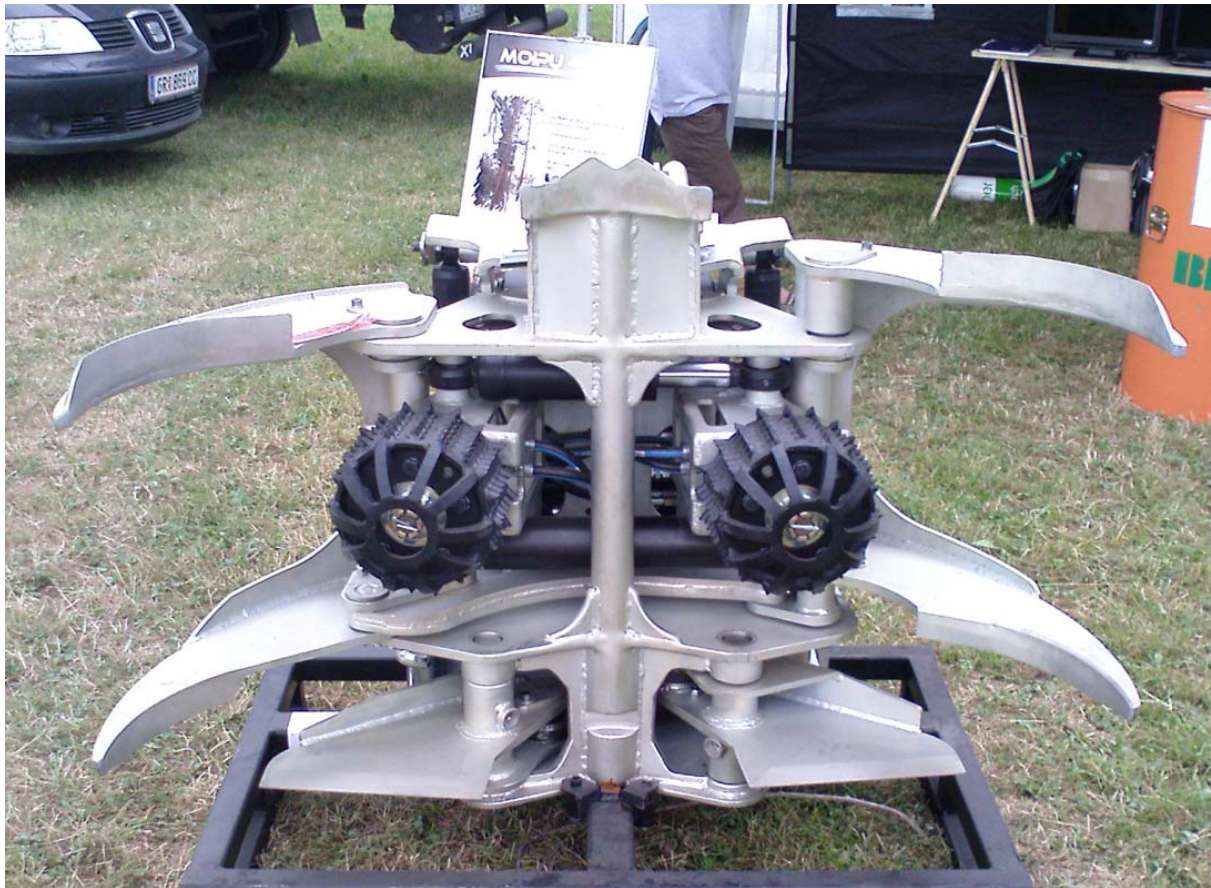


Energieholzbereitstellung mit Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 300ES



Fallstudie im Forstbetrieb Fürst Esterházy'sche Privatstiftung Lackenbach

Eine Studie im Auftrag des Kooperationsabkommens Forst-Holz-Papier (FHP)



Impressum

Autoren: Georg Elmer, Christian Rottensteiner, Karl Stampfer
Fotos: Georg Elmer

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Bodenwissenschaften
Institut für Forsttechnik
Peter Jordan Straße 82/3
1190 Wien

www.boku.ac.at/forstt
office.915@boku.ac.at



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Danksagung

Der Auftrag für diese Studie erfolgte durch die Arbeitsgruppe Holzernte und Holzanlieferung der Kooperationsplattform Forst-Holz-Papier (FHP). Den beteiligten Arbeitsgruppenmitgliedern, insbesondere dem Vorsitzenden Ing. Johannes Loschek, sei für ihr stetiges Bemühen und Engagement gedankt.

Aufrichtiger Dank gilt Herrn FM DI Peter Fischer sowie dem Revierförster Ing. Thomas Mihalkovits für das zur Verfügung stellen der Versuchsflächen im Forstbetrieb der Fürst Eszterházy'schen Privatstiftung Lackenbach.

Auch möchten wir uns beim Unternehmer Martin Buchriegler bedanken, dessen Maschine im Rahmen der Studie untersucht wurde.



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	MATERIAL UND METHODE.....	3
2.1	Maschinenbeschreibung.....	3
2.2	Arbeitsweise und Arbeitsverfahren.....	4
2.3	Bestandesbeschreibung.....	5
2.4	Datenerhebung.....	6
2.4.1	Zeitstudie.....	6
2.4.2	Erhebung der Bestandesschäden.....	9
2.4.3	Bestimmung von Treibstoffverbrauch und Öko-Effizienz.....	9
2.5	Statistische Analyse.....	10
2.6	Kostenkalkulation.....	10
3	ERGEBNISSE.....	12
3.1	Deskriptive Statistik.....	12
3.2	Produktivitätsmodell.....	14
3.3	Kostenanalyse.....	16
3.4	Bestandesschäden.....	18
3.5	Treibstoffverbrauch und Öko-Effizienz.....	19
4	DISKUSSION.....	22
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	25
6	ANHANG.....	27
6.1	Abbildungsverzeichnis.....	27
6.2	Tabellenverzeichnis.....	27

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Durch die erhöhte Nachfrage nach und den gestiegenen Preis für Waldhackgut werden in letzter Zeit vermehrt auch schwächere und qualitativ schlechtere Sortimente aus Durchforstungseingriffen energetisch genutzt. Zunehmend tritt Energieholz auch in Preiskonkurrenz zum Industrieholz (Kühn und Kirchbaum, 2007).

Für die Nutzung von schwachen Baumdimensionen aus Erstdurchforstungen haben sich sogenannte Fäller-Sammler-Aggregate bewährt, die Bäume fällen und akkumulieren sowie gebündelt ablegen können (vgl. Laitila und Asikainen, 2006; Kärhä, 2006, Eberhardinger, 2007; Spinelli et al., 2006; Affenzeller und Stampfer, 2008). Der Fäll- und Trennschnitt erfolgt mit Ketten, Kreissägen oder beweglichen Klingen. Vielfach werden die Aggregate am Kran von Forwardern montiert, mit dem das Holz auch zur Forststraße gerückt werden kann.

Die Entwicklung der Erlösrelation zwischen Industrie- und Energieholz ist ungewiss, weshalb auch eine kombinierte Ausformung dieser beiden Holzsortimente in naher Zukunft Sinn machen könnte. Gleichzeitig gibt es ökologische Einwände gegen eine Totalnutzung der Biomasse für energetische Zwecke, da den Waldbeständen wertvolle Nährstoffe entzogen werden. Kramer (1988) gibt an, dass durch die Nutzung von Reisig das Biomassevolumen um etwa 25% gesteigert werden kann, allerdings entnimmt man dadurch 50% der Nährstoffelemente. Aus diesen Gründen sollte auf bestimmten Standorten im Falle einer energetischen Nutzung des Holzes das Reisig im Wald verbleiben, wozu ein Entasten und Abzopfen des Baumes notwendig ist. Dies lässt auch positive Effekte auf die Rückeproduktivität erwarten, weil die Ladekapazität des Rückefahrzeuges besser ausgenutzt werden kann. Herkömmliche Fäller-Sammler-Aggregate können allerdings nicht entasten.

Der Fällkopf Moipu 300ES wurde mit Vorschubwalzen und Entastungsmessern konstruiert, um eine kombinierte Ausformung von Energie- und Industrieholz sowie das Entasten von Energieholz aus ökologischen Überlegungen zu ermöglichen. Studien, welche die Produktivität, Wirtschaftlichkeit und Öko-Effizienz dieser Maschinenkombination bei unterschiedlichen Ausformungszenarien untersuchen, sind bis dato nicht bekannt.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit war es, die Maschinenkombination Forwarder mit Fäller-Sammler-Aggregat Moipu 300ES hinsichtlich Produktivität und Kosten zu beurteilen sowie die Bestandespfleglichkeit und Öko-Effizienz zu bestimmen. Im Detail wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Zeitbedarf und Produktivität der beiden Arbeitssysteme.
- Systemkosten der zu untersuchenden Maschinenkombination.
- Bereitstellungskosten für die beobachteten Teilprozesse sowie für den Gesamtprozess vom Wald bis zum Werk bzw. zur Forstraße.
- Auswirkungen von verschiedenen Ausformungsstrategien (kombinierte Industrie- und Energieholzausformung im Vergleich zur ausschließlichen Nutzung von Energieholz).
- Bestandesschadensanalyse.
- Treibstoffverbrauch und Öko-Effizienz.
- Ableiten praktischer Einsatzempfehlungen.

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Maschinenbeschreibung

Als Basismaschine dient ein Forwarder der Type HSM 208 f mit einer Motorleistung von 175 kW sowie einer Ladekapazität von 14 t (Tabelle 1). Anstelle einer Greifzange ist am Loglift F 111 FT 100 Kran das Fäller-Sammler-Aggregat Moipu 300ES angebracht (Abbildung 1). Entwickelt wurde dieses Aggregat, das Fällen, Sammeln, Entasten, Grobablängen und Laden kann, von der finnischen Firma Moisio Forest. Der maximale Fälldurchmesser liegt bei etwa 30 cm. Kleine Bäume können, während weiter gefällt wird, im Aggregat akkumuliert werden. Im Vergleich zu herkömmlichen Fällern besitzt das Moipu 300 ES Entastungsmesser und Vorschubwalzen, was die Entastung und Grobablängung (es erfolgt keine Längenmessung) von Bäumen möglich macht.



Abbildung 1: HSM 208 f Forwarder (a) mit Moipu 300ES Fällern-Sammler-Aggregat (b)

Die Fäll- und Trennschnitte werden mit zwei gegeneinander arbeitenden Klingen durchgeführt. Die Funktionsweise ist mit der einer Schere vergleichbar. Die Klinge ist gegenüber Schmutz und Steine weniger anfällig, als etwa ein herkömmliches Kettensägenschwert eines Harvesters. Bei entsprechender Positionierung des Aggregates ist daher ein Fällen der Bäume wenige Zentimeter über dem Waldbodenniveau möglich.

Tabelle 1: Technische Daten

Forwarder HSM 208 f	Eigenmasse	14.900	[kg]
	Motorleistung	175	[kW]
	Ladekapazität	14.000	[kg]
Kran Loglift F111 FT 100	Reichweite	10	[m]
	Hubmoment	151	[kNm]
Fällern-Sammler Moipu 300 ES	Eigenmasse	615	[kg]
	max. Fälldurchmesser	30	[cm]
	max. Entastungsdurchmesser	30	[cm]
	Öffnungsweite	130	[cm]
	Benötigter Öldurchfluss	120	[l/min]

2.2 Arbeitsweise und Arbeitsverfahren

Die Studie untersuchte zwei Varianten der Holzausformung, welche abwechselnd im Bestand vorkamen. Innerhalb einer Rückegasse ist jeweils eine Ausformungsalternative ausgeführt worden, womit die Ausformung und Arbeitsweise bei jeder zweiten Gasse identisch war. Zunächst legte der Forwarder, bei beiden Varianten die Rückegassen an (Abbildung 2 a und d), wobei zuvor der Rungenkorb vom Forwarder abgenommen werden musste. Bei Variante 1 (ausschließliches Ausformen von Energieholz) legte die Maschine das Trassenholz seitlich im Bestand, vorkonzentriert in Bündeln ab. Nach der Anlage der Rückegasse konnte der Rungenkorb wieder am Forwarder montiert werden. Anschließend wurde der Bestand durchforstet und das anfallende Holz direkt in den Rungenkorb geladen. Das zuvor vorkonzentrierte Material lud der Forwarder im selben Arbeitsgang auf und rückte es an die Forststraße (Abbildung 2 b und c). Bei Variante 2 (zusätzliches Ausformen von Industrieholz mit 4 m Länge) wurde das Material beim Gassenaufrieb sortiert und getrennt nach Energie- und Industrieholz neben der Rückegasse abgelegt (Abbildung 2 d). Das Industrieholz bestand nur aus geradschaftigen Kiefern, mit einem BHD größer als ca. 12 cm. Qualitativ schlechte und zu schwache Kiefern fielen, wie auch sämtliche gerentete Eichen, dem Energieholzsortiment zu. Nachdem die Gassen freigezwickt waren, folgte die Durchforstung des Bestandes. Dabei wurde das Energieholz direkt geladen und gerückt, das Industrieholz verblieb zunächst im Bestand (Abbildung 2 e). Nachdem der Bestand fertig durchforstet war, erfolgte die Rückung des Industrieholzes an die Forststraße (Abbildung 2 f).

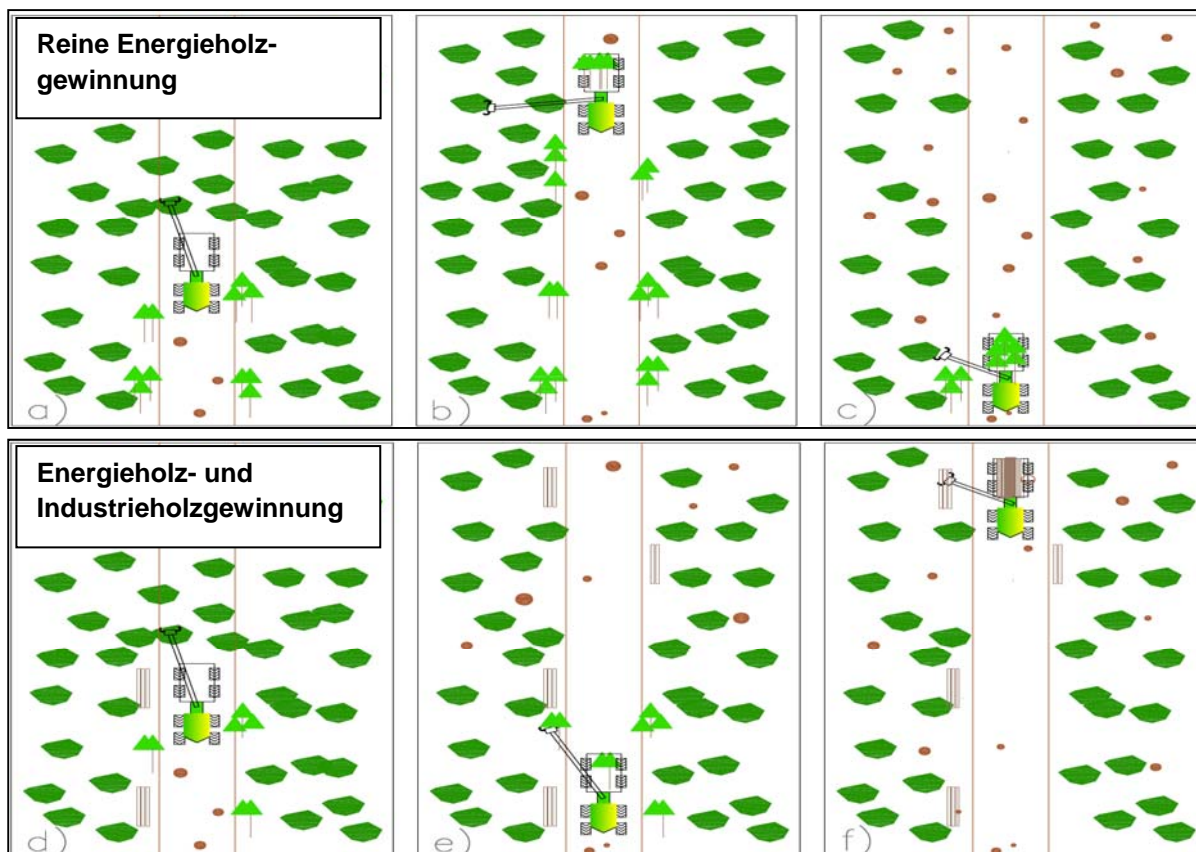


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Arbeitsweise für die zwei Ausformungsvarianten

2.3 Bestandesbeschreibung

Die Fallstudie wurde in Unterfrauenhaid im Burgenland auf einer Fläche von 1,56 ha durchgeführt. Die Oberhöhe des 40 jährigen kieferndominierten Bestandes betrug 17 m. Die Baumartenverteilung vor dem Eingriff lässt sich mit 7 Kiefer und 3 Eiche beschreiben. Die Ausgangsstammzahl betrug 2.660 Stück pro Hektar (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten

Kennzahl	Wert	Einheit
Fläche	1,56	[ha]
Ø Hangneigung	3	[%]
Bestandesalter	ca. 40	[Jahre]
Baumarten	0,7/0,3	[Kiefer/Eiche]
Vorrat (Derbholz)	237,1	[Vfm/ha]
Bestandesdichte	2.661	[n/ha]
Ø Entnommenes Baumvolumen	0,077	[m ³]
Entnommenes Volumen gesamt	172,84	[m ³]
Energieholz entnommen	138,22	[m ³]
Industrieholz entnommen	34,62	[m ³]
Entnahmeprozent (Volumen)	46	[%]
Entnommene Stämme	1.601	[n/ha]
Mittlere Rückedistanz	130	[m]
Anzahl der Rückegassen	4	[n]
Länge der Rückegassen	213 - 221	[m]
Erntezeitpunkt	Juli 2010	-

Auf der Gesamtfläche wurden in Summe 2.500 Bäume mit einem durchschnittlichen Volumen von 0,077 m³ an Derb- und Reisholz entnommen. Daraus resultierte ein Erntevolumen von 173 m³, wobei 138 m³ Energieholz und 35 m³ Industrieholz angefallen sind. Im durch eine hohe Stammzahl gekennzeichneten Bestand, ist vermehrt eine Schädigung der Kiefernleittriebe durch den Kieferntriebwickler aufgetreten. Im Zuge der Durchforstung wurden vor allem die geschädigten Kiefern sowie Bäume schlechter Qualität entnommen (Abbildung 3). Qualitativ gute Eichen sollten gefördert bzw. freigestellt werden.



Abbildung 3: Kiefern und vereinzelte Eichen prägen den Bestandescharakter

2.4 Datenerhebung

2.4.1 Zeitstudie

Im Rahmen der Arbeitsstudie wurde der Zeitbedarf sämtlicher Tätigkeiten aufgezeichnet. Der Arbeitsablauf ist in acht Teilschritte zuzüglich Unterbrechungen untergliedert worden (Tabelle 3). Die Datenaufzeichnung erfolgte mit Hilfe des elektronischen Zeiterfassungsgeräts Latschbacher EG 20 im Fortschrittszeitverfahren.

Als Beobachtungseinheit für Zwicken und Trennen bzw. Einkürzen sowie für die Fortbewegung auf der Rückegasse zwischen den Fällungen diente der Bestandesabschnitt. Beim Laden, bei der Leer- und Lastfahrt sowie beim Entladen diente die Fuhre als Beobachtungseinheit. Fortbewegung zwischen den einzelnen Ladeakten wurde unter dem Arbeitsschritt Laden subsummiert. Sämtliche Zeiten und Einflussvariablen wurden auf diese beiden Bezugsgrößen bezogen.

Das Ladevolumen des Energieholzes ergab sich aus der Summe der in den jeweiligen Abschnitten gefällten und später geladenen Bäume abzüglich des Industrieholzes. Das Industrieholzvolumen wurde nach dem Stirnflächenverfahren (Abbildung 4) bestimmt. Im Sinne einer systematischen Linienstichprobe wurden in Abständen von einem Meter senkrechte Striche auf die jeweiligen Polter gesprüht. Die in Abbildung 4 grau gekennzeichneten Stücke wurden an der Vorder- und Rückseite vermessen und ein mittlerer Stirnflächendurchmesser errechnet. Über die

Länge der Industrieholzstücke kann man den Volumenmittelstamm bestimmen, der multipliziert mit der Stückzahl das Industrieholzvolumen der jeweiligen Fuhre liefert. Da auch die Anzahl der Industrieholzstücke im jeweiligen Bestandesabschnitt aufgezeichnet wurde, war es möglich, die Industrieholzmenge im jeweiligen Abschnitt zu bestimmen.

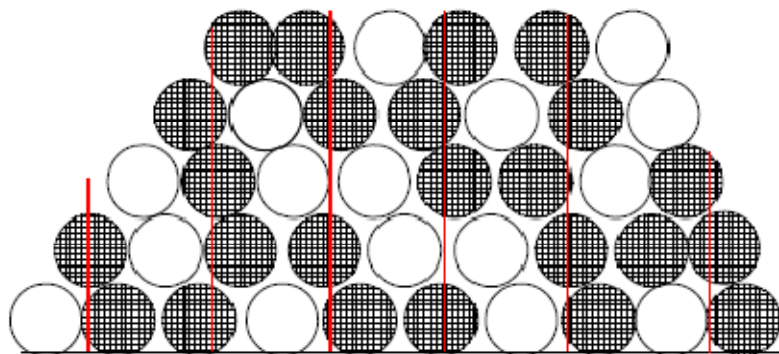


Abbildung 4: Stirnflächenverfahren

Tabelle 3: Verwendete Arbeitsschritte und Trennpunkte

Arbeitsschritte	Beschreibung der Trennpunkte
Zwicken	Beginn: Fällaggregat ist in senkrechter Position für das Fällen eines Baumes oder Baumbündels Ende: Die gefällten Bäume wurden abgelegt – neuer Zyklus oder anderer Arbeitsschritt startet
Ausformen	Beginn: Aggregat ist für das Entasten in waagrechter Position Ende: Letztes Industrieholzblock abgelegt – neuer Zyklus oder anderer Arbeitsschritt startet
Trennen	Beginn: Aggregat ist für das Einkürzen in waagrechter Position Ende: Die eingekürzten Bäume wurden abgelegt – neuer Zyklus oder anderer Arbeitsschritt startet
Fortbewegung	Beginn: Die Räder drehen sich (außerhalb der Leer- und Lastfahrt) Ende: Die Räder bleiben stehen (nicht nach der Leer- und Lastfahrt) – anderer Arbeitsschritt startet
Leerfahrt	Beginn: Erste Bewegung der Räder nach dem Entladen Ende: Die Maschine befindet sich im Bestand und die Räder bleiben stehen – neuer Arbeitsschritt startet
Laden	Beginn: Das Aggregat umgreift das erste Baumbündel Ende: Der Rungenkorb ist vollständig beladen – anderer Arbeitsschritt startet
Lastfahrt	Beginn: Räder bewegen sich nach dem der Ladevorgang abgeschlossen wurde Ende: Die Räder bleiben stehen – neuer Arbeitsschritt startet
Entladen	Beginn: Erste Kranbewegung nach der Lastfahrt am Lagerplatz Ende: Rungenkorb ist leer – neuer Arbeitsschritt startet
Unterbr. < 15 min	Beginn: Maschine arbeitet nicht (max. 15 Minuten) Ende: neuer Arbeitsschritt startet
Unterbr. > 15 min	Beginn: Maschine arbeitet nicht (mehr als 15 Minuten) Ende: neuer Arbeitsschritt startet

Bei der Bestandesvorbereitung wurde die Mitte der Rückegassen im Abstand von 19 m (doppelte Kranreichweite) mit Farbspray markiert. Anschließend erfolgte eine Absteckung von 15-Meter Abschnitten entlang jeder Gasse. Dadurch entstanden Parzellen mit einer Fläche von 320 m². Die Parzelle bildete jene Beobachtungseinheit, die für den statistischen Nachweis des Einflusses von Bestandes- und Geländeparametern auf den Erntevorgang herangezogen wurde. Es erfolgte eine Auszeige des Bestandes durch den Förster. Anschließend wurden die markierten Bäume kluppiert, in BHD-Stufen eingeteilt und entsprechend der Abbildung 5 mit Farbspray codiert (Affenzeller und Stampfer, 2007). Das Bestandesalter stammt aus dem Operat des Forstbetriebs.

BHD Klassen [cm]	Rot	BHD Klassen [cm]	Gelb
1-2	•	13-14	•
3-4	••	15-16	••
5-6	•••	17-18	•••
7-8	/	19-20	/
9-10	//	21-22	//
11-12	///	23-24	///




Abbildung 5: Codierung der Brusthöhendurchmesserklassen

Die Ermittlung des Volumens erfolgte über Biomassefunktionen (Tabelle 4) von Zianis et al. (2005). Diese schätzen in Abhängigkeit von Baumart und BHD die gesamte Biomasse (BM) über Grund inklusive Rinde und Astmaterial in kg Trockensubstanz (TS). Das Volumen erhält man durch Division der Masse durch die Darrdichte der entsprechenden Baumart. Affenzeller und Stampfer (2007) verglichen berechnete mit gemessenen Werten (abgewogene Hackgutmasse) und konnten lediglich Unterschiede zwischen 0 % und 8 % feststellen.

Tabelle 4: Biomassefunktionen für die Massenermittlung (Zianis et al., 2005)

Baumart	BM	Bestimmtheitsmaß	Formel	Koeffizienten	
				a	b
Eiche	kg TS	0,992	$a+b*\ln(\text{BHD})$	-0,883	2,14
Kiefer	kg TS	0,970	$a+b*\ln(\text{BHD})$	-2,3042	2,2608

2.4.2 Erhebung der Bestandesschäden

Die Aufnahme der Bestandesschäden erfolgte nach Beendigung des Durchforstungseingriffes nach dem Verfahren von Meng (1978). Die Bezugsflächen waren 20 Probekreise mit einer Fläche von jeweils 100 m², die auf der Bestandesfläche zufällig verteilt waren. Innerhalb dieser Probekreise fand die Aufnahme der Schäden statt. Für jeden einzelnen Schaden wurde seine Lage am Stamm, die Größe des Schadens sowie die Art bzw. Intensität der Schädigung dokumentiert (Tabelle 5).

Tabelle 5: Beschreibung der Schäden nach Ort, Größe und Art

Schadensort	> 1 m	0,3 – 1 m	Stock	Wurzel	
Schadensgröße	< 10 cm ²	10 – 50 cm ²	51 – 200 cm ²	> 200 cm ²	
Schadensart	Rinde beschädigt	Rinde gequetscht	Holz freiliegend, nicht beschädigt	Holz freiliegend, beschädigt	

2.4.3 Bestimmung von Treibstoffverbrauch und Öko-Effizienz

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen war es nötig, den Treibstoffverbrauch der Maschine während des Einsatzes zu ermitteln. Beim Anlegen der Rückegassen wurde jeweils nach zwei Gassen getankt. Nach vollständiger Bearbeitung der jeweiligen Arbeitsfelder wurde ebenfalls betankt. Dies ergibt in Summe sechs Tankvorgänge. Die Menge an verbrauchtem Kraftstoff konnte an Hand des Tankzählers am Tankwagen abgelesen werden. Über Treibstoffmenge und aufgenommene Zeit konnte der Verbrauch pro Stunde ermittelt und mit der geernteten Holzmenge in Beziehung gesetzt werden. So war es möglich, den Kraftstoffverbrauch für die beiden Varianten getrennt zu bestimmen. Als Energieinhalt für Dieseltreibstoff gingen 10,7 kWh/l bzw. als CO₂-Emission 2,65 kg CO₂/l in die Berechnungen mit ein (Jonas et al., 2005). Die Öko-Effizienz wird als Verhältnis von Output zu Input von Energie bzw. CO₂ berechnet.

Der Treibstoffverbrauch für das Hacken ist abhängig von der jeweiligen Baumart (Hart- vs. Weichholz). Die Werte stammen aus Verbrauchserhebungen von Sauerzapf (2010).

Das Energieholz lieferte der Forstbetrieb ins 10 km entfernte Heizwerk nach Oberpullendorf (Mihalkovits, 2011). Die Transportdistanz von Industrieholz beträgt im Durchschnitt 78 km, bei einer durchschnittlichen Fahrtgeschwindigkeit von 50 km/h. Die Zeit für Laden am Waldort und Entladen im Werk dauert im Mittel 1,5 Stunden

(Friedl et al., 2004). Der Treibstoffverbrauch beim Industrieholztransport beträgt 0,77 Liter pro Kilometer (Holzleitner et al., 2011).

2.5 Statistische Analyse

Alle statistischen Analysen erfolgten mithilfe der Software PASW Statistics 18 der Firma SPSS. Zur Produktivitätsermittlung des Ernteverfahrens wurden aus den dokumentierten Variablen und Kovariaten (Tabelle 6) lineare Modelle hergeleitet. Der erste Schritt war es, eine Varianzanalyse durchzuführen. In einem weiteren Arbeitsgang erfolgte eine Untersuchung, ob es zwischen den Kovariaten keine unerwünschten Wechselwirkungen gibt. Anschließend erfolgte eine Regressionsanalyse zur Schätzung der Parameter, für die maßgeblichen Einflussgrößen. Zusätzlich war es nötig die Verteilung der Residuen (Abweichung von gemessenen und aus der Regression geschätzten Werten) zu überprüfen.

Tabelle 6: Variablen und Kovariaten des Versuchslayouts

Typ	Name	Definition	Einheit
Abhängige Variablen	zyklus _{Ernte}	Gesamte Zeit für das Zwicken, Ausformen bzw. Trennen und Ablegen der Bäume eines Trassenabschnittes; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Laden}	Gesamte Zeit für das Laden einer Fuhre; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Fahren}	Gesamte Zeit, die für Leer- und Lastfahrt einer Fuhre in Anspruch genommen wird; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Entladen}	Gesamte Zeit für das Entladen einer Fuhre; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
Kovariaten	Baumvolumen	Ø geerntetes Baumvolumen eines Abschnittes	[m ³]
	Bestandesdichte	Anzahl der Bäume/ha bestimmt für den jeweiligen Abschnitt	[n/ha]
	Rückedistanz	Rückedistanz (Mittelwert aus Leer- und Lastfahrt)	[m]
	IH%	Industrieholzprozent eines Abschnittes	[%]
	NH%	Nadelholzprozent eines Abschnittes	[%]
	Fuhrenvolumen	Volumen einer Ladung (Fuhre)	[m ³]

2.6 Kostenkalkulation

Die Maschinenkosten sind entsprechend dem Schema der FAO (Food and Agriculture Organisation of the United Nations) mit kleiner Modifizierung berechnet (FAO, 1992) worden.

Die jährliche Auslastung der Maschinenkombination Forwarder mit Fäller-Sammler-Aggregat beträgt in dieser Studie 1.500 produktive Systemstunden (PSH₁₅). Die normale Nutzungsdauer sind 10.000 PSH₁₅, der Veralterungszeitraum 6 Jahre. Ein Zinsfuß von 4,5% ist unterstellt worden, die Kosten für Unterstellung und Versicherung wurden mit 475 €/Jahr angenommen und der Reparaturkostenfaktor mit 0,8 festgesetzt. Die Kraftstoffkosten ergeben sich aus der Multiplikation von

Kraftstoffverbrauch und Kosten je Liter, wovon die Schmiermittelkosten mit 25% berechnet wurden. Die Treibstoffkosten auf Basis Februar 2011 stammen vom Autofahrerclub ÖAMTC (www.oeamtc.at). Die Angaben über den Treibstoffverbrauch sowie die Lohnkosten von 25 €/PSH₁₅ entsprechen den Unternehmerangaben.

Die Überstellungskosten betragen 80 Euro pro Stunde (Stampfer, 2011). In dieser Studie lag die Distanz für die Überstellung bei 250 km, als Durchschnittsgeschwindigkeit wurde 65 km/h unterstellt.

Für die Kostenkalkulation nach unterschiedlichen Kostenträgern mussten die Mengen von m³ auf atro-to bzw. auf Srm umgerechnet werden (Tabelle 7). Die Umrechnung auf Srm erfolgte unter der Annahme, dass das produzierte Hackgut die Größe G30 aufweist. Um die Kosten bzw. Erlöse zusätzlich auch auf den Energieinhalt des Holzes beziehen zu können, wurde der Energieinhalt von einem Kilogramm Energieholz mit 9,48 MJ (Affenzeller und Stampfer, 2007) angesetzt.

Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren

Umrechnung von ... auf	Faktor	Quelle
m ³ ... Srm	0,4	ÖNORM M 7132
m ³ ... atro to (Kiefer)	0,51	ÖNORM M 7132
m ³ ... atro to (Eiche)	0,67	ÖNORM M 7132

3 ERGEBNISSE

3.1 Deskriptive Statistik

Beim Vergleich des Zeitanteils für die einzelnen Arbeitsschritte der beiden Ausformungsvarianten (Abbildung 6 und Abbildung 7) ist festzustellen, dass die Anteile für das Zwicken jeweils ca. ein Viertel betragen. Der Zeitanteil der Ladetätigkeit ist bei Variante 2 höher, da eine getrennte Rückung nach Energie- und Industrieholz erfolgte. Das Entladen hingegen nimmt bezogen auf die Gesamtzeit, unabhängig davon was geladen wurde, bei beiden Varianten annähernd gleich viel Zeit (13% bzw. 14%) in Anspruch.

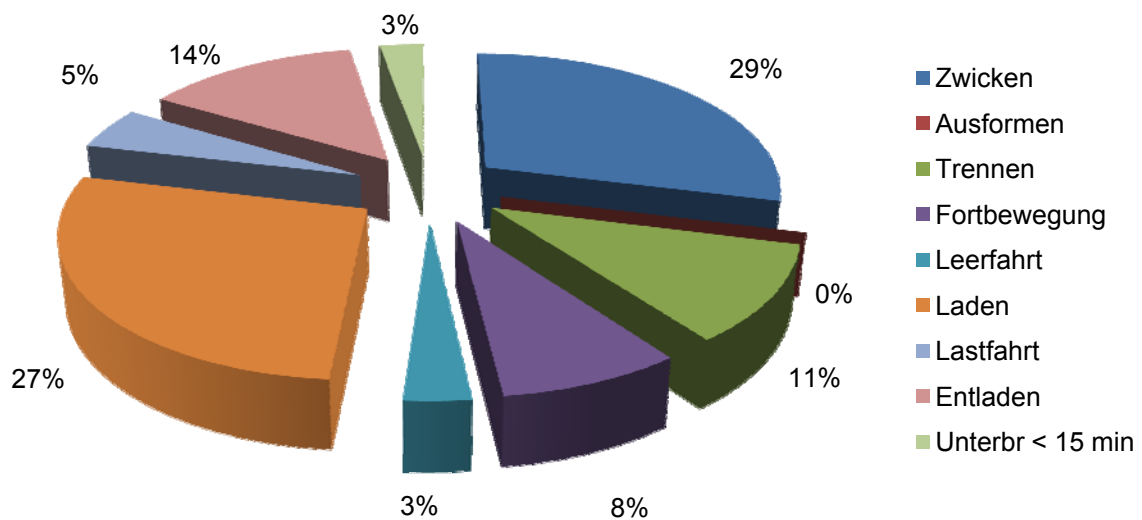


Abbildung 6: Zeitverteilung bei der reinen Energieholzernte (Variante 1)

Am deutlichsten unterscheiden sich die beiden Varianten hinsichtlich des Zeitanteils der Arbeitsschritte Trennen und Ausformen. Damit das Energieholz nach dem Fällen bzw. Zwicken auch geladen werden konnte, mussten die Bäume je nach Höhe ein- oder mehrmals eingekürzt werden. Diese Zeiten sind im Arbeitsschritt Trennen enthalten. Der Arbeitsschritt Ausformen trat bei der Variante Energieholz nicht auf, weshalb der Anteil in Abbildung 6 null Prozent beträgt. Ausformen (Entasten und Ablängen) trat nur bei Variante 2 auf, da nur hier Industrieholz ausgeformt wurde. Die Erzeugung von zwei unterschiedlichen Sortimenten ist dafür verantwortlich, dass für Ausformen und Trennen bei Variante 2 gemeinsam 14% der aufgezeichneten Zeit verwendet wurde, während ausschließliches Trennen bei Variante 1 lediglich einen Anteil von 11% besaß.

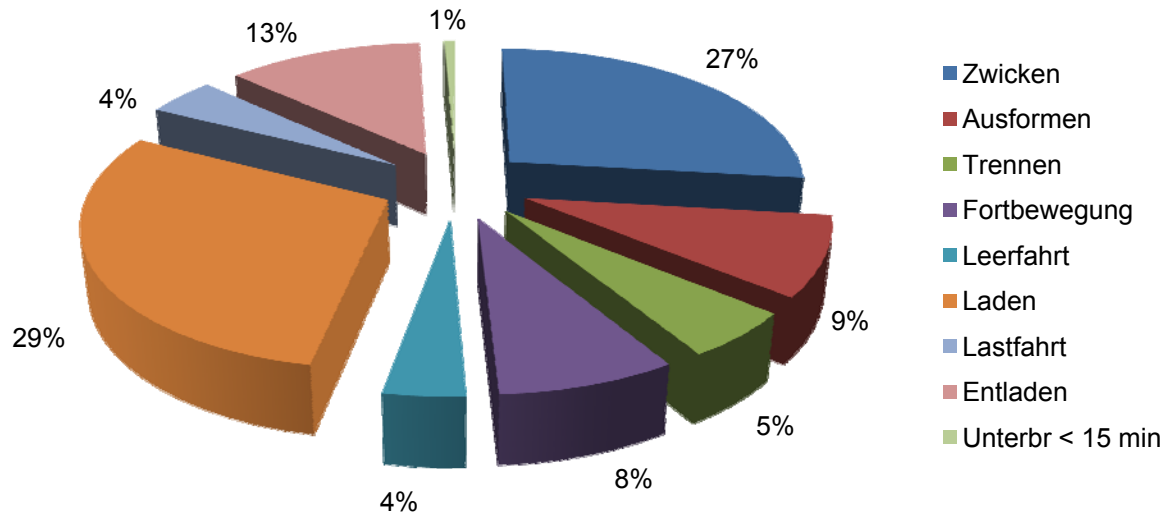


Abbildung 7: Zeitverteilung bei der Energie- und Industrieholzernte (Variante 2)

Das durchschnittlich entnommene Baumvolumen betrug $0,077 \text{ m}^3$. Der für das Produktivitätsmodell gültige und somit anwendbare Bereich liegt zwischen einem Baumvolumen von $0,04 \text{ m}^3$ und $0,11 \text{ m}^3$ (Tabelle 8). Durchschnittlich betrug das Ladevolumen einer Fuhre $5,0 \text{ m}^3$. Die Zeiten für das Aufladen einer Fuhre machten im Durchschnitt $22,55 \text{ min}$ aus. In 95 von 100 Fällen waren dabei weniger als 14 min nötig (Tabelle 8).

Tabelle 8: Statistische Beschreibung der Kovariaten und abhängigen Variablen

Bezeichnung	Mittelwert	Quantile ₅	Quantile ₉₅
Baumvolumen [m^3]	0,07	0,04	0,11
Rückedistanz (RD) [m]	130,69	12,25	273,63
Fuhrenvolumen [m^3]	5,00	1,55	8,43
Ernten [min/Baum]	0,43	0,34	0,55
Laden [min/Fuhre]	22,55	13,40	43,35
Fahren [min/Fuhre]	5,50	1,05	10,70
Entladen [min/Fuhre]	9,45	4,70	19,65

3.2 Produktivitätsmodell

Durch das Addieren der Zeitbedarfswerte lässt sich über den Kehrwert die gesamte Systemproduktivität herleiten. Alle Submodelle basieren auf der Systemzeit ohne Unterbrechungen. Für praktische Zwecke ist es üblich Unterbrechungen bis zu 15 Minuten einzubeziehen, wodurch der Zeitbedarf erhöht wird. Der entsprechende Korrekturfaktor für die untersuchte Maschinenkombination wurde, wie auch für Harvester üblich, mit 1,3 gewählt. Der Wert 60 entspricht der Umrechnung von Minuten auf Stunden (Formel 1). Mathematisch vereinfacht, resultiert aus den entsprechenden Submodellen die Formel 2.

Formel 1

$$prod = \frac{60}{k * (Zeit_{Ernte} + Zeit_{Laden} + Zeit_{Fahren} + Zeit_{Entladen})}$$

prod Systemproduktivität Forwarder und Fäller-Sammler (m³/PSH₁₅)
 Zeit_{Ernte} Zeitbedarf für Fällen, Ausformen und Fortbewegung (min/m³)
 Zeit_{Laden} Zeitbedarf Laden (min/m³)
 Zeit_{Fahren} Zeitbedarf Fahren (min/m³)
 Zeit_{Entladen} Zeitbedarf Entladen (min/m³)
 k relativer Korrekturfaktor für die Umrechnung von PSH₀ auf PSH₁₅

Das Submodell Ernte umfasst das Fällen und Trennen bzw. Ausformen von Energie- bzw. Energie- und Industrieholz sowie die Fortbewegung zwischen den Fällungen. Für das Submodell Ernte wurden Nadelholzprozent, Industrieholzprozent, Bestandesdichte und Baumvolumen auf Signifikanz getestet. Die Varianzanalyse zeigt lediglich für das Baumvolumen einen entsprechenden Einfluss. Der Zeitbedarf für das Laden sowie Entladen wird ebenfalls vom Baumvolumen beeinflusst. Beim Fahr- bzw. Rückemodell ist allein die Rückedistanz signifikant (vgl. Affenzeller und Stampfer, 2007).

Formel 2

$$prod = \frac{60 * Fuhrenvol}{1,3 * (3,693 * Fuhrenvol + 0,184 * Fuhrenvol * Baumvol^{-0,9} + 4,290 * Baumvol^{-0,7} + 0,035 * RD)}$$

prod Systemproduktivität Forwarder und Fäller-Sammler (m³/PSH₁₅)
 Fuhrenvol Fuhrenvolumen [m³]
 Baumvol Baumvolumen [m³]
 RD Rückedistanz [m]

In Abbildung 8 ist die Produktivität in Abhängigkeit vom Baumvolumen aufgetragen. Für die Rückedistanz (RD) wurde der Durchschnittswert eingesetzt. Die Fuhrevolumina der Energieholz- bzw. Industrieholzfuhren wurden mit der jeweiligen Menge gewichtet (Tabelle 9). Die Produktivität beträgt bei einem entnommenen Baumvolumen von 0,077 m³ und einer Rückedistanz von 130,7 m 3,98 m³/PSH₁₅. Das Modell überschätzt die aus den Zeitaufzeichnungen ermittelte Produktivität (3,81 m³/PSH₁₅) um 4,9%.

Tabelle 9: Einfluss des Fuhrevolumens auf die Produktivität

Bezeichnung	Variante 1	Variante 2
Ø Fuhrevolumen – Energieholz [m ³]	4,95	4,25
Ø Fuhrevolumen – Industrieholz [m ³]	-	7,02
Produktivität [m ³ /PSH ₁₅]	3,94	4,05

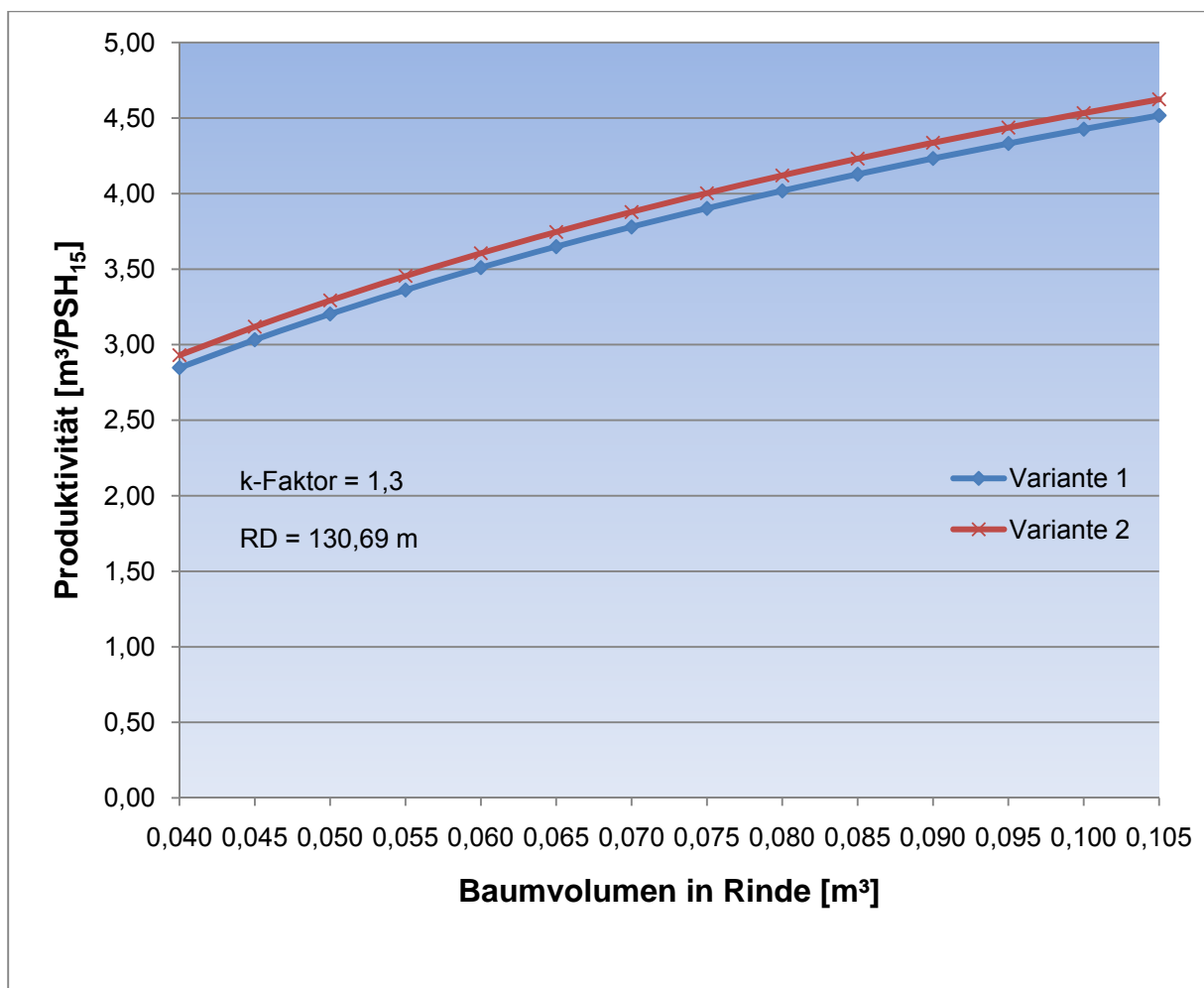


Abbildung 8: Produktivität der Kombination Forwarder (HSM 208 f) mit Fäller-Sammler (Moipu 300ES) in Abhängigkeit von Baumvolumen und Ausformungsstrategie

3.3 Kostenanalyse

Die Anschaffungskosten für die Maschine belaufen sich laut Hersteller auf insgesamt € 325.000.-, wobei davon € 37.000.- auf das Aggregat entfallen.

Pro Jahr ist die Maschine 1500 Stunden im Einsatz (J). In Summe ergeben sich Maschinenkosten von 82,8 Euro pro produktiver Maschinenarbeitsstunde (PMH₁₅). Inklusive Lohnkosten belaufen sich die Systemkosten auf 107,84 €/PSH₁₅ (Tabelle 10). Die erzielten Stundensätze verstehen sich netto, ohne Umsatzsteuer und ohne Berücksichtigung von Unternehmerlohn oder Gemeinkostenanteil. Die erzielte Produktivität von 3,81 m³/PSH₁₅ entspricht etwa 9,53 Srm/PSH₁₅. Ohne Überstellung entstehen Erntekosten von 10,95 €/Srm, rechnet man diese hinzu, ergeben sich Kosten von 12,41 €/Srm.

Tabelle 10: Kostenblatt für Forwarder HSM 208 f mit Fäller-Sammler Moipu 300ES

	Wert	Einheit
Angaben		
Anschaffungskosten gesamt (An)	325.000	€
Forwarder (inkl. Kran)	288.000	€
Moipu 300 ES	37.000	€
Normale Nutzungsdauer (H)	10.000	PMH ₁₅
Veralterungszeitraum (N)	6	Jahre
Jährliche Auslastung (J)	1.500	PMH ₁₅
Auslastungsschwelle (SW=H/N)	1667	PMH ₁₅
Zinsfaktor (p)	4,5	%
Versicherung und Unterstellkosten	475	€/Jahr
Reparaturkostenquote (r)	0,8	
Sachkosten		
Verzinsung ((An/2*p/100)/J)	4,88	€/PMH ₁₅
Versicherung und Unterstellkosten	0,32	€/PMH ₁₅
Abschreibung (Ab=An/(J*N))da J<SW	36,11	€/PMH ₁₅
Reparaturkosten (R=(An*r*N*J)/H ²)da J<SW	23,40	€/PMH ₁₅
Kraftstoff (15 l/MAS a' € 0,97)	14,51	€/PMH ₁₅
Schmiermittelkosten (25 % der Kraftstoffkosten)	3,63	€/PMH ₁₅
Summe Sachkosten	82,84	€/PMH ₁₅
Lohnkosten Maschinist	25,00	€/PMH ₁₅
SYSTEMKOSTEN (exkl. USt.)	107,84	€/PSH₁₅

Werden Hackkosten mit 5,8 €/m³ oder 10 €/atro to (Mihalkovits, 2011) und Transportkosten mit 7,5 €/m³ oder 12,8 €/atro to (Ganz et al., 2005) veranschlagt, so resultieren daraus in der vorliegenden Studie mit der jeweiligen Menge gewichtete Kosten von 44,34 €/m³ für die Energieholzbereitstellung und 38,50 €/m³ für die Bereitstellung von Energie- und Industrieholz gemäß Variante 2. Aufgrund der derzeitigen Preissituation ist der Deckungsbeitrag für Variante 2 höher (Tabelle 11).

Aus Gründen der Ökologie bzw. des Nährstoffhaushaltes könnte die Variante 1 dahingehend abgewandelt werden, dass das Energieholz komplett entastet und abgezopft wird. Zudem verbleiben Bäume mit einem BHD kleiner 10 cm im Bestand. Bei dieser Abänderung verzichtet der Forstbetrieb auf ca. 20 % des Erntevolumens. Im Gegenzug steigen aber das entnommene Baumvolumen und das Ladevolumen des Forwarders. Das hat zur Folge, dass sich die Produktivität des Erntesystems auf 4,43 m³/PSH₁₅ erhöht, im Vergleich zu 3,84 m³/PSH₁₅ bei Variante 1. Dies schlägt sich in Bereitstellungskosten von 41,76 €/m³ nieder. Der Deckungsbeitrag steigt auf 4,98 €/m³, allerdings sinkt dadurch auch die verkaufbare Menge.

Tabelle 11: Bereitstellungskosten und Deckungsbeitrag nach Kostenträger

Kosten	Menge [m ³]	[€/m ³]	[€/atro to]	[€/Srm]	[€/GJ]	[€/MWh]
Variante 1 (Energieholz)						
Überstellung	87,51	3,66	6,26	1,46	0,66	2,38
Fällen und Rücken	87,51	27,37	46,89	10,95	4,95	17,81
Hacken	87,51	5,84	10,00	2,33	1,05	3,80
Transport (Energieholz)	87,51	7,47	12,80	2,99	1,35	4,86
Gesamt	87,51	44,34	75,96	17,73	8,01	28,84
Variante 2 (Energie- und Industrieholz)						
Überstellung	86,76	3,69	6,17	1,48	0,65	2,34
Fällen und Rücken	86,76	26,63	44,57	10,65	4,70	16,93
Hacken	52,13	5,97	10,00	2,39	1,05	3,80
Transport (Energieholz)	52,13	7,65	12,80	3,06	1,35	4,86
Gesamt	86,76	38,50	64,45	15,40	6,80	24,47
Deckungsbeitrag						
Variante 1 (Energieholz)	87,51	2,41	4,04	0,96	0,43	1,53
Variante 2 (Energie- und Industrieholz)	86,76	2,67	5,04	1,07	0,53	1,91

Für Energieholz wurden erzielbare Erlöse von 80 €/atro to und für Industrieholz (Kiefern-Faserholz) 30 €/m³ (ohne Rinde) angenommen (Landwirtschaftskammer Österreich, 2011). Der Verkauf des Industrieholzes erfolgte frei Waldstraße. Wird ein konstant bleibender Energieholzpreis unterstellt, ist ab einem Faserholzpreis von 29 €/m³ bei Variante 2 ein höherer Deckungsbeitrag (Abbildung 9) erzielbar.

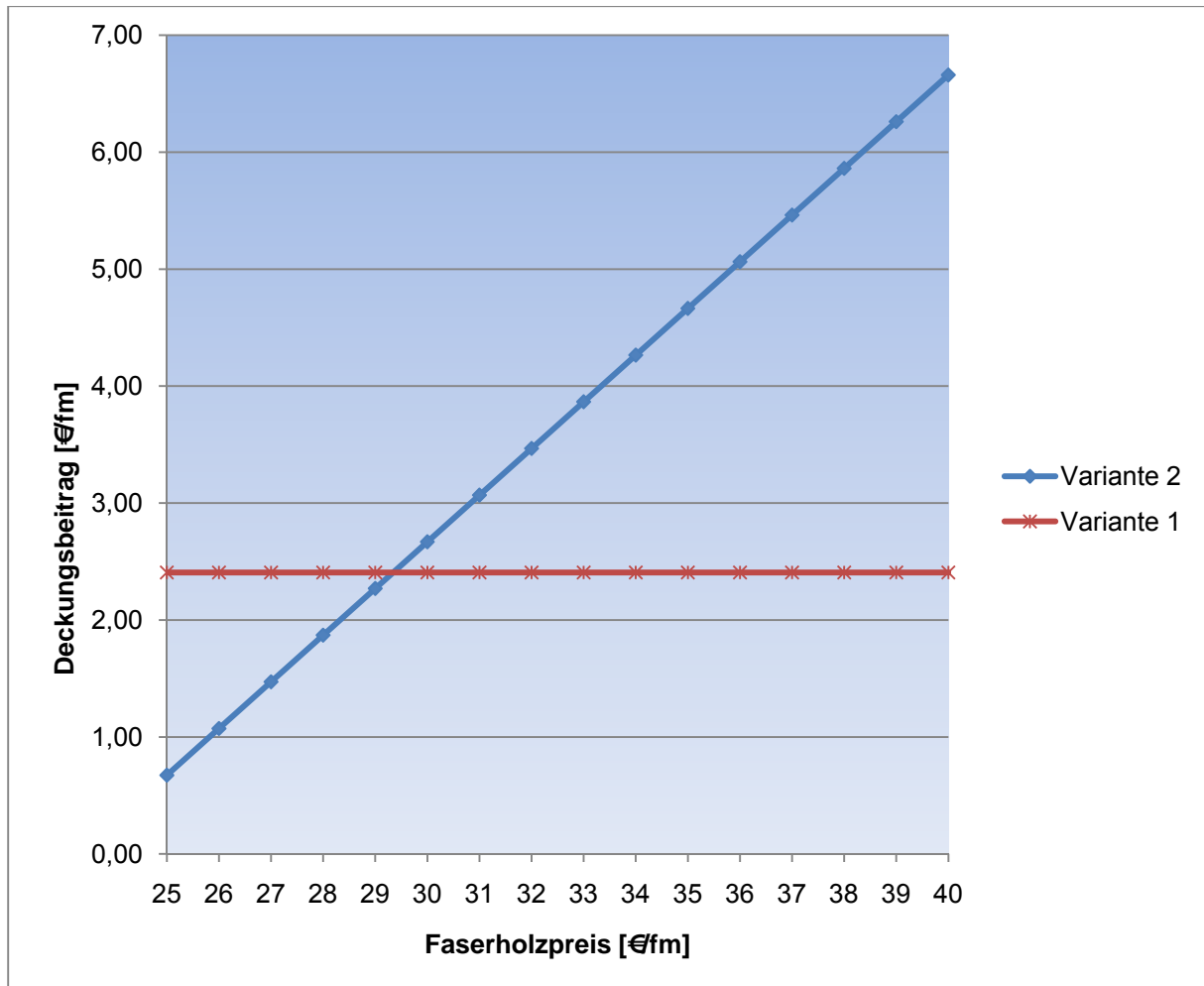


Abbildung 9: Sensitivität gegenüber dem Faserholzpreis

3.4 Bestandesschäden

Von 212 untersuchten Stämmen wiesen 34, das entspricht einem Anteil von 16 %, einen neuen Schaden auf. Das ist etwas höher als beim Einsatz der Maschinenkombination Forwarder mit Fäller-Sammler Aggregat Moipu 400E (Rottensteiner, 2008), bei der 12 % des verbleibenden Bestandes geschädigt waren. Verglichen mit Limbeck-Lilienau und Stampfer (2004), welche verschiedene Holzertesysteme untersuchten, liegt man im üblichen Bereich. Die Durchforstung mit der Kombination Harvester und Forwarder hinterließ Schäden zwischen 10-17 %. Die Kombination Radharvester und Traktorkrananhänger hatte Schäden im Ausmaß von 12-15 % am verbleibenden Bestand zur Folge. Alle zuvor angeführten Studien untersuchten Ernteschäden nach Durchforstungen während der Sommerperiode.

Schäden am verbleibenden Bestand stellen ein Risiko für eine Folgeschädigung durch Pathogene dar, weshalb die Verletzungen in vier Risikoklassen (RKL) eingeteilt wurden (Abbildung 10). Mehr als die Hälfte der Schäden am Baum waren auf einer Höhe von über einem Meter zu beobachten, gefolgt von Verletzungen im Bereich zwischen 0,3 m – 1,0 m Höhe.

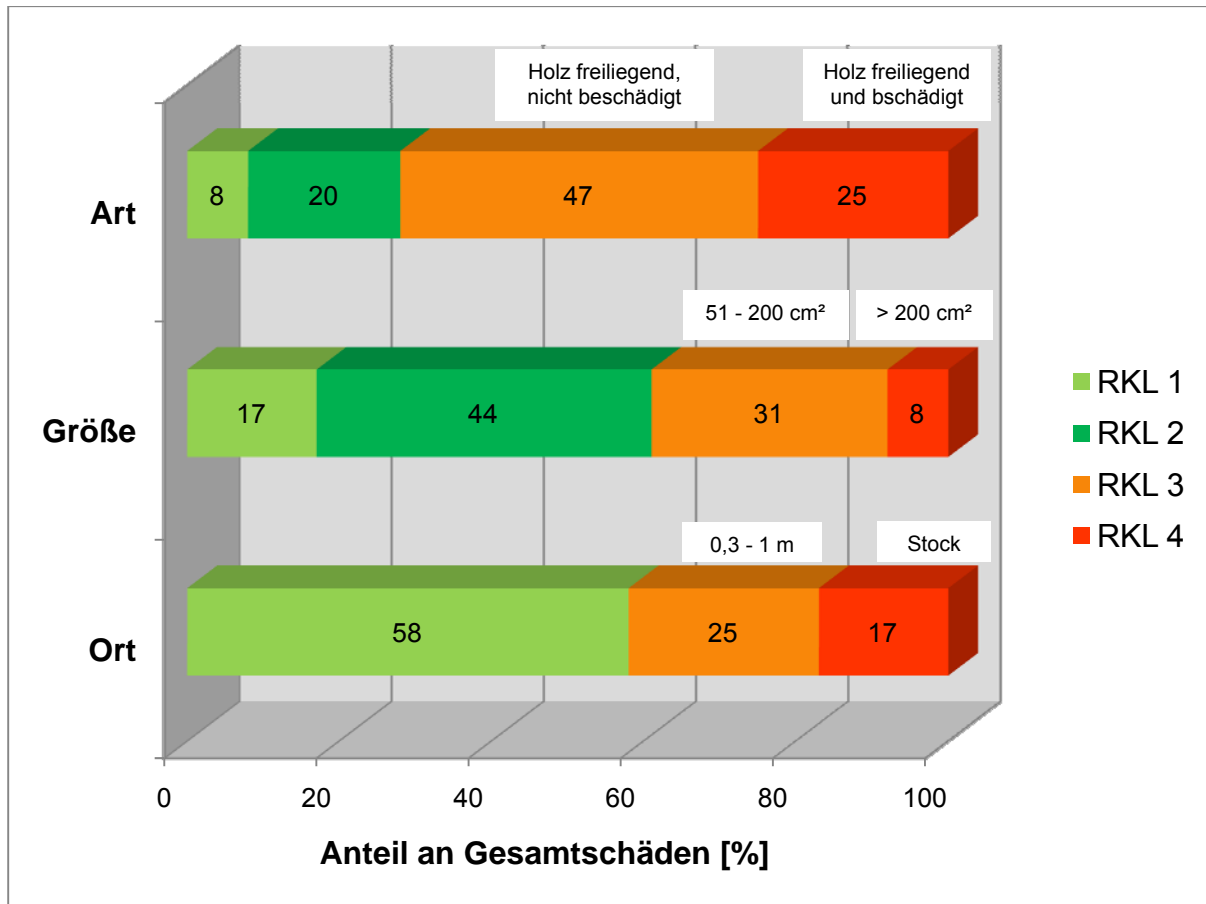


Abbildung 10: Verteilung der Bestandesschäden

Bezüglich der Schadensgröße ist festzuhalten, dass knapp 60 % unterhalb einer Größe von 50 cm² lagen. Darüber hinaus entfielen 31 % auf die Kategorie zwischen 51 cm² und 200 cm² und lediglich 8 % auf die Schadensgröße über 200 cm². In der vorliegenden Studie fand die Ernte während der Saftzeit statt. Außerhalb der Saftzeit wäre das Schadensausmaß mit großer Wahrscheinlichkeit wesentlich geringer. Butora und Schwager (1986) nennen Unterschiede in der Größenordnung von 50 %. Ähnlich verhält es sich mit der Schadensart. Im Sommer liegt der Anteil der Kategorie „Holz freiliegend, nicht beschädigt“ höher als in den Wintermonaten. Im Untersuchungsfall betrug der Anteil 47 %.

3.5 Treibstoffverbrauch und Öko-Effizienz

Der Treibstoffverbrauch ist für Fällen und Rücken bei Variante 2 am höchsten (Tabelle 12). Aufgrund der unterschiedlichen Mengenverteilung bei Fällen und Rücken, Hacken und Transport ist der Gesamtverbrauch für beide Varianten annähernd gleich.

Tabelle 12: Treibstoffverbrauch

	Menge [m ³]	l/m ³	l/atro to	l/Srm
Variante 1				
Fällen und Rücken	87,51	3,5	5,9	1,4
Hacken	87,51	1,3	2,1	0,4
Transport (Energieholz)	87,51	1,6	2,8	0,6
Gesamt	87,51	6,4	10,9	2,4
Variante 2				
Fällen und Rücken	86,76	3,8	6,4	1,5
Hacken	52,13	0,8	1,3	0,3
Transport (Energieholz)	52,13	1,0	1,7	0,4
Transport (Industrieholz)	34,63	3,5	6,1	1,4
Gesamt	86,76	6,3	10,6	2,5

Bei ausschließlicher Energieholzproduktion werden 3,4%, der im Holz gebundenen Energie für die Bereitstellung benötigt (Tabelle 13). Dies bedeutet, dass pro erzeugter Megawattstunde (MWh) durch Verbrennung von Hackschnitzel im Biomasse-kraftwerk, Energie im Ausmaß von 34,1 Kilowattstunden (kWh) für die Bereitstellung des Materials notwendig ist. Die meiste Energie wird dabei bei der Ernte des Holzes verbraucht (1,9 %). Bei Variante 2 ist der Energieeinsatz etwas niedriger und beträgt 3,32% des Energie-Outputs. Hier ist neben der Holzernte der Industrieholztransport der größte Verbraucher an Primärenergie. Das Verhalten der CO₂ Emissionen und CO₂-Effizienz ist direkt proportional zum Energiegewinn bzw. –verbrauch.

Tabelle 13: Energieeinsatz und CO₂-Emissionen sowie Ökoeffizienz

	Energie-Input			CO ₂ -Emissionen			Energie-Effizienz	CO ₂ -Effizienz
	kWh/ m ³	kWh/ atro to	kWh/ Srm	kgCO ₂ / m ³	kgCO ₂ / atro to	kgCO ₂ / Srm	kWh/ MWh	kgCO ₂ / toCO ₂
Variante 1								
Fällen und Rücken	37,1	63,5	14,8	9,2	15,7	3,7	18,6	15,3
Hacken	13,4	22,9	5,4	3,3	5,7	1,3	6,7	5,5
Transport (Energieholz)	17,5	30,0	7,0	4,4	7,5	1,7	8,8	7,3
Gesamt	67,9	116,4	27,2	16,8	28,9	6,7	34,1	28,1
Variante 2								
Fällen und Rücken	40,7	68,1	16,3	10,1	16,9	4,0	20,0	16,4
Hacken	8,2	13,8	3,3	2,0	3,4	0,8	4,0	3,3
Transport (Energieholz)	10,8	18,1	4,3	2,7	4,5	1,1	5,3	4,4
Transport (Industrieholz)	38,9	65,1	15,6	9,6	16,1	3,9	19,1	15,7
Gesamt	67,7	113,3	27,1	16,8	28,1	6,7	33,2	27,3

4 DISKUSSION

Das Erntesystem Forwarder mit Fäller-Sammler-Aggregat Moipu 300ES erreichte, bei einem durchschnittlichen Baumvolumen von $0,077 \text{ m}^3$ bei den beiden Versuchsvarianten aufgrund verschiedener Fuhrevolumina für Energie- und Industrieholzfuhren unterschiedliche Produktivitäten. Bei der ausschließlichen Energieholzausformung (Variante 1) betrug die Produktivität $3,94 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. Durch die zusätzliche Ausformung von Industrieholz (Variante 2) und die dadurch erreichte Steigerung des Fuhrevolumens der Industrieholzfuhren konnte eine Produktivität von $4,05 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ erreicht werden. Mit einer Mengengewichtung über beide Varianten konnte, bei einer durchschnittlichen Rückedistanz von 130 m , eine Produktivität von $3,81 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ errechnet werden. Die höchste Produktivität, von $4,43 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$, wies die Maschinenkombination bei einer Abwandlung von Variante 1 auf, bei der das gesamte Energieholz entastet und abgezopft wurde.

Bei reiner Energieholzernte (Variante 1) erreicht man, umgerechnet auf ein vergleichbares Baumvolumen, ungefähr die Produktivität des Moipu 400E (Rottensteiner, 2008) und liegt, verglichen mit anderen Studien im üblichen Bereich (Abbildung 11). Die strich-punktiierte Linie in der Abbildung 11 liegt außerhalb des Gültigkeitsbereichs des Modells und wurde nur der besseren Übersichtlichkeit halber dargestellt. Wie sich herausstellte waren Bäume mit geringem Volumen aufgrund einer lange zurückliegenden Lässerung nicht in dem Umfang vorhanden wie das bei anderen Studien der Fall war.

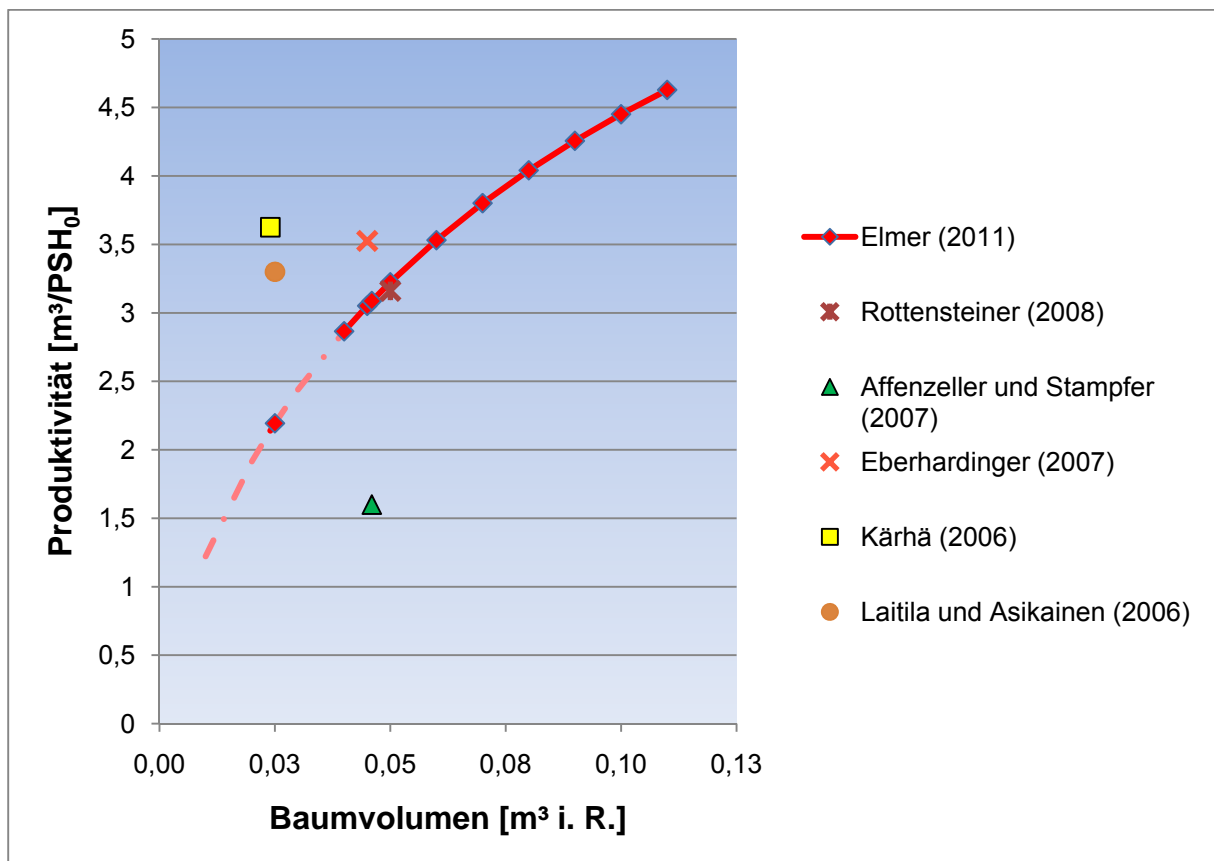


Abbildung 11: Produktivitäten aus vergleichbaren Studien

Die Kosten für den Forwarder betragen 107,84 €/PSH₁₅ bzw. zwischen 12,13 €/Srm (Variante 2) und 12,41 €/Srm (Variante 1). Die Produktivität beeinflussenden Größen sind das durchschnittlich geerntete Baumvolumen sowie die Rückedistanz. Das ausschließliche Fällen von Energieholz (Variante 1) gegenüber dem Ausformen von Industrie- und Energieholz (Variante 2) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Produktivität. Jedoch konnte im Hinblick auf das Rücken des Holzes auf Grund des höheren Fuhrevolumens ein Produktivitätsunterschied festgestellt werden.

Dies deckt sich teilweise mit den Ergebnissen von Heikkilä et al. (2006), welche herausgefunden haben, dass der Zeitaufwand pro Stamm bei der Ernte von Vollbäumen und dem vollständigen Entasten von Energieholz auf die Menge bezogen der gleiche ist. Die Produktivität hingegen war um 10 bis 40 % niedriger, wenn die Bäume entastet wurden. Die Produktivität des Forwarders war allerdings beim Rücken von entastetem Holz um 10 bis 20% höher.

In der vorliegenden Studie entstanden Kosten von 17,73 €/Srm für die Energieholzbereitstellung vom Wald zum Werk und 15,40 €/Srm für die Bereitstellung von Energie- und Industrieholz. Die geringeren Kosten bei Variante 2 resultieren zum einen, aus dem Anteil an Industrieholz, welches frei Waldstraße verkauft wurde und für das somit keine Transportkosten sowie keine Hackkosten anfallen. Zum anderen, war die Produktivität beim Rücken des Materials höher als bei Variante 1. Die Bereitstellungskosten sind im Vergleich mit anderen Studien im Mittelfeld (Eberhardinger, 2007; Affenzeller und Stampfer, 2007, Rottensteiner, 2008). Für beide Varianten wurde ein positiver Deckungsbeitrag von 0,96 bzw. 1,07 €/Srm (4,04 €/atro-to bzw. 5,04 €/atro-to) erreicht, welcher bei der kombinierten Bereitstellung von Energie- und Industrieholz höher war. Zum Zeitpunkt der Studie lag der Faserholzpreis für Kiefer im Burgenland zwischen 28 und 32 €/m³ ohne Rinde. Derzeit ist der Faserholzpreis im Steigen begriffen. Bereits ab einem Faserholzpreis von 29 €/m³ ist der Deckungsbeitrag für die Variante 2 höher.

Es hängt somit vom jeweiligen Energie- und Faserholzpreis ab, ob es sinnvoll ist, neben Energie- auch Industrieholz auszuformen. Außerdem ist zu beachten, dass etwa in Fichtenbeständen anstelle von Faser- auch Schleifholz ausgeformt werden könnte, was sich ebenfalls positiv auf die erzielbaren Erlöse auswirken würde. Derzeit kann aber auch das Bereitstellen von Kiefern-Faserholz empfohlen werden. Handelt es sich um Bestände, bei denen zusätzlich zum Energie- auch Schleifholz ausgeformt werden kann, wäre es möglich noch höhere Deckungsbeiträge zu erzielen als bei der ausschließlichen Produktion von Energieholz.

Das Fäller-Sammler-Aggregat eignet sich sowohl für Nadel- als auch für Laubholzbestände. Jedoch wurde beobachtet, dass der maximale Fälldurchmesser (laut Hersteller 30 cm) bei härterem Laubholz nicht erreicht werden kann. Hier ist es notwendig das Aggregat mehrmals umzusetzen, was die Produktivität mindert.

Laut dem Unternehmer sind dichte Buchenbestände sowie Buchen mit geringem Durchmesser mit dem Aggregat schwer zu bearbeiten. Bei solchen Beständen

nützen sich die Klingen besonders schnell ab. Besonders stark ist die Abnutzung im hinteren Bereich der Messer, was einen erhöhten Wartungsaufwand zur Folge hat, da die Klingen öfters geschliffen bzw. ausgewechselt werden müssen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

Affenzeller, G., Stampfer, K. (2007): Energieholzbereitstellung mit Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat. Forschungsbericht für das Kooperationsabkommen Forst Holz Papier (FHP), durchgeführt am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien. 29 S.

Affenzeller, G., Stampfer, K. (2008): Energieholzbereitstellung mit Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 400E. Forschungsbericht für das Kooperationsabkommen Forst Holz Papier (FHP), durchgeführt am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien. 20 S.

Butora, A., Schwager, G. (1986): Holzernteschäden in Durchforstungsbeständen. Bericht der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Nr. 288, Schweiz. 47 S.

Eberhardinger, A. (2007): Schwarze Zahlen in der Schwachholzernte? Der Einsatz von Mehrfachfällköpfen in der Erstdurchforstung. Präsentationsunterlagen vom 11. Forstlichen Unternehmertag, Freising 22.03.2007.

FAO (1992): Cost Control in Forest Harvesting and Road Construction. FAO Forestry Paper- 99. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Friedl, K., Kanzian, C., Stampfer, K. (2004): Netzwerk Holz. Projektbericht. Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur Wien. 105 S.

Ganz, M., Holzleitner, F., Kanzian, C. (2005): Energieholzlogistik in Kärnten – Transport von Energieholz. Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur Wien. 89 S.

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Siren, M., Asikainen, A. (2006): Harvesting alternatives and cost factors of delimbed energy wood. Forestry Studies/Metsanduslikud Uurimused. 45: 49-56.

Holzleitner, F., Kanzian, C., Stampfer, K. (2011): Analyzing time and fuel consumption in road transport of round wood with an onboard fleet manager. European Journal of Forest Research. 130: 293-301.

Jonas, A., Haneder, H., Furtner, K. (2005): Energie aus Holz. Informationsbroschüre der Landwirtschaftskammer Niederösterreich. St. Pölten. 119 S.

Kärhä, K. (2006): Whole-tree harvesting in young stands in Finland. – Forstry Studies/Metsanduslikud Uurimused. 45: 118-134.

Kramer, H. (1988) Waldwachstumslehre – Ökologische und anthropogene Einflüsse auf das Wachstum des Waldes, seine Massen- und Wertleistung und die Bestandessicherheit. Hamburg Berlin: Verlag Paul Parey. 374 S

Kühn, C., Kirchbaum, C. (2007): Schleifholz contra Brennholz. LWF aktuell Nr. 56: 26-28.

Laitila, J., Asikainen, A. (2006): Energy Wood Logging from early Thinnings by Harwarder Method. *Baltic Forestry*. 12 (1): 94-102.

Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Nuuttinen, Y. (2004): Harvesting technology and cost of fuel chips from early thinnings. *NSR Conference on Forest Operations* 30-31. August, 2004. Hyytiälä, Forest Field Station.

Landwirtschaftskammer Österreich (2011): Internationaler Holzmarktbericht. Online verfügbar unter [http://www.agrarnet.info/parse.php?mlay_id=2500&mdoc_id=1590989&xmlval_ID_DOC\[0\]=1298002&xmlval_KEYWORD_B\[0\]=5](http://www.agrarnet.info/parse.php?mlay_id=2500&mdoc_id=1590989&xmlval_ID_DOC[0]=1298002&xmlval_KEYWORD_B[0]=5) (22.03.2011).

Limbeck-Lilienau, B., Stampfer, K. (2004): Sind moderne Arbeitsverfahren auch pfleglich?. *Österreichische Forstzeitung* 02/2004. Arbeit im Wald: 1-3

Meng, W. (1978): Baumverletzungen durch Transport bei der Holzernte – Ausmaß und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch ihrer Bewertung. *Schriftenreihe der LFV Baden-Württemberg*, Band 53. 159 S.

Mihalkovits, T. (2011): Revierförster Forstbetrieb Eszterházy Lackenbach. Mündliche Auskunft.

ÖNORM M 7132 (1998): Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff. Begriffsbestimmungen und Merkmale. 9 S.

Rottensteiner, C. (2008): Evaluation of the feller-buncher Moipu 400 E for energy wood harvesting. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur Wien, 51 S.

Sauerzapf, F. (2010): Vollmechanisierte Bereitstellung von Waldhackgut im Laubholz – Kosten, Energie- und CO₂ –Bilanz. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur Wien, 75 S.

Spinelli, R., Cuchet, E., Roux, P. (2006): A new feller-buncher for harvesting energy wood: Results from European test programme. *Biomass and Bioenergy*. 31(4): 205-210.

Stampfer, E. (2011): Leiter der Forsttechnik Steinkogl. Österreichische Bundesforste AG. Mündliche Auskunft.

Stampfer, K. (2002): Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge, Habilitationsschrift, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. 96 S.

Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., Mencuccini, M. (2005): Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4. 63 p.

www.oeamtc.at (3. 2. 2011)

6 ANHANG

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: HSM 208 f Forwarder (a) mit Moipu 300ES Fäller-Sammler Aggregat(b)	3
Abbildung 2: Schematische Darstellung der Arbeitsweise von Forwarder und Moipu 300ES Fäller-Sammler-Aggregat.....	4
Abbildung 3: Kiefern und vereinzelte Eichen prägen den Bestandescharakter	6
Abbildung 4: Stirnflächenverfahren.....	7
Abbildung 5: Codierung der Bruthöhendurchmesserklassen	8
Abbildung 6: Zeitverteilung bei der Energieholzernte (Variante 1).....	12
Abbildung 7: Zeitverteilung bei der Energie- und Industrieholzernte (Variante 2)...	13
Abbildung 8: Produktivitätskurven der Kombination Forwarder (HSM 208 f) und Fäller-Sammler (Moipu 300ES) in Abhängigkeit von Baumvolumen und Rückedistanz.....	15
Abbildung 9: Sensitivität gegenüber dem Faserholzpreis	18
Abbildung 10: Verteilung der Bestandesschäden	19
Abbildung 11: Produktivitäten aus vergleichbaren Studien.....	22

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten	3
Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten.....	5
Tabelle 3: Verwendete Arbeitsschritte und Trennpunkte	7
Tabelle 4: Biomassefunktionen für die Massenermittlung (Zianis et al., 2005).....	8
Tabelle 5: Beschreibung der Schäden nach Ort, Größe und Art	9
Tabelle 6: Variablen und Kovariaten des Versuchslayouts.....	10
Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren.....	11
Tabelle 8: Statistische Beschreibung der Kovariaten und abhängigen Variablen	13
Tabelle 9: Einfluss des Fuhrenvolumens auf die Produktivität.....	15
Tabelle 10: Kostenblatt für Forwarder HSM 208 f und Fäller-Sammler Moipu 300ES.....	16
Tabelle 11: Bereitstellungskosten und Deckungsbeitrag nach Kostenträger.....	17
Tabelle 12: Treibstoffverbrauch	20
Tabelle 13: Energieeinsatz und CO ₂ -Emissionen sowie Ökoeffizienz	21