

Energieholzbereitstellung mit Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 400E



Fallstudie im Forstbetrieb Fürst Esterházy'sche
Privatstiftung Lockenhaus



Impressum

Autoren: Günter Affenzeller und Karl Stampfer

Fotos: C. Rottensteiner, G. Affenzeller, F. Holzleitner und H. Renner

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

www.boku.ac.at/forstt



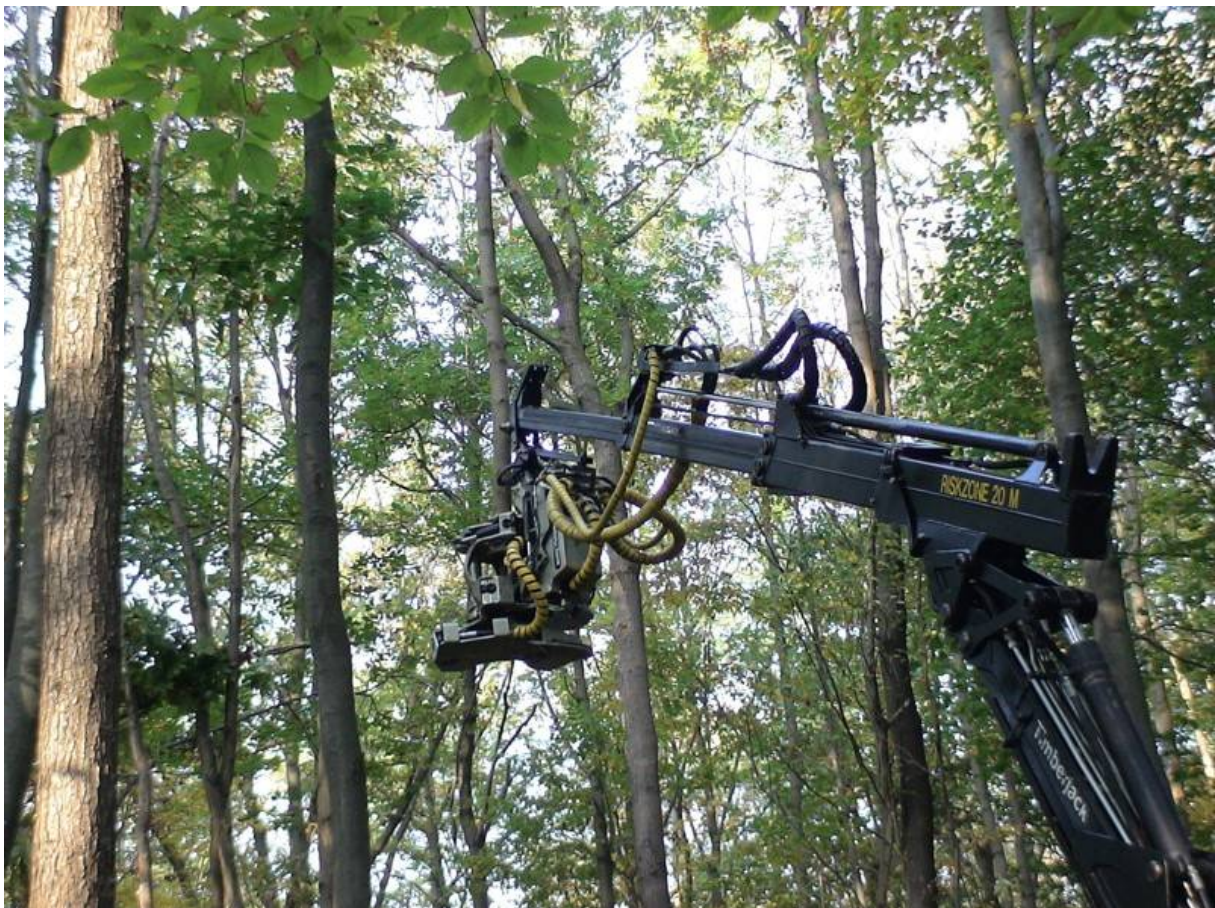
Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Danksagung

Der Auftrag für diese Studie erfolgte im Juni 2008 durch die Arbeitsgruppe Holzernte und Holzanlieferung der Kooperationsplattform Forst Holz Papier (FHP). Den beteiligten Arbeitsgruppenmitgliedern, insbesondere dem Vorsitzenden Ing. Johannes Loschek seien für ihr stetiges Bemühen und Engagement gedankt.

Zum wiederholten Male stellte der Forstbetrieb Fürst Esterházy'sche Privatstiftung Lockenhaus, unter der Leitung von OFM Martin Pollak, die Versuchsflächen zur Verfügung. Dafür gebührt ein herzliches Dankeschön.

Besonderen Respekt zollen die Autoren dem Unternehmer Ing. Fö. Hubert Renner, der den Mut hatte, ein neuartiges Maschinensystem in der Holzernte einzusetzen.



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	MATERIAL UND METHODE.....	3
2.1	Begriffliche Abgrenzung.....	3
2.2	Maschinenbeschreibung.....	3
2.3	Arbeitsweise und Arbeitsverfahren.....	4
2.4	Bestandesbeschreibung.....	5
2.5	Datenerhebung.....	6
2.6	Erhebung der Bestandesschäden.....	9
3	ERGEBNISSE.....	10
3.1	Deskriptive Statistik.....	10
3.2	Produktivitätsmodell.....	11
3.2.1	Kostenanalyse.....	14
3.2.2	Bestandesschäden.....	15
4	DISKUSSION.....	17
5	LITERATURVERZEICHNIS.....	19
6	ANHANG.....	20
6.1	Abbildungsverzeichnis.....	20
6.2	Tabellenverzeichnis.....	20

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung

Aus Naturverjüngung hervorgegangene aber auch im Engverband gepflanzte (Kiefern-)Kulturen weisen im Erstdurchforstungsalter naturgemäß hohe Stammzahlen auf, die wiederum zu einem relativ geringen Anfall an ökonomisch verwertbarem Derbholz führen. Verstärkt wird diese Wirkung noch, wenn eine Dickungspflege in Form einer Läuterung unterblieb. Die Nutzung solcher Bäume mit dem Harvester ist aus technischer und ökonomischer Sicht begrenzt (vgl. Affenzeller und Stampfer, 2007). In den beschriebenen Beständen kommen daher anstelle des Harvesters zunehmend Maschinen, wie z. B. Traktoren mit Kran oder mit Krananhänger, zum Einsatz, an denen ein technisch einfacher Fällkopf angebaut ist. Anstatt einer Harvesterkette, die beim Fällen kleiner Bäume vom Schwert abspringen kann, arbeiten Klingen, die sich durch geringe Anfälligkeit gegenüber Schmutz und Steine auszeichnen. Die Klingen scheren die Bäume, bei entsprechender Positionierung des Aggregates wesentlich tiefer ab, als es der Harvester vermag. Anstelle von Faser- und Schleifholz wird ausschließlich Energieholz ausgeformt, da weder ein Entasten noch ein exaktes Ablängen möglich ist. Geringere Systemkosten sollten in weiterer Folge bei Erstdurchforstungen zu positiven Deckungsbeiträgen führen.

Die Modellauswahl an Fällköpfen nimmt stetig zu. Neben Aggregaten mit scherenartiger Funktionalität der Klinge (z.B Timberjack 720, Valmet 945) existieren Aggregate mit waagrecht bewegter Fallbeilklinge (Ponsse EH 25, Naarva Grip). Weiters werden Fällaggregate mit und ohne Sammelfunktion angeboten. Bei Aggregaten mit Sammelfunktion wird Baum für Baum gefällt, gleichzeitig im Aggregat gesammelt und anschließend konzentriert abgelegt oder direkt geladen (Affenzeller und Stampfer, 2007).

Forwarder als Trägerfahrzeuge mit Fäller-Sammler-Aggregat, wobei direkt in den Rungenkorb geladen wurde, untersuchten Laitila et al. (2004) sowie Laitila und Asikainen (2006). Studien bezüglich der unterbrochenen Arbeitskette – Trennung des Fäll- und Rückevorganges – existieren u. a. von Eberhardinger (2007), wobei ein Traktor mit Kran als Trägerfahrzeug diente. In allen Studien wurden Systemproduktivitäten beschrieben. Angaben über Erlöse für das bereitgestellte Produkt fehlen oder sind aufgrund der regionalen Preisbildung nur bedingt vergleichbar.

Affenzeller und Stampfer (2007) untersuchten die Kombination Traktor mit Krananhänger und einem Aggregat ohne Akkumulationsmöglichkeit, wobei direkt nach dem Fällen in den Rungenkorb geladen wurde. Das Fehlen der Sammelfunktion stellte sich als Nachteil heraus. Die geforderte Produktivität konnte nicht erzielt werden.

Die vielversprechenden Ergebnisse, die Laitila et al. (2004) sowie Laitila und Asikainen (2006) mit der Kombination Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 400 Energieholzaggregat in Skandinavien erzielen konnten, haben dazu bewogen, dieses Maschinensystem nun unter mitteleuropäischen Verhältnissen zu evaluieren.

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit hat zum Ziel die Maschinenkombination Forwarder und Fäller-Sammler-Aggregat Moipu 400E (Abbildung 1) hinsichtlich Produktivität und Kosten zu beurteilen. Dazu wird eine Zeitstudie mit anschließender statistischer Auswertung durchgeführt. Die Einflussparameter auf die Produktivität werden bestimmt, deren Zusammenhang geschätzt und durch ein Produktivitätsmodell beschrieben und veranschaulicht. Im Detail werden folgende Bereiche behandelt:

- Zeitbedarf und Produktivität der Maschinenkombination Forwarder und Fäller-Sammler-Aggregat Moipu 400E,
- Systemkosten der zu untersuchenden Maschinenkombination,
- Bereitstellungskosten für die beobachteten Teilprozesse sowie für den Gesamtprozess vom Wald bis zum Werk,
- Schäden am verbleibenden Bestand,
- Abschätzen der anfallenden Menge je Flächeneinheit,
- Ableiten praktischer Einsatzempfehlungen.



Abbildung 1: Moipu 400E fällt und sammelt Bäume

2 MATERIAL UND METHODE

2.1 Begriffliche Abgrenzung

Das Fällaggregat Moipu 400E wird in der Literatur unterschiedlich bezeichnet. Neben Energieholzzange, Energieholz Harvesterkopf, Mehrfachfällkopf wird der Begriff Fäller-Bündler verwendet. Fäller-Bündler entspricht der Übersetzungen aus dem Englischen (Feller-Buncher), nicht zu verwechseln mit Bündelmaschinen, die Schlagrücklass kompaktieren. Die Autoren verwenden in weiter Folge den Terminus Fäller-Sammler, weil dieser die Funktion des Aggregates, ohne Missverständnisse hervorzurufen, am besten beschreibt.

2.2 Maschinenbeschreibung

Als Basismaschine dient ein Forwarder der Type Timberjack 1110 D mit einer Motorleistung von 126 kW sowie einer Ladekapazität von 12 t. Anstelle einer Greifzange arbeitet am Timberjack CF5 Kran das Aggregat Moipu 400E (Abbildung 2). Entwickelt wurde dieses Aggregat, das Fällen, Sammeln und Laden kann, von der finnischen Firma Moisio Forest. Bei Weichholz liegt der maximale Fälldurchmesser um etwa 30 cm, bei Hartholz entsprechend darunter. Kleine Bäume können, während weiter gefällt wird, im Aggregat gehalten, akkumuliert, gebündelt bzw. gesammelt werden. Für den optimierten Einsatz in der Energieholzernte wurden geringfügige technische Adaptionen an Hydraulik, Rungenkorb und Prallgitter des Forwarders vorgenommen.



Abbildung 2: Timberjack 1110 D Forwarder (a) mit Moipu 400E Fäller-Sammler-Aggregat (b)

Der Fällvorgang wird mit einer einzelnen Klinge durchgeführt. Das Schersystem ist mit dem einer Gartenschere vergleichbar. Hydraulisch betrieben, trennt die halbmondförmige Klinge die Bäume vom Stock. Die Klinge ist gegenüber Schmutz und Steine weniger anfällig, als etwa eine Harvesterkette. Bei entsprechender Positionierung des Aggregates ist daher ein Fällen der Bäume wenige Zentimeter über dem Waldbodenniveau möglich. Der zum Teil ziehende Schnitt erlaubt im Vergleich zu einer reinen Guillotine-Klinge, die von hinten nach vorne gedrückt wird, einen geringeren Krafteinsatz bzw. gewährleistet einen saubereren Schnitt, der die Fasern

des Holzes schonen soll. Stingl und Hansmann (2008) führten diesbezüglich eine Qualitätsbeurteilung an den mit Moipu 400E gezwickten Bäumen durch. Dabei wurden Stämme unterschiedlicher Durchmesser hinsichtlich Rissbildung und damit deren potenzielle Versägefähigkeit untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine tiefer gehende Rissbildung in erster Linie bei stärkeren Stämmen. Der gesamte Bericht ist unter dem Titel: „*Screeningstudie zur Qualitätsbeurteilung von mittels Zwickaggregaten geernteten Holz hinsichtlich Schnittholzzeugung*“ auf der Homepage von FHP (www.forstholzpapier.at) zum Herunterladen bereitgestellt.

Neben dem Fällen eignet sich das Aggregat, das eine Öffnungsweite von bis zu 120 cm aufweist, auch zum Laden von Stämmen bis zu 75 cm Durchmesser. Das verfügbare Bruttohubmoment des Timberjack CF5 Krans beträgt dafür 102 kNm (Tabelle 1).

Tabelle 1: Technische Daten

Forwarder Timberjack 1110 D	Gewicht	14.700	[kg]
	Motorleistung (J.D. 6068 HAT J)	126	[kW]
	Zugkraft	150	[kN]
	Ladekapazität	12.000	[kg]
Kran Timberjack CF5	Reichweite	10	[m]
	Hubmoment	102	[kNm]
Fäller-Sammler Moipu 400 E	Gewicht	540	[kg]
	max. Fälldurchmesser (Kernwuchs)	30	[cm]
	max. Fälldurchmesser (Ausschläge)	50	[cm]
	Öffnungsweite	120	[cm]
	benötigter Öldurchfluss	120	[l/min]

2.3 Arbeitsweise und Arbeitsverfahren

Die Rückegasse wird mit dem Rungenkorb voraus befahren, die Bäume werden gefällt und seitlich vorkonzentriert in Bündeln abgelegt (1). Der Bestand links und rechts der Gasse bleibt zunächst unberührt. Nachdem die Bäume der gesamten Gasse gefällt wurden, wird das angefallene „Trassenholz“ am Ende der Trasse beginnend geladen und zur Forststraße gerückt (2). Im Anschluss wird der restliche Bestand durchforstet, wobei wiederum am Ende der Gasse begonnen wird (3). Die gefällten Bäume werden im Aggregat fallweise akkumuliert und anschließend direkt in den Rungenkorb geladen. Bei voller Fuhre wird wiederum gerückt (Abbildung 3).

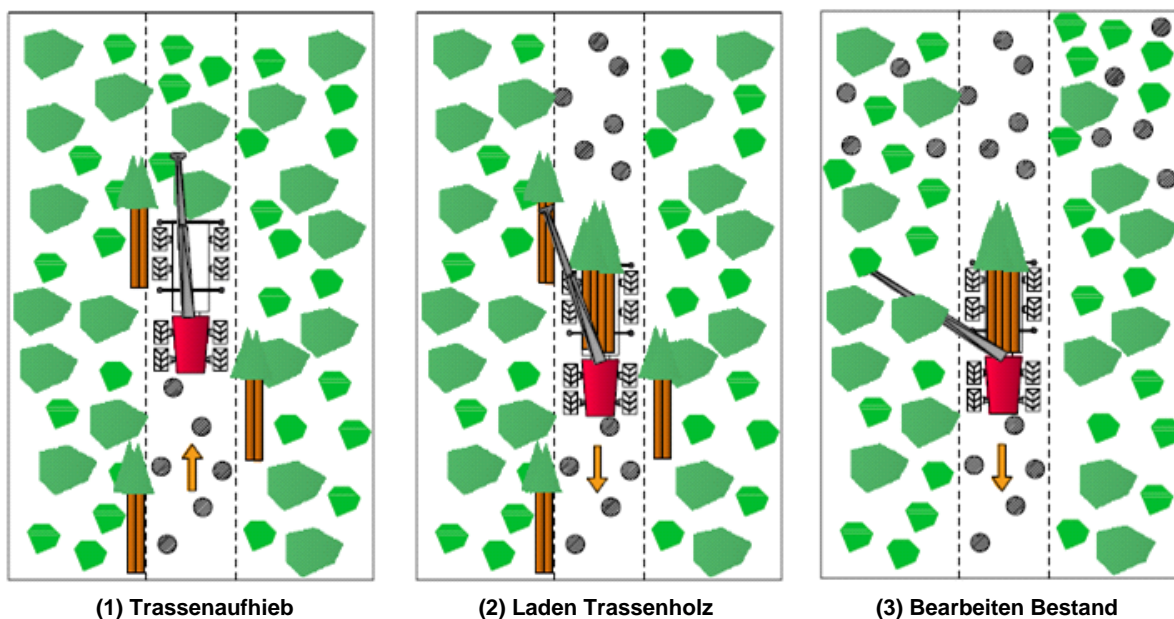


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Energieholzbereitstellung im Baumverfahren mit Forwarder und Moipu 400E Fäll-Sammler-Aggregat

2.4 Bestandesbeschreibung

Die Fallstudie wurde in Lockenhaus im Burgenland auf einer Fläche von 0,96 ha durchgeführt. Die Oberhöhe des 35-40 jährigen kieferndominierten Bestandes, der aus einer Kombination von Kunst- und Naturverjüngung hervorging, betrug 18 m. Die Baumartenverteilung vor dem Eingriff lässt sich mit 5 Kiefer 4 Eiche und 1 Buche sowie Lärche beschreiben. Die Ausgangsstammzahl betrug 4770 Stück pro Hektar (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten

Kennzahl	Wert	Einheit
Bestandesfläche	0,96	[ha]
Ø Hangneigung	7	[%]
Bestandesalter	35-40	[J]
Baumartenverteilung	[0,5/0,4/0,1]	[Ki/Ei/So.]
Ausgangsstammzahl	4.770	[n/ha]
Entnommene Bäume	2.976	[n/ha]
Entnommene Bäume	2.857	[n]
Entnommene Biomasse gesamt	163,1	[m ³]
Ø entnommenes Baumvolumen	0,057	[m ³]
Entnahmeprozent Volumen	50,1	[%]
Entnahmeprozent Stammzahl	62,4	[%]
Mittlere Rückedistanz (RD)	89	[m]
Anzahl der Trassen	5	[n]
Trassenlänge	60-160	[m]
Erntezeitpunkt	Juni 2008	

Entnommen wurden in Summe 2976 Bäume pro Hektar mit einem durchschnittlichen Volumen von $0,057 \text{ m}^3$ an Derb- und Reisholz. Daraus resultierte ein Erteevolumen von $163,1 \text{ m}^3$ gleichbedeutend mit einer Entnahme von 50 % bezogen auf das Bestandesvolumen bzw. 60 % bezogen auf die Stückzahl. Die Trassenlängen bewegten sich zwischen 60 m und 160 m mit einer Neigung von durchschnittlich 7 %. Abbildung 4 zeigt Bestandesbilder vor dem Eingriff.



Abbildung 4: Laubholzruten prägen den Bestandescharakter

2.5 Datenerhebung

Mithilfe einer Zeitstudie wurde der Zeitbedarf aller Tätigkeiten, die dem Arbeitsfortschritt dienen (PSH_0) erhoben und daraus eine Gesamtproduktivität (m^3/PSH_0) berechnet. Der Arbeitsablauf wurde in acht Teilschritte zuzüglich Unterbrechungen untergliedert (Tabelle 3). Für die Datenaufzeichnung fand das elektronische Zeiterfassungsgerät Latschbacher EG 20 Anwendung. Die unterschiedliche Arbeitsweise in der Trasse bzw. im Bestand zwang zu einer separaten Aufzeichnung (Tabelle 3). Zur Leistungsfeststellung des Ernteverfahrens mit dem Moipu 400E hat man aus den dokumentierten Variablen und Kovariaten lineare Modelle hergeleitet. Als Beobachtungseinheit diente beim Fällvorgang in der Trasse das Baumbündel, sprich alle Bäume die gefällt und auf einmal abgelegt wurden. Beim Laden des vorkonzentrierten und abgelegten Trassenholzes diente die Fuhre als Betrachtungseinheit. Das Ladevolumen ergab sich aus der Summe der in den jeweiligen Abschnitten gefällten und später geladenen Bäume.

Die Zuordnung der Bäume zum jeweiligen, Fäll-, Lade- und Rückevorgang erfolgte abseits der Rückegasse unmittelbar, da die Bäume direkt nach dem Fällen geladen wurden. Für das Produktivitätsmodell wurden die Erntemenge des Trassenholzes (Fällen, Laden) sowie die Erntemenge im Bestand (Fällen und Laden) anteilmäßig berücksichtigt.

Tabelle 3: Verwendete Arbeitsschritte und Beschreibung der Trennpunkte

Arbeitsschritte	Beschreibung der Trennpunkte
Fällen	Beginn: Fällaggregat ist in horizontaler Position für das Fällen eines Trassenbaumes Ende: Die gefällten Bäume wurden abgelegt - neuer Zyklus (Z) oder anderer Arbeitsschritt (AS) startet
Laden	Beginn: Das Aggregat umgreift das erste Baumbündel nach dem Fällen Ende: Der letzte Ladevorgang vor der Lastfahrt ist abgeschlossen - anderer AS startet
Fällen & Laden	Beginn: Fällaggregat in horizontaler Position für das Fällen eines Baumes im Bestand Ende: Der/die unmittelbar zuvor gefällte(n) Ba(e)um(e) im Bestand wurde(n) geladen - neuer Z oder anderer AS startet
Fortbewegung	Beginn: Die Räder drehen sich (außerhalb der Leer- oder Lastfahrt) Ende: Die Räder bleiben stehen (Nicht nach Leer- oder Lastfahrt) - anderer AS startet
Lastfahrt	Beginn: Räder bewegen sich nach dem letzten Ladeakt (Fuhre voll) Ende: Die Räder bleiben stehen - anderer AS startet
Entladen	Beginn: Erste Kranbewegung nach der Lastfahrt beim Polter Ende: Rungenkorb ist leer - Aggregat ist abgelegt - neuer Z startet
Leerfahrt	Beginn: Erste Bewegung der Räder nach dem Entladen Ende: Anderer AS startet
Ablaufbedingte Wartezeit	Beginn: Maschine arbeitet ohne relevanter Bezugsgröße (Entfernen von Hindernissen) Ende: Anderer AS startet
Unterbrechungen ≤ 15	Beginn: Maschine arbeitet nicht (max. 15 Minuten) Ende: Anderer AS startet
Unterbrechungen > 15	Beginn: Maschine arbeitet nicht (mehr als 15 Minuten) Ende: Anderer AS startet

Die abhängigen Variablen sind in Tabelle 4 beschrieben. Die Definition der Einflussfaktoren ist für die Festlegung der Versuchsanordnung notwendig. Die Versuchsanordnung soll tatsächliche Verhältnisse möglichst präzise wiedergeben (Daxner, 1998). Darüber hinaus ist unbedingt zu beachten, dass Aussagen, die aufgrund des Datenmaterials hergeleitet werden, nur in jenem Bereich Gültigkeit haben, die durch das 5 % und das 95 % Quantil begrenzt sind (Stampfer, 2002).

Bei der Bestandesvorbereitung wurden die Trassen im Abstand von 16 m (doppelte Kranreichweite) mit Farbspray markiert. Anschließend erfolgte eine Absteckung von 20-Meter Abschnitten entlang jeder Trasse. Dadurch entstanden Parzellen mit einer Fläche von 320 m². Die Parzellen bildeten jene Beobachtungseinheiten, die für den statistischen Nachweis des Einflusses von Bestandes- und Geländeparametern herangezogen wurden. Es erfolgte eine Vollaufnahme des Bestandes, d.h. alle Bäume wurden kluppiert, in BHD-Stufen eingeteilt und mit Farbspray codiert (Abbildung 5). Das Bestandesalter wurde durch Jahrringzählung an den Stöcken erhoben (vgl. Affenzeller und Stampfer, 2007).

Tabelle 4: Variablen, Faktor und Kovariaten des Versuchslayouts

Typ	Name	Definition	Einheit
Abhängige Variablen	zyklus _{Fällen}	Gesamte Zeit für das Fällen und Ablegen eines Baumes bzw. Baumbündels von der Trasse; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Laden}	Gesamte Zeit für das Laden einer Fuhre Trassenholz; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Fällen&Laden}	Gesamte Zeit für das Fällen und Laden eines Baumes bzw. Baumbündels vom Bestand; Produktive Systemstunde (PSH ₀)	[min]
	zyklus _{Fortbewegung}	Gesamte Zeit einer Fuhre für die Fahrten im Bestand außer Leer- und Lastfahrt; 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]
Faktor	Baumart	Kiefer (1), Eiche (0)	
Kovariaten	Baumvol	Ø Baumvolumen eines Baumbündels	[m ³]
	NBäume	Anzahl der Bäume in einem Baumbündel	[n]
	Neigung	Neigung der Probeflächenabschnitte	[%]
	Entnahme	Entnahmemenge je Probeflächenabschnitt	[m ³ /ha]
	Fuhrenvol	Volumen einer Ladung (Fuhre)	[m ³]
	RD	Rückedistanz (Mittelwert aus Leer- und Lastfahrt)	[m]

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 Bruthöhendurchmesserklassen

Die Ermittlung des Volumens erfolgte mithilfe von Biomassefunktionen aus Zianis et al. (2005) (Tabelle 5). Diese errechneten in Abhängigkeit von Baumart und BHD die gesamte Biomasse (BM) über Grund inklusive Rinde und Astmaterial in kg Trockensubstanz (TS). Das geschätzte Volumen erhält man, wenn die Masse durch die Darrdichte der entsprechenden Baumart dividiert wird. Affenzeller und Stampfer (2007) verglichen berechnete und gemessene Werte (abgewogene Hackgutmasse) und konnten lediglich Unterschiede zwischen 0 % und 8 % feststellen.

Tabelle 5: Biomassefunktionen für die Massenermittlung (Zianis et al., 2005)

Baumart	BM	D (cm)	H (m)	n*	Bestimmtheitsmaß	Formel	Koeffizienten		
							a	b	c
Eiche	kg TS	–	–	33	-	$a+b \cdot \ln(D)$	-0,883	2,14	-
Lärche	kg TS	3.3–31.6	3–20	44	0,992	$a \cdot D^b \cdot H^c$	0,1081	1,53	0,9482
Kiefer	kg TS	–	–	30	0,970	$a+b \cdot \ln(D)$	-2,3042	2,2608	-
Buche	kg TS	–	–	42	0,997	$a+b \cdot \ln(D)+c \cdot \ln(H)$	-2,872	2,095	0,678

* Anzahl der Bäume, die für die jeweilige Funktion gemessen wurden

2.6 Erhebung der Bestandesschäden

Die Bestandesschäden wurden nach Beendigung des Durchforstungseingriffes nach dem Verfahren von Meng (1978) erhoben. Es wurden 15 Probekreise mit einer Fläche von jeweils 100 m² auf die Bestandesfläche zufällig verteilt und die Bäume darin auf Schäden untersucht. Für jeden einzelnen Schaden wurde seine Lage am Stamm, die Größe des Schadens sowie die Art bzw. die Intensität der Schädigung dokumentiert (Tabelle 6).

Tabelle 6: 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	

In diesem Fall wurden nur jene Schäden erhoben, die der Fällung und der Rückung zuzurechnen waren. Alte Schäden, die nicht das Holzertesystem hervorgerufen hatte (z. B. Schälsschäden), blieben unberücksichtigt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Deskriptive Statistik

Die Arbeitsschritte Fällen und Laden in und neben der Rückegasse (Fällen, Laden, Fällen & Laden) beanspruchten in Summe 50 % der beobachteten Zeit. Aufgrund der kurzen Rückedistanzen wurden für Leer- und Lastfahrt lediglich 4 % bzw. 3 % aufgewendet. Für die Fortbewegung zwischen den Fäll- und Ladevorgängen, sowie für das Entladen an der Forststraße entfielen jeweils 6 % der gesamten Zeit. Unterbrechungen unter und über 15 Minuten, die durch Pausen und Reparaturen verursacht wurden, ergaben Anteile von 12 % und 11 %. Die restlichen 8 % repräsentieren ablaufbedingte Wartezeiten (Abbildung 6).

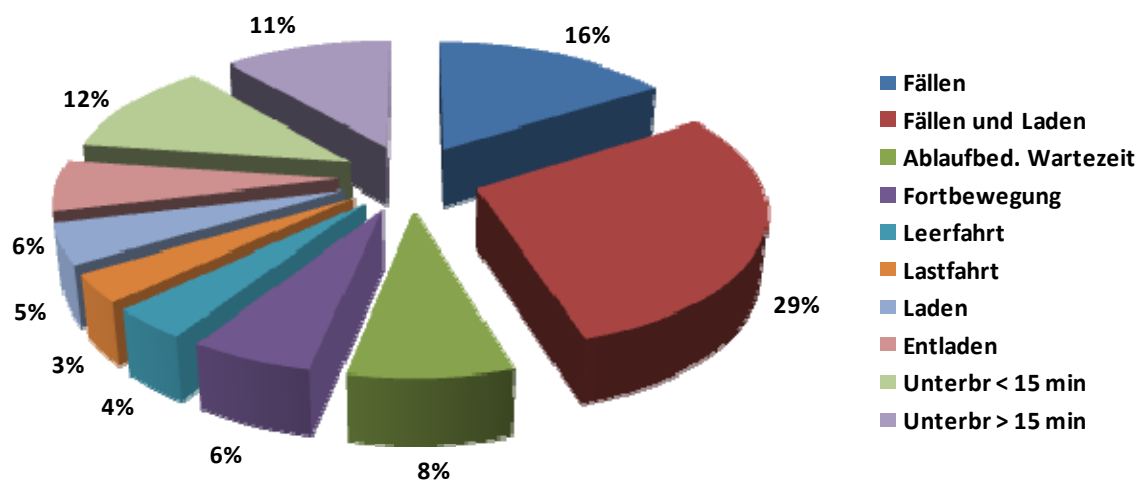


Abbildung 6: Zeitverteilung bei der Energieholzernte mit Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 400E

Die Einsatzmenge von 163 m³ Derb- und Reisholz wurde mit 1104 Fäll- bzw. Fäll- und Ladezyklen geerntet und mit 44 Fahrten zur Forststraße gerückt. Bevor das Baumbündel abgelegt oder geladen wurde, fällte der Maschinist durchschnittlich 2,6 Bäume mit einem Gesamtvolumen von 0,148 m³. Die Durchschnittswerte der numerischen Variablen sowie deren Gültigkeitsbereich zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Statistische Beschreibung der Kovariaten

	BHD [cm]	Baumvolumen [m ³]	Fuhrevolumen [m ³]	Rückedistanz [m]
Mittelwert	9,2	0,057	3,71	89
Quantile ₅	3,3	0,012	1,13	22
Quantile ₉₅	18,2	0,212	5,61	176

Das durchschnittlich entnommene Baumvolumen betrug 0,057 m³. Der für das Produktivitätsmodell gültige und somit anwendbare Bereich liegt zwischen einem Baumvolumen von 0,012 m³ und 0,212 m³. Durchschnittlich wurden 3,71 m³ pro

Fuhre auf einer Distanz von 89 m gerückt. Auch für die zu erklärenden Variablen (Zeitbedarfswerte) sind die Mittelwerte angeführt (Tabelle 8). Für das Entladen wurden z.B. im Durchschnitt 1,16 min/m³ verwendet. In 95 von 100 Fällen wurden dabei $\leq 1,62$ min/m³ benötigt.

Tabelle 8: Statistische Beschreibung der unabhängigen Variablen

Zeitbedarf [min/m ³]	Zeit _{Fällen}	Zeit _{Fällen & Laden}	Zeit _{Fahren}	Zeit _{Fortbew.}	Zeit _{Laden}	Zeit _{Entladen}
Mittelwert	10,22	13,94	0,72	1,07	1,81	1,16
Quantile ₅	2,33	4,56	0,31	0,39	1,00	0,79
Quantile ₉₅	25,99	24,80	1,67	1,80	2,69	1,62

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 in Formel 1 entspricht der Umrechnung von Minuten auf Stunden. Weil zwischen dem Fällen und Laden des Trassenholzes und dem Fällen & Laden der Bäume abseits der Gasse unterschieden wird, gibt es separate Modelle, die entsprechend dem Ertevvolumen Eingang ins Gesamtmodell finden (Formel 1).

Für das Submodell Fällen (Fällen des Trassenholzes) wurden Baumart, Bäume pro Bündel, Entnahmemenge (m³/ha), Hangneigung und Baumvolumen auf Signifikanz getestet. Die Varianzanalyse zeigt nur für das Baumvolumen einen entsprechenden Einfluss (Formel 2).

Formel 1

$$prod = \frac{60}{k_1 * [(zeit_{\text{fällen}} + zeit_{\text{laden}}) * \frac{V_{\text{fällen}}}{V_{\text{gesamt}}} + zeit_{\text{fällen\&luden}} * \frac{V_{\text{fällen\&luden}}}{V_{\text{gesamt}}} + zeit_{\text{fortbew}} + zeit_{\text{fahren}} + zeit_{\text{entladen}} + k_2]}$$

prod..... Systemproduktivität Forwarder und Fäller-Sammler (m³/PSH₁₅)
 zeit_{fällen}..... Zeitbedarf Fällen der Bäume in der Trasse (min/m³)
 zeit_{fällen&luden}..... Zeitbedarf Fällen & Laden der Bäume neben der Gasse (min/m³)
 zeit_{laden}..... Zeitbedarf Laden der Trassenbäume (min/m³)
 zeit_{fortbew}..... Zeitbedarf Fortbewegung (min/m³)
 zeit_{fahren}..... Zeitbedarf Fahren (min/m³)
 zeit_{entladen}..... Zeitbedarf Entladen (min/m³)
 V_{fällen&luden}..... entnommenes Volumen außerhalb des Trassenholzes (m³)
 V_{fällen}..... Volumen des Trassenholzes (m³)
 V_{gesamt}..... entnommenen Gesamtvolumen (m³)
 k₁..... relativer Korrekturfaktor für die Umrechnung von PSH₀ auf PSH₁₅
 k₂..... absoluter Korrekturfaktor für die Einbeziehung der Ablaufbedingten Wartezeit (min/m³)

Formel 2

$$zeit_{\text{fällen}} = 2,249 + Baumvol^{-0,9} * 0,362$$

zeit_{fällen}..... Zeitbedarf Fällen der Bäume in der Trasse (min/m³)
 Baumvol..... Ø entnommenes Baumvolumen [m³]

Der Zeitbedarf für das Fällen und Laden der Bäume neben der Gasse wird mit Formel 3 geschätzt. Als Einflussvariable konnte wiederum nur das Baumvolumen ausgeschieden werden.

Formel 3

$$zeit_{\text{fällen\&luden}} = 6,774 + Baumvol^{-0,9} * 0,267$$

zeit_{fällen&luden}..... Zeitbedarf Fällen & Laden der Bäume neben der Gasse (min/m³)
 Baumvol..... Ø entnommenes Baumvolumen [m³]

Für das Fahr- bzw. Rückemodell sind zwei Variablen signifikant (vgl. Affenzeller und Stamper, 2007). Die Rückedistanz beeinflusst die Fahrzeit. Durch Division mit dem Fuhrenvolumen erhält man den Zeitbedarf pro Kubikmeter (Formel 4).

Formel 4

$$zeit_{\text{fahren}} = (0,028 * Rückedis) / Fuhrenvol$$

zeit_{fahren}..... Zeitbedarf Fahren (min/m³)
 Rückedis..... Ø Rückedistanz [m]
 Fuhrenvol..... Ø Fuhrenvolumen [m³]

Für die Submodelle Laden, Fortbewegung und Entladen konnten keine signifikanten Parameter ausgeschieden werden, weshalb jeweils der durchschnittliche Zeitbedarf pro Kubikmeter als Konstante in die Gesamtformel einfließt. Für die ablaufbedingte

Wartezeit gibt es von vornherein keine brauchbaren Einflussfaktoren. Daher wird dieser Arbeitstakt mittels Korrekturfaktor berücksichtigt.

Formel 5

$zeit_{laden}$	= 1,8073	k_1	= 1,3
$zeit_{fortbew}$	= 1,1238	k_2	= 1,4951
$zeit_{entladen}$	= 1,1401		
$zeit_{laden}$	.....	Zeitbedarf Laden der Trassenbäume (min/m ³)	
$zeit_{fortbew}$	.....	Zeitbedarf Fortbewegung (min/m ³)	
$zeit_{entladen}$	.....	Zeitbedarf Entladen (min/m ³)	
k_1	.....	relativer Korrekturfaktor für die Umrechnung von PSH ₀ auf PSH ₁₅	
k_2	.....	absoluter Korrekturfaktor für die Einbeziehung der Ablaufbedingten Wartezeit (min/m ³)	

In Summe fließen die Kovariaten Baum- und Fuhrenvolumen sowie Rückedistanz (RD) in das Gesamtmodell ein. In Abbildung 7 sind unter Verwendung des durchschnittlichen Fuhrenvolumens sowie dreier unterschiedlicher Rückedistanzen die Produktivitäten in Abhängigkeit vom Baumvolumen aufgetragen. Die geschätzte Produktivität beträgt bei einem entnommenen Baumvolumen von 0,057 m³ 3,30 m³/PSH₁₅. Damit überschätzt das Modell, unter Berücksichtigung der Mittelwerte, die tatsächlich erzielte Produktivität (3,16 m³/PSH₁₅) um 4,5 %.

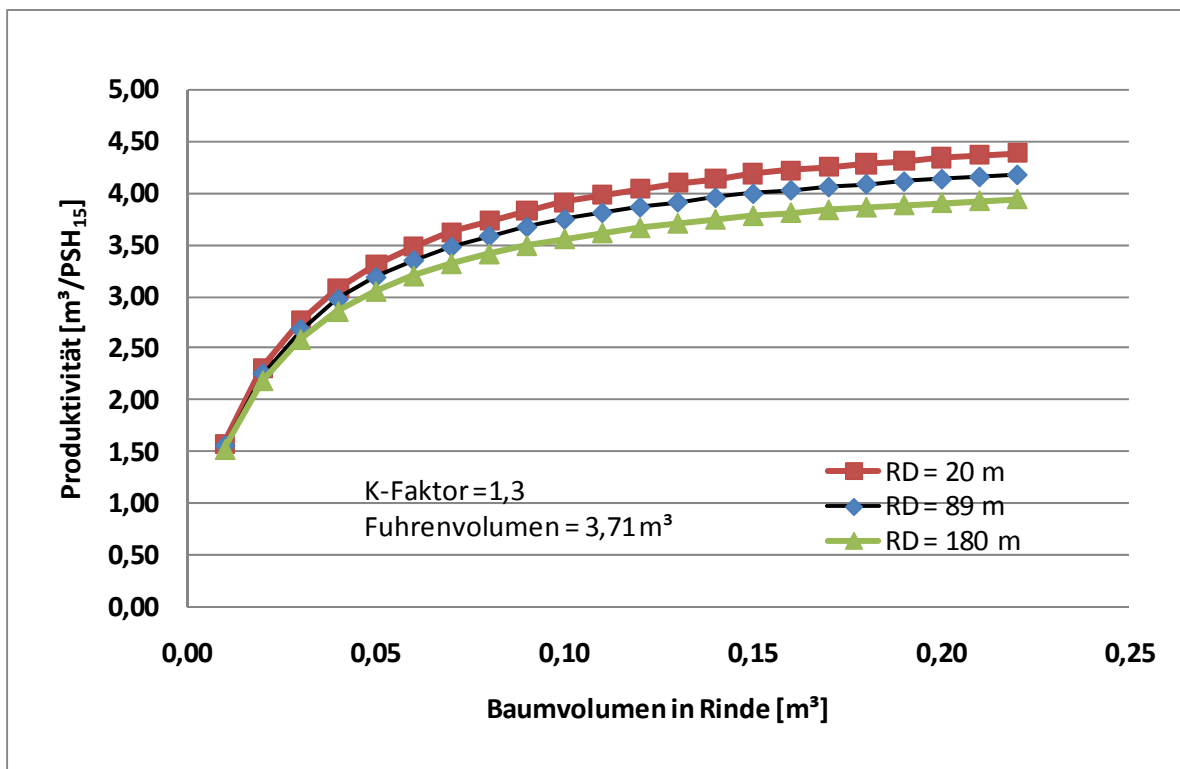


Abbildung 7: Produktivitätskurven der Kombination Forwarder (Timberjack 1110 D) und Fäller-Sammler (Moipu 400E) in Abhängigkeit von Baumvolumen und Rückedistanz

3.2.1 Kostenanalyse

Die Anschaffungskosten für die Maschine belaufen sich laut Unternehmer auf insgesamt € 260.750.-, wobei davon knapp € 34.000.- auf das Aggregat entfallen.

Pro Jahr ist die Maschine 1500 Stunden im Einsatz (J). In Summe ergeben sich Maschinenkosten von 66,6 Euro pro Maschinenarbeitsstunde (PMH₁₅). Inklusive Lohnkosten belaufen sich die Systemkosten auf 89,5 €/PSH₁₅ (Tabelle 9). Die erzielten Stundensätze verstehen sich netto, ohne Mehrwertsteuer und ohne Berücksichtigung von Unternehmerlohn oder Gemeinkostenanteil. Die erzielte Produktivität von 3,16 m³/PSH₁₅ entspricht bei einem Umrechnungsfaktor von 1:3 etwa 9,5 Srm/PSH₁₅. Ohne Überstellung entstehen Erntekosten von 9,4 €/Srm.

Tabelle 9: Kostenblatt für Forwarder Timberjack 1110 D und Fäller-Sammler Moipu 400E

	Wert	Einheit
Angaben		
Anschaffungskosten gesamt(An)	260.750	€
Forwarder	212.000	€
Kran	15.000	€
Moipu 400E	33.750	€
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))	3,9	€/PMH ₁₅
Versicherung und Unterstellkosten	0,3	€/PMH ₁₅
Abschreibung (Ab=An/(J*N))da J<SW	29,0	€/PMH ₁₅
Reparaturkosten (R=(An*r*N*J)H ²)da J<SW	18,8	€/PMH ₁₅
Kraftstoff (10l/MAS a' € 1,00)	10,0	€/PMH ₁₅
Schmiermittelkosten (25 % der Kraftstoffkosten)	2,5	€/PMH ₁₅
Summe Sachkosten	64,5	€/PMH₁₅
Lohnkosten Maschinist	25,0	€/PMH₁₅
SYSTEMKOSTEN (exkl.Mwst.)	89,5	€/PSH₁₅

Veranschlagt man Hack,- und Transportkosten mit insgesamt 5 €/Srm (vgl. Affenzeller und Stampfer, 2007), resultieren daraus Bereitstellungskosten frei Werk von 14,4 €/Srm. Bei Einbeziehung der oben genannten Zuschläge, steigen die

Bereitstellungskosten entsprechend. Der vom Unternehmer veranschlagte Stundensatz beträgt 115 €/PSH₁₅. Demzufolge würden sich die Bereitstellungskosten frei Werk auf 17,1 €/Srm belaufen (Tabelle 10).

Tabelle 10: Bereitstellungskosten nach Verkaufsparität [€/Srm]

€/Srm	frei Waldstraße aufgeschlüsselt	frei Waldstraße summiert (Rohholz)	frei Waldstraße (gehackt)	frei Werk (gehackt)
ohne Zuschläge	9,4	9,4	12,5	14,4
mit Überstellungskosten	1	10,4	13,5	15,4
mit Overheadkosten [30%]	3,1	13,5	16,6	18,5
mit Unternehmerlohn [7%]	0,7	14,3	17,4	19,3
Stundensatz Unternehmer [115 €/PSH ₁₅]	12,1		15,2	17,1

3.2.2 Bestandesschäden

Von 187 untersuchten Stämmen wiesen 23, dass entspricht einem Anteil von 12,3 % einen neuen Schaden auf. Im Vergleich mit Ergebnissen aus anderen Studien liegt man damit im durchschnittlichen Bereich. Bei der Untersuchung der Pfleglichkeit eines Hackschnitzelharvesters erreichten Feller et al. (1998) einen Schadanteil von 7,8 %. Limbeck-Lilienau und Stampfer (2004) verglichen mehrere Holzerntesysteme. Die Durchforstung mit der Kombination Harvester und Forwarder hinterließ in der Sommerperiode Schäden zwischen 10-17 %. Das Duo Radharvester und Traktorkrananhänger beschädigte 12-15 % des verbleibenden Bestandes.

Die Verteilung der Schäden am Baum lässt sich wie folgt beschreiben: Mehr als die Hälfte entfiel auf die Höhe zwischen 0,3 m – 1,0 m. Oberhalb dieser Marke war der Anteil der Beschädigungen bei 26 %. Ein Baum war im Wurzelbereich geschädigt (4 %). Die verbleibenden 13 % waren dem Stockbereich zuzurechnen (Abbildung 8).

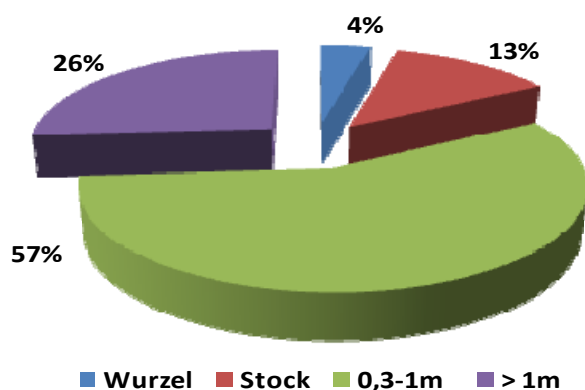


Abbildung 8: Verteilung nach Schadensort

Bezüglich der Schadensgröße ist festzuhalten, dass knapp 70 % unterhalb einer Größe von 50 cm² lagen. Darüber hinaus entfielen 17 % auf die Kategorie zwischen 51 cm² und 200 cm² und 14 % auf die Schadensgröße über 200 cm² (Abbildung 9). In der gegenständlichen Untersuchung fand die Ernte während der Saftzeit statt. Die Schadensausmaße außerhalb der Saftzeit fallen mit großer Wahrscheinlichkeit wesentlich geringer aus. 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 „freigelegtes Holz nicht beschädigt“ höher als in den Wintermonaten. Im Untersuchungsfall betrug der Anteil 65 %. Bei 22 % der Schäden war die Rinde äußerlich beschädigt. Bei 13 von 100 Fällen war das Holz freigelegt und beschädigt (Abbildung 10).

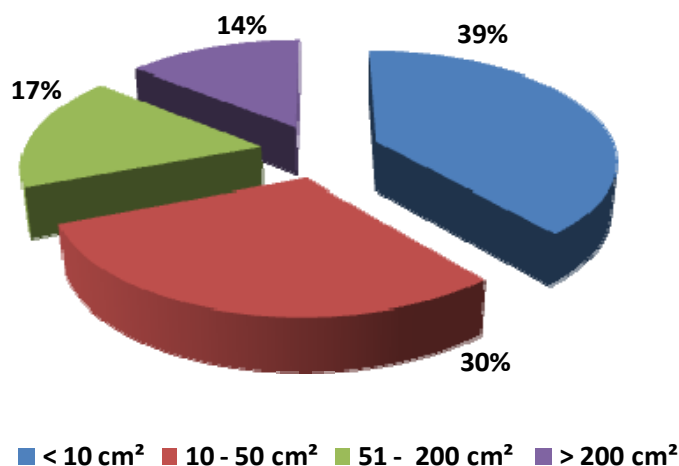


Abbildung 9: Verteilung nach Schadensgröße

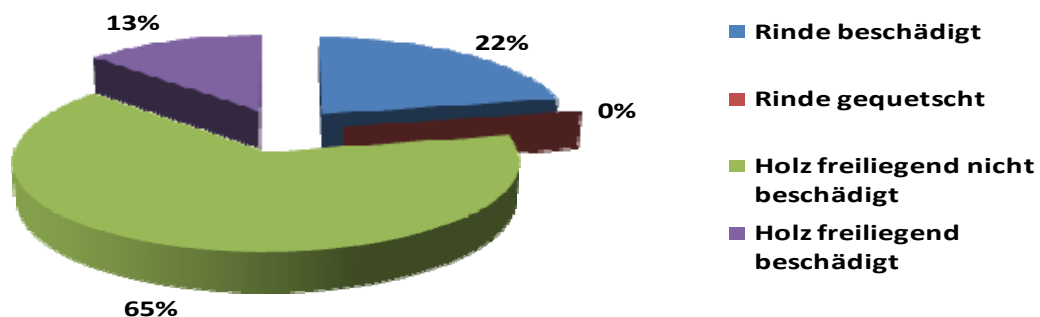


Abbildung 10: Verteilung nach Schadensart

4 DISKUSSION

Bei einem entnommenen Baumvolumen von $0,057 \text{ m}^3$ konnte der Forwarder (FW) Timberjack 1110 JD mit dem Moipu 400E Fäller-Sammler (FS) eine Systemproduktivität von $4,1 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$ erreichen. Einkalkulierte Unterbrechungen reduzieren diesen Wert auf $3,16 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. Im Vergleich zu anderen internationalen Studien, die zum Teil idente Maschinenkombinationen testeten, liegt man damit im Mittelfeld.

Laitila und Asikainen (2006) untersuchten ebenfalls die Kombination Forwarder mit Moipu 400E Fällaggregat. Sie erreichten bei gleicher Arbeitsweise in von Birken und Kiefern dominierten Beständen, bei einem Baumvolumen von $0,05 \text{ m}^3$ etwa $3,7 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$ frei Waldstraße. Unter Berücksichtigung der höheren Rückedistanz von 250 m sowie der geringeren Entnahmemenge von 50 m^3 Hektar kann die erreichte Produktivität über der hier erzielten angesehen werden.

Kärhä (2006) vergleicht vier integrierte Maschinen (eine Maschine übernimmt Fällen, Laden und Rücken) und fünf traditionelle Zwei-Maschinen-Systeme (Harvester und Forwarder) bei der Ernte im Baumverfahren. Beim Fällen kamen die Fäller-Sammler Moipu 400E, Ponsse EH 25, Abab Klippen 250, sowie der Scherkopf Valmet 945 und der Harvesterkopf Logset 4 M Hamster zur Anwendung. Die integrierten Maschinensysteme erreichten bei Einsetzen der hier erzielten Werte für Baum- und Fuhrenvolumen und einer Rückedistanz von 250 m eine Produktivität von $4,7 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$.

Bei den Zweimaschinensystemen erzielten die Harvester mit Fäller-Sammler-Aggregat, bei einem Baumvolumen von $0,057 \text{ m}^3$ eine Produktivität von etwa $11,8 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$. Die Forwarderproduktivität lag bei vergleichbarem Fuhrenvolumen und einer Rückedistanz von 100 m bei etwa $11,3 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$. Um eine vergleichbare Gesamtproduktivität zu erhalten, müssen die Produktivitäten zu Zeitbedarfswerten (z. B. PSH_0/m^3) rückgerechnet und addiert werden. Der daraus gebildete Kehrwert ergibt die Gesamtproduktivität, die im dargestellten Fall beachtliche $5,77 \text{ m}^3/\text{PSH}_0$ beträgt. Die Systemkosten des Zweimaschinensystems sind jedoch um etwa 20 % höher anzusetzen. Steigende Überstellungskosten sind ebenfalls zu berücksichtigen.

Eberhardinger (2007) untersuchte eine Traktorkombination, jedoch wurde zuerst gefällt und in einem zweiten Arbeitsgang geladen und gerückt. Als Fällaggregat diente der Mehrfachfällkopf Naarva Grip 1500-25e. Die Produktivität für Fällen und Vorkonzentrieren von Fichte betrug bei vergleichbarer Baumdimension (\varnothing BHD 8,2 cm) $3,9 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. Die Rückeproduktivität ergab trotz einer Rückeentfernung von 250 bis 500 m einen beachtlichen Wert von $10,2 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. Die Gesamtproduktivität, bei geringeren Systemkosten (70-75 €/h), lag bei $2,82 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$.

Ebenfalls eine Traktor-Krananhängerkombination untersuchten Affenzeller und Stampfer (2007). Wie in der vorliegenden Studie wurde ebenfalls direkt geladen, jedoch konnte mit dem Einfachfällkopf nicht gebündelt werden. Bei vergleichbarem Baumvolumen betrug die Produktivität $1,6 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. Die Systemstunde kostete 65 €.

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der genannten internationalen Studien. Die Eingangswerte wurden, soweit dies statistisch zulässig war, mit den in dieser Fallstudie erzielten Durchschnittswerten angepasst (z. B. Baumvolumen). Ebenfalls wurden die Systemkosten, soweit sinnvoll, vereinheitlicht. Die Bereitstellungskosten bewegen sich zwischen 7,7 und 13,5 €/Srm frei Waldstraße. In dieser Fallstudie wurden 9,4 €/Srm erreicht. Besonderen Einfluss auf die Produktivität hat die Erfahrung des Maschinisten (vgl. Stampfer, 2002). Weitere praktische Einsätze des Maschinisten sollten daher eine Steigerung der Produktivität und somit Senkung der Kosten, auf das beschriebene Niveau von Kärhä (2006) zulassen.

Tabelle 11: Produktivitäten aus vergleichbaren Studien

Quellen	Maschinensystem	Baumart	Ø Baumvol [m ³ in Rinde]	Systemkosten €/PSH ₁₅	Produktivität		Kosten €/Srm
					m ³ /PSH ₁₅	Srm/PSH ₁₅	
	Forwarder & MFK	Ki, Ei	0,057	89,5	3,16	9,5	9,4
Laitila & Asikainen (2006)	Forwarder & MFK	Ki, Bi	0,050*	89,5	3,4**	10,2	8,8
Kärhä (2006)	Forwarder & MFK	Ki, Bi	0,057*	89,5	3,84**	11,5	7,8
Kärhä (2006)	Harvester & MFK; FW	Ki, Bi	0,057*	107,4	4,44**	13,3	8,1
Eberhardinger (2007)	TR & MFK; TR & KranA	Fi	0,057*	75,0	3,24**	9,7	7,7
Affenzeller & Stampfer (2007)	TR & KranA & EFK	Ki, Ei	0,057*	65,0	1,6**	4,8	13,5

* angepasstes Baumvolumen unter Berücksichtigung der Geltungsbereiche für die jeweiligen Produktivitätsmodelle für eine optimale Vergleichbarkeit

** Produktivität unter Berücksichtigung vergleichbarer Parameterwerte

Affenzeller und Stampfer (2007) wiesen auf die Wichtigkeit des entnommenen Baumvolumens hin, und empfahlen grundsätzlich eine Entnahme erst ab einer entsprechenden Dimension. Die praktische Umsetzung gestaltet sich jedoch schwierig, weil kleine Stämme bzw. Bäume bei Maßnahmen, die Eingriffe ins Kronendach bedeuten, stören. Eine mögliche Umsetzungsvariante wäre eine Art geometrische Durchforstung, in der in einem ersten Schritt ausschließlich die Rückegassen (möglicherweise mit einem reduzierten Gassenabstand) freigeschnitten werden, und in einem zweiten Schritt die Zielstämme im Bestand durch die ausschließliche Entnahme des stärksten Bedrängers (Auslesedurchforstung) gefördert werden.

Neben dem Ziel die Produktivität zu steigern, würde auch eine Erhöhung der Erlöse zu einem höheren Deckungsbeitrag führen. Bis dato fehlten Entastungseinrichtungen, an den mit Klingen arbeitenden Aggregaten, weshalb eine Ausformung von höherwertigen Faser-, Schleif- und Sägerundholz nicht möglich war. Genau diese Fähigkeit besitzt nun das kürzlich am Markt erschienene Aggregat der Firma Moisio Forest. Äste und nährstoffreiches Blattmaterial würden dabei idealerweise im Wald verbleiben. Ob es durch die Ausformung zu einer geringeren Produktivität kommt oder ob tatsächlich eine höhere Wertschöpfung erzielt werden kann, gilt es in Zukunft zu klären.

Die Erlöse für Energieholz sind in erster Linie abhängig vom Wassergehalt. Je geringer dieser ist, desto höher sind die zu erzielenden Erlöse und in weiterer Folge auch Deckungsbeiträge. Nur die richtige Lagerung garantiert auch einen optimalen Trocknungsverlauf und somit entsprechenden Wassergehalt. Dafür muss das Material weg vom Waldboden erhöht, zumindest auf einer Rundholzunterlage, an einer wind- und sonnenexponierten Stelle, gelagert werden.

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.

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

Daxner, P. (1998): Produktivität und Effizienz des selbst fahrenden Laufwagens Woodliner. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. 68 S.

Feller, S., Remler, N., Weixler, H. (1998): Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung. Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzelharvester. Bericht aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr.16. Freising. 76 S.

Stingl, R. Hansmann, C. (2008): Screeningstudie zur Qualitätsbeurteilung von mittels Zwickaggregaten (Harvesterkopf mit Guillotinemesser) geernteten Holz hinsichtlich Schnittholzeignung, durchgeführt vom Kompetenzzentrum Holz GmbH (Wood K plus), Wien. 17 S.

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.

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.

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

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.

6 ANHANG

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Moipu 400E fällt und sammelt Bäume	2
Abbildung 2: Timberjack 1110 D Forwarder (a) mit Moipu 400E Fäller-Sammler-Aggregat (b).....	3
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Energieholzbereitstellung im Baumverfahren mit Forwarder und Moipu 400E Fäller-Sammler-Aggregat	5
Abbildung 4: Laubholzruten prägen den Bestandescharakter	6
Abbildung 5: Codierung der Brusthöhendurchmesserklassen.....	8
Abbildung 6: Zeitverteilung bei der Energieholzernte mit Forwarder und Fäller-Sammler Moipu 400E.....	10
Abbildung 7: Produktivitätskurven der Kombination Forwarder (Timberjack 1110 D) und Fäller-Sammler(Moipu 400E) in Abhängigkeit von Baumvolumen und Rückedistanz	13
Abbildung 8: Verteilung nach Schadensort.....	15
Abbildung 9: Verteilung nach Schadensgröße.....	16
Abbildung 10: Verteilung nach Schadensart.....	16

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten	4
Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten.....	5
Tabelle 3: Verwendete Arbeitsschritte und Beschreibung der Trennpunkte	7
Tabelle 4: Variablen, Faktor und Kovariaten des Versuchslayouts.....	8
Tabelle 5: Biomassefunktionen für die Massenermittlung (Zianis et al., 2005).....	9
Tabelle 6: Beschreibung der Schäden nach Ort, Größe und Art	9
Tabelle 7: Statistische Beschreibung der Kovariaten	10
Tabelle 8: Statistische Beschreibung der unabhängigen Variablen.....	11
Tabelle 9: Kostenblatt für Forwarder Timberjack 1110 D und Fäller-Sammler Moipu 400E.....	14
Tabelle 10: Bereitstellungskosten nach Verkaufsparität [€/Srm].....	15
Tabelle 11: Produktivitäten aus vergleichbaren Studien.....	18

