bei der thermischen Verwertung (Windl 2015). Eine Entrindung des für die thermische Verwertung gedachten Holzes (25-33 % des Einschlags in Deutschland) verringert nachweislich die oben genannte Problematik bei der Verbrennung.

Des Weiteren sollen in einem Folgeprojekt weitere Einflüsse untersucht werden, da Indizien auf einen positiven Einfluss schließen lassen:

1. Durch die Entfernung der Rinde wird eine gewisse Gewichtsreduktion (abhängig von Baumart, Rindentyp und Alter) erreicht. Diese Reduktion potenziert sich zusätzlich mit einer deutlich höheren Austrocknungsrate des Holzes, sodass große Vorteile für die gesamte Holzlogistikkette geschaffen werden.
2. Aus waldschutzfachlicher Sicht steht das Projekt derzeit besonders im Fokus, da der Borkenkäfer die unteren Rindenschichten zur Fortpflanzung benötigt. Durch Entrinden kann dieser Lebensraum ohne den Einsatz von Insektenvernichtungsmitteln kostengünstig und verlässlich entzogen werden.

Empfohlen werden kann das System derzeit für alle Holzerntemaßnahmen mit hohem Mechanisierungsgrad, bei denen das Holz zeitnah entrindet werden soll. Besonders geeignet ist dieses Verfahren für maschinengeeignete Baumarten, also vor allem Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie. Weitere Baumarten, wie Buche Eiche, Birke, Pappel, Erle, sind grundsätzlich möglich, aber aufgrund ihrer typischen Wuchsform weniger für die Holzernte mit dem Harvester geeignet und somit auch nur schwerer entrindbar.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass eine höhere Unförmigkeit des Stammverlaufes und eine höhere Astigkeit direkten Einfluss auf das Entrindungsergebnis hat. Ebenso direkten Einfluss auf das Entrindungsergebnis und auf die Ernteleistung des Harvesters hat der Durchmesser des ausscheidenden Bestandes. Hier sollte dringend auf darauf geachtet werden, dass sowohl der Harvesterfällkopf als auch der Harvester selbst für den entsprechenden Durchmesserbereich geeignet ist.

Um die Bestandesschäden zu reduzieren, empfiehlt es sich, das System in Endnutzungen mit geringer Vorausverjüngung oder in Kahlschlägen einzusetzen. Um die Produktivität hoch zu halten, ist es wichtig, eine starke Trägermaschine zu verwenden, welche in der Lage ist Bäume in ihrer vollen Länge zu halten und auch auf engem Raum zu manipulieren.

### **2.1.9 Arbeitspaket: Praxistransfer**

Während der Projektlaufzeit wurden die neuen Erkenntnisse und Ergebnisse auf Veranstaltungen und Messen einem interessierten Fachpublikum präsentiert und diskutiert. Es herrschte ein reger Austausch zwischen allen Projektbeteiligten. Zusätzlich wurden Inhalte aus dem Projekt in Lehrveranstaltungen der HSWT eingebunden. Auf folgenden Veranstaltungen konnten sich interessierte Bürgerinnen und Bürger, sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler informieren:

- Interforst 2014: Vorstellung der Projektidee
- Ligna Mai 2015: Präsentation des Projektes mittels Poster und Video
- 2nd HEZ-Symposium April 2016, Präsentation des Projektes mittels Posters im Rahmen des 2. Hans-Eisenmann-Symposiums in Freising.
- KWF Tagung Juni 2016: Präsentation des Systems auf der KWF Tagung. Für die Exkursion der KWF-Tagung 2016 in Roding wurde ein Exkursionsbild gestaltet, das den Praxistransfer der bis dorthin erfolgten Projektarbeiten ermöglichen sollte. Hierfür wurde ein Harvester 1270 E mit einem H 480 C-Aggregat mittels eines Umrüstsatzes für das Harvesteraggregat umgebaut, um eine Entrindung zu ermöglichen. Ein Grundsatz der Exkursion ist, dass die dort vorgestellten Arbeitsverfahren und Techniken tatsächlich im Einsatz unter realen Bedingungen für die Besucher gezeigt werden.

Die Risk-Zone eines Harvesters weist üblicherweise 70 Meter + x auf. Bei einer in den Aufarbeitungsprozess integrierten und gleichzeitigen Entrindung sind auf jeden Fall mit unkontrolliert umherfliegenden, abgetragenen Rindenstücken zu rechnen, die eine Gefährdung für die Exkursionsbesucher darstellen. Das Entrindungsverfahren bedingt nach heutigem Stand der Technik mindesten eine zusätzliche Bewegung des aufzuarbeitenden Stammes durch das Harvesteraggregat. Hierdurch wird der Gefahrenbereich direkt am Harvester größer und für den Maschinenführer wird es nahezu unmöglich, alle sicherheitsrelevanten Punkte gleichzeitig und zuverlässig im Auge zu behalten. Eine Gefährdungsbeurteilung des Exkursionsbildes ergab, dass die Besucher einen großen Sicherheitsabstand zum Harvester einhalten müssen, damit keine Gefährdung entsteht. Im Umkehrschluss stehen die Besucher zu weit weg, um das Aggregat bei der Arbeit beobachten zu können. Daher wurden an der Harvesterkabine Kameras installiert, die den Bereich vor dem Harvester und somit „den Blickwinkel“ des Maschinenführers an einen Bildschirm mit bis zu 200 Meter Abstand übertrugen. Diese Herangehensweise bot den Besuchern nicht nur den sichersten und besten Blick, sondern unterstrich auch die Innovation und Zukunftsträchtigkeit dieses Arbeitsverfahrens.

# Abschlussbericht Debarking Head I

## Eingangstafel



Abbildung 47: Praxistransfer: Eingangstafel KWF Tagung 2016

## Inhaltstafel

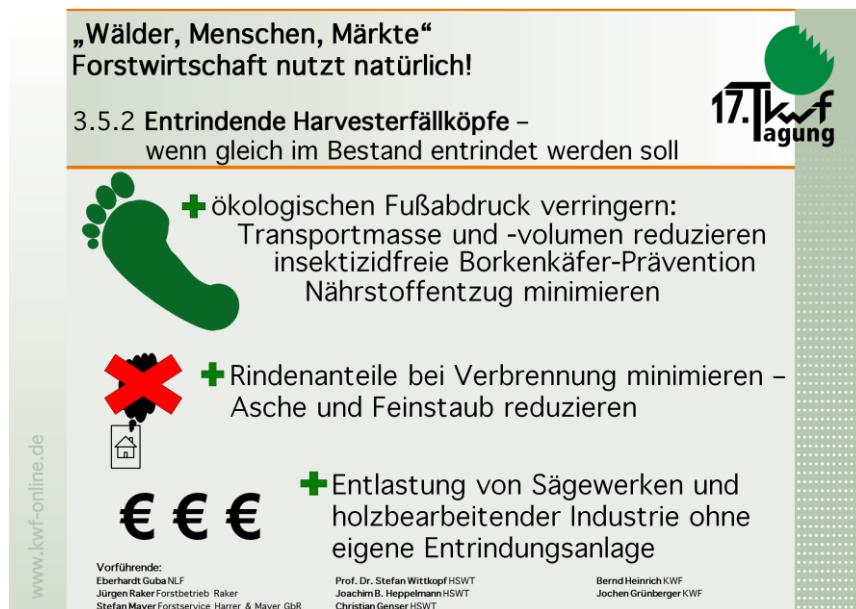


Abbildung 48: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016

# Abschlussbericht Debarking Head I

**„Wälder, Menschen, Märkte“  
Forstwirtschaft nutzt natürlich!**

**3.5.2 Entrindende Harvesterfällköpfe –  
wenn gleich im Bestand entrindet werden soll**

**Daten-Auszüge aus den Versuchen  
Juni/Juli 2015 in Niedersachsen**

Nadelholz Kie/(Fi)				
ausscheidender Bestand	Fm o.R./Abschnitt BHD cm m.R.	0,18 20	Harvester mit normalem Aggregat	Harvester mit entrindendem Aggregat
Aufarbeitung mit Harvester	Fm/MAS	12,3	11,1	-9,8
Rücken mit Forwarder	Fm/MAS	9,0	9,0	
<b>Kosten</b>				
Aufarbeitung m. Harvester	€/Fm	13,01	15,05	15,7
Rücken mit Forwarder	€/Fm	12,22	12,22	
<b>Gesamtkosten</b>	€/Fm	25,23	27,27	8,1
<b>Kostensätze (Unternehmersätze):</b>	Harvester mit normalem Aggregat	Harvester mit entrindendem Aggregat		
Maschine inkl. Lohn/LNK	€/MAS	€/MAS		
Fällen/Aufarbeiten mit Harvester	160,00	167,00		
Rücken mit Forwarder	110,00	110,00		

Vorführende:  
Eberhardt Guba NLF  
Jürgen Raker Forstbetrieb Raker  
Stefan Mayer Forstservice Harrer & Mayer GbR

Prof. Dr. Stefan Wittkopf HSWT  
Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle TUM  
Joachim B. Heppelmann HSWT  
Christian Genser HSWT

Bernd Heinrich KWF  
Jochen Grünberger KWF

[www.kwf-online.de](http://www.kwf-online.de)

**17. KWF Tagung**

Abbildung 49: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016

**„Wälder, Menschen, Märkte“  
Forstwirtschaft nutzt natürlich!**

**3.5.2 Entrindende Harvesterfällköpfe –  
wenn gleich im Bestand entrindet werden soll**

Entrindung Nadelholz Sommer		Entrindung Nadelholz Winter	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichte über 80%</li> <li>Kiefer über 80%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fichte über 40%</li> <li>Kiefer über 50%</li> </ul>		
<b>Entrindung Laubholz Sommer</b>			

Vorführende:  
Eberhardt Guba NLF  
Jürgen Raker Forstbetrieb Raker  
Stefan Mayer Forstservice Harrer & Mayer GbR

Prof. Dr. Stefan Wittkopf HSWT  
Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle TUM  
Joachim B. Heppelmann HSWT  
Christian Genser HSWT

Bernd Heinrich KWF  
Jochen Grünberger KWF

[www.kwf-online.de](http://www.kwf-online.de)

**17. KWF Tagung**

Abbildung 50: Praxistransfer: Inhaltstafel KWF Tagung 2016

Die Exkursionsbesucher wurden an der Eingangstafel in Empfang genommen und mit Zuhilfenahme der Inhaltstafel über die Hintergründe und bisherigen Erkenntnisse des Projektes informiert. Im Anschluss wurde die Fällung und Aufarbeitung, inklusive der Entrindung, von ein bis zwei Bäumen vorgenommen, die live an auf einen Bildschirm übertragen wurde. Nach Beendigung der Arbeit und Herstellung der Sicherheit wurde gemeinsam in der Gruppe zum Harvester gegangen. Dort angekommen konnte das eben geerntete und entrindete Holz, sowie das umgerüstete Aggregat in Augenschein genommen werden. Hier wurde nochmals auf Fragen eingegangen und die Möglichkeit gegeben direkt mit dem Fahrer der Maschine über seine Erfahrungen zu sprechen.

## Abschlussbericht Debarking Head I

### Erfassung der Gespräche am Exkursionsbild

Um das Exkursionsbild im Anschluss bewerten zu können wurden die Gespräche durch das Standpersonal erfasst und gewertet. Die folgenden Werte wurden aus diesen Informationen erstellt:

Gezählte Personen auf dem Stand	2273
Anzahl der Gruppen gesamt	33
Anzahl der Gruppen -50 Personen	14
Anzahl der Gruppen -100/+ Personen	19
Geführte Einzel- oder Kleingruppengespräche	91
Geführte Einzel- oder Kleingruppengespräche mit der Bewertung „Intensität hoch“	27
Durchschnittliche Dauer der Einzel- oder Kleingruppengespräche	11 Minuten
Durchschnittliche Verweildauer der Besucher am Stand	37 Minuten
Resonanz im Anschluss an die KWF-Tagung mit direktem Bezug auf das Exkursionsbild	18

Abbildung 51: Standgespräche Auswertung KWF Tagung 2016

Im Anschluss gab es zahlreiche Anfragen sowohl an die im Projekt arbeitenden Institutionen, als auch bei den präsentierenden Forstmaschinen-Herstellern. Zusätzlich wurde über das Projekt in weiteren Beiträgen berichtet (Holzzentralblatt, Forst und Technik, Zentrums Newsletter, Freisinger Tagblatt, etc...)

- FORMEC Warschau September 2016, **Vortrag**: Präsentation des Projektes auf dem 49<sup>th</sup> International Symposium on Forestry Mechanization in Warschau
- FoWiTa Sept. 2016, **Poster**: Präsentation des Projektes auf der Forstwissenschaftlichen Tagung in Freiburg
- BMEL-Statusseminar Feb. 2017, Präsentation des Projektes im Rahmen des BMEL-Statusseminars in Berlin.

### 2.1.10 Nebenergebnisse: Vergleich Entrindungsraten Konventionelles Aggregat

Innerhalb des Projektes wurden ebenfalls Untersuchungen zur Entrindungsraten konventioneller Harvesteraggregate ohne Entrindungsmodifikationen durchgeführt, da, vor allem im Sommer, auch schon ein Teil der Rinde durch die Aufarbeitung mit dem Harvesteraggregat abgelöst wird und im Bestand zurückbleibt. Um diese Entrindungsraten zu quantifizieren wurden drei Bachelorarbeiten (Hohenadl 2015, Braun 2016, Weber 2016) mit unterschiedlichen Herstellern durchgeführt. Die Untersuchungen wurden als notwendig erachtet, um eine Bewertungs- und Vergleichsgrundlage für das Projekt zu schaffen. Untersucht wurden folgende Aggregate:

- Keto 100LD
- Ponsse H8
- Log Max 7000

Die erreichbaren durchschnittlichen Entrindungsprozente lagen innerhalb einer Spannweite von 4,5% - 11,45%, siehe Abbildung 52.

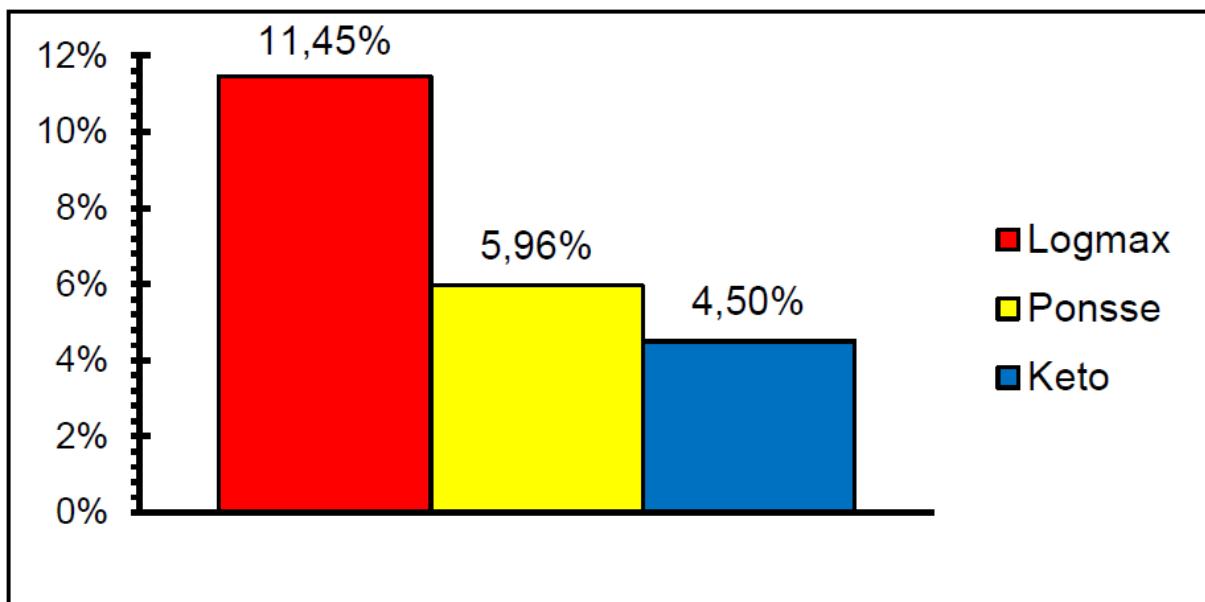


Abbildung 52: Durchschnittliche Entrindungsraten konventioneller Harvesterfällköpfe ohne Modifikationen (Weber 2017)

Die durchschnittliche Entrindungsrate des Log Max 7000 ist mit 11,5 % deutlich höher als beim Ponsse H8 mit 6,0 %. Die Daten sind gut vergleichbar, da bei beiden Arbeiten der Stärkeklassenbereich 1a bis einschließlich 4 in der Saftzeit abgedeckt ist. Im Gegensatz zu Log Max fährt der Hersteller Ponsse ein System, bei welchem der Stamm hauptsächlich durch die Vorschubwalzen gehalten wird (Harrer 2016). Visuell betrachtet sind die Spuren der Vorschubwalzen auf den Abschnitten, die mit dem H8-Aggregat aufgearbeitet wurden, besser sichtbar. Allerdings können diese ebenfalls aufgrund vollständiger Bedeckung mit Rinde „nicht als Entrindung gewertet werden“ (Braun 2016, S. 22). Das Ponsse Aggregat ist mit 740 mm Öffnungsweite der vorderen Entastungsmesser (Braun 2016) technisch in dieselbe Größenkategorie einzurordnen wie der untersuchte Log Max Kopf.

Vergleicht man die Einzelwerte der Stärkeklassen in Abbildung 53 miteinander so fällt auf, dass das Log Max Aggregat in allen Stärkeklassen außer Stärkeklasse 3b mehr Rinde vom Stamm entfernt als das Aggregat H8. Die Stichprobenzahl für diese Stärkeklasse beim Aggregat 7000 liegt allerdings nur bei drei Abschnitten. Das heißt die Aussage ist statistisch nicht abgesichert (Weber, 2017).

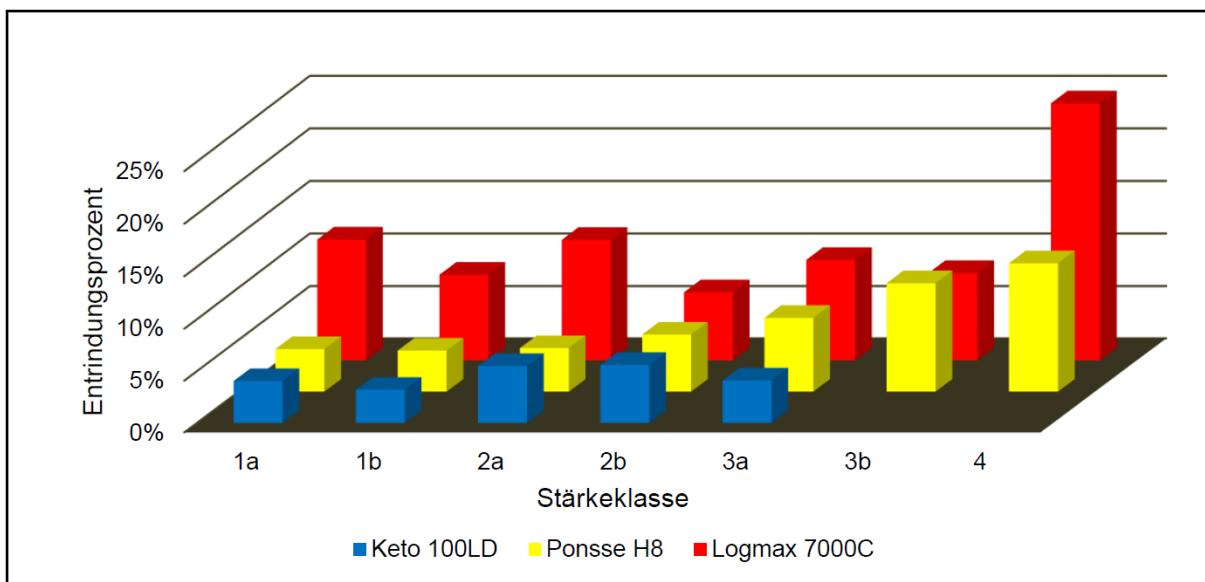


Abbildung 53: Entrindungsprozente der einzelnen Stärkeklassen im Vergleich (Weber 2017)

### 2.1.11 Nebenergebnisse: Maßhaltigkeit und Längenmessung

Ein in der Vegetationszeit (Sommer) bei den Baumarten Fichte, Douglasie und Lärche auftretender Effekt ist das außer Funktion setzen des Längenmessrads. Dies geschieht durch Rindenstücke, die sich zwischen Längenmessrad und Stamm einklemmen und so dafür sorgen, dass das Messrad sich nicht oder zumindest zu langsam dreht. Eine Längenermittlung ist so nicht möglich und der Fehler wird dem Maschinenführer gemeldet. Geschieht dies, muss der Baum ausgelassen werden, damit das betreffende Rindenstück herunterfällt und dann erneut aufgenommen werden. Gegebenenfalls muss auch ein erneuter Nullschnitt erfolgen, um für das Längenmesssystem einen Referenzpunkt zur Vermessung festlegen zu können. Dieser Effekt ist nicht unbekannt, denn er kann auch bei den regulären Verfahren und der Aufarbeitung ohne Entrindung auftreten. Dabei verklemmen sich anstatt Rindenstreifen, Äste zwischen Längenmessrad und Stamm. Allerdings kommt dies so selten vor, dass es vom Maschinenführer häufig nicht wahrgenommen oder zugeordnet werden kann. Alle in diesem Projekt getesteten Aggregate ermitteln die Länge der Stämme, bzw. Stammabschnitte mit Messräder und unterliegen somit zumindest zeitweise der eben beschriebenen Problematik. Vermutlich würde eine Längenermittlung mittels der Vorschubwalzen (bei anderen Modellen verfügbare Technik) diese Problematik beseitigen.

Innerhalb der Projektlaufzeit wurden 1598 Stammabschnitte der Länge nach vermessen. Bisher zeigten sich keine gravierenden Abweichungen der Längenmessung von den Vorgaben des Sägefensters (- zulässige Abweichung der Längenmessung). Wie in Abbildung 54 dargestellt, gab es dennoch Ausreißer sowohl nach oben, als auch nach unten aus dem Sägefenster heraus. Allerdings handelt es sich hierbei nur um Einzelfälle verursacht durch normal auftretende Effekte wie:

- Abbrechen des Stammes bei der Aufarbeitung
- Fehlschnitte
- Vereinzelte Einmischung von Stämmen vor der Kalibrierung in die Stichprobe durch Verwechslungen bei der Rückung.

Eine Häufung von Abweichungen außerhalb des Sägefensters wie im Vorfeld erwartet, blieb aus. Eine vorherige Kalibrierung der Maschine nach der Modifizierung ist jedoch unerlässlich.

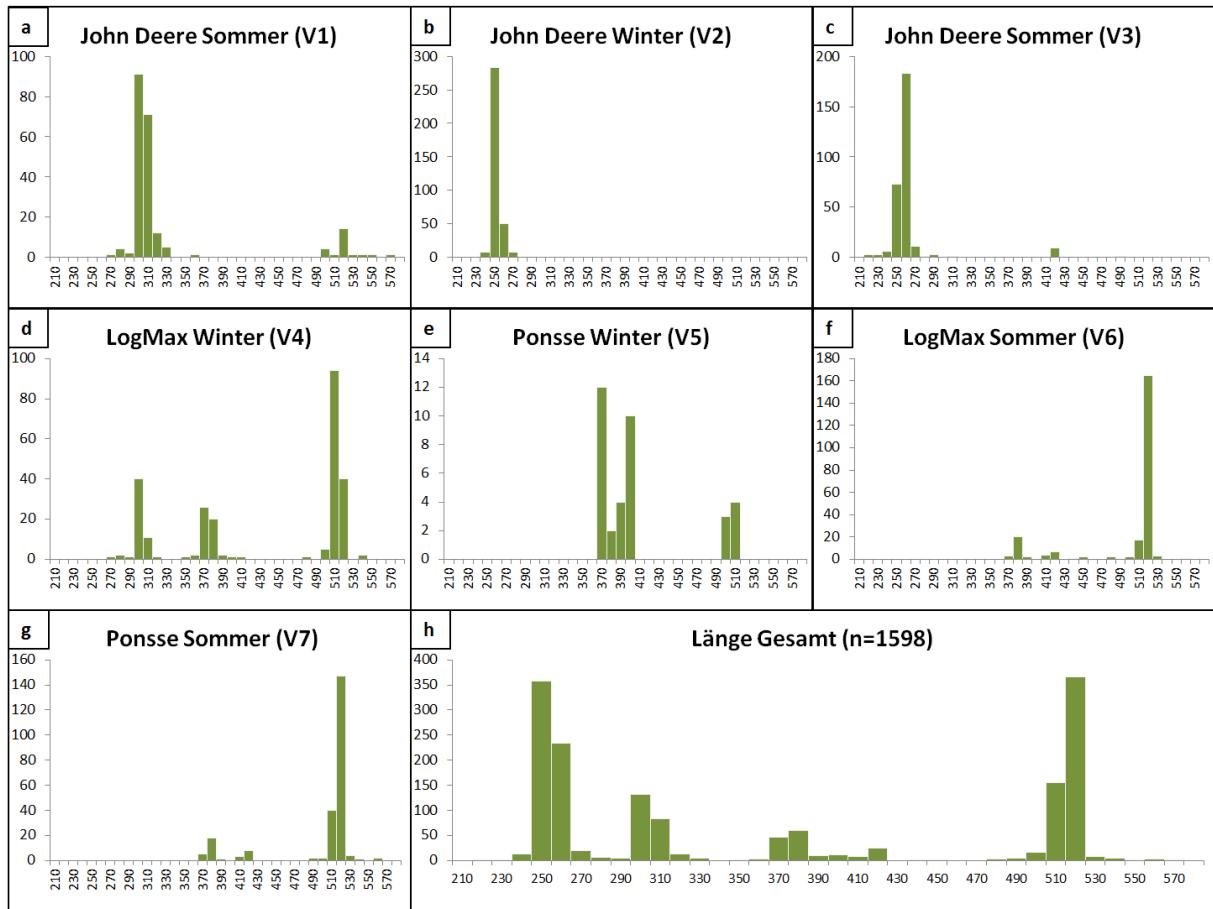


Abbildung 54: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Sortimentslängen.

### 2.1.12 Nebenergebnisse: Untersuchungen Borkenkäfer

In einer Bachelorarbeit (Rosnau 2017) innerhalb des Projektes wurde untersucht, welchen Einfluss die mechanisierte Holzernte auf das Überleben des Buchdruckers und Kupferstechers, die beiden schädlichsten Borkenkäferarten an der Fichte, hat. Diese Arbeit kann als Grundlage und Vergleich für Untersuchungen des Einflusses von Entrindungswalzen auf die Borkenkäferentwicklung dienen. Im Folgenden wird aus dieser Arbeit zitiert:

Um die Fragen nach dem Einfluss des Walzendrucks, des Käferanteils im Rindenabfall und die räumliche Verteilung der Käfer am Stamm zu klären, wurde im Sommer 2016 ein Feldversuch in Beständen des Forstbetriebes Kipfenberg der Bayerischen Staatsforsten durchgeführt. An den aufgearbeiteten Fichten wurde Rindenstichproben in den Bereichen zwischen den Walzenspuren und in den Walzenspuren genommen.

Die bei der Aufarbeitung abfallende Rinde wurde eingesammelt und die darin enthaltenen Käfer ausgezählt. Der Buchdruckerbefall verläuft bis zu einer Baumhöhe von 21 m nahezu gleichmäßig, während der Kupferstecherbefall eher im Kronenansatzbereich konzentriert ist. Der Walzendruck verkleinert den Anteil an lebenden Buchdruckern im Bereich der Walzenspur deutlich, während beim Kupferstecher der Stichprobenumfang zu gering ist, um dazu eindeutige Aussagen treffen zu können.

Der Anteil der Buchdrucker im Rindenabfall schwankt je nach Entwicklungsstadium zwischen 0,7 % und 4,3 % der im Stamm enthaltenen Individuen, beim Kupferstecher zwischen 0 % und 13,3 %.

# Abschlussbericht Debarking Head I

## Buchdrucker:

Insgesamt enthalten die Stichproben auf dem Stamm rund 5 500 Buchdrucker (siehe Tabelle 11), davon 3 093 im Zwischenfeld und 2 443 in der Walzenspur, welche im Mittel 23 % der Rindenfläche ausmacht. Am häufigsten sind Larven vorhanden, im Zwischenfeld (ZF) jedoch deutlich mehr, als im Bereich der Walzenspur (WS). Bei den Imagines sind innerhalb der Walzenspur fast gleich viele Individuen wie im Zwischenfeld.

Tabelle 11: Anzahl der Buchdrucker nach Entwicklungsstadium, Entnahmestandort und Vitalitätszustand (Rosnau 2017)

Buchdrucker												
5 536												
Larve				Puppe				Imago				
4 105				78				1 353				
WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS
1 772	2 333	49	29	622	731	321	301	59	672	1 353	1 353	1 353
tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot
729	1 043	106	2 227	23	26	1	28	321	301	59	672	622

Vergleicht man den Anteil der lebendigen und damit potentiell gefährlichen Käfer (siehe Tabelle 12) ist zu erkennen, dass der Anteil lebender Puppen und Imagines im Zwischenfeld um ca. 43 % höher als in der Walzenspur ist. Bei den Larven sind die Unterschiede in der Überlebensrate auch noch deutlich, allerdings mit einer Differenz von ca. 37 % nicht mehr ganz so hoch.

Tabelle 12: Anteil der lebenden Buchdrucker (Rosnau 2017)

	Überlebensrate Walzenspur	Überlebensrate Zwischenfeld	Differenz
Larven	58,86%	95,46%	36,60%
Puppen	53,06%	96,55%	43,49%
Imagines	48,39%	91,93%	43,54%

## Kupferstecher:

Insgesamt enthalten die Stichproben auf dem Stamm 82 Kupferstecher (siehe Tabelle 13), davon 26 in der Walzenspur (WS) und 56 im Zwischenfeld (ZF).

Tabelle 13: Anzahl der Kupferstecher nach Entwicklungsstadium, Entnahmestandort und Vitalitätszustand (Rosnau 2017)

Kupferstecher												
82												
Larve				Puppe				Imago				
67				0				15				
WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS	ZF	WS
20	47	0	0	0	0	6	9	1	5	0	9	15
tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot	lebendig	tot
0	20	0	47	0	0	0	0	1	5	0	9	0

Zu Larven und Puppen des Kupferstechers können keine Aussagen über die Unabhängigkeit zur Walzenspur getroffen werden, da keine toten Larven, bzw. keine Puppen gefunden wurden. Bei den Imagines der Kupferstecher kann nach dem *Exakten Test von Fischer* die Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 40 % nicht abgelehnt werden. Dass

die Nullhypothese nicht sicher verworfen werden kann, ist auch an der geringen Differenz im Anteil der lebenden Imagines von ca. 17 % zu erkennen, siehe Tabelle 14.

Tabelle 14: Anteil lebender Kupferstecher (Rosnau 2017)

	Überlebensrate Walzenspur	Überlebensrate Zwischenfeld	Differenz
Larven	100,00%	100,00%	0,00%
Puppen	-	-	-
Imagines	83,33%	100,00%	16,67%

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anpressdruck der Vorschubwalzen einen Einfluss auf das Verhältnis zwischen lebenden und toten Buchdruckern hat. Dies kann für Buchdrucker mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % gesagt werden. Aufgrund der hohen Irrtumswahrscheinlichkeit bei den Kupferstecher Imagines von 40 % kann keine belastbare Aussage über den Effekt der Walzenspur auf das Überleben getroffen werden.

Vergleicht man den Anteil lebender Buchdrucker nach Entwicklungsstadien ist zu erkennen, dass der Anteil der lebenden Larven unter der Walzenspur um 37 % und der Anteil lebender Imagines um 44 % geringer ist als im Zwischenfeld.

Morphologische Unterschiede im Bau der Imagines bieten also keinen ausreichenden Schutz gegen den Anpressdruck der Walzen. Der Einfluss des Anpressdrucks der Vorschubwalzen auf das Überleben des Buchdruckers ist somit nicht unerheblich. In wie weit ein mehrmaliges Durchlassen des Stammes durch das Aggregat zu einer höheren Abtötung führt, ist jedoch noch nicht bekannt. Da bei der Verwendung herkömmlicher Stachelwalzen die Fichten sich nur unwesentlich im Aggregat entlang ihrer Längsnachse drehen. Es kommt somit nicht zu größeren Einwirkungsflächen des Walzendrucks. Die Walzen, die bei den Versuchen für das Forschungsprojekt über die selbstentrindenden Harvesterköpfe verwendet werden, sorgen aufgrund ihrer Bauweise für eine Drehung des Stammes im Aggregat. Weitere Untersuchungen über die Wirkung der Debarking Heads im Bereich des Waldschutzes können Ergebnisse aufzeigen, die einen vorteilhaften Effekt dieser Aggregate, bzw. verwendeten Vorschubwalzen belegen.

Eine überraschende Beobachtung aus dem letzten Versuch mit dem Log Max 7000 C Aggregat in einem borkenkäferinfizierten Bestand in Bayern zeigt, dass frische Rindenabwürfe und Rindenhaufen gezielt von Wespen angeflogen werden. **Bisher wurde davon ausgegangen, dass die Larven und Jungkäfer, durch die rasche Austrocknung ihres Habitats innerhalb weniger Tage sterben und die adulten Käfer aus den Rindenabwürfen ausfliegen.** Nun zeigt sich jedoch, dass die Borkenkäferbrut innerhalb kürzester Zeit räuberischen Insekten, wie Wespen, zum Opfer fällt, siehe Abbildung 55. Es konnte noch nicht geklärt werden, ob diese Aussage auch für die adulten Käfer zutrifft. Das Verhalten der Käfer, sich nach plötzlicher Exposition in die Fraßgänge zu "drücken" und nicht direkt auszufliegen, legt diese Überlegung jedoch nahe, siehe Abbildung 55.

Wespen sind als natürliche Fressfeinde des Borkenkäfers schon länger bekannt, jedoch ist eine solche Exposition der Käfer für ihre Fressfeinde neu. Es wird daher versucht mit den entomologischen Einrichtungen der HSWT, LWF und TUM dieses Verhalten zu bewerten.

## Abschlussbericht Debarking Head I

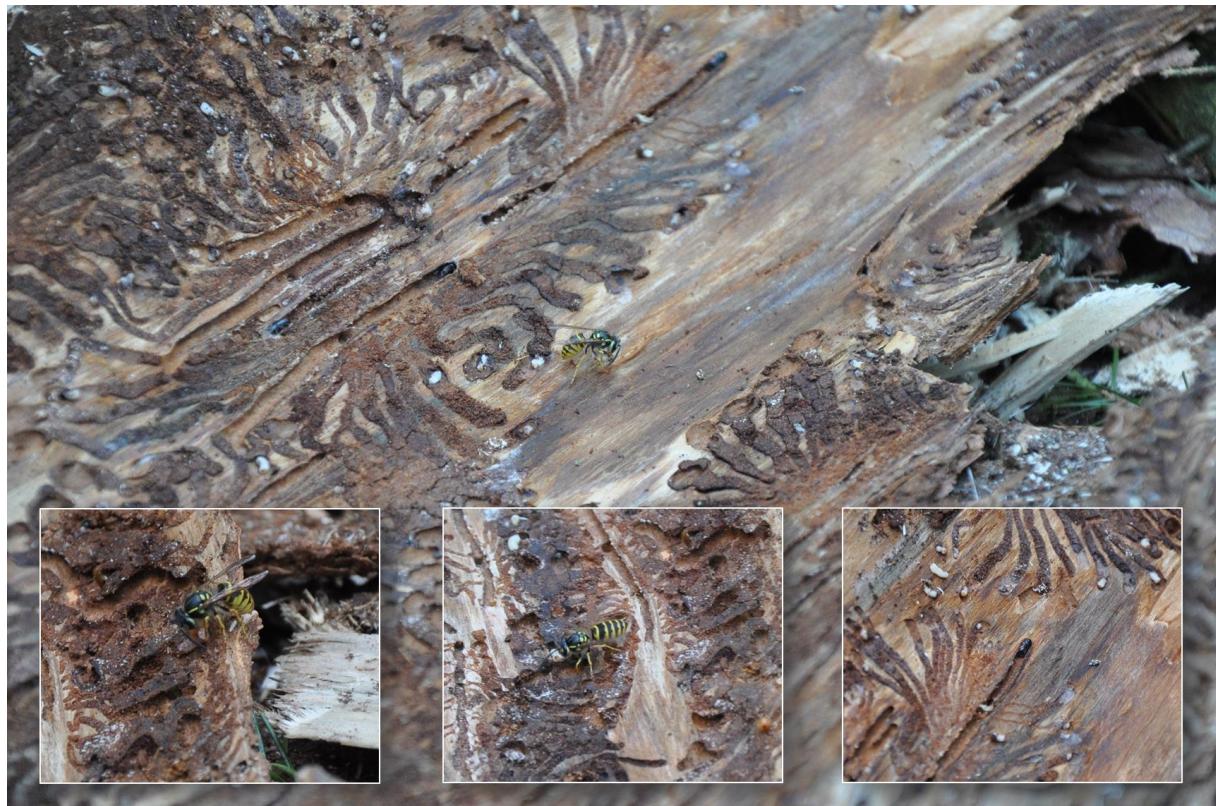


Abbildung 55: Borkenkäfervertilgende Wespen auf Rindenabzügen eines modifizierten Harvesterfällkopfes. Rechts unten: "Ducken/Drücken" eines adulten Käfers in den Fraßgang

### **2.1.13 Nebenergebnisse: Untersuchungen Bestandesschäden**

Um den Einfluss des Arbeitsverfahrens mit Entrindung auf den verbleibenden Bestand besser abschätzen zu können, wurde eine Bachelorarbeit begleitend zu den Winterversuchen V4 und V5 durchgeführt (Vater 2017). Es wurden nicht nur Schäden dokumentiert und erfasst, sondern zusätzlich ein neuer Aufnahmestandard für die allgemeine Verwendung erstellt. Dies erwies sich als Notwendigkeit, da derzeit noch kein einheitlicher Standard zur Bewertung von Bestandesschäden existiert. Das so speziell für Entrindungseinsätze mit Harvestern erstellte Schadensprotokoll soll in Zukunft bei weiteren Versuchen eingesetzt werden. Es wird helfen Erfahrungswerte bei unterschiedlichen Bedingungen sammeln und vergleichen zu können.

### **2.1.14 Nebenergebnisse: Untersuchungen Holzschäden**

Innerhalb des Projektes wurden zusätzlich die Auswirkungen von Entrindungswalzen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Schäden am Holzkörper untersucht. Eine verstärkte Beschädigung des Holzkörpers kann eine Absenkung der Holzqualität nach sich ziehen (abhängig von Sortiment und Verwendungszweck). Zusätzlich können Holzbeschädigungen als Eintrittswege für Pilze dienen, was sich negativ auf die Lagerfähigkeit von entrindendem Holz auswirken kann. Aus diesen Gründen wurden zu dieser Thematik sowohl eine Bachelorarbeit (Schätzlein 2017) als auch eine Masterarbeit (in Bearbeitung) begleitend am Lehrstuhl für forstliche Verfahrenstechnik der TUM durchgeführt. Als Datengrundlage dienten hierfür gefällte und prozessierte Stämme aus den Versuchen innerhalb des Projektes.

**Schätzlein (2017):**"Die Schäden wurden nach zwei verschiedenen Schadenstypen getrennt erfasst. Kleinflächige Schäden, die ihre Hauptausbreitung radial in den Stamm haben und durch Penetration und Schnitt der Oberflächenstrukturen der Entrindungswalzen in das Holz entstehen, wurden als Typ-1-Schäden definiert. Bei diesen Schäden wurde die Eindringtiefe, die Stärke der über den Schäden befindlichen Rinde und die Tiefe von teilweise an den Typ-1-Schäden aufgetretenen radial in den Stamm ziehenden Rissen nach Präparation von Stammquerschnitten gemessen. Großflächige Schäden über 25 cm Länge entlang der Stammachse, welche durch Traktionsverlust der Vorschubwalzen auf den Stamm oder durch Penetration des Stammes durch die Entastungsmesser entstehen und in Form von Faserausrissen auftreten, wurden als Typ-2-Schäden definiert. Diese wurden in ihrer Ausbreitung entlang der Stammachse, ihrer okular abgeschätzten maximalen Tiefe und ihrer Fläche vermessen."

In der studentischen Abschlussarbeit wurden insgesamt 2028 Typ-1-Schäden und 188 Typ-2-Schäden an Fichten vermessen. Untersucht wurden die Holzbeschädigungen des H7 Ponsse und des LogMax 7000c Aggregats.

" Die Untersuchung der Schäden durch entrindende Vollernteraggregate konnte einige Erkenntnisse liefern:

- Typ-1-Schäden waren bei beiden untersuchten Vollernteraggregaten durch die konventionellen Vorschubwalzen signifikant tiefer als bei den Entrindungswalzen (siehe Abbildung 56).
- Allein beim Logmax-7000-Vollernteraggregat mit montierten Entrindungswalzen waren die Typ-1-Schäden an den oberen Stammabschnitten zwischen zehn und 15 Metern Höhe im Stamm signifikant tiefer als bis zu einer Höhe von fünf Metern im Stamm.
- Die Untersuchung des Einflusses der Rindenstärke auf die Schadenstiefe der Typ-1-Schäden hatte beim Logmax-7000-Vollernteraggregat keinen Zusammenhang ergeben, beim Ponsse-H7-Vollernteraggregat hingegen eine signifikante, schwache Abnahme der Schadenstiefe mit zunehmender Rindenstärke

## Abschlussbericht Debarking Head I

- Typ-2-Schäden waren bei beiden verwendeten Vollernteraggregaten durch die Entrindungswalzen signifikant tiefer, signifikant großflächiger und wiesen eine signifikant längere Ausbreitung entlang der Stammachse auf als durch die konventionellen Vorschubwalzen verursachte Typ-2-Schäden.
- Weitere Untersuchungen zur Entrindung von Rundholz durch Vollernteraggregate im Bestand sollten sich weniger auf Entrindungswalzen, sondern mehr auf die Form und Stellung der Entastungsmesser und die Art der Aufarbeitung konzentrieren, um mögliche Wertminderungen zu minimieren." (Schätzlein, A. 2017)

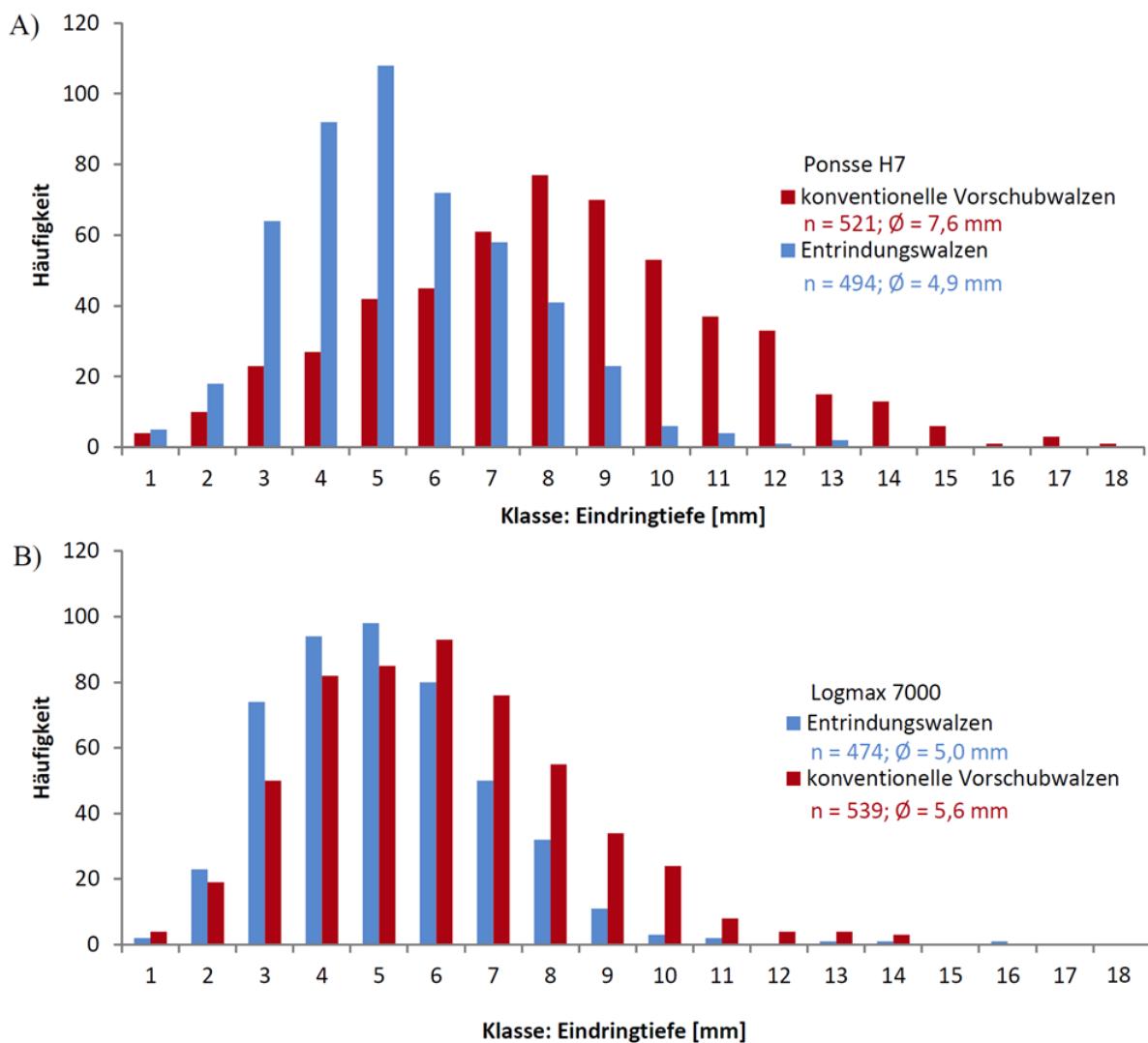


Abbildung 56: Eindringtiefenverteilung der verschiedenen Vorschubwalzen; oben das Ponsse-H7-Vollernteraggregat (A), unten das Logmax-7000-Vollernteraggregat (B); Typ-1-Schäden.(Schätzlein 2017)

## 2.2 Verwertung

Ziel des Verbundvorhabens war es eine grundsätzliche Möglichkeit der Modifikation von in Europa genutzten Harvesterfällköpfen nach Vorbild der weltweit in Plantagen genutzten "Debarking Heads" festzustellen, sowie die Auswirkung der Entrindung auf die Fällprozesse und Kostenstruktur der Holzernte in Abhängigkeit des Entrindungsergebnisses zu untersuchen.

Die vollständige Funktion und Umsetzbarkeit der Modifikationen wurde daher eingehend untersucht und schließlich bestätigt. Diese Untersuchungen liefern eine gute Datengrundlage für fortführende Entwicklungen der Harvesterfällköpfe auf die im Einzelnen zu unterscheidenden Verwendungszwecke des Rundholzes.

Die Bayerischen Staatsforsten weisen in ihrem Jahresbericht 2016 derweilen explizit auf die Zugehörigkeit der Entrindung im Wald zum guten Management nährstoffarmer Standorte hin (BaySF S. 54, 2017). Zudem können auch Aussagen über die positiven Effekte der Entrindung bei der Holzernte mit entrindenden Harvesterfällköpfen getroffen werden. Zwei herausstehende positive Effekte neben der Nährstoffnachhaltigkeit sind die Auswirkungen auf die Logistikkette und die Effekte bei der Ernte von infizierten Bäumen durch den Borkenkäfer (*Ips typographus*).

Da Untersuchungen auf die Änderungen in der gesamten Logistik äußerst umfassend und detailreich gestaltet werden müssen, wird dieser Punkt gesondert in einem neuen Projekt untersucht werden (FKZ: 22028316). Die im Verbundvorhaben gewonnenen Daten dienen hierbei als Bemessungsgrundlage für weitere Kalkulationen.

Eine prophylaktische Wirkung steht bei der Aufarbeitung gesunder Fichten grundsätzlich außer Frage. Als überhaupt erste Versuchseinsätze von entrindenden Harvesterfällköpfen in europäischen (Borkenkäfer-)Beständen, konnten grundlegende Erfahrungen gesammelt werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen und dem gelungenen Praxistransfer/Präsentationen wurde ein Projekt nach Vorbild des vorliegenden Verbundvorhabens an der BOKU Wien beantragt und genehmigt (Entrindung mit dem Harvesteraggregat als Maßnahme zur Borkenkäferbekämpfung – Eine detaillierte Prozess- und Potenzialanalyse; Laufzeit: 01.12.2017-30.11.2019). Auch hier finden die Erkenntnisse aus den vorliegenden Studien Anwendung.

Um alle gesammelten Ergebnisse einem breiten Fachpublikum zugänglich zu machen, werden Publikationen im Rahmen der Promotion von Herrn Heppelmann in wissenschaftlichen Fach-Journalen erscheinen (Vgl. 2.4. Veröffentlichungen). Zusätzlich werden diese Erkenntnisse in Form eines Flyers vom KWF entsprechend aufgearbeitet und auf Tagungen und Messen bereitgestellt werden.

## 2.3 Erkenntnisse von Dritten

Außerhalb des Projektes wurden im Forschungsfeld 'entrindende Harvesterfällköpfe' keine Publikationen veröffentlicht, welche sich direkt mit den Eigenschaften, Modifikationen oder der Entwicklung von entrindenden Aggregaten befassen. Dies liegt vordergründig daran, dass solche Forschung bisher ausschließlich von den Produzenten dieser Aggregate, ohne direkte Anbindung an wissenschaftliche Institutionen, durchgeführt wurde und somit als unternehmensinternes Wissen nicht veröffentlicht wurde.

## 2.4 Veröffentlichungen (erfolgte und geplante)

Bisherige Veröffentlichungen zu Ergebnissen aus dem Projekt Debarking Head I:

Guba, E.; Grünberger, J.: „Debarking Heads – was ist das denn?“, Forst&Technik 9/2015

Grünberger, J.; Guba, E.; Heppelmann, J. B.: „Blick über den Tellerrand könnte sich lohnen“, Holzzentralblatt Nr. 21, Mai 2016

Wittkopf, S.; Heppelmann, J. B.; Grünberger, J.; Heinrich, B.; Guba, E.: „Projekt entrindende Harvesterköpfe – Wenn gleich im Bestand entrindet werden soll“, 1. Sonderausgabe der Forsttechnischen Informationen (FTi) „Nachhaltigkeit und Umweltschutz in der Deutschen Forstwirtschaft“, Juni 2016

## Abschlussbericht Debarking Head I

Heinrich, B.; Seeling, U.; Grünberger, J.: „Sicherung der Nährstoffnachhaltigkeit von Waldbeständen durch belassen der Rinde bei Holzerntemaßnahmen“, Abstract und Posterbeitrag zur forstwissenschaftliche Tagung (FoWiTa) in Freiburg, September 2016

Heinrich, B.: „Das Forschungsprojekt „Entrindende Harvesterköpfe“, Forstunternehmerjahrbuch 2016

Grünberger, J.; Heppelmann, J. B.: „3.5.2 Entrindende Harvesterköpfe“, KWF Tagungsführer 2016

Heppelmann, J. B.; Wittkopf, S.; Seeling, U.; Labelle, E. R.: „Evaluating the debarking efficiency of modified harvesting heads on European tree species“, Vortrag, Abstract FORMEC, Warschau, September 2016

### Bisherige Bachelorarbeiten aus dem Projekt Debarking Head I:

Braun, S. (2016): Entrindungsprozent eines Ponsse H8 Fällkopfes bei normalem und erhöhtem Anpressdruck. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 43 S.

Eder, M. (2015): Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens zur Beurteilung der Entrindungsqualität. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 50 S.

Fangauer, J. (2017): Verbleib von rinden gebundenen Nährstoffen im Bestand bei vollmechanisierter Holzernte mit und ohne Entrindung. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 47 S.

Hohenadl, A. (2015): Mit herkömmlichen Harvesterköpfen erreichbare Entrindung bei Fichte. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 41 S.

Leidner, W. (2015): Werk statt Wald – Entwicklung der Rundholzentrindung in Deutschland. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 47 S.

Rosnau, F. (2017): Einfluss der mechanisierten Holzernte auf Leben und Tod von Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalographus*). Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 80 S.

Weber, S (2017): Ermittlung der Entrindungsrate beim Harvesteraggregat Log Max 7000 bei konventioneller vollmechanisierter Holzernte. Bachelorarbeit im Fachbereich Holzenergie der HSWT, 49 S.

Windl, S. (2015): Aschegehalte von Bast und Borke -Vergleich von Fichte, Kiefer, Eiche, Buche und Douglasie im Forschungsprojekt „Entrindende Harvesterfällköpfe“. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 53 S.

### Geplante Veröffentlichungen zu Ergebnissen aus dem Projekt Debarking Head I durch die Promotion:

1. **Heppelmann**, Labelle, Seeling, Wittkopf (2018): Overview article on the debarking head market
2. **Heppelmann**, Labelle, Seeling, Wittkopf (2018): Assessing the debarking percentage of modified harvesting heads under Central European Conditions
3. **Heppelmann**, Labelle, Seeling, Wittkopf, (2018): Economic and ecological impacts of using debarking heads in Central European forest stands.
4. **Heppelmann**, Labelle, Seeling, Wittkopf (2018): Proceedings FORMEC 2018

### 3 Anhang

#### 3.1 Teilvorhaben 1: Untersuchung und Weiterentwicklung der entrindenden Harvesterfällköpfen FKZ 22013213 - Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

##### 3.1.1 Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Die Zielstellung dieses Teilvorhabens war die wissenschaftliche Begleitung des Projektes, sowie die Evaluation der Modifikationen und deren Auswirkungen, als Grundlage für Entscheidungen der Einsatzbereiche und Einsatzfähigkeit der entwickelten entrindenden Harvesterfällköpfe.

Der Hauptschwerpunkt lag auf der Erstellung einer validen Methodik und Messverfahren, um Entrindung im Bestand effizient messen zu können. Hierzu wurden neue photooptische und lasergestützte Verfahren getestet und eine Auswertungssoftware entwickelt. Die so gewonnenen Daten wurden statistisch ausgewertet und mit anderen Messdaten in Beziehung gesetzt, um die Entrindungseffizienz und die Auswirkungen insbesondere auf den Nährstoffhaushalt benennen zu können.

Weitergehend sollten die so gewonnenen Erkenntnisse dazu dienen, um erste ökonomische Aussagen treffen zu können, sowie eine grundsätzliche Verfahrensbewertung für Entrindung im Bestand und deren Einsatzbereiche in engster Zusammenarbeit mit dem KWF erstellen zu können.

Über studentische Abschlussarbeiten sollte den Studenten die Möglichkeit gegeben werden, sowohl an einem laufenden Forschungsprojekt mitzuarbeiten und Einblicke zu erhalten, als auch umfassendere Erkenntnisse zu liefern als im Vorfeld beantragt wurde.

Ein Großteil der Ergebnisse wurde kontinuierlich während der Projektlaufzeit im wissenschaftlichen Rahmen präsentiert und auf Fachtagungen diskutiert.

##### 3.1.2 Bearbeitete Arbeitspakete

Im Teilvorhaben 1 wurden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

###### **Arbeitspaket 1: Auswahl der Fällköpfe**

In Zusammenarbeit mit dem KWF wurden angebotene Debarking Heads auf dem Markt analysiert und in einer Datenbank zusammengetragen. Diese Datenbank enthält alle verfügbaren technischen Informationen und soll in Form einer wissenschaftlichen Publikation 2018 veröffentlicht werden. Zusätzlich zu den reinen Entrindungsfällköpfen werden auch Harvesterfällköpfe aufgeführt für die bereits ein vom Hersteller angebotener Umrüstsatz auf dem Markt verfügbar ist.

###### **Arbeitspaket 2: Auswahl der Bestände**

Aufgrund der günstigen Lage in unmittelbarer Nachbarschaft der HSWT in Bayern, wurden hier die Bestände für die bayerischen Versuche in Zusammenarbeit mit den Bayerischen Staatsforsten ausgewählt und im Vorfeld besichtigt.

###### **Arbeitspaket 3: Pilotstudie**

Im Vorfeld und während des ersten Testeinsatzes wurden sowohl die Aufnahmemethodik, als auch die Aufnahmeparameter für die gesamte Projektlaufzeit entwickelt und festgelegt. Diese wurden während aller Versuche nicht verändert um eine Vergleichbarkeit zu

gewährleisten. Es wurden bei Bedarf lediglich neue Aufnahmeparameter und Messtechniken hinzugefügt, ohne die ursprüngliche Aufstellung zu verändern.

#### **Arbeitspaket 5: Hauptstudie**

Während der Projektlaufzeit wurden die Versuchseinsätze (V4-V7) in Bayern, organisiert und koordiniert. Während der Versuche wurde entsprechend der in Arbeitspaket 3 entwickelten Methodik, das Entrindungsprozent gemessen. Alle gemessenen Entrindungsprozente und alle weiteren ermittelten Werte (kleinster Stamm-Durchmesser, Stamm-Mittendurchmesser, größter Stamm-Durchmesser, Stammlänge, Baumart, Vegetationszeit, Oberflächenfeuchte, Stammtemperatur etc.) wurden in einer Datenbank zusammengefasst und ausgewertet.

#### **Arbeitspaket 6: Bewertung der Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt**

Unter der Berücksichtigung bereits ermittelter Nährstoffgehalte (FKZ: 22015407; Weis und Göttlein 2013) unterschiedlicher Baumkompartimente in Abhängigkeit zur Nährstoffversorgung am Standort, wurde die Auswirkung der Entrindung auf den Nährstoffhaushalt kalkuliert. Vergleichend hierzu wurden ebenfalls die verbleibenden Nährstoffmengen bei konventioneller vollmechanisierter Holzernte ermittelt. Eine Abschätzung der Verteilung der Rinde im Bestand wurde durchgeführt und dokumentiert. Eine weiterführende Untersuchung zur räumlichen Verteilung und Nährstofffreisetzung in Abhängigkeit zur Zeitskala wird in einem neuen Projekt des Konsortiums (FKZ: 22028316) untersucht werden.

#### **Arbeitspaket 7: Ökonomische Bewertung**

Ableitend aus den in den Hauptstudien ermittelten Werten wurde eine erste Kostenschätzung für die Forstbetriebe und Forstunternehmer erstellt. Auch vergleichende Untersuchungen mit konkurrierenden Entrindungstechniken wurden angestrebt. Auf Grund der Komplexität des Themas und des aufgedeckten Umfangs und Potentials, wird dieses Arbeitspaket gesondert in einem eigenständigen Projekt betrachtet (FKZ: 22028316). Dieser Schritt ist notwendig um die Akzeptanz für entrindetes Rundholz bei der abnehmenden Seite zu stärken und entrindende Harvesterfällköpfe am europäischen Markt langfristig zu etablieren.

#### **Arbeitspaket 8: Zusammenfassende Verfahrensbewertung**

Eine gesamtheitliche Verfahrensbewertung für unterschiedliche Szenarios wurde in engster Zusammenarbeit mit dem KWF entwickelt. In dieser Bewertung fließen alle Ergebnisse der Hauptstudie und studentischen Abschlussarbeiten ein. Sie soll dazu dienen, Entrindung als potentielle Technik auch für andere forstliche Bereichen und Länder bewerten zu können.

#### **Arbeitspaket 9: Empfehlungen für Einsatzbereiche**

Aufbauend auf Arbeitspaket 8 werden die identifizierten Einsatzbereiche in der deutschen Forstwirtschaft, in Zusammenarbeit mit dem KWF, formuliert und veröffentlicht.

#### **Arbeitspaket 10: Praxistransfer der Untersuchungsergebnisse**

Während der laufenden Projektlaufzeit wurden die neuen Erkenntnisse und Ergebnisse auf Veranstaltungen und Messen einem interessierten Fachpublikum präsentiert und diskutiert. Es herrschte ein reger Austausch zwischen allen Projektbeteiligten. Zusätzlich wurden Inhalte aus dem Projekt in Lehrveranstaltungen der HSWT eingebunden. Auf folgenden Veranstaltungen konnten sich interessierte Bürgerinnen und Bürger, sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler informieren:

### 3.1.3 Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Die Untersuchungen zum Entrindungsergebnis der vorgenommenen Modifikationen zeigten einen klaren Einfluss der Vegetationszeit auf die Entrindung. Das mittlere Entrindungsprozent lag im Sommer zwischen 74% und 90% und im Winter zwischen 35% und 54%. Die große Streuung der Entrindungsprozente im Sommer kann mit dem Umstand erklärt werden, dass zwei der Sommerversuche auf Grund eines Frischholz-Einschlagstopps im Zuge einer besorgniserregenden Borkenkäferentwicklung 2017, in eben solchen vom Borkenkäfer befallenen Beständen durchgeführt wurden. Ähnlich der Vegetationszeit hat auch der Borkenkäfer einen Einfluss auf den Saftfluss innerhalb des Stammes und somit auf die trennende Schicht zwischen Rinde und Holzkörper. Während dieser Versuche zeigte sich, dass die Auswirkungen des Saftflusses von einem der Prototypen gut kompensiert wurden. Grund hierfür sind Modifikationen an den Entastungsmessern. Dies gibt Hinweise darauf, wie das Entrindungsprozent im Winter ebenfalls weiter gesteigert werden kann.

Des Weiteren konnte nachgewiesen werden, dass die Eindrucktiefe der Entrindungswalzen signifikant geringer war als die der konventionell genutzten Stachelwalzen. Dagegen nahmen die Schäden der Entastungsmesser am Holzkörper auf Grund der Einstellungen zu.

Bei der Längenmessung konnten keine gravierenden Maß-Abweichungen gemessen werden. Bedingung hierfür ist eine akribische Kalibrierung der Längenmessung an der Maschine nach dem Umbau. Einzelne Ausreißer im Datensatz lassen sich mit abgebrochenen Stammabschnitten aufgrund der auftretenden Scherkräfte (Drehung des Baumes durch das Aggregat) bei der Aufarbeitung erklären.

Die Entrindung mittels Debarking Head stellt eine gute Möglichkeit dar, zusätzlich je nach Nährelement (Stickstoff; Phosphor; Kalzium; Magnesium und Kalium) zwischen 14 und 31 Prozent der im Regelverfahren der Holzernte entnommenen Nährstoffe im Bestand zu belassen und die Fertilität des Bodens zu bewahren. Eine Berechnung für durchschnittliche bayerische Verhältnisse ergab, dass bei einem Entrindungsprozent von 87% bei Fichte (*Picea abies*) die im Bestand verbleibenden Nährstoffe ca. 12% des Gesamtnährstoffbedarfs einer Fichte (Umtriebszeit 120 Jahre) entsprechen.

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 das Holz zeitnah entrindet werden soll (Borkenkäfer-Prävention). Um die Bestandesschäden gering zu halten, empfiehlt es sich, das System nicht in dichten Beständen oder Endnutzungen mit hoher gesicherter Vorausverjüngung einzusetzen.

### 3.1.4 Zusammenfassung Bachelorarbeiten

Im Folgenden werden die Zusammenfassungen der im Projekt bearbeiteten Bachelorarbeiten aufgeführt. Die Abschlussarbeiten wurden unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Wittkopf, Herrn Heppelmann und Herrn Paschke an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf erarbeitet.

#### Braun 2016, Entrindungsprozent eines Ponsse H8 Fällkopfes bei normalem und erhöhtem Anpressdruck:

Nach den Vergleichen von normalem und erhöhtem Anpressdruck in den Schaubildern in den vergangenen Abschnitten, soll nun eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgen. Es sollte das mit herkömmlichen Harvesteraggregaten erreichte Entrindungsprozent bei normalem und bei erhöhtem Anpressdruck gemessen werden.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Der Versuch wurde zwischen dem 08.06. und dem 16.06.2015 im Ebersberger Forst gemacht.

Dabei kam ein Kern 40T mit einem Ponsse H8 Aggregat mit Vorschubwalzen zum Einsatz.

Nach Auswertung aller Daten kann auf jeden Fall festgestellt werden, dass durch Verschiebung der Anpressdruckkurve um ungefähr 40bar nach oben das durchschnittliche Entrindungsprozent um rund 3% gesteigert werden konnte.

Die entrindeten Flächen wurden annäherungsweise mithilfe von Formen aus der Geometrie wie z.B. Rechteck, Quadrat und Kreis bestimmt. Als Werkzeug kamen eine Forstkluppe, ein Forstmaßband, ein Stammwender und ein Meterstab zum Einsatz.

Bei den entrindeten Flächen wurde zwischen Flächen unterschieden, die zu 100% entrindet waren und Flächen, die zu 50% entrindet waren. Die zu 100% entrindeten Flächen wurden mit dem Faktor 1 multipliziert, während die zu 50% entrindeten Flächen mit dem Faktor 0,5 gewichtet wurden.

Die Summe aller gemessenen Flächen jedes Stammes wurde dann ins Verhältnis zu seiner Mantelfläche gesetzt. Dies ergab schließlich das Entrindungsprozent. Die aufgenommene Stammzahl betrug in der normalen, wie auch in der erhöhten Variante jeweils 70 Stück.

Für die normale Variante blieb die Anpressdruckkurve unverändert, während in der erhöhten Variante die Anpressdruckkurve um ca. 40bar nach oben verschoben wurde. Die Entrindungsprozente lagen bei normalem Anpressdruck zwischen 0 und 29,74%. Dem gegenüber lagen die Entrindungsprozente für den erhöhten Anpressdruck zwischen 1,46 und

23,82%. Erstaunlicherweise erreichte der normale Anpressdruck bei den Einzelwerten die vier höchsten Entrindungsprozente. Ähnliches war bei der Einteilung in Stärkeklassen zu beobachten. Bis zur Stärkeklasse 3a lagen die Werte der erhöhten Variante auf einem höheren Niveau, doch danach erreichte auch die normale Variante dieselbe Wertehöhe.

Außerdem konnte festgestellt werden, dass es große Schwankungen innerhalb der 50%igen, wie auch der 100%igen Entrindung gab. Dies betrifft sowohl den normalen, wie auch den erhöhten Anpressdruck.

Während sich bei normalem Anpressdruck die Werte mit 50%iger Entrindung nur in einem kleinen Bereich zwischen 0 und 5% befanden, bewegten sich die Werte bei der 100%igen Entrindung zwischen 0 und 27%. In der normalen Variante betrug der Anteil des Durchschnittswertes der 50%igen Entrindung am durchschnittlichen Entrindungsprozent 13,5%.

Ähnlich sah es auch in der Variante mit erhöhtem Anpressdruck aus. Dort waren die Werte der 50%igen Entrindung zwischen 0,03 und 27%.

Hier gab es sehr große Schwankungen bei den Werten, allerdings lag der Anteil des Durchschnittswertes der 50%igen Entrindung am durchschnittlichen Entrindungsprozent bei rund 31,5%.

Betrachtet man weitere Werte, so fällt auf, dass der höchste Wert für die 100%ige Entrindung einen Wert von 22% erreichte. Der Streubereich der Werte lag zwischen 0,58 und 22%.

Die Abdrücke der Vorschubwalzen hinterließen über die gesamte Stichprobe sowohl bei normalem, als auch bei erhöhtem Anpressdruck keine Entrindung. Deshalb wurden diese bei den Aufnahmen auch nicht berücksichtigt.

Fasst man alle Ergebnisse zusammen, so steht fest, eine Erhöhung des Anpressdruckes durch Verschiebung der Anpressdruckkurve nach oben, lässt die Entrindungsprozente etwas steigen. Dadurch werden auch etwas weniger Nährstoffe entzogen. Obwohl die Aufnahmen in der Saftzeit stattfanden, erhöhten sich die Entrindungsprozente nicht so stark wie bei den Aufnahmen von A. Hohenadl. In der normalen Hiebszeit im Winterhalbjahr muss höchstwahrscheinlich mit noch geringeren Entrindungsprozenten gerechnet werden. Folglich werden auch die Nährstoffentzüge wieder zunehmen.

Unter Berücksichtigung aller Aspekte scheint die Erhöhung des Anpressdruckes keine großen Fortschritte zu bringen, weil sich die Entrindungsprozente nur minimal steigern lassen.

Aus diesem Grund wäre es am sinnvollsten, dass man das Spektrum erweitert und die Aggregate mit Vorschubwalzen von weiteren Herstellern miteinander vergleicht. So könnte das Aggregat mit dem höchsten Entrindungsprozent ermittelt werden.

**Eder, M. (2015): Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens zur Beurteilung der Entrindungsqualität**

In einer Zeit, die vom Klimawandel und Energieverknappung geprägt ist, wird das Verlangen nach regenerativen Energien und nachwachsenden Rohstoffen immer größer. Das wird auch zunehmend an der höheren Nutzung von Biomasse im Wald deutlich. Aufgrund dessen steigt auch der Austrag von Nährstoffen aus dem Ökosystem Wald.

Die Nährstoffspeicher im Wald liegen sowohl überirdisch in den Pflanzenkompartimenten wie auch unterirdisch im Boden gespeichert oder durch Mineralisation wieder zur Verfügung gestellt. Im Punkt 2.2.1 wird darauf hingewiesen, dass die Nährstoffe in einem Kreislauf immer wieder dem Boden entzogen und anschließend durch Verwitterung hinzugefügt werden. Jedoch wird dieser Kreislauf zunehmend durch die Holzernte unterbrochen. Gerade auf nährstoffarmen Böden muss zunehmend besser darauf geachtet werden, wie Nährstoffe im Bestand gehalten werden können. Wichtige Indikatoren für den Nährstoffzustand sind der Basen- und Phosphorhaushalt. Aufgrund dieser Untersuchung können Karten erstellt werden, die Standorte aufzeigen, welche gegenüber Nährstoffentzug problematisch reagieren können.

Im Nachfolgenden werden Lösungen angeboten, wie die Nährstoffe wieder in einen Kreislauf gebracht werden können. Hierbei spielen Düngung, Ascherückführung und Verringerung des Nährstoffaustrags eine Rolle. Eine wirkungsvolle Methode ist, die Nährstoffe erst gar nicht aus dem Bestand nehmen zu müssen aber dennoch Holz zu ernten. Dies wird nur möglich wenn man weiß wo sich die einzelnen Nährelemente konzentriert angelagert haben. Hierbei stellt sich raus, dass im Vergleich zur Biomasse die meisten Nährstoffe in Rinde, Nadeln, Laub und Feinreisig stecken. Da die Baumkompartimente Laub, Nadeln und Feinreisig schon jetzt zum Großteil im Bestand verbleiben, wird nun versucht zudem noch die Rinde vom Holz zu trennen und dem Nährstoffkreislauf wieder zu zuführen.

Aufgrund einer neuen Technik mit verbesserten Harvesteraggregaten können diese zusätzlich zu den Funktionen Fällen, Vermessen und Ablängen noch Entrinden. Die einzelnen Bauteile und deren Funktionen und Neuerung im Punkt Entrinden werden unter 2.3 und 2.4 ausführlich behandelt. Um zu beurteilen, wie gut das Aggregat entrindet, musste ein Verfahren entwickelt werden, dass die Entrindungsqualität feststellen kann.

Für die weitere Entwicklung des Verfahrens standen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, mit welchen Mitteln die Entrindung gemessen werden kann. Unter Punkt 3.2 stehen die Verfahren zur Auswahl. Die Wahl fiel anschließend auf ein statistisches Verfahren, welches durch Auszählen einer Gitterstruktur die Entrindungsfläche erheben soll.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Zunächst wird ermittelt, welches Material für die Untersuchung der Thematik benötigt wird. Das Verfahren soll drei verschiedene Maschenweiten einer bestimmten Netzgröße untersuchen, die jeweils auf Genauigkeit und zeitlichen Aufwand hin überprüft werden. Im Abschnitt 4.1 werden weitere Geräte und Details geschildert, die für die Aufnahme von besonderer Wichtigkeit sind.

Für eine effektive Untersuchung der drei Netze auf Flächengenauigkeit wird eine Methode benötigt, die die Entrindung des Stammes simuliert und bei der man zugleich die Realentrindungsfläche kennt. Dies wird mit Hilfe von Farbkartonagen gelöst, welche in unterschiedlichen Flächenformen und Größen ausgeschnitten werden.

Während der Aufnahme werden die gezählten Knotenpunkte, die in die simulierte Entrindungsfläche fallen, in einer Tabelle notiert. Zudem wird von jeder Auszählung die Zeit gestoppt, die dafür benötigt wird. Dies geschieht bei allen drei Netzen auf dieselbe Art und Weise, um Aufnahmefehler zu vermeiden.

Deutlich zu sehen ist, dass mit zunehmender Maschenweite die Auszähldauer stark zurückgeht, wobei sich im Gegenzug die Standardabweichung der jeweiligen Netze erhöht. Zudem ist bei den Anfangswerten des sechs cm Netzes eine deutliche Überschätzung der Entrindungsfläche zu erkennen.

Schlussendlich wird in der Diskussion darüber berichtet, was die Datenanomalie beim sechs cm Netz verursacht haben könnte. Hierbei stellte sich raus, dass bei zu hohen Maschenweiten und Durchmessern sich die Netzfäden verziehen und somit der Flächeninhalt verändert werden kann. Zudem werden noch unverzichtbare Utensilien benannt und das weitere Verfahren im Feld spezifiziert.

**Fangauer, J. (2017): Verbleib von rindengebundenen Nährstoffen im Bestand bei vollmechanisierter Holzernte mit und ohne Entrindung.**

Ziel dieser Arbeit war es, die rindengebundenen Nährstoffmenge, die bei Verwendung unterschiedlicher Harvesteraggregate im Bestand verbleiben, zu berechnen und hinsichtlich ihrer ökonomischen Auswirkungen zu bewerten.

Zuerst wurde Literatur zum Thema Nährstoffe und Rinde hinsichtlich der Aspekte Gehalt der Makronährrelemente in der Rinde, Einfluss des Bestandesalters auf den Nährelementgehalt, Einfluss der Standorteigenschaften und Monetarisierung von Nährstoffverlusten ausgewertet. Anschließend wurden die Entrindungsprozente von zwei konventionellen und einem entrindenden Harvesterkopf gegenübergestellt. Dabei wurde für die konventionellen Harvesteraggregate ein durchschnittliches Entrindungsprozent von 8,7 % festgestellt, wobei beim Log Max Aggregat eine deutlich höhere Entrindungsrate als beim Ponsse Aggregat vorliegt. Für das entrindende Harvesteraggregat beträgt das Entrindungsprozent 87 %. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf Holzernteaufnahmen in der Vegetationszeit. Mithilfe dieser Daten wurde der Nährstoffverbleib für die beiden Aggregatstypen für die Makronährrelemente je Festmeter und für ein exemplarisches Durchforstungsmodell über eine Umtriebszeit von 120 Jahren berechnet. In diesem Modell werden insgesamt 1651 fm/ha entnommen.

Für das entrindende Aggregat fallen über die Umtriebszeit 32119 kg TM an Rinde und bei einem konventionellen Aggregat 3322 kg TM an.

Dabei wurde für die konventionellen Aggregate ein Stickstoffverbleib von 9,56 g/fm, ein Phosphorverbleib von 1,13 g/fm, ein Kaliumverbleib von 5,25 g/fm, ein Calciumverbleib von 21,92 g/fm und ein Magnesiumverbleib von 1,77 g/fm festgestellt. Dahingegen verbleiben bei einem entrindenden Harvesteraggregat 92,41 g/fm an Stickstoff, 10,89 g/fm an Phosphor, 50,78 g/fm an Kalium, 211,85 g/fm an Calcium und 17,12 g/fm an Magnesium. Dies bedeutet einen rund zehnfach höheren Nährstoffverbleib beim entrindenden Aggregat. Zusätzlich wurde, wie bereits erwähnt, auch der Nährstoffverbleib über eine Umtriebszeit mithilfe der Oberhöhenbonität 34 nach der Ertragstafel von Assmann-Franz berechnet.

Das entrindende Aggregat deckt damit bis zu 17 % je nach Nährstoff des gesamten Nährstoffbedarfs eines Bestandes, während das konventionelle nur 1 % des Bedarfs deckt.

Um die ökonomischen Auswirkungen beurteilen zu können, wurde mit den Düngemittel- und Ausbringungskosten der monetäre Wert der Nährstoffmengen berechnet. Dagegen stehen die erhöhten Aufwendungen für die Holzernte bei Einsatz eines Debarking Heads. Über die gesamte Umtriebszeit ist der Mehraufwand durch die Holzernte mit 1,11 € Mehrkosten je fm jedoch doppelt so hoch zu beziffern wie der Wert der im Bestand verbleibenden Nährstoffe.

Was die Verteilung der Rinde im Bestand angeht, so erreicht die Rinde zum Zeitpunkt der Ausbringung nur circa 40 % der Bestandesfläche. Es kann jedoch die Annahme aufgestellt werden, dass auch weitere Bereiche des Bestandes durch den Streufall mittel- bis langfristig mit den rindengebundenen Nährstoffen versorgt werden. Ebenfalls muss eine möglicherweise kostengünstigere Ausgleichsdüngung anstelle des Belassens der Rinde im Bestand kritisch hinterfragt werden. Durch sie geht der natürliche Stoffkreislauf verloren, da Düngemittel nicht kontinuierlich in kleinen Mengen biomassegebunden verabreicht werden können, sondern es wird in größeren Abständen eine große Menge in mineralischer Form ausgebracht.

Vor allem auf Böden, bei denen der Großteil der Nährstoffe in der Bestandsbiomasse gespeichert ist, sind Ernteverfahren bei dem die Rinde im Bestand verbleibt ratsam.

**Hohenadl, A. (2015): Mit herkömmlichen Harvesterköpfen erreichbare Entrindung bei Fichte.**

Untersucht wurde in dieser Arbeit das erreichbare Entrindungsprozent herkömmlicher Harvesterköpfe. Der Versuch wurde auf einer Waldfäche im Wuchsgebiet Oberbayerische Jungmoräne und Molassevorberge im Dezember 2014 durchgeführt.

Auf dem, zur Verfügung stehenden, Harvester war ein Aggregat des finnischen Herstellers Keto Harvesters verbaut. Dieser Hersteller verwendet anstatt der, bei anderen Herstellern üblichen Vorschubwalzen, Vorschübe mit Vorschubketten.

Die Entrindungsprozente wurden anhand von Flächenvermessung mittels Meterstab, Maßband und Messkluppe ermittelt. Vermessen wurden die Teilflächen, an denen die Rinde abgeschält worden war. Dies geschah in Anlehnung an einfache geometrische Formen wie Dreieck, Rechteck, Quadrat oder Kreis. Anschließend wurden die Teilflächen gewichtet. Flächen mit sichtbarem Holzkörper gingen zu 100 % in die Berechnungen ein, Flächen mit lediglich oberflächlicher Entrindung mit 50 %. Anhand der Mittendurchmesser der Stammabschnitte wurden die Mantelflächen errechnet und die Summe der gewichteten Fehlstellen durch Entrindung zur jeweiligen Mantelfläche ins Verhältnis gesetzt.

Insgesamt wurden 140 Stammholzabschnitte vermessen. In den Stärkeklassen 1b bis 3a jeweils 30 Abschnitte, in der Stärkeklasse 1a (Papierholz) lediglich 20 Stück. Zunächst wurde das Entrindungsprozent unter dem, laut Betriebsanleitung empfohlenen Anpressdruck auf Astmessern und Vorschubwalzen von 135 bar ermittelt. Anschließend mit 165 bar.

Durch die Anhebung der Anpressdrücke um 30 bar konnte die durchschnittliche Entrindung um etwa 20 % gesteigert werden. Unter niedrigem Druck streute das Entrindungsprozent in einem Bereich zwischen 2 und 8 % über alle Stärkeklassen hinweg. Bei erhöhtem Anpressdruck bewegten sich die Werte stets in einem Bereich über 5 % bis hin zu maximal 50 %. Im Durchschnitt waren es 24,5 %. Tendenziell stieg dabei das Entrindungsprozent mit zunehmendem Mittendurchmesser an. Durch die Einteilung in Flächen mit vollständiger und unvollständiger Entrindung war auch ein Vergleich in der Tiefenwirkung der Entrindung möglich. Unter normalem Druck lag die Entrindung durch oberflächliche Verletzungen zwischen 3,5 und 7,5 %, die vollständige lediglich im Bereich zwischen 0,5 und 2,5 %. Bei erhöhtem Druck steuerten die oberflächlichen Verletzungen zwischen 11 und 25 % zur Entrindung bei, wohingegen sich die vollständige Entrindung über einen Bereich zwischen 5 und 17 % erstreckte.

Betrachtet wurde auch die Art der Entrindung nach Entrindung durch die Astmesser und Entrindung durch die Vorschubketten. Bei normalem Druck entfielen lediglich 0,2 bis 1,5 % der Entrindung auf die Vorschubspur, die restlichen 2,5 bis 5,5 % auf die Astmesser. Bei erhöhtem Druck entfielen 0,1 bis 7,5 % der Entrindung auf die Vorschubspur, auf die Astmesser die restlichen 11 bis 30 %.

In einem weiteren Versuchsteil wurde der Anteil der Rindenschuppen - welche die Fichte in der Tertiärrinde ausbildet - an der gesamten Rindenmasse ermittelt. Diese Schuppen lösen sich bei der Bearbeitung durch das Harvesteraggregat leicht von der Rinde ab. Das Abfallen der Schuppen hinterlässt optisch keine oder nur kaum sichtbare Spuren auf dem Stammholz und wurde somit im ersten Versuchsteil nicht erfasst. Deshalb wurde ein Baum auf eine Siloplane gefällt und über ihr die untersten beiden Längen (Länge jeweils 5 m) mit dem Harvester aufgearbeitet.

Nach dem Absammeln von Ästen, Feinreisig, sowie durch die Astmesser abgeschälten Rindenstreifen wurden die Rindenschuppen von der Plane genommen. Die Stammabschnitte wurden von Hand entrindet. Das Trockengewicht der Rindenschuppen wurde nun zum Trockengewicht der gesamten Rindenmasse ins Verhältnis gesetzt. Die beiden

Stammabschnitte unterschieden sich nicht beim prozentualen Anteil der Rindenschuppen an der gesamten Rindenmasse. Es ergab sich ein Anteil der Rindenschuppen an der gesamten Rindenmasse der untersten 10 m des Baumes von 11 %. In Verbindung mit den Ergebnissen der Versuche mit erkennbaren Rindenverletzungen bedeutet dies, dass die tatsächlichen Werte für die Entrindung nochmals um etwa 10 % höher liegen als die über die Flächenvermessung gewonnenen. Allerdings gilt dies nur für die Stammstücke mit ausgebildeter Tertiärrinde und somit ausgeprägten Rindenschuppen. Um über die Größenordnung der Rindenschuppen auf einen ganzen Baum bezogen genauere Aussagen treffen zu können wären jedoch weiterführende Untersuchungen notwendig.

Abschließend kann man sagen, dass selbst außerhalb der Saftzeit, ohne Änderungen im technischen Aufbau von Harvesteraggregaten, bereits eine deutliche Steigerung der Entrindung durch höhere Anpressdrücke möglich ist. Dies wirkt sich positiv auf die Punkte Nährstoffentzug, Ladekapazitäten in der Holzlogistik, Waldschutz und Ascheanfall bei der Verbrennung aus und bietet somit die Möglichkeit, in den genannten Punkten schon jetzt auf einfache Weise Verbesserungen herbeizuführen, bis die Forsttechnik vielleicht künftig bessere Lösungen zur Verfügung stellen kann.

### **Leidner, W. (2015): Werk statt Wald – Entwicklung der Rundholzentrindung in Deutschland.**

In dieser Arbeit werden die Entwicklungsgeschichte der Entrindungsmaschinen in Deutschland sowie die Veränderung des Entrindungsortes in Verbindung mit dem Rindenmarkt behandelt. Es wurden eine umfassende Literaturstudie, Experteninterviews und eine ausgiebige Internetrecherche durchgeführt. Durch einen Blick in die Vergangenheit wird deutlich, dass auch die Rinde schon seit jeher gewissen Trends unterlag. Im Mittelalter war sie ein begehrter Gerbstoff, im 19. Jahrhundert ein störendes Abfallprodukt und heute ist sie ein begehrter Rohstoff. Hierzu trug unter anderem die Entwicklung der Entrindungstechnik bei. Wurde zunächst noch von Hand im Wald entrindet, entwickelten sich mit der Zeit Holzausformungsplätze, auf denen zunächst noch mit der Hand später mit mobilen Anlagen entrindet wurde. Dieser Trend endete Ende der 1980er Jahre, da zunehmend im Werk mit stationären Anlagen entrindet wurde. Zudem begann eine Selektion in der holzverarbeitenden Industrie, bei der sich vor allem kleine Sägewerke, die noch im Wald entrinden ließen, nicht behaupten konnten.

Der Trend hin zur Werksentrindung lässt sich deutlich an der Behandlung des Fichtenstamm-holzaufkommen des Bayerischen Staatswaldes erkennen. Wurden 1980 noch 33 Prozent per Hand, 39 Prozent maschinell und 27 Prozent außerhalb des Waldes entrindet, waren es im Jahr 2000 nur noch ein Prozent händisch, sieben Prozent maschinell im Wald und 92 Prozent außerhalb des Waldes.

Heutzutage wird das Stammbholz fast ausschließlich im Werk entrindet. Nur noch geringe Mengen werden in Sondersituationen wie der Borkenkäferbekämpfung im Gebirge im Wald entrindet. Dies hat vor allem den Grund, dass der Rohstoff Rinde sehr begehrt ist, da er praktisch kostenfrei mitgeliefert wird und man durch seine Veredelung oder seinen Verkauf eine zusätzliche Einnahmequelle generiert. Außerdem wurden in der Vergangenheit bereits große Summen in stationäre Entrindungsanlagen investiert, die sich nun amortisieren müssen.

Die Rinde wird heute vor allem in zwei Sparten genutzt. Zum einen stofflich im Garten- und Landschaftsbau zum anderen thermisch in Heizkraftwerken. Die in der Sägeindustrie anfallende Rinde wird fast ausschließlich thermisch verwertet. In der Papierindustrie anfallende Rinde wird jeweils zur Hälfte thermisch und stofflich im Garten- und Landschaftsbau genutzt. Der Rindenanfall der Holzwerkstoffindustrie wird etwa zu 90 bis 95 Prozent thermisch verwendet. Die übrigen fünf bis zehn Prozent werden in Spanplatten

mitverarbeitet. Der hohe Anteil an thermischer Nutzung resultiert stark aus der Entscheidung der EEG-Clearingstelle vom November 2010 in einem Votumverfahren, dass Strom, der aus Rinde erzeugt wird, mit dem Bonus für nachwachsende Rohstoffe, dem sogenannten NawaRo-Bonus, vergütet wird.

Als Resümee dieser Arbeit kann man sagen, dass durch den technischen Fortschritt bei der Entrindung sowie durch staatliche Förderung der energetischen Nutzung von Biomasse die Rinde zurzeit eine Renaissance hat. Der einstmalige Gerbstoff wird heute als wichtiger Rohstoff im Garten- und Landschaftsbau wie auch in erheblichem Umfang als erneuerbare Energieträger genutzt.

**Rosnau, F. (2017): Einfluss der mechanisierten Holzernte auf Leben und Tod von Buchdrucker (*Ips Typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalographus*).**

Ziel dieser Bachelorarbeit war es, den Einfluss der mechanisierten Holzernte auf die Mortalität des Buchdruckers und Kupferstechers zum Zeitpunkt der Aufarbeitung zu untersuchen. Die Forschungsfragen lauteten:

- Wie sind Buchdrucker und Kupferstecher am Stamm verteilt?
- Welchen Einfluss hat die Walzenspur auf das Überleben von diesen?
- Wie viele Käfer befinden sich in der Rinde, die bei der Aufarbeitung abfällt?

Zur Klärung dieser Fragen wurde im Sommer 2016 ein Versuch während der Käferholzaufarbeitung in Beständen des Forstbetriebs Kipfenberg der BaySF durchgeführt. Eingesetzt wurde ein TimberPro 620-E mit einem Log Max 7000 Harvesteraggregat.

Die zwölf beprobten Fichten wurden über einer Plane aufgearbeitet, sodass die bei der Aufarbeitung abfallende Rinde aufgesammelt und in einen handelsüblichen Plastiksack verpackt werden konnte. Die einzelnen Abschnitte und Plastiksäcke wurden so nummeriert, dass eine Zuordnung des Rindenabfalls zum Stammabschnitt auch noch zu späteren Zeitpunkten möglich war. Die aufgearbeiteten Abschnitte wurden der Länge nach in ein Meter lange Bereiche eingeteilt. Pro Bereich wurde dann jeweils eine Rindenstichprobe mit einer Größe von 100 cm<sup>2</sup> im Bereich der Walzenspur und zwischen den Walzenspuren genommen. Im Bereich der Stichprobe wurden die auf dem freigelegten Holz und die in der Rinde befindlichen Käfer nach Art, Entwicklungsstadium und Vitalitätszustand aufgenommen und notiert.

Es wurden insgesamt 45 Abschnitte mit 474 Stichproben untersucht. Mit Hilfe der Käferzahlen wurde getrennt nach Buchdrucker und Kupferstecher deren Verteilung über den Stamm dargestellt. Zur Beurteilung des Einflusses der Vorschubwalzen auf die Mortalität von Buchdrucker und Kupferstecher wurden die Merkmalausprägungen tot und lebendig sowie Vitalitätszustände tot und lebendig und der Entnahmestandort, in der Walzenspur oder zwischen der Walzenspur, in einer Kontingenztabelle dargestellt. Mit Hilfe dieser wurde der Chi-Quadrat-Test und in einem Fall auch der Exakte Test nach Fischer durchgeführt, um einen Zusammenhang zwischen den Merkmalausprägungen zu suchen. Darüber hinaus wurde der Anteil der lebenden Käfern in der Walzenspur und zwischen Walzenspuren verglichen.

Um auf den Anteil der Käfer in den während der Aufarbeitung abfallenden Rindenstücken zu kommen, wurden die Käfer nach Art und Entwicklungsstadium getrennt, in der abgefallenen und eingesammelten Rinde gezählt.

Ergebnis war, dass der Buchdrucker die Fichten bis zu einer Höhe von 21 m gleichmäßig befällt. Der Kupferstecherbefall hat sich erwartungsgemäß vor allem auf den Bereich des Kronenansatzes und dem unteren Kronenbereich konzentriert. Bei den Buchdruckern kann

von einem Zusammenhang zwischen Einfluss der Walzenspur und dem Vitalitätszustand mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % ausgegangen werden. In der Walzenspur befanden sich, über alle Entwicklungsstadien hinweg gemittelt, rund 40 % weniger lebende Käfer als im Feld zwischen den Walzenspuren.

Für den Kupferstecher war der Stichprobenumfang zu gering, um eine Aussage über die von der Walzenspur verursachte Mortalität zu fällen. Der Anteil der Buchdrucker im Rindenabfall beträgt je nach Entwicklungsstadium zwischen 0,7 % und 4,3 % der im Stamm enthaltenen Individuen. Beim Kupferstecher befinden sich, ebenfalls vom Entwicklungsstadium abhängig, zwischen 0 % und 13,3 % der Käfer in der bei der Aufarbeitung abgefallenen Rinde.

Aus den Ergebnissen ergibt sich, dass die Walzenspur einen deutlichen Einfluss auf die Mortalität von unter der Rinde sich befindenden Buchdruckern hat. Durch eine den ganzen Stamm umfassende Bewalzung durch verfahrenstechnische Modifikationen könnte der Effekt noch gesteigert werden.

Durch mechanisierte Holzernte von Käferfichten ist eine weitere Käferausbreitung nicht vollständig zu unterbinden, da ein Teil der lebenden Käfer mit der Rinde bei der Aufarbeitung abfällt. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollten noch durch Folgeversuche weiter verifiziert werden.

**Schätzlein, A. (2017): Untersuchung zu Schäden am Rundholz durch entrindende Vollernteraggregate.**

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden Untersuchungen zu Schäden am Rundholz durch entrindende Vollernteraggregate durchgeführt. Die verwendeten Vollernteraggregate waren das H7 der Firma Ponsse (P.) und das 7000 der Firma Logmax (L.). Als Versuchsbäume aus gleichförmigen Beständen dienten 16 gesunde Fichten (*Picea abies* [L.] Karst.), mit im Mittel 36 cm Brusthöhendurchmesser.

Die Schäden wurden nach zwei verschiedenen Schadenstypen getrennt erfasst. Kleinflächige Schäden, die ihre Hauptausbreitung radial in den Stamm haben und durch Penetration und **Schnitt der Oberflächenstrukturen der Entrindungswalzen in das Holz** entstehen, wurden als **Typ-1-Schäden** definiert. Bei diesen Schäden wurde die **Eindringtiefe**, die Stärke der über den Schäden befindlichen Rinde und die Tiefe von teilweise an den Typ-1-Schäden aufgetretenen radial in den Stamm ziehenden Rissen nach Präparation von Stammquerschnitten gemessen. **Großflächige Schäden über 25 cm Länge entlang der Stammachse**, welche durch Traktionsverlust der Vorschubwalzen auf den Stamm oder durch Penetration des Stammes **durch die Entastungsmesser** entstehen und in Form von Faserausrissen auftreten, wurden als **Typ-2-Schäden** definiert. Diese wurden in ihrer Ausbreitung entlang der Stammachse, ihrer okular abgeschätzten maximalen Tiefe und ihrer Fläche vermessen. Die Flächenbestimmung der Typ-2-Schäden erfolgte mittels eines Netzes mit 3 cm Maschenweite.

Die Untersuchung der insgesamt 2028 **Typ-1-Schäden** ergab, dass die durch die konventionellen Vorschubwalzen verursachten Schäden im Mittel mit 7,6 mm (P.) und 5,6 mm (L.) signifikant tiefer waren als bei den Entrindungswalzen mit durchschnittlich 4,9 mm (P.) und 5,0 mm (L.). Ein diskutabler Grund hierfür kann die geringere Kontaktfläche der konventionellen Vorschubwalzen zum bearbeitenden Baum darstellen. Beim Logmax-7000-Vollernteraggregat konnten signifikant unterschiedliche Schadenstiefen zwischen den Schäden unter 5 m Höhe im Baum, im Mittel 4,49 mm Schadenstiefe, und den Schäden zwischen zehn und 15 Metern Höhe im Baum, im Mittel 5,46 mm Schadenstiefe, nachgewiesen werden. Eine mögliche Erklärung kann die Abnahme der Kontaktfläche zwischen Baum und Vorschubwalzen mit zunehmender Baumhöhe sein, da der Druck sich auf weniger Fläche verteilt. In der Stichprobe des Ponsse H7 deutete sich eine Abnahme der

Typ-1-Schadenstiefe mit Zunahme der Rindenstärke an, hier bestand eine signifikante, wenn auch schwach negative Korrelation mit einem Spearman-Rangkorrelationskoeffizient von -0,235. Eine mögliche Begründung dieses Zusammenhangs kann durch die Wirkung der Rinde als schützende Schicht auf dem Holz gegeben werden.

Die **Typ-2-Schäden**, welche durch die Entrindungswalzen verursacht wurden, waren sowohl beim Ponsse-Versuch mit 14 mm Tiefe (P.) als auch beim Logmax-Versuch mit 15 mm Tiefe (L.) signifikant tiefer als die durch die konventionellen Vorschubwalzen verursachten Typ-2-Schadenstiefen mit 8 mm (P.) und 12 mm (L.). Ebenso waren die Schadenslängen durch die Entrindungswalzen entlang der Stammachse mit im Mittel um 147 cm (P.) und 12 cm (L.) und die Schadensflächen mit im Mittel um 1694 cm<sup>2</sup> (P.) und 82 cm<sup>2</sup> (L.) signifikant größer. Auch die Anzahl der Typ-2-Schäden war bei den Entrindungswalzen mit n = 77 (P.) und n = 74 (L.) größer als bei den konventionellen Vorschubwalzen mit n = 10 (P.) und 27 (L.).

Diese **Ergebnisse der Typ-2-Schäden lassen sich potenziell auf die unterschiedlichen Kontaktflächen der verschiedenen Vorschubwalzen zurückführen**, da einerseits bei montierten Entrindungswalzen die Kontaktfläche größer ist, andererseits der Anpressdruck so auch auf eine größere Fläche verteilt wird. Die **großflächigere Verteilung des Anpressdruckes kann Traktionsverlust und damit großflächigere, längere und tiefere Typ-2-Schäden verursachen.**

Ein **gewisser Anteil der Typ-2-Schäden ließ sich auf die Entastungsmesser zurückführen**, welche, durch die Forschung von Gerasimov et al. (2012) bestätigt, Einfluss auf die Holzqualität haben.

Generell waren bei beiden Vollernteraggregaten die **Typ-1-Schäden durch die konventionellen Vorschubwalzen signifikant tiefer**. Die Stärke der Rinde konnte beim Ponsse-Versuch als schadensmindernd identifiziert werden. Allein bei den Typ-1-Schäden des Logmax 7000 konnte eine signifikante Zunahme der Schadenstiefe mit zunehmender Höhe im Stamm festgestellt werden.

Die **Typ-2-Schäden waren bei beiden verwendeten Vollernteraggregaten durch die Entrindungswalzen signifikant tiefer, großflächiger und länger entlang der Stammachse als die durch konventionelle Vorschubwalzen verursachten Typ-2-Schäden.**

Weitere Untersuchungen zur Entrindung von Rundholz durch Vollernteraggregate im Bestand sollten sich weniger auf Entrindungswalzen, sondern mehr auf die Form und Stellung der Entastungsmesser und die Art der Aufarbeitung konzentrieren, um mögliche Wertminderungen zu minimieren.

**Vater, S. (2017): Vergleich vorhandener Verfahren zur Aufnahme von Bestandesschäden nach vollmechanisierter Holzernte - Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens zum Vergleich der Bestandesschäden zweier Holzernteverfahren im Bestand.**

Ziel dieser Bachelorarbeit war es, bereits vorhandene nationale und internationale Verfahren zur Aufnahme von Bestandesschäden nach mechanisierter Holzernte zu vergleichen. In Anlehnung daran wurde ein neues Schema mit dem idealen Zeit-Nutzen Quotienten erstellt. Das Schema soll vorrangig für die Beurteilung von Schäden auf Debarking Head-Entrindungsflächen im Vergleich zu ohne Entrindung, vollmechanisiert Aufgearbeitete Flächen im selben Bestand eingesetzt werden. Die Bestandesdichte und Bodenschäden auf der Rücke-gasse, somit Gleisbildung und Spurrillentiefe, bleiben hierbei unberücksichtigt.

Zunächst wurden zehn Landesforste per E-Mail, bzw. per Kontaktformular angeschrieben und zur Vorgehensweise bei der Erfassung von Bestandesschäden bei der Holzernte im jeweiligen Betrieb befragt. Ziel war es, in Erfahrung zu bringen, welchen Stellenwert die

wissenschaftliche Methodik der vorhandenen Stichprobeverfahren im praktischen Arbeitsalltag von Forstbetrieben haben. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf dem Maß der Berücksichtigung von Quantität und Qualität der Schäden. Sieben der Befragten verwenden derzeit kein einheitliches Verfahren, drei hingegen schon. Da zwei auf das gleiche Schema zurückgriffen wurden diese zusammengefasst.

Um die internationalen Forschungsergebnisse zu berücksichtigen wurden zwei Verfahren aus Kanada miteinbezogen. Eines wurde von Asst. Prof. Dr. Eric R. Labelle für Forstliche Verfahrenstechnik der TU München zur Verfügung gestellt. Das Andere auf E-Mail Anfrage von der Provinz Ontario. Zudem wurden zwei Schemata aus Skandinavien, ein Österreichisches (OFNER) und ein weiteres Deutsches (MENG) aus wissenschaftlicher Empirie zusammengetragen.

Die sechs verschiedenen Schemata zur Datenaufnahme der Bestandesschäden wurden aufgelistet und sowohl inhaltlich, als auch von der Vorgehensweise genauer beschrieben und verglichen. Es wurden zuerst die verschiedenen Aufnahmeverfahren, nachfolgend die Inhalte untersucht und abschließend die Vor- und Nachteil diskutiert.

Anhand der Ergebnisse wurde ein Schema passend für das gesetzte Ziel modifiziert. Dabei wurden die Inhalte und Vorgehensweise leicht modifiziert.

So wird die vorgegebene zeitliche Anforderung von 30 min/ha durch das Probebandverfahren nach Ofner erreicht. Um das gewünschte Signifikanzniveau von 95% einzuhalten, wurde ein Stichprobenumfang von mindestens 160 Bäumen pro Bestand errechnet. Hierbei werden im 90° Winkel zu den Rückegassen, entlang einer fiktiven Linie in dem jeweiligen Bestand, je zwei Meter links und rechts, alle Bäume auf Beschädigungen untersucht und aufgenommen. Startpunkt ist immer die dem Bestandesrand am nächsten liegende Rückegasse.

Die Aufnahmen werden so lange fortgesetzt, bis die erforderliche Mindestanzahl an Bäumen dokumentiert wurde. Wichtig hierbei ist, die Aufnahmen stets an einer Rückegasse enden zu lassen, auch wenn die notwendigen Anzahlen bereits zwischen zwei Gassen erreicht wurden. Eine gleiche Repräsentation an Rückegassen muss sichergestellt. Das Datenblatt zur Aufnahme unterteilt sich in unbeschädigter bzw. beschädigter Baum, Lage des Schadens <2 m oder >2 m Höhe am Stamm, Wurzelschäden, Bodenfurchen und der Schätzung der prozentualen Schäden an der gesicherten Verjüngung. Dieses Erhebungsverfahren wird für beide zu vergleichenden Bestandesteilfächern durchgeführt.

Anschließend können das errechnete Schadprozent, die Lage der Schäden am Baum, die Häufigkeit von Wurzelschäden und Bodenfurchen und der prozentuale Anteil der beschädigten gesicherten Verjüngung einander gegenübergestellt werden.

**Weber, S (2017): Ermittlung der Entrindungsrate beim Harvesteraggregat Log Max 7000 bei konventioneller vollmechanisierter Holzernte.**

Ziel dieser Arbeit war es, Werte für das Entrindungsprozent der Baumart Fichte bei konventioneller vollmechanisierter Holzernte mit einem Harvesteraggregat am Beispiel Log Max 7000 zu gewinnen. Neben Frischholz wurden auch von Borkenkäfern befallene Stämme gefällt und untersucht.

Dazu wurden während der Vegetationszeit, Ende Juli im Wuchsgebiet 6.2 (Walentowski et al. 2013) bei Eichstätt, Versuche mit einem TimberPro TB 620-E Harvester und dem genannten Aggregat durchgeführt. Die bei der Aufarbeitung entstehenden Fehlstellen der Rinde wurden händisch vermessen. Zusätzlich wurde die abfallende Rinde mit einer Plane unter dem Harvesterkopf gesammelt und anschließend im Labor getrocknet und gewogen. Insgesamt wurden 108 Stammabschnitte aufgenommen.

Das Ergebnis war ein durchschnittliches Entrindungsprozent von 11,5 % bei Frischholz der Stärkeklassen 1a bis einschließlich 4. Der Wert für Käferholz lag mit 5,7 % deutlich darunter. Das Gewicht der abfallenden Rinde unterschied sich pro Laufmeter mit 217 g (Frischholz) zu 92 g (Käferholz) ebenfalls signifikant. Der Käferbefall hat also deutliche Auswirkungen auf den Rindenabfall bei maschineller Holzaufarbeitung.

Die Messungen wurden durch zahlreiche Parameter beeinflusst und können deshalb nur eine Momentaufnahme darstellen.

Aus statistischer Sicht kann es durch die geringen Stichprobenzahlen zu Ergebnisverzerrungen kommen. Bei den Käferholzabschnitten fiel, vermutlich aufgrund von Trocknungseffekten, weniger Rinde ab als bei frischen Fichten.

Im Vergleich mit anderen, bereits untersuchten, Harvesterköpfen wurde deutlich, dass die Entrindungsrate beim Log Max 7000 bisher am höchsten ist.

Am Beispiel eines Nadelholzsägewerkes mit einer Million Festmetern Einschnitt, wurde der energetische und monetäre Verlust durch die entgangene Rindennutzung errechnet. Dieser ist mit 95.000 € jährlich durchaus wirtschaftsrelevant.

Um die Auswirkungen der Rindenverletzung durch das Harvesteraggregat für die Käferholzaufarbeitung zu quantifizieren, wurde die vollmechanisierte Aufarbeitung mit der motormanuellen Schlitzmethode nach *Thorn et. al.* (2016) verglichen. Wahrscheinlich geschieht die, für die Borkenkäfereindämmung wichtige Austrocknung der befallenen Stämme, bei Aufarbeitung mit dem Log Max 7000 langsamer als bei der genannten motormanuellen Methode.

Nährstoffhochrechnungen zeigen die Bedeutung des Rindenabfalls durch vollmechanisierte Holzernte. Der Verbleib des Beispelnährelements Calcium erhöht sich um ca. 3,9 %. Ein aggressiv entrindender Harvesterkopf kann, insbesondere auf leistungsschwachen Standorten, für einen willkommenen, erhöhten Nährstoffverbleib sorgen.

**Windl, S. (2015): Aschegehalte von Bast und Borke -Vergleich von Fichte, Kiefer, Eiche, Buche und Douglasie im Forschungsprojekt „Entrindende Harvesterfällköpfe“.**

Intensive Nutzung von Holz und Waldhackschnitzeln kann insbesondere auf ärmeren Böden zu negativen Nährstoffbilanzen führen. In der Rinde sind im Verhältnis zu ihrer Trockenmasse überproportional viele Nährelemente gebunden. Im Forschungsprojekt „Entrindende Harvesterfälle“ der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (HWT) und des Kuratoriums für Walddarstellung und Forsttechnik (KWF e. V.) werden deshalb wissenschaftliche Daten zur Entrindung im Wald durch Harvesteraggregate erhoben.

Aus wissenschaftlichen Untersuchungen geht zwar der Anteil der Nährelemente die in der gesamten Rinde gebunden sind hervor, allerdings setzt sich die Rinde aus den Kompartimenten Bast und Borke zusammen. Über den Nähr-elementengehalt der beiden Schichten liegen keine Literaturangaben vor. Da bei einer teilweisen Entrindung durch den Harvester hauptsächlich ein Teil der oberen Borke abgetragen wird, ist es wichtig zu ermitteln, inwieweit sich die Nähr-elementengehalte von Bast und Borke unterscheiden.

Zu diesem Zweck wurden jeweils fünf Probeabschnitte der Baumarten Fichte, Douglasie, Kiefer, Eiche und Buche in den Durchmessern 10, 15, 20, 30 und 40 cm aus dem Freisinger Forst gewonnen. Bei den Probestücken wurden Borke und Bast separat mit einem Zugmesser abgelöst. Weil anfangs die Vermutung geäußert wurde, dass der Bast möglicherweise ähnliche Nähr-elementengehalte wie das Splintholz darunter aufweisen könnte, wurden zudem Splintholzproben genommen.

Die Proben wurden anschließend bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Im Weiteren wurde eine Aschegehaltsbestimmung nach der Norm DIN-EN 14775 durchgeführt. Über die Aschegehalte kann dann auf die Verteilung der Nähr-elemente in Bast und Borke geschlossen werden.

Der Aschegehalt des Fichtenbastes liegt bei 3,41 %, die Borke hat einen Aschegehalt von 4,01 %. An der Trockenmasse der Fichte hat der Bast einen Anteil von 3,0 %, der Anteil der Borke beträgt 6,6 %.

Bei der Kiefer ist der Aschegehalt des Bastes mit 4,69 % zwar deutlich höher als der der Borke (1,57), an der gesamten Asche von Holz und Rinde ist jedoch der Anteil der Kiefernborke mit 34 % höher als der Anteil des Bastes mit 13 %, weil der Anteil der Borke an der Trockenmasse wesentlich höher ist.

Die Aschegehalte im Splintholz bewegen sich zwischen 0,27 % bei Eiche und 0,66 % bei Kiefer, damit liegen sie deutlich unter den Werten des Bastes.

Bei Douglasie, Kiefer, Eiche und Buche wurden im Bast höhere Aschegehalte als in der Borke gemessen. Bei Fichte ist der mittlere Aschegehalt der Borke dagegen um 15 % höher als der des Bastes. Absolut gesehen sind jedoch die Ascheanteile der Borke an der Rinde bei Fichte, Douglasie, Kiefer und Eiche höher als die des Bastes, weil die Borke bei diesen Baumarten einen wesentlich höheren Anteil an der Rindentrockenmasse hat.

Bei einem vollständigen Verzicht auf die Rindennutzung kann der Nährstoffaustausch der Elemente P, Ka, Ca und Mg für Fichte auf Lössböden bei der Nutzung von Derbholz um etwa 45 % reduziert werden.

In einer vorangegangenen Bachelorarbeit von HOHENADL [2015, S. 28] konnte durch eine Erhöhung des Anpressdrucks der Entastungsmesser am Harvesteraggregat auf 165 Bar eine Entrindung von 24,5 % erreicht werden.

Bei einem schon mit konventionellen Harvesterköpfen erreichbaren Entrindungsprozent von 25 und dem Verhältnis der Nährälemente in Bast und Borke von Fichte, ergibt sich daraus bereits eine mögliche Minderung des Austrags an Nährälementen von 12 % im Vergleich zur normalen Derbholznutzung ohne Entrindung

### **3.2 Teilvorhaben 2: Technische Bewertung und Verfahrenskonzepte FKZ 22012214 – Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e. V.**

#### **3.2.1 Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens**

Ziel des Teilvorhabens war es Erkenntnisse über die zeitliche und qualitative Entrindbarkeit der mitteleuropäischen Hauptbaumarten zu gewinnen. Ein neuartiges, ressourcenschonendes, technisches Verfahren in der vollmechanisierten Holzernte sollte getestet, analysiert und weiterentwickelt werden. Das Verfahren sollte umfassend ökologisch wie ökonomisch analysiert und bewertet werden. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten kombinierte Fäll- und Entrindungsköpfe unter mitteleuropäischen Waldverhältnissen getestet und modifiziert werden.

#### **3.2.2 Bearbeitete Arbeitspakete**

Im Teilvorhaben 2 wurden folgende Arbeitspakete bearbeitet:

##### **Arbeitspaket 1: Auswahl der Fällköpfe**

Durch das KWF wurden marktverfügbare Debarking Heads recherchiert und in einer Datenbank zusammengetragen. Auf Grundlage dieser Übersicht wurden Hersteller von Harvesteraggregaten ausgewählt und für eine mögliche Zusammenarbeit im Projekt angesprochen.

##### **Arbeitspaket 2: Auswahl der Bestände**

Im AP 2 wurde Kontakt mit Waldbesitzern aufgenommen, um geeignete Bestände für die geplanten Versuchsreihen zu ermitteln. Das KWF arbeitete hier mit den Niedersächsischen Landesforsten zusammen, die nicht nur Waldflächen, sondern auch Personal für die Versuche zur Verfügung stellten. Hierfür mussten zunächst Auswahlkriterien für die Bestände festgelegt und im Anschluss entsprechenden Kooperationsvereinbarungen geschlossen werden. Des Weiteren mussten die Bestände entsprechend den Maßnahmen vorbereitet werden.

##### **Arbeitspaket 3: Pilotstudie**

Für die Pilotstudie wurden die geeignete Art der Arbeitszeitstudien, die Arbeitsablaufabschnitte und die Messgeräte gewählt, vorab getestet und dann in der Studie entsprechend verwendet. Um eine Vergleichbarkeit der ermittelten Daten im Verlauf des Projektes zu erreichen wurden die Messpunkte und andere wichtige Parameter nicht mehr verändert. Durch die während der Arbeitszeitstudien verwendeten Kameras wurde es möglich ggf. Daten erneut zu erheben oder Arbeitsablaufabschnitte anders zu definieren. Dadurch lassen sich, bis zu einem gewissen Grad, verschiedene Vergleichszeiten ermitteln, die Rückschlüsse auf zeitliche Einflussfaktoren zulassen. In der Pilotstudie wurden grundlegende Beobachtungen angestellt, wie sich zum Beispiel die Zahl der Überfahrten mit dem Aggregat oder ein veränderter Anpressdruck der verschiedenen Bauteile des Aggregates auf das Holz und dessen Verwertbarkeit auswirkt.

#### **Arbeitspaket 4: Technische und Verfahrensmodifikation**

Mittels Arbeitsstudien im Wald wurde untersucht, in wie weit die bereits bekannte und vorhandene Technik der entrindenden Aggregate und die Arbeitsverfahren mit den in Mitteleuropa und vor allem in Deutschland üblichen Holzernteverfahren und den dort üblichen Waldbaukonzepten anwendbar ist. Technische Modifikationen waren vor allem bei den Messrädern der einzelnen Aggregate notwendig, um das an sich präzise Harvestermaß nicht zu gefährden.

#### **Arbeitspaket 5: Hauptstudie**

In der Projektlaufzeit wurden die Versuchseinsätze in Niedersachsen, organisiert und koordiniert. Während der einzelnen Versuche wurden Arbeits- und Arbeitszeitstudien angefertigt. Auf allen Versuchsflächen und allen Versuchsanordnungen wurden Daten zur Ernteleistung erhoben. Die gesammelten Daten wurden in einer Übersicht zusammengefasst und ausgewertet.

#### **Arbeitspaket 8: Zusammenfassende Verfahrensbewertung**

Eine gesamtheitliche Verfahrensbewertung für unterschiedliche Szenarios wurde in engster Zusammenarbeit mit der HSWT entwickelt. In diese Bewertung fließen alle Ergebnisse der Pilot- und Hauptstudie sowie die studentischen Abschlussarbeiten ein. Sie soll dazu dienen, Entrindung als potentielle Technik auch für andere forstliche Bereiche und Länder bewerten zu können.

#### **Arbeitspaket 9: Empfehlungen für Einsatzbereiche**

Aus den Ergebnissen der Studien, zusammengefasst in der Verfahrensbewertung, wurden mögliche Einsatzbereiche, aber auch Einsatzgrenzen identifiziert, formuliert und an die Praxis weitergegeben.

#### **Arbeitspaket 10: Praxistransfer der Untersuchungsergebnisse**

Während der laufenden Projektlaufzeit wurden die neuen Erkenntnisse und Ergebnisse auf Veranstaltungen und Messen einem interessierten Fachpublikum präsentiert und mit diesem diskutiert. Es herrschte ein reger Austausch zwischen allen Projektbeteiligten. Auf folgenden Veranstaltungen konnten sich Forstleute, Forstunternehmer und Waldbesitzende, interessierte Bürgerinnen und Bürger, sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler informieren:

- Interforst 2014
- Ligna Mai 2015
- 2nd HEZ-Symposium April 2016
- KWF Tagung Juni 2016
- FORMEC Warschau September 2016
- FoWiTa Sept. 2016
- BMEL-Statusseminar Feb. 2017

#### **3.2.3 Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens**

Das Teilvorhaben „Technische Bewertung und Verfahrenskonzepte“ erreichte zusammengefasst vor allem folgende Ergebnisse:

1. Entrindung mit einem Harvesterkopf ist für die gängigen, forstmaschinengeeigneten Baumarten, z. B. Fichte, Kiefer, Lärche, Douglasie technisch machbar, erreicht einen zufriedenstellenden Entrindungsgrad und ist auch wirtschaftlich darstellbar.

Trotz der vielen Einflussfaktoren konnte der finanzielle Mehraufwand für die Entrindung auf rund 0,00,- bis 5,50,-€/fm eingegrenzt werden.

2. Einschränkungen bei der Entrindung ergeben sich bei der Holzernte, die nicht im geeigneten Durchmesserbereich des jeweiligen Harvesteraggregates und der zugehörigen Trägermaschine liegen.
3. Entrindung mit einem Harvesterkopf ist für weitere (Laub-) Baumarten, z. B. Buche, Eiche, Birke, Pappel, grundsätzlich machbar. Die Aufarbeitung hier kann, durch die bereits bauartbedingten Einschränkungen des Harvesters im Laubholz, ggf. nicht wirtschaftlich sein.
4. 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.
5. Es ist möglich mit den Entrindungswalzen eine konventionelle Holzernte durchzuführen, ohne an Wirtschaftlichkeit zu verlieren.
6. Einschränkungen bei der Rückung ergeben sich nur in den ersten Tagen direkt nach der Holzernte. Nach einer, auch witterungsabhängigen, Abtrocknungsphase kann das Holz regulär und ohne Einschränkungen gerückt und gepoltet werden.
7. In der Regel kann zur Entrindung ein geringerer Anpressdruck der Vorschubwalzen gewählt werden.
8. Die Entrindung mit Harvesteraggregaten ist unter winterlichen Bedingungen bislang nicht empfehlenswert. Zwar ist es möglich die Rinde zu entfernen, allerdings wird der Holzkörper hierbei so beschädigt, dass eine Verwertbarkeit des Holzes fraglich ist.

#### 4 Literatur

Braun, S. (2016): Entrindungsprozent eines Ponsse H8 Fällkopfes bei normalem und erhöhtem Anpressdruck. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 43 S.

Assmann und Franz (1990): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Mittleres Ertragsniveau. In: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung, S. 54–55.

Bayerische Staatsforsten (2011): Forsteinrichtung Betrieb Kipfenberg. Regensburg.

Bayerische Staatsforsten (2017): Jahresbericht der Bayerischen Staatsforsten 2016. 68 Seiten

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (2016): Mechanisierte Holzernte. Wegweiser für bayerische Waldbesitzer. Online verfügbar unter [http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug\\_app000007?SID=484942865&ACTIONxSESSx-](http://www.bestellen.bayern.de/application/stmug_app000007?SID=484942865&ACTIONxSESSx-)

SHOWPIC(BILDxKEY:%2708000416%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PD%27), zuletzt geprüft am 13.02.2017.

Bischoff, Gerd; Forstliche Bildungsstätten der Bundesrepublik Deutschland; u.a. (2011): Der Forstwirt. 5., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer.

Borchert, Herbert (2017): Holzentrindung. Entrindungsmaschinen. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Online verfügbar unter <http://www.lwf.bayern.de/forsttechnik-holz/forsttechnik/052421/index.php>, zuletzt geprüft am 19.02.2017.

Braun, Stefan (2016): Entrindungsprozent des Ponsse H8 Aggregates bei normalem und erhöhtem Anpressdruck. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Fakultät Wald und Forstwirtschaft.

C.A.R.M.E.N e.V. (2017): Preisdaten für das 1. Quartal 2017. C.A.R.M.E.N e.V. Online verfügbar unter <https://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/hackschnitzel>, zuletzt geprüft am 12.04.2017.

Dietz, H.-U. (2016): Bordcomputer in Harvester. Verwendung, Möglichkeiten und Grenzen. 20. Forstlicher Unternehmertag. Kuratorium für Waldarbeit und Forst-technik. Professur für Forstliche Verfahrenstechnik, Technische Universität München. Freising, 10.03.2016.

Dressler, D.; Engelmann, K.; Bosch, F., Böswirth, T., Bryzinski, T.; Effenberger, M.; Haas, R., Hijazi, O.; Hülsbergen, K.-J., Jorissen, T.; Klein, D.; Maze, M.; Richter, K.; Röder, H., Schulz, C.; Serdjuk, M.; Strimitzer, L.; Widmann, B.; Tiemann, A., Weber-Blaschke, G., Wolf, C.; Zerle, P.; Remmele, E. (2016): ExpRessBio – Ergebnisse: Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Abschlussbericht, 748 S.

Eder, M. (2015): Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens zur Beurteilung der Entrindungsqualität. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 50 S.

Engesser, R.; Forster, B.; Meier, F.; Wermelinger, B. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. In: Swiss Forestry Journal 159 (10), S. 344–351. DOI: 10.3188/szf.2008.0344.

Ettl R., Weis W., Göttlein A. (2009). Rinden-Asche-Presslinge – ein Lösungsansatz für ein ökologisch verträgliches Ascherecycling ? Forst und Holz 64, Heft 1, 24 – 30

## Abschlussbericht Debarking Head I

Ettl, R.; Göttlein, A. (2007): Waldhackschnitzelproduktion in Fichtenreinbeständen. Monetäre Bewertung des Nährstoffexportes bei Biomassenutzung. In: AFZ–der Wald, S. 2–4.

Ewens, H.P. (2014): Welchen Beitrag leisten Einzelraumfeuerungsanlagen und Biomasseheizkessel zur Energiewende. Presentation at FNR conference "Effizienzsteigerung und Emissionsminderung bei Biomassefeuerungsanlagen im Zuge der Umsetzung der 1. BImSchV". Berlin 21. January 2014

Fangauer, J. (2017): Verbleib von rindengebundenen Nährstoffen im Bestand bei vollmechanisierter Holzernte mit und ohne Entrindung. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 47 S.

Feemers, M.; Blaschke, M.; Skatulla, U.; Gulder, H.-J. (2003): Klimaveränderungen und Biotische Schäden im Wald. In: LWF aktuell (37), S. 19–22, zuletzt geprüft am 06.01.2017.

Forbrig, Andreas; Büttner, Inga (2013): Forstmaschinen vorauskalkulieren. Hintergründe, KWF-Richtwerte und Berechnungsbeispiele. 3. Aufl. (KWF-Merkblatt, 17).

Forstliche Bildungsstätten der Bildungsrepublik Deutschland (Hg.) (2011): Der Forstwirt. 5., völlig neu bearb. Aufl. Stuttgart: Ulmer.

Friedrich, S.; Schumann, C.; Zormaier, F.; Schulmeyer, F.; Dietz, E.; Burger, F.; Hammerl, R.; Borchert, H.; Egner, J.-P. (2013): Energieholzmarkt Bayern 2010. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF-Wissen Nr. 70, 96 S.

Fritsch, Christian (2012): Biomasse- und Nährlementexport in zwei Fichtenbeständen unterschiedlicher Nährstoffausstattung – Einfluss der Nutzungsintensität auf ökologische und ökonomische Größen. Masterarbeit. Technische Universität München.

Gabsdil, A. (2003): Aufkommen und Verwertung von Rinde. Diplomarbeit. Universität Hamburg.

Göttlein, Axel; Weis, Wendelin (2011): Stoffliche Nachhaltigkeitskriterien für die bayerische Forstwirtschaft. Abschlussbericht B67 „Stoffliche Nachhaltigkeit“.

Grünberger, J.; Guba, E. (2016): Debarking Heads - Entrindende Harvesterköpfe. Blick über den Tellerrand könnte sich lohnen. Hg. v. Kuratorium für Walddarstellung und Forsttechnik. Online verfügbar unter <http://www.kwf-online.de/index.php/forschungsprojekte/debarking-heads/310-debarking-heads-entrindende-harvesterkoepfe>, zuletzt geprüft am 24.04.2017.

Grünberger, Jochen; Guba, Eberhardt (2016): Debarking Heads - Entrindende Harvesterköpfe. Hg. v. Kuratorium für Walddarstellung und Forsttechnik e.V. Online verfügbar unter <http://www.kwf-online.de/index.php/forschungsprojekte/debarking-heads/310-debarking-heads-entrindende-harvesterkoepfe>, zuletzt geprüft am 20.01.2017.

Hagemann, H., Bilke, G., Murach, D. und Schulte, A. (2008): Bilanzierung und Bewertung von Nährlemententzügen durch Vollbaumnutzungsstrategien bei der Kiefer (*Pinus sylvestris*) in Brandenburg. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol., pp. 16-25.

Hahn, Christoph (2006): Untersuchungen zur natürlichen Diversität der bodensaprotophen und ektomykorrhizabilgenden Großpilze des Dornfarn-Tannen-Buchenwalds in unterschiedlich genutzten und gestörten Beständen des Nationalparks Bayerischer Wald und seinem forstlich genutzten Umfeld. Dissertation. Technische Universität München. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Hamberger, Joachim (2003): Wie Mechanisierung und Umweltvorsorge die Forstwirtschaft veränderten. Die Entwicklung der Holzerntemaschinen in den letzten 50 Jahren. In: LWF Aktuell (39), S. 33–36.

Heinrich, B. (2016): Holz ohne Rinde ernten – Nährstoffentzug minimieren. Forscher testen entrindende Harvesterfällköpfe unter hiesigen Waldbedingungen. Hg. v.

Heinrich, B.; Guba, E. (2012): Fäller-Bündler- Aggregate - was gibt's Neues? AFZ Der Wald Nr. 19/2012, S. 30-31

Helmisaari, H., Hanssen, K.H., Jacobson, S., Kukkola, M., Luiro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P., Tveite, B., 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: long-term impact on tree growth. *For. Ecol. Manage.* 261, 1919–1927

Höge, H. (2012): Innovatives Qualitätsscheitholz - Vergleich der Herstellung von Scheitholz mit und ohne Rinde und ihren Aschegehalten. Bachelorarbeit an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. 57 S.

Hohenadl, A. (2015): Mit herkömmlichen Harvesterköpfen erreichbare Entrindung bei Fichte. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 41 S.

Höllerl, Sebastian; Hammerl, Remigius; Knoke, Thomas; Mosandl, Reinhard (2009): Stabilisierende Eingriffe lohnen sich. Finanzielle Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen im Gebirge. In: LWF aktuell (71), S. 12–15.

Jacobsen, Carsten; Rademacher, Peter; Meesenburg, Henning; Meiwas, Karl Josef (2003): Gehalte chemischer Elemente in Baumkompartimenten. Literaturstudie und Datensammlung: Forschungszentrum Waldökosysteme (Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, 69).

Jakoby, O.; Wermelinger, B.; Stadelmann, G.; Lischke, H. (2015): Borkenkäfer im Klimawandel. Modellierung des künftigen Befallsrisikos durch den Buchdrucker (*Ips typographus*). Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Birmensdorf. Online verfügbar unter [http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/jakoby/Buchdrucker\\_Klimawandel.pdf](http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/jakoby/Buchdrucker_Klimawandel.pdf), zuletzt aktualisiert am 2015, zuletzt geprüft am 04.01.2017.

Jirikowski, W.; Sperrer, S.; Pröll, W.; Trzesnowski, S.; Nemostóthy; Tarotti, C.; Pfeif-fer, G.; Stöcher, H. (2015): Harvester und Forwarder in der Holzernte. Planung Organisation Methodische Arbeit. 3. Aufl. Hg. v. FHP Kooperationsplattform Forst Holz Papier.

Klinck, Uwe; Ahrends, Bernd; Scheler, B.; Fortmann, H.; Sutmöller, J.; Fleck, S. et al. (2013): Bodenvorräte & Bilanzen von Makronährstoffen als Indikatoren für die ökologische Bewertung intensiver Biomassenutzung im Wald. In: Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (Hg.): Exkursionsführer. Böden - Lebensgrundlage und Verantwortung. Rostock, 7.-12. September 2013.

Kölling, Christian (2010): Maß halten. Biomassenutzung kann Produktionskapital verzehren. In: LWF aktuell (78), S. 28–31.

Kölling, Christian (2013): Nutzungsmöglichkeiten und Nachhaltigkeitsgrenzen im Wald. Konzepte der Biomassenutzung für Bayern. In: Berichte Freiburger Forstliche Forschung (94), S. 91–98.

Kölling, Christian; Borchert, Herbert (2013): Nachhaltige Nutzung des Produktionsfaktors Boden. Herausforderung Kronenbiomassenutzung. In: LWF Wissen (72), S. 47–53.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Kölling, Christian; Göttlein, Axel; Rothe, Andreas (2007): Energieholz nachhaltig nutzen. Biomassenutzung und Nährstoffentzug. In: LWF aktuell (61), S. 32–37.

Kölling, Christian; Stetter, Ulrich (2008): Holzasche - Abfall oder Rohstoff? Wege zu einer sinnvollen Verwertung. In: LWF aktuell (63), S. 54–56.

Krapfenbauer, A.; Buchleitner, E. (1981): Holzernte, Biomassen- und Nährstoffaustausch, Nährstoffbilanz eines Fichtenbestandes. In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen (98), S. 193–223.

Kreutzer, K. (1979): Ökologische Fragen zur Vollbaumernte. In: Forstwissenschaftliches Centralblatt 98 (1), S. 298–308.

Leidner, W. (2015): Werk statt Wald – Entwicklung der Rundholzentrindung in Deutschland. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 47 S.

Lobinger, G. (2006): Entwicklung neuer Strategien im Borkenkäfermanagement. In: Forstschutz aktuell (37), S. 11–13, zuletzt geprüft am 16.01.2017.

Lobinger, G. (2007a): So gefährlich ist der Kupferstecher! Kronenmaterial im Wald dient als Geburtsstätte einer riesigen Kupferstecherpopulation. In: LWF aktuell 14 (58), S. 10–11.

Lobinger, G. (2007b): Sachkundiger Insektizideinsatz gegen den Borkenkäfer. Insektizid Einsatz ist oft unumgänglich. Was muss der Waldbesitzer dabei beachten?

Lobinger, G.; Krüger, F.; Stahl, F. (2016): LWF-Merkblatt Nr. 14, Buchdrucker und Kupferstecher an Fichte. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.

Löffler, H (1991): Forstliche Verfahrenstechnik; 2. Auflage; 527 S.

Log Max AB (2016): Prospekt Log Max 7000c.

Log Max AB (Hg.) (2017): Log Max 7000C. HEADS ABOVE COMPETITION. Online verfügbar unter [http://www.logmax.com/media/pdf/7000c/Log\\_Max\\_7000C\\_-\\_German.pdf](http://www.logmax.com/media/pdf/7000c/Log_Max_7000C_-_German.pdf), zuletzt aktualisiert am 18.02.2017, zuletzt geprüft am 18.02.2017.

Log Max Deutschland (2006): Harvester-Tuning beginnt am Kopf. Online verfügbar unter [http://www.ihb.de/fordaq/news/LogMax\\_Harvester\\_Elmia\\_12679.html](http://www.ihb.de/fordaq/news/LogMax_Harvester_Elmia_12679.html), zuletzt geprüft am 13.03.2017.

Meiweis K. J., Asche N., Block J., Kallweit R., Kölling C., Raben G., v. Wilpert K. 2008 Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. AFZ-Der Wald 10-11, 598-603.

Netherer, S.; Nopp-Mayr, U. (2005): Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management—rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. In: Forest Ecology and Management (207), S. 99–107. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.10.020.

Niemeyer, H. (1997): Integrated bark beetle control: experiences and problems in Northern Germany. In: Jean-Claude Gregoire, A. M. Liebhold, F.M Stephen und K.R Day (Hg.): Proceedings: Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pests., S. 80–86. Online verfügbar unter [http://iufro-archive.boku.ac.at/wu70307/vallombrosa\\_pictures/valproc/niem.pdf](http://iufro-archive.boku.ac.at/wu70307/vallombrosa_pictures/valproc/niem.pdf), zuletzt geprüft am 26.02.2017.

Nierhaus-Wunderwald, D.; Forster, B. (2004): Zur Biologie der Buchdruckerarten. Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Online verfügbar unter

## Abschlussbericht Debarking Head I

<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/5962.pdf>, zuletzt geprüft am 10.12.2016.

Nurmi, J. (2000): Charakteristics and storage of whole-tree biomass for energy. In: Research Papers Finnish Forest Research Institute (758).

Odenthal-Kahabka, J. (2005): Integrierter Waldschutz nach Kalamitätsfällen. Hg. v. Landesforsten Rheinland-Pfalz Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. FVA. Online verfügbar unter [http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/sturm\\_schnee\\_eis/fva\\_integrierter\\_waldschutz/index\\_DE](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/sturm_schnee_eis/fva_integrierter_waldschutz/index_DE), zuletzt aktualisiert am 01.03.2012, zuletzt geprüft am 26.02.2017.

Pretsch, H.; Göttlein, A.; Block, J. (2010): DBU25966-33/0.

Prielmeier, Konrad; Läufer, Heinz (2017): Zahlen zur maschinellen Holzaufarbeitung BaySF, 17.01.2017. E-Mail an Stefan Weber.

Reif, A. Schulze, E.-D., Ewald, J., Rothe, A. 2014 Waldkalkung – Bodenschutz contra Naturschutz? Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz -online, in press

Rosnau, Felix (2017): Einfluss der mechanisierten Holzernte auf Leben und Tod von Buchdrucker (*Ips typographus*) und Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*). Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising.

Schätzlein, A. (2017): Untersuchung zu Schäden am Rundholz durch entrindende Vollernteraggregate. Bachelorarbeit. Technische Universität München.

Schopf, A.; Kritsch, P. (2010): Kältehärte und Überwinterung des Buchdruckers. In: Forstschutz aktuell (50), S. 11–16, zuletzt geprüft am 06.01.2017.

Sell, J.; Schnell, G. (1988): Der Heizwert von Holz und seine Einflussfaktoren. In: Report Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (115/18).

Sohns, H. (2012): Moderne Holzernte. Stuttgart-Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag (Forstwirtschaft).

Spellmann, H. et al. (2013): Ergebnisbericht (FKZ: 22015407) „Forschungsvorhaben: Möglichkeiten und Grenzen der Vollbaumnutzung“ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Sterba, H., Gugganig, H. Hauser, B. 2003. Stammzahlreduktion ja, aber nicht als Ganzbaumnutzung. ÖFZ 114(10): 18-19.

Technische Universität Dresden, Fachbereich Forsttechnik (2010): Funktiogrammvorlagen für Holzernteverfahren, 2010.

Thom, D.; Seidl, R.; Steyrer, G.; Krehan, H.; Formayer, H. (2013): Slow and fast drivers of the natural disturbance regime in Central European forest ecosystems. In: Forest Ecology and Management 307, S. 293–302. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.07.017.

Thorn, Simon; Bässler, Claus; Bußler, Heinz; Lindenmayer, David (2016): Bark-scratching of storm-felled trees preserves biodiversity at lower economic costs compared to debarking. In: Forest Ecology and Management (364), S. 10–16.

Thünen Institut (Hg.) (2012): Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank. Online verfügbar unter <https://bwi.info>, zuletzt geprüft am 29.03.2017.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Ulrich, B.; Mayer, R.; Sommer, U. (1975): Rückwirkungen der Wirtschaftsführung über den Nährstoffhaushalt auf die Leistungsfähigkeit der Standorte. In: Forstarchiv 46, S. 5–8.

Vater, S. (2017): Vergleich vorhandener Verfahren zur Aufnahme von Bestandesschäden nach vollmechanisierter Holzernte - Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens zum Vergleich der Bestandesschäden zweier Holzernteverfahren im Bestand. Bachelorarbeit. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising.

v. Wilpert, K., Bösch, B., Bastian, P., Zirlewagen, D., Hepperle, F., Holzmann, S., Puhlmann, H., Schäffer, J., Kändler G., Sauter U.H. (2011): Biomasse-Aufkommensprognose und Kreislaufkonzept für den Einsatz von Holzaschen in der Bodenschutzkalkung in Oberschwaben. Freiburger Forstliche Forschung, Berichte, Heft 87.155 S

Weber, S (2017): Ermittlung der Entrindungsrate beim Harvesteraggregat LogMax 7000 bei konventioneller vollmechanisierter Holzernte. Bachelorarbeit im Fachbereich Holzenergie der HSWT, 49 S.

Weis, Wendelin; Göttlein, Axel (2002): Vergleich von Biomasse, Elementgehalten und Elementvorräten von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) am Standort Höglwald zu Zeiten der Vegetationsruhe. In: Hans-Peter Dietrich (Hg.): Inventur von Bio-masse- und Nährstoffvorräten in Waldbeständen. München: Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Techn. Univ. München und der Bayerischen Landesanst. für Wald und Forstwirtschaft (Forstliche Forschungsberichte München, 186), S. 163–167.

Weis, Wendelin; Göttlein, Axel (2012): Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung. Bei der Nutzung von Biomasse ist Vorsicht geboten: Nicht jeder Waldstandort verträgt den erhöhten Nährstoffentzug. In: LWF aktuell (90), S. 44–47, zuletzt geprüft am 16.12.2016.

Weis, W. Göttlein, A. 2013 Entscheidungsstützungssystem zum Nährstoffentzug im Rahmen der Holzernte. Abschlussbericht zum Projekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Weis, Wendelin; Göttlein, Axel (2016): Nährstoffhaushalt und Biomassenutzung. Nährstoffbilanzen: Ein Instrument zur Abschätzung der Folgen intensiver forstlicher Nutzung. In: LWF aktuell (108), S. 11–15.

Weis, W.; Dietz, E.; Göttlein, A.; Häusler, W.; Kölling, C.; Mellert, K.-H.; Rothe, A.; Rücker, G.; Seifert, T. (2009): Erstellung von Nährstoffbilanzen für die Staatswaldflächen in Bayern als Grundlage einer nachhaltigen Biomassenutzung Abschlussbericht zu einem Forschungs- und Entwicklungsvorhabens der Bayerischen Staatsforsten, 51 S., unveröffentlicht.

Wermelinger, B. (2004): Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*—a review of recent research. In: Forest Ecology and Management 202 (1-3), S. 67–82. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.018.

Wermelinger, B.; Seifert, M. (1998): Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). In: Journal of Applied Entomology 122, S. 185–191. Online verfügbar unter [http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/wermelin/publikationen/1998\\_IpsDevelop.pdf](http://www.wsl.ch/info/mitarbeitende/wermelin/publikationen/1998_IpsDevelop.pdf), zuletzt geprüft am 11.12.2016.

Wilnhammer, M., Lubenau, C., Wittkopf, S., Weber-Blaschke, G., Richter, K., 2015. Effects of increased wood energy consumption on global warming potential, primary energy demand and particulate matter emissions on regional level based on the case study area Bavaria (Southeast Germany). Biomass and Bioenergy 81 (2015):190-201.

## Abschlussbericht Debarking Head I

Wilnhammer, M.; Wittkopf, S.; Richter, K.; Weber-Blaschke, G. (2016): The impact of a new emission control act on particulate matter emissions from residential wood energy use in Bavaria, Germany. Journal of Cleaner Production (in Begutachtung)

Windl, S. (2015): Aschegehalte von Bast und Borke -Vergleich von Fichte, Kiefer, Eiche, Buche und Douglasie im Forschungsprojekt „Entrindende Harvesterfällköpfe“. Bachelorarbeit am Fachbereich Holzenergie der HSWT, 53 S.

Wittkopf, S. (2005): Bereitstellung von Hackgut für die thermische Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Forstliche Forschungsberichte 200/2005, München, 208 S.

Wittkopf, S. (2005): Einsatz der Bündelmaschine Fiberpac. LWF aktuell 48, S. 24-25

Wolf, C.; Dressler, D.; Engelmann, K.; Klein, D. (2016): ExpRessBio – Methoden: Methoden zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Berichte aus dem TFZ, Nr. 45. 166 S.; ISSN 1614-1008