



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

Energieholzbereitstellung mit Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat

Fallstudie im Forstbetrieb Fürst Esterházy'sche
Privatstiftung Lockenhaus

Günter Affenzeller
Karl Stampfer

Institut für Forsttechnik

August 2007



Impressum

Autoren: Günter Affenzeller und Karl Stampfer
Fotos: G. Affenzeller und R. Lorenz

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

www.boku.ac.at/forstt

Vorwort

Der Auftrag für diese Studie erfolgte im August 2006 durch das Kooperationsabkommen Forst-Holz-Papier (FHP). Für die organisatorische und fachliche Zusammenarbeit seien Dipl.-Ing. Wolfgang Schopfhauser, Dipl.-Ing. Dietmar Hagauer sowie Ing. Johannes Loschek herzlichst gedankt.

Weiters bedanken sich die Autoren bei OFM, DI Martin Pollak sowie Ofö. Wittmann für das zur Verfügung stellen der Aufnahmeflächen im Forstbetrieb der Fürst Esterházy'sche Privatstiftung Lockenhaus. Besonderer Dank gilt den Unternehmen Art, Schwarz, und Buchegger für die tatkräftige Zusammenarbeit im Rahmen der Zeitstudien.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
1.1. Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung	2
2. MATERIAL UND METHODEN.....	3
2.1. Arbeitsverfahren	3
2.2. Maschinenbeschreibungen	4
2.2.1. Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat	4
2.2.2. Hacker und Transportfahrzeuge	5
2.3. Bestandesbeschreibung	7
2.4. Datenerhebung	8
2.5. Trockengehaltsmessung	11
3. ERGEBNISSE	12
3.1. Deskriptive Statistik	12
3.1.1. Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat	12
3.1.2. Hacken	13
3.1.3. Transport	14
3.1.4. Menge, Trocken- und Energiegehalt	14
3.1.5. Heizwert und Energiegehalt	16
3.2. Produktivitätsmodell Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge	17
3.3. Bereitstellungskosten	19
4. DISKUSSION	21
4.1. Fällen und Rücken	21
4.2. Hacken	22
4.3. Transport	22
4.4. Hackmaterial	23
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN.....	24
6. LITERATUR	27
7. ANHANG	29
7.1. Tabellenverzeichnis	29
7.2. Abbildungsverzeichnis	29

1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Der Harvester begann in Mitteleuropa in den 90er Jahren die Holzernte zu revolutionieren. Insbesondere in der Schwachholzernte konnte er gegenüber der motor-manuellen Fällung und Aufarbeitung im Hinblick auf die Kriterien Effizienz, Umweltverträglichkeit und Ergonomie punkten. Der erste Durchforstungseingriff liefert jedoch, insbesondere wenn Maßnahmen zur Dickungspflege unterlassen wurden, nur geringe Mengen an ökonomisch verwertbaren Sortimenten. Folglich konnten auch mit Harvestern kaum positive Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden.

Eine Alternative ist die Produktion von Energieholz, bei der die Bäume inklusive Astmaterial einer energetischen Verwertung zugeführt werden. Die Attraktivität des Energieholzes ist zusätzlich durch die Baueuphorie bei den Energieproduzenten infolge des Ökostromgesetzes (Ökostromgesetz 2002 - Novelle 2006) erhöht worden. Insbesondere bei dezentral gelegenen Kleinanlagen herrschen gute Absatzmöglichkeiten. Entasten und exaktes Ablängen ist bei der Energieholzproduktion nicht notwendig. Anstelle von teuren und alle Bearbeitungsprozesse durchführenden Harvesterköpfen können primitivere Fällköpfe mit hydraulisch betriebenen Klingen, meist aufgebaut auf kostengünstigeren Trägerplattformen wie Traktoren, eingesetzt werden.

Neben scherenartiger Funktionsweise der Klinge (z.B Timberjack 720, Valmet 945) gibt es Aggregate mit waagrecht bewegter Fallbeilklinge (Ponsse EH 25, Naarva Grip). Weiters existieren Fällaggregate mit und ohne Sammelfunktion. Bei Aggregaten mit Sammelfunktion wird Baum für Baum gefällt, gleichzeitig im Aggregat gesammelt und anschließend konzentriert abgelegt oder direkt geladen. Forwarder mit Fällaggregat und Sammelfunktion mit direkter Beladung in den Rungenkorb wurden von Laitila et al., (2004) sowie Laitila und Asikainen (2006) untersucht. Untersuchungen bezüglich der unterbrochenen Arbeitskette – Trennung des Fäll- und Rückevorganges – existieren u. a. von Eberhardinger (2007) und Spinelli et al., (2006). Kärhä (2006) verglich beide Varianten.

In dieser Studie hat sich der Unternehmer aufgrund von Kostenüberlegungen gegen einen separaten Heckaufbau am Traktor und für einen Aufbau des Aggregates ohne Sammelfunktion am Krananhänger entschieden. Für das Arbeitssystem mit Fallbeilklingenaggregat ohne Sammelfunktion und direkter Beladung des Energieholzes in den Anhänger, fehlen bis dato jegliche Untersuchungsergebnisse.

1.2. Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit wird die geschlossene Arbeitsweise mit Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat (ohne Sammelfunktion) analysiert. Zusätzlich soll die gesamte Energieholzbereitstellungskette vom Wald zum Werk abgebildet und mit Produktivitäten und Kosten dokumentiert werden. Im Detail sollen folgende Informationen gewonnen werden:

- Evaluierung der Maschinenkombination Traktor mit Krananhänger und Fallbeilklingenaggregat.
- Zeitbedarf und Produktivität für die einzelnen Prozesse (Fällen/Rücken, Hacken und Transport)
- Trocknungsverlauf und Energiegehalt des Hackgutes
- Bereitstellungskosten für die gesamte Prozesskette vom Wald zum Werk
- Ableitung von praktischen Einsatzempfehlungen
- Mengenprognose

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Arbeitsverfahren

Bei unterbrochener Arbeitskette werden in einem ersten Arbeitsgang alle Bäume in der Rückegasse, sowie links und rechts davon, mittels Negativauslese ausgewählt, gefällt und vorkonzentriert abgelegt. In einem zweiten Arbeitsgang wird das Material mit Traktor und Krananhänger zum Lagerplatz gerückt.

Bei dieser Fallstudie erfolgte das Fällen, Laden und Rücken in einem kontinuierlichen Arbeitsprozess, sprich in geschlossener Arbeitskette. Mit dem Krananhänger voraus wird zuerst die Gasse frei geschnitten (ca. 10 bis 15 lfm). Als Sichtunterstützung dient dabei eine am Heck des Anhängerrahmens eingebaute Kamera, die Bilder auf einen LCD-Bildschirm in die Fahrerkabine überträgt. Beim Fällvorgang umschließen drei Greifzangen und zwei Klauenzangen den Stammfuß. Von der Aggregatseite ausgehend drücken zwei Hydraulikzylinder die Fallbeilklinge gegen den Stamm. Der Baum wird somit abgeschert (Abbildung 1).

Bei Baumdimensionen nahe dem maximalen Trenndurchmesser von 25 cm wurde von zwei Seiten eingeschnitten. Die Bäume wurden anschließend seitlich gebündelt abgelegt. Nach dem Fällen der Bäume in der Gasse wurden die Baumbündel auf den Krananhänger geladen. Bei der Rückfahrt wurde der Bestand links und rechts der Gasse bearbeitet. Durchschnittlich wurden 3 bis 4 Bäume auf ein Bündel zusammengelegt, je nach Baumlänge 1 bis 2-mal zum Einkürzen durchgezwickelt und meist in einem geladen. Nach dem Beladen des Anhängers wurde das Material zur Forststraße transportiert und dort abgeladen.



Abbildung 1: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25 (ohne Sammelfunktion)

Das Energieholz wurde mehrere Monate gelagert, um dann, durch einen auf einem Lkw aufgebauten Großhacker, verarbeitet zu werden. Bereitstehende Lkw-Züge mit Abrollcontainer wurden dabei direkt beladen und transportierten das Hackgut zum

Werk (Abbildung 2), wo durch Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung die Menge ermittelt wurde.

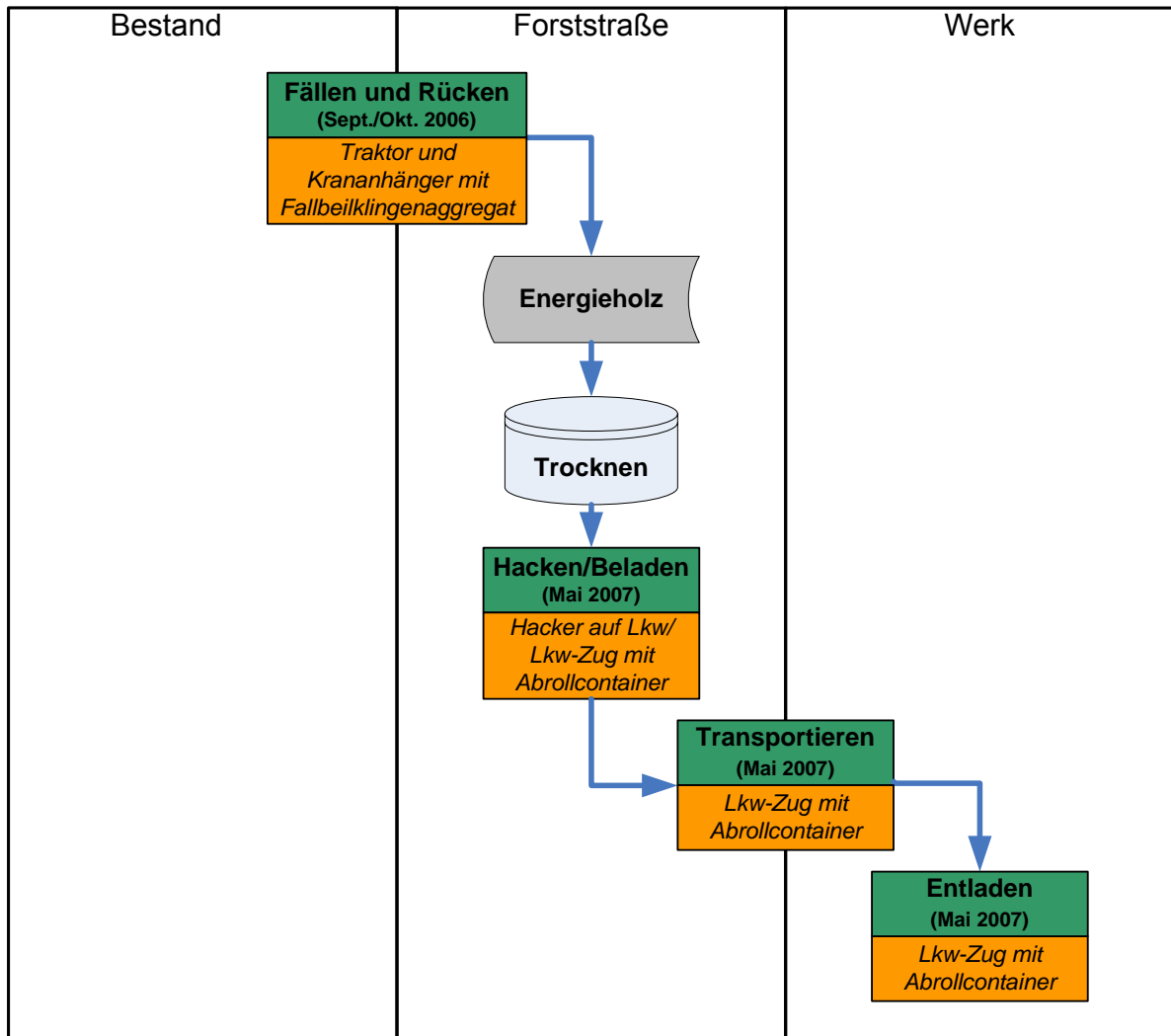


Abbildung 2: Systemskizze des untersuchten Verfahrens

2.2. Maschinenbeschreibungen

2.2.1. Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat

Die Kombination Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat (Abbildung 3) setzt sich zusammen aus einem Valtra 8050 mit einer Nennleistung von 81 kW, einem PATU MD Krananhänger mit einer Ladekapazität von 12 t (Tabelle 1), sowie einem Ladekran PATU 305, an dem das Fallbeilklingenaggregat Naarva Grip 1500-25 (Abbildung 1), anstelle einer Greiferzange montiert ist. Bei einem Druck von 150 bar

erreicht das Aggregat eine Schneidkraft von 95 kN. Benötigt wird dafür ein Öldurchlauf von 30 – 140 l/min (Bilek, 2006).



Abbildung 3: Maschinenkombination für die Energieholzernte beim Entladen

Tabelle 1: Maschinendaten

Valtra 8050	Eigenmasse	5.010	[kg]
	Motorleistung (SISU 6-Zyl.)		
	Turbo-Diesel (Valtra)	81	[kW]
	Kosten (exkl. Mwst.)	61.700	[€]
Krananhänger Patu MD	Eigenmasse incl. Kran	4.500	[kg]
	Ladekapazität	12.000	[kg]
	Länge	6,11	[m]
	Breite	2,45	[m]
	Kosten inkl. Kran (exkl. Mwst.)	60.000	[€]
Kran Patu 305	Reichweite	8,5	[m]
	Hubmoment	46,0	[kNm]
	Drehmoment	16	[kNm]
Naarva Grip 1500-25	Eigenmasse	300	[kg]
	max. Fälldurchmesser	25	[cm]
	Trennkraft	95	[kN]
	Kosten (exkl. Mwst.)	13.750	[€]

2.2.2. Hacker und Transportfahrzeuge

Gehackt wurde mit einem Rudnick & Enners Trommelhacker, Typ R-MTH 900 x 1000/13-KF. Der Einzug erfolgt in Längsrichtung. Der Hackschnitzelaustrag funktioniert über Trogkettenförderer mit angeschlossenem Transportband (Abbildung 4). Die Hackschnitzelgröße ist zwischen 6 und 100 mm variabel einzustellen (www.rudnick-enners.de). Der Hacker wird durch einen 420 kW Dieselmotor angetrieben. Das

Zugfahrzeug, von dem aus auch die Beschickung mittels Kran erfolgt, ist ein allradgetriebener MAN Lkw. Das Hackgut wurde mit drei Volvo FH12 Zügen, mit jeweils zwei Abrollcontainern zu je 38 m³ Ladekapazität zum Werk transportiert. Die Container werden mit Planen abgedeckt, um das Verwehen des Hackgutes während des Transportes zu vermeiden (Abbildung 5). Die Motorwägen sind zweiachs- und nicht allradgetrieben. Das Leergewicht der Züge variiert in Abhängigkeit vom Containertyp und zwischen 21,9 to und 23,8 to.



Abbildung 4: Hacker Rudnick & Enners beschickt durch einen auf MAN Lkw aufgebauten Kran



Abbildung 5: Lkw-Zug mit Abrollcontainern zu je 38 m³ Ladekapazität

2.3. Bestandesbeschreibung

Die für die Fallstudie ausgewählte Waldfläche befindet sich in Lockenhaus im Burgenland. Die Oberhöhe des 30 jährigen Erstdurchforstungsbestandes beträgt ca. 16 m. Der möglicherweise aus Kunst- und Naturverjüngung hervorgegangene Bestand wird dominiert von Kiefer (Ki) (Tabelle 2). Eiche (Ei) und Lärche (Lä) sollen durch den Eingriff gefördert werden. Die Ausgangsstammzahl von im Durchschnitt 5246, stellenweise über 10.000 Stämme pro Hektar rechtfertigt einen deutlichen waldbaulichen Eingriff (Abbildung 6). Hohe H/D-Werte (> 100) des verbleibenden Bestand ergeben eine erhöhte Prädisposition hinsichtlich Schneebruch.

Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten

	Wert	Einheit
Bestandesfläche	0,68	[ha]
Ø Hangneigung	5	[%]
Bestandesalter	25-30	[J]
Baumartenverteilung	0,7/0,2/0,1	[Ki/Ei/Lä]
Ausgangsstammzahl	5246	[n/ha]
Entnommene Bäume	3036	[n/ha]
Entnommene Bäume	2049	[n]
Entnommene Biomasse gesamt	93,7	[m ³ i. R.]
Ø entnommenes Baumvolumen	0,046	[m ³ i. R.]
Entnahmeprozent Volumen	51,9	[%]
Entnahmeprozent Stammzahl	57,9	[%]
Mittlere Rückedistanz (RD)	109	[m]
Anzahl der Trassen	3	[n]
Trassenlänge	140-160	[m]
Erntezeitpunkt	Sept./Okt.	



Abbildung 6: Bestandesdichte stellenweise >10.000 Bäume/ha

2.4. Datenerhebung

Das Zeitgliederungskonzept für die Arbeitstudie zur Energieholzerzeugung baut auf einem Schema von Stampfer (2002) auf und beinhaltet die in Tabelle 3 dargestellten Arbeitsablaufabschnitte. Für die Datenaufzeichnung findet das elektronische Zeiterfassungsgerät Latschbacher EG 20 Anwendung.

Tabelle 3: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Fallbeilklingenaggregat

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Fällen	min	Beginn: Aggregat ist für den Zwickvorgang in waagrechter Position Ende: Neuer Zyklus oder anderer Arbeitsablauf startet
Laden	min	Beginn: Aggregat ist für den Ladevorgang in senkrechter Position Ende: Nach dem letzten Ladeakt - neuer Arbeitsablauf startet
Fortbewegung	min	Beginn: Räder bewegen sich nach dem Zwicken oder Laden min Ende: Neuer Arbeitsablauf startet
Lastfahrt	min	Beginn: Räder bewegen sich nach dem letzten Ladeakt (Fuhre voll) Ende: Neuer Arbeitsablauf startet
Entladen	min	Beginn: Erste Kranbewegung nach der Lastfahrt beim Polter Ende: Neuer Arbeitsablauf startet
Leerfahrt	min	Beginn: Erste Bewegung der Räder nach dem Entladen Ende: Neuer Arbeitsablauf startet
U < 15	min	Unterbrechungen kleiner 15 Minuten
U > 15	min	Unterbrechungen größer 15 Minuten
Sonstiges	min	Sonstige nicht auswertbare Zeiten

Zur Leistungsfeststellung des Ernteverfahrens mit Fallbeilklingenaggregat werden aus den dokumentierten Variablen und Kovariaten lineare Modelle hergeleitet. Als Beobachtungseinheit dient beim Fällvorgang der Einzelbaum, beim Laden das vorkonzentrierte Baumbündel sowie beim Rücken und Entladen die Fuhre. Die festgelegten 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, zusätzlich soll sie den höchstmöglichen Vereinfachungsgrad bieten (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).

Tabelle 4: Variablen, Faktor und Kovariaten des Versuchslayouts

Typ	Name	Einheit	Beschreibung
Abhängige Variablen	zyklus _{zwicken}	[min]	Gesamte Zeit für das Zwicken eines Baumes; Produktive Systemstunde
	zyklus _{Laden}	[min]	Gesamte Zeit für das Beladen einer Fuhre; Produktive Systemstunden
	zyklus _{Fortbewegung}	[min]	Gesamte Zeit für die Fortbewegung zw. zwei Ladeakten Produktive Systemstunden
	zyklus _{Fahren}	[min]	Gesamte Zeit, die für Leer- und Lastfahrt in Anspruch genommen wird; Produktive Systemstunden
	zyklus _{Entladen}	[min]	Gesamte Zeit für das Entladen einer Fuhre; Produktive Systemstunden
Faktor	BAUMART	2 Niveaus	Kiefer (0), Eiche (1)
Kovariaten	baumvolumen	[m ³ i. R.]	Volumen eines einzelnen Baumes
	kranabstand	[m]	Horizontaldistanz zwischen Kran- und Baumbasis
	neigung	[%]	Neigung der Probeflächenabschnitte
	Ø baumvolumen	[m ³ i. R.]	durchschnittliches Baumvolumen pro Ladeakt
	fuhrenvol	[m ³ i. R.]	Volumen einer Fuhre
	rückedistanz	[m]	Rückedistanz einer Fuhre (Ø aus Leer u. Lastfahrt)

Bei der Bestandesvorbereitung werden die Trassen im Abstand von 15 m (doppelte Kranreichweite) mit Farbspray markiert. Anschließend erfolgt eine Absteckung von 20-Meter Abschnitten entlang jeder Trasse. Dadurch entstehen Parzellen mit 300 m². Diese Parzellen sind jene Beobachtungseinheiten, die für den statistischen Nachweis des Einflusses von Bestandes- und Geländeparametern herangezogen werden. Es erfolgt eine Vollaufnahme des Bestandes, d.h. alle Bäume werden kluppiert, in BHD-Stufen eingeteilt und codiert (Abbildung 7). Das Bestandesalter wird durch Jahrringzählung an den Stöcken erhoben.

Die Ermittlung des Volumens erfolgt mithilfe von Biomassefunktionen (Tabelle 5). Diese errechnen in Abhängigkeit von Baumart und BHD die resultierende Masse Trockensubstanz (TS). Das Volumen erhält man, wenn die Masse TS durch die Darrdichte der entsprechenden Baumart (ÖNORM M 7132, 1998) dividiert wird. Nachdem die Hackgutmengen auch im Werk gemessen werden (Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung), ist ein Vergleich mit den über die Biomassefunktionen berechneten Mengen möglich.

Tabelle 5: Verwendete Biomassefunktionen (Zianis et al., 2005)

Baumart		Biom.	D	H	D (cm)	H (m)	n	r ²	Formel	a	b	c
Eiche	ln(AB)	kg	cm	-	-	-	33	-	a+b·ln(D)	-0,883	2,14	-
Lärche	AB	kg	cm	m	3.3–31.6	3–20	44	0,992	a·D ^b ·H ^c	0,1081	1,53	0,9482
Kiefer	ln(AB)	kg	cm	-	-	-	30	0,97	a+b·ln(D)	-2,3042	2,2608	-



Rot		Gelb	
BHD Klassen [cm]		BHD Klassen [cm]	
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 7: Codierung der Brusthöhendurchmesser (BHD) Klassen

Zur Ermittlung der Produktivität beim Hacken wird ebenfalls eine Zeitstudie durchgeführt. Die dafür definierten Arbeitsablaufabschnitte sind in Tabelle 6 dargestellt. Als Beobachtungseinheit wird die Fuhre gewählt. Die Ermittlung der jeweiligen Hackgutmenge in Schüttraummeter (Srm) bzw. des atro-Gewichtes je Fuhre erfolgt im Werk. Die entsprechenden Daten aus der Abrechnung werden vom Betrieb weitergeleitet. Die Berechnung der Produktivität beim Hacken bezieht sich grundsätzlich auf die produktive Systemstunde inklusive Unterbrechungen kleiner 15 min (PSH_{15}).

Tabelle 6: Verwendete Arbeitstakte für die Zeitstudie Hacken

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Hacken	min	Erzeugung von Hackgut
Ablaufbed. Warten	min	Ablaufbedingte Wartezeiten - es steht kein Lkw zur Beladung bereit.
Fortbewegung	min	Fortbewegung von einem Haufen zum nächsten
U \leq 15	min	Unterbrechungen kleiner 15 Minuten.
U $>$ 15	min	Unterbrechungen größer 15 Minuten.
Sonstiges	min	Nicht zuordenbare Tätigkeiten.
PSH15	min	Produktive Systemstunde inkl. Unterbrechungen kleiner 15 min. Summe der Ablaufabschnitte Hacken, ablaufbed. Warten, Fortbewegung und U \leq 15

Die Aufzeichnung des Hackguttransports erfolgt im Zuge der Hackerstudie. Die Ankunfts- und Abfahrtszeiten der Lkw beim Hacker werden gemeinsam mit den jeweiligen Kilometerständen notiert. Die Aufenthaltsdauer im Werk wird mithilfe der am Wiegeschein vermerkten Uhrzeiten für die erste und zweite Wiegung erfasst.

2.5. Trockengehaltsmessung

Die Ermittlung des Trockengehaltes des Energieholzes erfolgt durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz im Wärmeschrank bei 105° C (Darrschrankverfahren) (Golser et al., 2004). Der Quotient aus Trockensubstanz und Frischsubstanz ergibt den Trockengehalt. Die Trockengehaltsmessung wird bei der Ernte sowie nach der Lagerung des Materials beim Hacken durchgeführt. Die Ergebnisse im Labor werden mit den Ergebnissen des Werkes verglichen. Im Werk wurde die Trockengehaltsbestimmung im Schnellverfahren mit Mikrowellen durchgeführt. Die Trocknung des Probematerials erfolgt durch Absorption der Mikrowellenstrahlung durch die Wassermoleküle der Probe. Die Absorption erzeugt Wärme und führt zum Verdampfen des Wassers aber eventuell auch anderer flüchtiger Bestandteile. Der Massenverlust wird durch Wiegen vor und nach der Trocknung bestimmt. Bei speziell für die Feuchtebestimmung konzipierten Geräten ist die Waage im Trockner integriert. Bei Erreichen der Gewichtskonstante schaltet sich das Gerät ab. Der Trocknungsvorgang dauert je nach Menge und Gerätetyp zwischen 2 und 20 Minuten (Golser et al., 2004)

3. ERGEBNISSE

3.1. Deskriptive Statistik

3.1.1. Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat

Insgesamt wurden 40 Fuhren mit 527 Lade- und Fällvorgängen aufgezeichnet. Für das Fällen (Zwicken) und Laden wird mit 39 % bzw. 29 %, der Hauptanteil der beobachteten Zeit verwendet. Unterbrechungen kleiner 15 Minuten, in erster Linie hervorgerufen durch kleine Reparaturen an Hydraulikschläuchen, beanspruchen 4 %. Weitere 4 % entfallen jeweils auf Leer- und Lastfahrt. Entladen nimmt einen Anteil von 7 % ein. Unterbrechungen größer 15 Minuten resultierten aus größeren Reparaturen und Pausen (Abbildung 8).

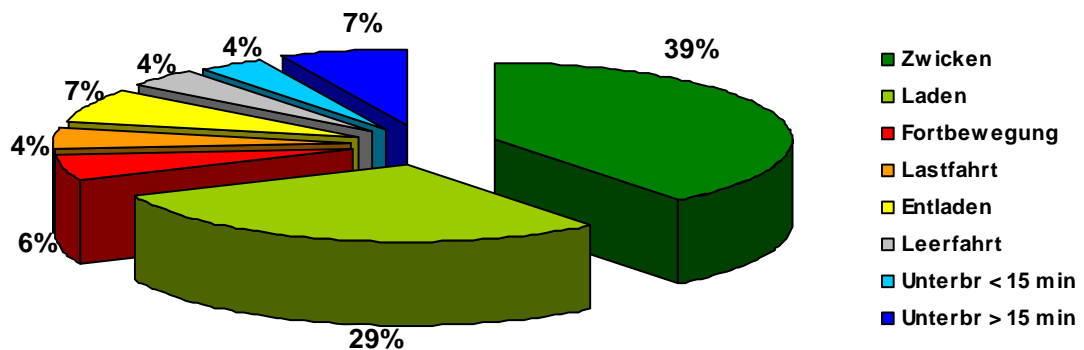


Abbildung 8: Zeitverteilung bei der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat

Der durchschnittliche Brusthöhendurchmesser (BHD) der entnommenen Bäume beträgt 9,36 cm. Das durchschnittlich entnommene Baumvolumen beträgt 0,046 m³ in Rinde. Neben weiteren Mittelwerten sind zusätzlich die Gültigkeitsbereiche der Kovariaten in Tabelle 7 angeführt. Bezüglich Brusthöhendurchmesser können Aussagen zwischen 4,00 und 16,00 cm getroffen werden.

Tabelle 7: Mittelwerte und Gültigkeitsbereiche der Kovariaten

	Neigung [%]	Kranabstand [m]	BHD [cm]	Baumvol. [m ³]	Fuhrenvol. [m ³]	Rückedistanz [m]
Mittelwert	6,4	5,5	9,36	0,046	2,37	109,5
Quantil ₅	5,0	3,0	4,00	0,005	1,72	37,6
Quantil ₉₅	8,0	8,0	16,0	0,140	3,54	194,5

3.1.2. Hacken

Am 30. April und 2. Mai 2007 wurde das Energieholz bei trockener Witterung (Abbildung 12) gehackt. Es wurde zunächst jenes Energieholzpolter verarbeitet, das bei der Zeitstudie über das Fallbeilklingenaggregat angelegt wurde. Anschließend wurde das Nebenpolter verhackt. Der Hackvorgang umfasste in Summe 1406 Srm bzw. laut Werksabmaß 212,22 atro to Hackgut. Nur 56 % der beobachteten Zeit entfiel dabei auf das Hacken. Ablaufbedingtes Warten, sprich Warten des Hackers, trat vor allem am ersten Tag auf, weil zu Beginn des Hackeinsatzes nur zwei Lkw-Containerzüge bereit standen. Teilweise traten Wartezeiten von über einer Stunde auf. Nach sechs Fuhren kam ein dritter Lkw-Zug hinzu. Die Wartezeiten des Hackers wurden dadurch auf ein Minimum reduziert. Unterbrechungen resultierten aus Elektrikproblemen am Hacker, die mehrmals zum Stillstand des Einzuges führten. Aufgrund eines einzigen Hackortes nahm die Fortbewegung des Hackers nur 2 % der Zeit in Anspruch (Abbildung 9).

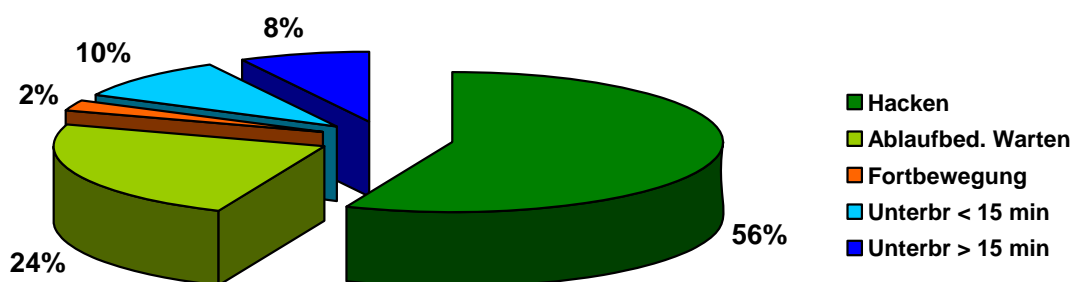


Abbildung 9: Zeitverteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in Lockenhaus

Die Produktivität des Hackers betrug ohne Unterbrechungen sowie ohne Ablaufbedingtes Warten 127 Srm/PSH₀. Durch Berücksichtigen der Wartezeit verringert sich dieser Wert auf 90,7 Srm/PSH₀. Berücksichtigt man Unterbrechungen kleiner 15 Minuten so ergeben sich Produktivitäten von 108,9 bzw. 81,1 Srm/PSH₁₅. Die entsprechenden Produktivitäten bezogen auf atro Tonnen sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Produktivitäten des Hackers bezogen auf verschiedene Zeitsystem

Zeitsystem	[Srm/PSH ₀]	[Srm/PSH ₁₅]	[atro-to/PSH ₀]	[atro-to/PSH ₁₅]
o. ablaufbed. WZ	127,0	108,9	19,16	16,44
m. ablaufbed. WZ	90,7	81,1	13,69	12,24

3.1.3. Transport

Der Zeitstudie über den Transport liegen 19 Fuhren zugrunde. Die Distanz vom Hackort zum Werk betrug 33 km. Die Straßen waren durchwegs asphaltiert. Die Container wurden immer vollständig befüllt. Pro Fuhre wurden 74 Srm Hackgut transportiert. Im Durchschnitt ergab das 11,17 atro Tonnen Hackgut pro Fuhre. Das Beladen sowie die Leer- und Lastfahrt nahm jeweils gut ein Fünftel der gesamten Zykluszeit in Anspruch (Abbildung 10). Ablaufbedingtes Warten trat in erster Linie am zweiten Arbeitstag, aufgrund von technischen Schwierigkeiten am Hacker, auf. Die Aufenthaltsdauer im Werk ergab im Schnitt 27,2 Minuten. Diese Zeit resultierte aus den vielen notwendigen Manipulationsschritten beim Abladen von zwei Containern. Für die Fahrtvorbereitung wurden im Durchschnitt 5,84 Minuten aufgewendet. Ein Transportzyklus dauerte inklusive Wartezeiten im Schnitt 2 Stunden und 40 Minuten.

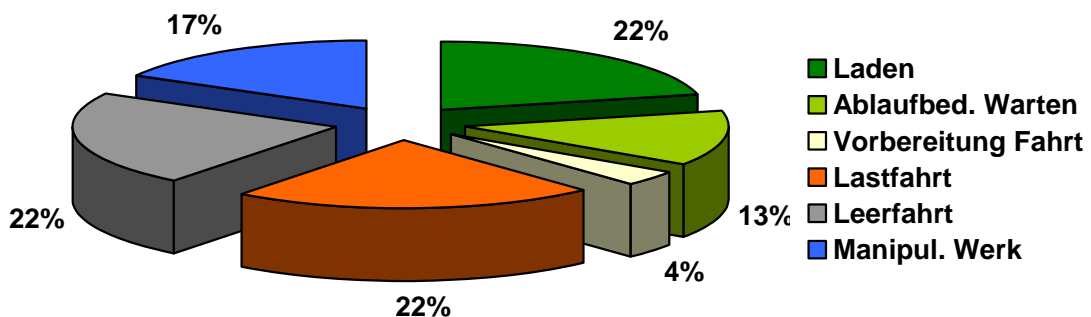


Abbildung 10: Verteilung der Arbeitsschritte für den Transport mit Lkw-Container

Pro Lkw-Stunde wurden 28,3 Srm/h (4,29 atro to/h) zum Werk transportiert. Zieht man die Wartezeiten ab werden 31,9 Srm/h (4,82 atro to/h) erreicht.

3.1.4. Menge, Trocken- und Energiegehalt

Die Hackgutmenge wurde beim Einsatz des Naarva Grip Aggregates über Biomassefunktionen auf 51,34 atro Tonnen geschätzt. Über Darrdichten der einzelnen Baumarten wurden die Festmetermengen auf 93,7 m³ berechnet. Bei einem Verhältnis von 3:1 (ÖNORM M7132, 1998) ergeben sich dadurch 281 Schüttraummeter (Srm). Beim Hackeinsatz wurden 305 Srm erzielt. Der resultierende Umrechnungsfaktor würde demnach auf 3,26 steigen. Der im Werk durchschnittlich gemessene Wassergehalt (w) ergab 47,7 %. Das Atrogewicht betrug demnach 51,38 to. Die im Labor vorgenommene Wassergehaltsmessung ergab bei 9 Proben einen Durchschnitt von 43,9 %. Dadurch ergibt sich ein Atrogewicht von 55,09 to (Tabelle 9).

Tabelle 9: Hackgutmengen der Naarva Grip Versuchsfläche

Quelle	Frisch [kg]	w [%]	Atrogewicht [kg]	Srm [m ³]	TS kg/Srm	Festmeter [m ³]	Faktor	Darrdichte kg/m ³
Heizwerk	98185	47,7	51381	305	168,5	101,3	3	507
Labor	98185	43,9	55092	305	180,6	101,3	3	544
Biomassefunktionen	–	–	51344	281 (305)	182,7	93,7	3 (3,26)	548

Die durchgeführte Laboruntersuchung des Energieholzes im frischen Zustand ergab bei acht Proben einen durchschnittlichen Wassergehalt von 51,5 %. Demnach verlor das Energieholz über die Lagerdauer von Oktober 2006 (Abbildung 11) bis Mai 2007 (Abbildung 12) lediglich 7,6 bzw. 3,8 Absolutprozentpunkte an Wasser.



Abbildung 11: Energieholzpolter im Oktober 2006



Abbildung 12: Energieholzpolter im Mai 2007

3.1.5. Heizwert und Energiegehalt

Auf der Fläche von 0,68 ha wurden 98,1 to Frischsubstanz (FS), das entspricht einer Entnahme von 144,4 to FS pro Hektar, an Biomasse geerntet. Bei einem Wassergehalt von 43,9 % errechnet sich nach Golser et al., (2004) ein Energiegehalt von 9,48 MJ/kg FS¹. Auf die entnommene Menge hochgerechnet ergibt sich dadurch die Energiemenge von 1368,5 GJ/ha. Der erzeugte Heizwert beträgt dadurch 380,1 MWh/ha. Besser veranschaulichen lässt sich dieser Wert durch die Umrechnung in Heizöläquivalente, wobei hier eine Summe von 38.013 Litern Heizöl pro Hektar erzielt wurde.

¹ Es muss angemerkt werden, dass eine detaillierte und differenzierte Berechnung getrennt nach Laub,- Ast,- und Rindenmaterial sowie Holz hier nicht durchgeführt wurde.

3.2. Produktivitätsmodell Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge

Aus der Addition der Systemeffizienzen für Zwicken, Laden, Fortbewegung, Fahren und Entladen lässt sich über den Kehrwert die gesamte Systemproduktivität herleiten (Formel 1). 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 Maschinekombination wurde mit 1,2 gewählt. Der Wert 60 in Formel 1 entspricht der Umrechnung von Minuten auf Stunden.

Formel 1

$$prod_{Fallbeilklinge} = \frac{60}{(k * (effiz_{zwicken} + effiz_{laden} + effiz_{fortbew} + effiz_{fahren} + effiz_{entladen}))}$$

$prod_{fallbeilklinge}$ Systemproduktivität Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat (m³/PSH₁₅)
 $effiz_{zwicken}$ Systemeffizienz Zwicken (min/m³)
 $effiz_{laden}$ Systemeffizienz Laden (min/m³)
 $effiz_{fortbew}$ Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)
 $effiz_{fahren}$ Systemeffizienz Fahren (min/m³)
 $effiz_{entladen}$ Systemeffizienz entladen (min/m³)
 k Umrechnungsfaktor von Zeitbedarf PSH₀ auf PSH₁₅

In Formel 2 ist das Zeitbedarfsmodell für den Arbeitsschritt Zwicken (mit dem Naarva Grip 1600-25 Aggregat) dargestellt. Die Zeit für den Zwickvorgang variiert in Abhängigkeit von Baumvolumen und Kranabstand. Diese beiden Variablen erklären 78 % (R²=0,781) des Zeitbedarfes.

Formel 2

$$NAARVAGRIP - effiz_{zwicken} = -9,699 + baumvol^{-0,8} * 1,554 + abstd * 1,262$$

$NAARVAGRIP - effiz_{zwicken}$ Systemeffizienz Zwicken (min/m³)
 $baumvol$ entnommenes Baumvolumen (m³ in Rinde)
 $abstd$ Kranabstand (m)

Der Zeitbedarf für das Laden wird durch das Submodell in Formel 3 geschätzt. Das Baumvolumen ist die einzige Kovariable, die signifikant ist und erklärt 45 % (R²=0,449) des Zeitbedarfes.

Formel 3

$$NAARVAGRIP - effiz_{laden} = 4,953 + baumvol^{-0,9} * 0,488$$

NAARVAGRIP-effiz_{laden} Systemeffizienz Laden (min/m³)

baumvol entnommenes Baumvolumen (m³ in Rinde)

Für das Fahrmodell sind nur zwei Variablen signifikant. Die Rückedistanz beeinflusst die Fahrzeit. Das Fuhrenvolumen führt zur Fahreffizienz. (Formel 4).

Formel 4

$$NAARVAGRIP - effiz_{fahren} = \frac{(RD * 0,0778)}{fuhrenvol}$$

NAARVAGRIP-effiz_{fahren} Systemeffizienz Fahren (min/m³)

fuhrenvol Ø Fuhrenvolumen (m³ in Rinde)

RD Ø Rückedistanz (m)

Für die Submodelle Fortbewegung und Entladen genügt es, aufgrund der Einheitlichkeit der Prozessabläufe sowie der geringen Streuung der Prozesszeiten, entsprechende Mittelwerte einzusetzen. Die Mittelwerte entsprechen einer Konstante und sind für Entladen und Fortbewegung in Formel 5 zusammengefasst.

Formel 5

$$NAARVAGRIP - effiz_{entladen} = 2,9344$$

$$NAARVAGRIP - effiz_{fortbew} = 2,3045$$

NAARVAGRIP-effiz_{entladen} Systemeffizienz Entladen (min/m³)

NAARVAGRIP-effiz_{fortbew} Systemeffizienz Fortbewegung (min/m³)

Für das Gesamtmodell zeigen die Variablen Baumvolumen, Kranabstand, Rückedistanz und Fuhrenvolumen signifikanten Einfluss. In Abbildung 13 ist die Produktivität unter Verwendung der Durchschnittswerte der Variablen in Abhängigkeit vom Baumvolumen aufgetragen. Unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors ergibt sich eine erreichte Produktivität von 1,33 m³ i.R./PSH₁₅. Das entspricht bei einem Umrechnungsfaktor von 3,0 (ÖNORM M 7132, 1998) einer Hackgutmenge von 3,99 Srm/PSH₁₅. Bei Verzicht auf die Entnahme von Bäumen kleiner gleich 6 cm BHD würde man beim gegebenen Bestand auf lediglich 10 % der Masse verzichten, jedoch die Produktivität um 20 % auf 1,60 m³ i.R./PSH₁₅ bzw. 4,8 Srm/PSH₁₅ steigern können (Abbildung 13). Auf der X-Achse sind zusätzlich zum Baumvolumen die entsprechenden Brusthöhdurchmesser (BHD) angeführt. Da verschiedene Baumarten bei gleichem BHD natürlich unterschiedliche Volumen aufweisen, dürfen die angeführten Durchmesser nur als Richtwerte herangezogen werden.

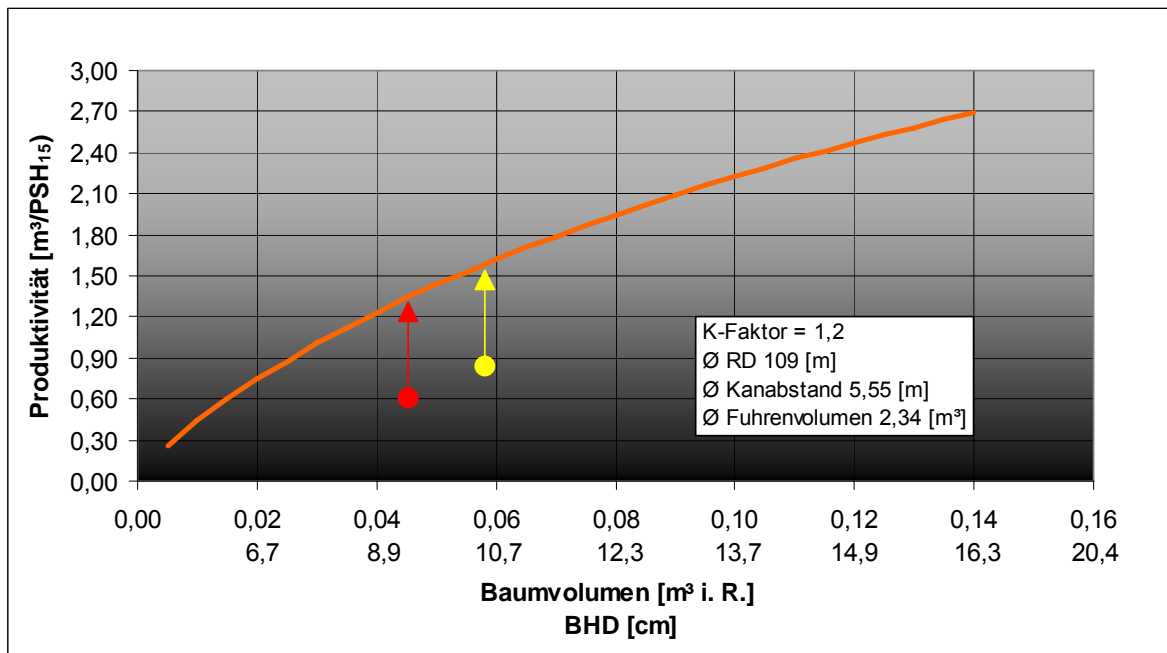


Abbildung 13: Produktivität der Kombination Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge (Naarva Grip 1500-25) in Abhängigkeit vom Baumvolumen bzw. Brusthöhendurchmesser

Zusätzlich zur Gesamtproduktivität wurde das Zwickverhalten des Naarva Grip Aggregates bei Kiefer und Eiche untersucht. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte dabei nicht festgestellt werden. Grund dafür ist die obere Wertgrenze, bis zu der gültige Aussagen getroffen werden können. Für das vorhandene Datenmaterial beträgt sie 16 cm (BHD). Beobachtungen jedoch zeigen, dass bei der Eiche erst ab 16 cm BHD sowie bei der Kiefer ab 20 cm BHD Probleme auftreten. Das führt dazu, dass ein mehrmaliges Positionieren des Fällaggregates notwendig wird.

3.3. Bereitstellungskosten

Die Anschaffungskosten für Traktor und Krananhänger, die als Basis für die Maschinenkostenberechnung herangezogen werden, stammen von Pröll et al., (2005). Die Anschaffungskosten für das Fallbeilaggregat stammen von Bilek (2006). Für die Kombination Traktor, Krananhänger mit Fallbeilklinge ergeben sich inklusive Lohn Kosten von 64,4 € pro Produktiver Systemstunde (PSH_{15}). Bei einer durchschnittlich erreichten Produktivität von 3,99 $\text{Srm}/\text{PSH}_{15}$ entstehen ohne Hacken und Transport Kosten von 16,1 €/Srm (Tabelle 10).

Tabelle 10: Systemkostenkalkulation- Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge

System- kombination	Anschaffungspreis [€]	jährliche Auslastung* [PMH ₁₅]	Maschinen kosten [€/PMH ₁₅]	Produktivität [Srm/PSH ₁₅]	Kostenträger [€/Srm]
VALTRA 8050	61.667	1.800	22,5		5,6
Krananhänger 12t	51.000	1.200	17,1		4,3
Naarva Grip 1500-25	13.750	500	6,7		1,7
Mann			18,0		4,5
System			64,4	3,99	16,1

* Angaben des Maschinenführers

Für die Berechnung der Kosten für das Hacken und den Transport wurden die von den Unternehmern angegebenen Stundensätze herangezogen. Der Mannstundensatz ist dabei jeweils inkludiert. Zählt man die Kosten für Hacken 3,1 €/Srm und Transport 1,9 €/Srm hinzu, fallen Gesamtkosten frei Werk in der Höhe von netto 21,2 €/Srm an (Tabelle 11).

Tabelle 11: Gesamtkosten der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge frei Werk

	Systemkosten	Produktivität	Kostenträgerkosten			
	[€/PSH ₁₅]	Srm/PSH ₁₅	€/MWh	€/GJ*	€/atro to	€/Srm
Fällen u.Rücken	64,4	3,99	20,91	5,81	106,9	16,1
Hacken	250	81,1	3,99	1,11	20,4	3,1
Transport	55	28,3	2,52	0,70	12,8	1,9
Gesamt			27,4	7,61	140,2	21,2

* Die Berechnung des Energiegehaltes wurde nach Golser et al., (2004) vorgenommen.

4. DISKUSSION

4.1. Fällen und Rücken

Die Systemstunde der Kombination Traktor und Krananhänger mit Fallbeilaggregat kostet 64 €/PSH₁₅ und erreichte in dieser Fallstudie bei einem durchschnittlich entnommenen Baumvolumen von 0,045 m³ eine Produktivität von 1,33 m³/PSH₁₅ (1,60 m³/PSH₀). Damit liegt man im Vergleich zu anderen Studien deutlich zurück.

Laitila und Asikainen (2006) untersuchten die Kombination Forwarder mit einem umgebauten Moipu 400 E Fällaggregat, das mit Fallbeilklinge und Sammelfunktion ausgestattet war. Dieses System erreichte bei vergleichbarem Baumvolumen 3,6 m³/PSH₀ frei Energieholzpolter. Vergleicht man die Zeitverteilung im Detail, überrascht die Tatsache, dass die Prozesszeitenverteilung in Prozent der Traktorkombination sehr ähnlich ist.

Kärhä (2006) vergleicht vier integrierte Maschinen² (eine Maschine übernimmt Fällen, Laden und Rücken) und 5 traditionelle Zwei-Maschinen-Systeme (Harvester³ und Forwarder) bei der Vollbaumernte. Zur Beim Fällen kamen die Mehrfachfällköpfe Moipu 400 E, Ponsse EH 25, Abab Klippen 250, sowie der Scherkopf Valmet 945 und der Harvesterkopf Logset 4 M Hamster zur Anwendung. Die Harwarderkombinationen erreichten bei einem Baumvolumen von 0,045 m³ und einer Rückedistanz von 250 m eine Produktivität von 34,2 - 4,6 m³/PSH₀. Bei Forwardern als Basismaschinen betragen die Systemkosten in etwa das 1,5-fache der Traktorkombination. Der Harwarder (Valmet C 801) als Basismaschine kostet ca. das Doppelte, liegt jedoch auch im oberen Wert des Produktivitätsspektrums.

Bei den Zweimaschinensystemen erzielten die Harvester mit Mehrfachfällkopf bei einem Baumvolumen von 0,045 m³ eine Produktivität von 9,5 m³/PSH₀. Die Forwarderproduktivität lag bei einer Rückedistanz von 100 m bei 10,5 m³/PSH₀ und bei 250 m 7,5 m³/PSH₀. Die daraus resultierende Gesamtproduktivität ergibt dadurch 5,0 m³/PSH₀. Die Systemstundenkosten des Zweimaschinensystems sind in etwa um

² Die integrierten Maschinen bestanden aus drei Forwardern unterschiedlicher Größe, einer ausgestattet mit einem Ponsse EH 25 Fällkopf mit Sammelfunktion sowie zwei ausgestattet mit einem Moipu 400 E und einem Harwarder mit drehbarer Kabine (Valmet C 801) ebenfalls bestückt mit einem Moipu 400 E Aggregat.

³ Zwei Ponsse HS 16 Ergo, der Erste ausgestattet mit dem Mehrfachfällkopf Moipu 400 E der Zweite mit dem Mehrfachfällkopf Ponsse EH 25. Weiters dienten ein Logman 801, ein Logeset 506 H sowie ein Valmet 901-4 als Basismaschine. Die jeweiligen Fällköpfe waren Abab Klippen, Logset 4M Hamster und der Valmet 945 Scherkopf.

60 % höher als bei der Traktorkombination. Überstellungskosten blieben unberücksichtigt.

Eberhardinger (2007) untersuchte ebenfalls eine Traktorkombination, jedoch wurde zuerst gefällt und in einem zweiten Arbeitsgang geladen und gerückt. Als Fällaggregat diente das Naarva Grip 1500-25e, das im Gegensatz zum Modell 1500-25 eine Sammelfunktion aufweist und Mehrfachfällen ermöglicht. Die Produktivität für Fällen und Vorkonzentrieren betrug bei vergleichbarer Baumdimension $3,9 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$. 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 übersteigt bei nur geringfügig höheren Systemkosten mit $2,82 \text{ m}^3/\text{PSH}_{15}$ somit die Werte dieser Studie um mehr als das Doppelte.

4.2. Hacken

Der mobile Großhacker von Rudnick & Enners erreicht eine Produktivität von $81,1 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$. Die daraus resultierenden Hackkosten von $3,1 \text{ €/Srm}$ liegen im Bereich von anderen Hackerstudien. 24 % der beobachteten Zeit entfiel auf ablaufbedingtes Warten, weil kein Lkw bereit stand. Dadurch wurde ein besseres Ergebnis verhindert. Bei Fenz und Stampfer (2007) erreicht der Hackertyp Eschlböck Biber 80 bei vergleichbarem Material $67,8 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$ ($3,82 \text{ €/Srm}$). Rohmoser und Stampfer (2003) dokumentierten beim Hacken von Weiden und Pappeln vergleichbarer Dimension mit einem Großhacker von Bentele eine Produktivität von $80 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$ ($2,5 \text{ €/Srm}$). Kanzian et al., (2006) dokumentierten beim Hacken von Laubrestholz mit einem Starchl 1200 eine Produktivität von $60 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$ ($4,0 \text{ €/Srm}$), wobei die Wartezeit mehr als ein Drittel der Gesamtzeit in Anspruch nahm.

4.3. Transport

Die Produktivität des Transportes zum Werk (33 km Asphalt) mit Lkw-Zug und Abrollcontainer ($74 \text{ Srm}/\text{Fuhre}$) beträgt $28,3 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$. Der günstige Stundensatz von 55 €/PSH_{15} , sowie das Aus- bzw. teilweise Überreizen der erlaubten Ladekapazität führten zu den niedrigen Transportkosten von $1,9 \text{ €/Srm}$. Bei der Studie von Kanzian et al., (2006) über einen Lkw-Container im Solobetrieb ergaben sich bei Systemkosten von 46 €/PSH_{15} und einer Produktivität von $17,2 \text{ Srm}/\text{PSH}_{15}$ Kosten von $2,7 \text{ €/Srm}$. Die Transportdistanz war mit 8 km sehr kurz, jedoch wurde in erster Linie auf der Forststraße gefahren.

Schüttgut-Lkw sind aufgrund des geringeren Eigengewichtes im Vergleich zu Lkw mit Containern in der Lage mehr Volumen zu transportieren. Das gesamte Lichtmaß ($>90\text{m}^3$) kann aber aufgrund von Überschreitung des höchst zulässigen Gesamt-

gewichtes nur selten genutzt werden. 82,7 Srm betrug die durchschnittliche Ladung bei der Studie von Fenz und Stampfer (2007). Die Entfernung vom Wald zum Werk war 26 km. Der Schüttgut-Lkw hatte den Vorteil das sowohl Motorwagen als auch Anhänger, ohne weiteren Manipulationsaufwand, abgekippt werden konnte. Damit reduzierte sich die Aufenthaltsdauer im Werk im Vergleich zu einem Lkw-Zug mit Abrollcontainer wesentlich. Die Produktivitätsstudie ergab 24,6 Srm/ PSH₁₅. Die Kosten für den Transport ergaben 2,3 €/Srm.

4.4. Hackmaterial

Trotz des relativ trockenen Winters und der Lagerdauer von 7 Monaten reduzierte sich der Wassergehalt lediglich zwischen 3,8 und 7,6 Absolutprozentpunkte auf etwa 45 %. Dieses Ergebnis überraschte, da zuvor auf visueller Basis vorgenommene Schätzungen im Bereich zwischen 30 % bis 40 % lagen.

Aufgrund der kompakten Schicht von Stämmen, Ast-, Nadel-, und Blattmaterial konnte der Wind möglicherweise nur bedingt zirkulieren, und Niederschlagswasser nur langsam abfließen. Durch Abdecken des Energieholzpolters kann ein deutlich höherer Trockensubstanzgehalt erreicht werden. Kanzian (2005) verwendete bei Energieholzbündel dabei Spezialpapier und konnte dadurch in 9 Monaten den Trockensubstanzgehalt von 51 % auf 68 % erhöhen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

In Anbetracht der entstehenden Kosten, der in dieser Fallstudie beobachteten Bereitstellungskette, und der Energieholzpreise ist die Erwirtschaftung eines positiven Deckungsbeitrages noch nicht möglich. Damit die direkt zurechenbaren Kosten abgedeckt werden können, müsste die Produktivität der untersuchten Traktorkombination mindestens auf 2,0 m³/PSH₁₅ gesteigert werden. Das angestrebte Produktivitätsniveau sollte durch weitere Praxiserfahrung im Bereich des Möglichen liegen. Bis dahin müssen die anfallenden Defizite aus kostenrechnerischer Sicht der Kostenstelle Waldbau, als Pflegemaßnahme und Investition in die zukünftige Bestandesentwicklung betrachtet werden.

Aufgrund der Ergebnisse in der Literatur und in dieser Studie können folgende weitere Aussagen bzw. Empfehlungen für die Energieholzernte mit Fallbeilaggagaten ausgesprochen werden:

- Die Ernte im Laubholzbereich mit dem Naarva Grip 1500-25 Aggregat stellt bis zu einem Fälldurchmesser von 18 cm, im Nadelholzbereich bis zu etwa 22 cm keine Schwierigkeiten dar. Fälldurchmesser darüber hinaus erfordern ein mehrmaliges Positionieren des Fällaggregates und Fällvorgänge von mehreren Seiten.
- Bei sorgfältiger Positionierung des Fällkopfes und bei Bäumen mit Fälldurchmessern bis etwa 14 cm ist ein Fällen annähernd im Tag-Nacht Bereich möglich. Bei größeren Dimensionen ist die verbleibende Stockhöhe mit derjenigen, die Harvester hinterlassen, vergleichbar.
- Die Hydraulikschläuche am Fällkopf werden durch stetiges Scheuern stark beansprucht und sollten daher unbedingt mit Vollschutzspiralen geschützt sein (vgl. Eberhardinger, 2007).
- Die Produktivität der Fällkombinationen wird maßgeblich durch das entnommene Baumvolumen beeinflusst (Stück-Masse). Die Entnahme von Bäumen kleiner Dimension sollte daher unterbleiben. In dieser Fallstudie würde der Verzicht von Bäumen kleiner gleich 6 cm BHD die Produktivität um 20 % steigern (vgl. Kärhä, 2006).
- Die Verwendung von Fällaggregaten mit Sammelfunktion (Mehrfachfällköpfe) verringert die Fällzeit gegenüber Fällköpfen ohne Sammelfunktion. Die Produktivität für das Fällen liegt bei der Studie von Eberhardinger mit Mehrfachfällkopf bei vergleichbarem Material um ca. 50 % höher als das Ergebnis bei der hier durchgeführten Studie über den Fällkopf ohne Sammelfunktion (Abbildung 14). Die Grenze für das Mehrfachfällen des Naarva

Grip 1500-25e ist bei 15 cm BHD erreicht. Darüber hinaus werden nur Einzelbäume gefällt (Eberhardinger, 2007).

- Kärhä 2006 verglich das Einmaschinensystem mit dem Zweimaschinensystem und konnte keine gravierenden Kostenunterschiede feststellen. Trotzdem sollte das Einmaschinensystem eher bei kleinen Baumdimensionen, geringen Entnahmemengen und bei kurzen Rückedistanzen bevorzugt zum Einsatz kommen. Im Gegensatz dazu ist das Zweimaschinensystem bei Baumdimensionen, die am oberen Ende des Entnahmespektrums für die energetische Nutzung liegen, bei hohen Entnahmemengen, und bei weiten Rückedistanzen im Vergleich am kostengünstigsten.
- Das Ladevolumen wirkt sich besonders stark auf die Rückekosten aus und sollte besonders bei langen Rückedistanzen maximiert werden (Kärhä, 2006).
- Die Kombination Mehrfachfällkopf und unterbrochene Arbeitskette kristallisiert sich als Produktivste Variante heraus. Eberhardinger (2007) erreichte damit eine Verdoppelung der, in dieser Studie erzielten, Produktivität.



Abbildung 14: Mehrfachfällkopf und Einfachfällkopf im Vergleich.
Bilder (www.pentinpaja.fi)

- Durch Abdecken des Energieholzpolters mit Planen oder Spezialpapier während der Lagerdauer, kann der TS-Gehalt deutlich erhöht werden. Kanzian (2005) verwendete bei Energieholzbündel dazu Spezialpapier und konnte dadurch in 9 Monaten den TS-Gehalt von 51 % auf 68 % erhöhen. Darüber hinaus existieren in Österreich nur wenige Forschungsergebnisse und weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich Abdeckungsmaterialien und Lagerdauer.

6. LITERATUR

Bilek, F. (2006): Bilek Landmaschinen Großhandel Rechnitz, Maschineninformationsblatt 9 S.

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

Fenz, B., Stampfer, K. (2007): Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung. Fallstudien. Endbericht für das Kooperationsabkommen Forst-Holz-Papier, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. 26 S.

Golser, M., Nemestothy, K., Schnabel, R. (2004): Methoden zur Übernahme von Energieholz. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, Forschungsinstitut und akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung (HFA). Wien. 151 S.

Kanzian, C. (2005): Bereitstellung von Waldhackgut. Verfahren Energieholz bündel im Gebirge. Endbericht für das Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. 32 S.

Kanzian, C.; Fenz, B.; Holzleitner, F.; Stampfer, K. (2006): Waldhackguterzeugung aus Schlagrücklass. Endbericht für das Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. 29 S.

Kärhä, K (2006): Whole-tree harvesting in young stands in Finland. – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused 45, 118-134. ISSN 1406-9954.

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.

Nemestothy, K. (2006): Perspektiven für die Biomasseversorgung in Österreich. In: Katzensteiner, K., Nemestothy, K. 2006: Energetische Nutzung von Biomasse aus dem Wald und Bodenschutz – Ein Widerspruch? Manuskript f. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Heft 74, 10 S.

Ökostromgesetz, (2002): 149. Bundesgesetz, mit der Neuregelung auf dem Gebiet der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern und auf dem Gebiet der Kraft-Wärme-Kopplung erlassen werden sowie das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (EIWOG) und das Energieförderungsgesetz 1979 (EnFG) geändert werden 34 S.

Ökostromgesetz – Novelle. (2006): Bundesgesetz, mit dem das Ökostromgesetz, das Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz und das Energie-Regulierungsbehördengesetz geändert werden. 30 S.

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

Pröll, W., Bauer, R., Lugmayr, J., Kohl J., Hauer H., Preier P. (2003): 500 Forstmaschinen: Maschinenbeschreibung und Selbstkostenrechnung. 3. Auflage. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien: CD-Rom

Rohrmoser C., Stampfer, K. (2003): Optimierung der Bereitstellungskette von Waldhackgut. Österreichische Bundesforste AG - Consulting; Bericht 96 S.

Spinelli, R., Cuchet, E., Roux, P. (2006): A new feller-buncher for harvesting energy wood: Results from European test programme. Biomass and Bioenergy, doi:10.1016/j.biombioe.2006.08.002

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.pentinpaja.fi

www.rudnik-enners.de

7. ANHANG

7.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maschinendaten	5
Tabelle 2: Bestandes- und Nutzungsdaten.....	7
Tabelle 3: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Fallbeilklingenaggregat.....	8
Tabelle 4: Variablen, Faktor und Kovariaten des Versuchslayouts.....	9
Tabelle 5: Verwendete Biomassefunktionen (Zianis et al., 2005).....	9
Tabelle 6: Verwendete Arbeitstakte für die Zeitstudie Hacken	10
Tabelle 7: Mittelwerte und Gültigkeitsbereiche der Kovariaten	12
Tabelle 8: Produktivitäten des Hackers bezogen auf verschiedene Zeitsystem	13
Tabelle 9: Hackgutmengen der Naarva Grip Versuchsfläche	15
Tabelle 10: Systemkostenkalkulation- Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge ..	20
Tabelle 11: Gesamtkosten der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge frei Werk	20

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25 (ohne Sammelfunktion)	3
Abbildung 2: Systemskizze des untersuchten Verfahrens.....	4
Abbildung 3: Maschinenkombination für die Energieholzernte beim Entladen	5
Abbildung 4: Hacker Rudnick & Enners beschickt durch einen auf MAN Lkw aufgebauten Kran.....	6
Abbildung 5: Lkw-Zug mit Abrollcontainern zu je 38 m ³ Ladekapazität	6
Abbildung 6: Bestandesdichte stellenweise >10.000 Bäume/ha	7
Abbildung 7: Codierung der Brusthöhendurchmesser (BHD) Klassen	10
Abbildung 8: Zeitverteilung bei der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat.....	12
Abbildung 9: Zeitverteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in Lockenhaus	13
Abbildung 10: Verteilung der Arbeitsschritte für den Transport mit Lkw-Container.....	14
Abbildung 11: Energieholzpolter im Oktober 2006	15
Abbildung 12: Energieholzpolter im Mai 2007	15
Abbildung 13: Produktivität der Kombination Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge (Naarva Grip 1500-25) in Abhängigkeit vom Baumvolumen bzw. Brusthöhendurchmesser	19
Abbildung 14: Mehrfachfällkopf und Einfachfällkopf im Vergleich.....	25