



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

Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung

Fallstudien im Laubholz - Montecuccoli'sches Gut Mitterau

Bernhard Fenz
Karl Stampfer
Institut für Forsttechnik

März 2007



Impressum

Autoren: Bernhard Fenz und Karl Stampfer
Fotos: B. Fenz

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 Dezember 2005 durch das Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier (FPP). Für die organisatorische und fachliche Zusammenarbeit sei Dipl.-Ing. Dietmar Hagauer sowie Ing. Johannes Loschek herzlich gedankt.

Weiters bedanken sich die Autoren bei Dipl.-Ing. Felix Montecuccoli für das zur Verfügung stellen der Aufnahmeflächen im Montecuccoli'schen Gut Mitterau. Besonderer Dank gilt Fw Johannes Helmreich für die tatkräftige Zusammenarbeit im Rahmen der Zeitstudien.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	1
1.1. Problemstellung.....	1
1.2. Zielsetzung.....	2
2. ARBEITSSYSTEM	3
2.1. Maschinenbeschreibung	3
2.2. Verfahrensbeschreibung	6
3. MATERIAL UND METHODIK.....	7
3.1. Bestandesbeschreibung.....	7
3.2. Arbeitsstudie	9
3.3. Trockengehaltsmessung	11
4. ERGEBNISSE	12
4.1. Deskriptive Statistik.....	12
4.1.1. Rund- und Energieholzerzeugung.....	12
4.1.2. Rund- und Energieholzrückung.....	13
4.1.3. Hacken.....	14
4.1.4. Transport.....	15
4.2. Trockengehaltsmessung	17
4.3. Bereitstellungskosten	18
5. INTERPRETATION	21
6. EMPFEHLUNGEN	22
7. LITERATURVERZEICHNIS	24
8. ANHANG	25
8.1. Tabellenverzeichnis.....	25
8.2. Abbildungsverzeichnis.....	25

1. EINLEITUNG

1.1. Problemstellung

Waldhackgut hat zunehmende Bedeutung für die Energieerzeugung (Wärme und Strom) in Österreich. Für die Forstwirtschaft ergibt sich die Chance Holz zu nutzen, welches bisher als schwer oder nicht vermarktbar eingeschätzt wurde. Neben teilweise unbefriedigenden Erlösen für Energieholz sind vor allem die Bereitstellungskosten für Waldhackgut vielfach zu hoch.

Zur Verbesserung der Effizienz bei der Waldhackgutbereitstellung versucht man meist die Arbeitssysteme zu mechanisieren. Hochmechanisierte Bereitstellungssysteme werden deshalb mittlerweile auch in Österreich erfolgreich umgesetzt und haben ihre Ursprünge in Skandinavien (Hakkila, 2004; Kanzian et al., 2006). Mechanisierung der Arbeitssysteme führt zu hohen Systemkosten und erfordert hohe Produktivitäten und Maschinenauslastungen.

Ein anderer Ansatz die Waldhackgutbereitstellung möglichst effizient zu gestalten ist es, Systeme mit vergleichsweise geringen Kosten einzusetzen, wodurch auch die Anforderungen an Produktivität und Maschinenauslastung geringer werden. Maschinenkapazitäten für teilmechanisierte Arbeitssysteme gibt es insbesondere im Kleinwald und bei kleinen bis mittleren Forstbetrieben mit betriebseigenen Arbeitskräften, Geräten und Maschinen. Bisher dokumentierte Studien ergaben nicht selten negative Deckungsbeiträge für die teilmechanisierte Waldhackgutbereitstellung, was meist mit dem Teilprozess Hacken verbunden war, weil dieser mit Kleinhackern durchgeführt wurde (Stampfer et al., 1997). Außerdem wird eine kombinierte Produktion von Rund- und Energieholz in zu wenigen Fällen angewandt.

1.2. Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit soll ein Verfahren zur Bereitstellung von Waldhackgut bei motormanueller Ernte im Laubholz anhand einer Fallstudie analysiert werden. Das Verfahren wird an zwei Flächen, die als Schlepper- bzw. Seilgelände qualifiziert werden, angewandt. Die Ergebnisse hinsichtlich folgender Kriterien sollen einander gegenübergestellt werden:

- Produktivität der einzelnen Prozesse,
- Mengenanfall von Rund- und Energieholz,
- Trockengehalte sowie
- Bereitstellungskosten.

Darüber hinaus sollen Empfehlungen für den praktischen Einsatz aufgrund der Studienerkenntnisse abgeleitet werden.

2. ARBEITSSYSTEM

Das in dieser Studie untersuchte Verfahren leitet sich primär aus den Rahmenbedingungen im Montecuccoli'schen Gut Mitterau ab. Der Betrieb bewirtschaftet, abgesehen von landwirtschaftlichen Flächen, 950 ha Wald. Zwei Forstfacharbeiter sind dazu ganzjährig beschäftigt. An Maschinenausstattung stehen - neben diversen Geräten - zwei Traktoren zur Verfügung. Der Betrieb ist bestrebt die Erträge einiger Bestände durch Umwandlung zu intensivieren. Die Möglichkeit, Teile des dabei anfallenden Materials als Waldhackgut vermarkten zu können, ist ein zusätzlicher Beweggrund, das untersuchte Arbeitssystem einzusetzen.

2.1. Maschinenbeschreibung

Die vom Motorsägenführer hauptsächlich verwendete Motorsäge ist eine betriebseigene Husqvarna 357 XPG mit einer Motorleistung von 3,2 kW bei einem Gewicht von 5,6 kg.

Für die Rückung des Holzes stehen zwei Traktoren zur Verfügung. Ein Valmet 8050 (Motorleistung: 81 kW), der mit einem Hauer Frontlader (PoMC 150) und einer Rückezange Fransgård HZ 2300 ausgerüstet ist, sowie ein Valtra 6300 (Motorleistung: 74 kW), welcher mit einer Schlang & Raichart Frontwinde mit 2 x 5,5 to Zugkraft ausgestattet ist (Abbildung 1).



Abbildung 1: Traktor mit Frontlader und Rückezange (links); Traktor mit Frontwinde (rechts).

Der Frontlader ist mit einer Palettengabel der Fa. Hauer mit hydraulischem Niederhalter versehen (Abbildung 2). Die serienmäßig montierten Zinken sind allerdings nicht ausreichend für die teilweise harten Belastungen beim Aufnehmen des Materials dimensioniert und verbogen sich daher in der Vergangenheit recht leicht. Seitens des Betriebes wurden daher aus Feldbahnschienen Zinken angefertigt, die den Ansprüchen nun besser standhalten.



Abbildung 2: Palettengabel mit hydraulischem Niederhalter (Foto: Hersteller).

Zum Hacken wurde ein auf einem Steyr Lkw 32S34 6x6 aufgebauter Eschlböck Biber 80 (Fa. Otto Dangl) eingesetzt (Abbildung 3). Das Trägerfahrzeug ist zwar ein älteres Modell, zeichnet sich aber aufgrund des Allradantriebes durch gute Geländeeigenschaften aus. Der Hacker ist durch einen Baggerdrehkranz mit dem Lkw verbunden und wird durch einen rund 440 kW leistenden Stationärmotor angetrieben. Die Beschickung des Hackers erfolgt durch einen am Heck des Lkw montierten Ladekran (Penz 9200HV) mit einer Reichweite von ca. 9 m. Die Hydraulikpumpe des Krans wird durch den Lkw-Motor angetrieben.



Abbildung 3: Hacker Eschlböck Biber 80 aufgebaut auf Steyr 32S34 6x6.

Die für den Transport des Hackgutes bereitgestellten Lkw-Züge waren ein Volvo FH12 bzw. ein DAF der Fa. Brandl. Motorwagen und Anhänger dieser Lkw sind jeweils mit einem Hackschnitzelaufbau zum Seitenkippen versehen. Das lichte Transportvolumen der Züge beträgt 90 bzw. 93 m³. Beide Motorwägen sind zweiachsig und nicht allradgetrieben. Dies und auch die aufgrund der Luftfederung hervorgerufene Tendenz zum starken Querneigen beim Überfahren von Bodenwellen verhindern einen Einsatz derartiger Transportmittel unter schwierigeren Bedingungen.

2.2. Verfahrensbeschreibung

Beim untersuchten Verfahren (Abbildung 4) werden zwei Forstarbeiter eingesetzt. Einer fällt, entastet und formt gegebenenfalls Sortimente aus, während der andere gleichzeitig mittels Traktor mit Frontlader und Rückezange das anfallende Holz (klassifiziert als Rund- und Energieholz) an die Forststraße rückt und dort poltert. Das Energieholz wird mehrere Monate gelagert, um dann durch einen auf einem Lkw aufgebauten Grosshacker verarbeitet zu werden. Bereitstehende Schüttgut-Lkw Züge werden dabei direkt beladen und transportieren das Hackgut in das Abnehmerwerk, wo durch Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung die Menge ermittelt wird.

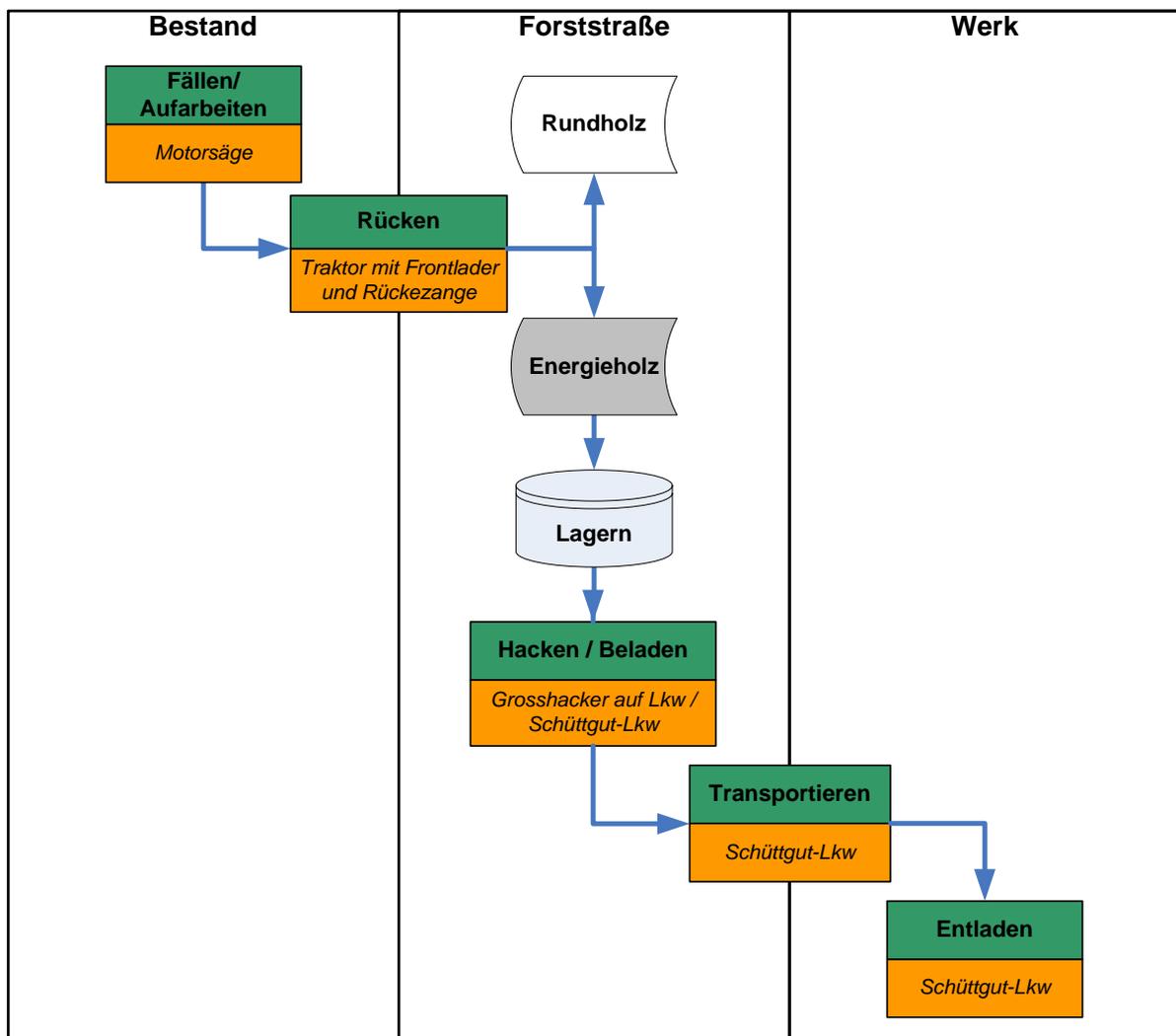


Abbildung 4: Systemskizze des untersuchten Verfahrens.

3. MATERIAL UND METHODIK

Grundsätzlich wurde folgende Vorgangsweise festgelegt:

- Erhebung der Bestandesdaten,
- Zeitstudie Rund- und Energieholzerzeugung,
- Erfassung der produzierten Rundholzmenge,
- Wassergehaltsbestimmung des Energieholzes,
- Zeitstudie Hacken und Transport,
- Gewichtsvermessung und Wassergehaltsbestimmung des Hackgutes im Werk.

Die Erhebung der Bestandesdaten erfolgt im Vorfeld der Ernteeinsätze. Dazu wird eine Vollaufnahme der beiden Bestände mit einer Kluppschwelle von 5 cm durchgeführt.

3.1. Bestandesbeschreibung

Zur flächigen Nutzung gelangten zwei Bestände von jeweils ca. 0,5 ha Größe. Bestand 1 (Abbildung 5) ist ein südexponierter Hang mit einer Neigung von 30%, der im oberen Teil durch eine Landesstrasse und in seinem unteren Teil durch eine Wiesenfläche begrenzt wird. Bei Bestand 2 handelt es sich um einen schmalen Gehölzstreifen entlang der Pielach (Abbildung 6). Waldbauliches Ziel im Bestand 1 war die Umwandlung in eine vorwiegend mit Douglasie und im Bestand 2 in eine mit Pappel bestockte Fläche.

Beide Bestände werden hinsichtlich der Stammzahl von der Baumart Esche dominiert. Der Anteil an Robinie beträgt im Bestand 2 knapp 30%, im Bestand 1 nimmt sie 7% der gesamten Stammzahl ein. Unter sonstige Laubhölzer fallen vorwiegend diverse Straucharten, bzw. in Bestand 2 auch die Baumarten Erle und Linde.

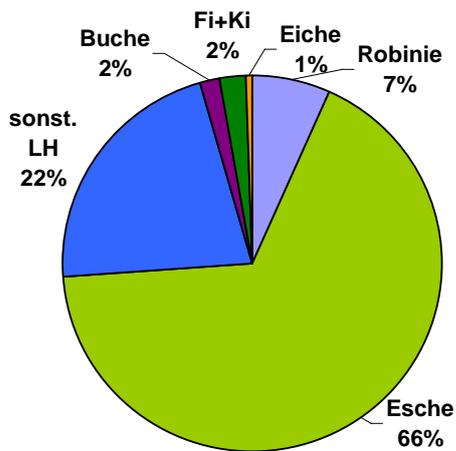


Abbildung 5: Baumartenverteilung und Ansicht von Bestand 1.

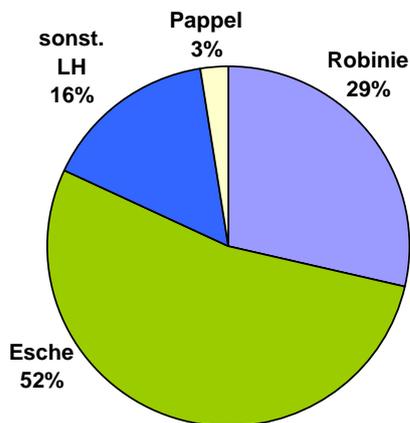


Abbildung 6: Baumartenverteilung und Ansicht von Bestand 2.

Für die Darstellung der Durchmesserverteilung (Abbildung 7) wurden die gemessenen BHD in 5-cm-Klassen zusammengefasst. Im Bestand 1 haben mehr als 80 % der erhobenen Stämme einen BHD kleiner als 20 cm. Die BHD-Verteilung für Bestand 2 kann als annähernd normalverteilt charakterisiert werden. Allerdings ist dabei die geringe Stammzahl zu beachten.

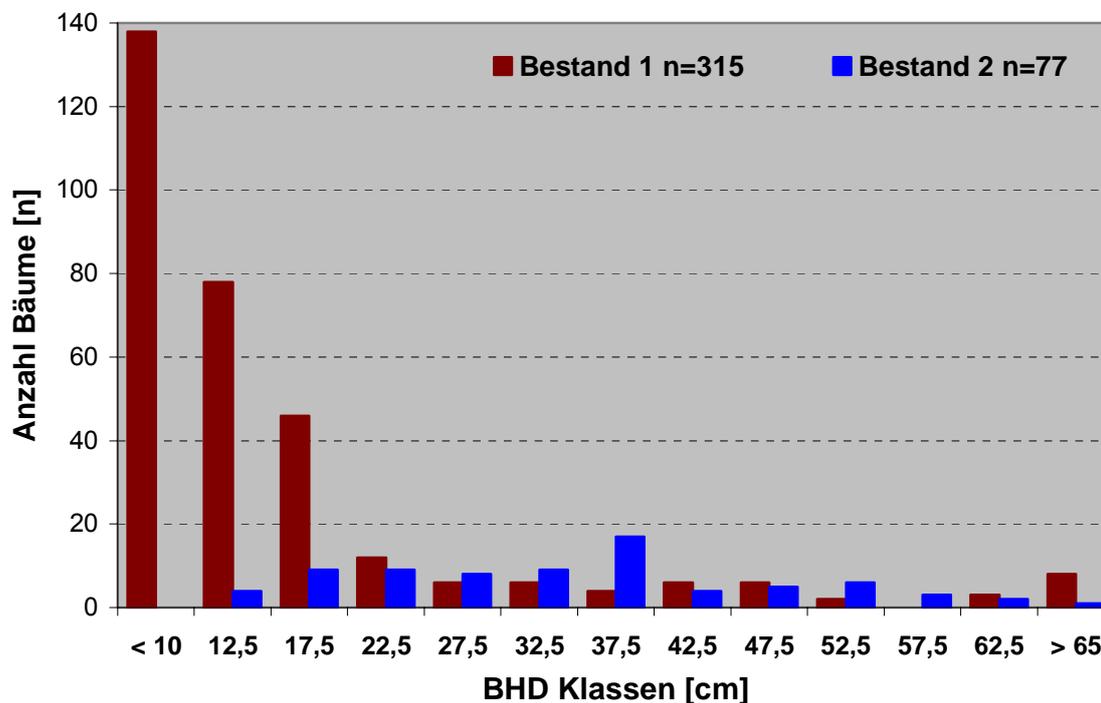


Abbildung 7: Durchmesserverteilung in Bestand 1 und 2.

3.2. Arbeitsstudie

Das Zeitgliederungskonzept für die Zeitstudie Rund- und Energieholzerzeugung basiert auf dem Schema von Stampfer (2002) und beinhaltet die in Tabelle 1 und 2 dargestellten Arbeitsablaufabschnitte. Für die Aufzeichnung der Zeitdaten des Motorsägenführers und des Traktors werden zwei Latschbacher EG 20 mit Zeitstudiensoftware parallel verwendet.

Tabelle 1: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Motorsägenarbeit.

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Rundholzerzeugung	min	Fällen von Stämmen mit BHD grösser 15cm sowie Ausformen von Sortimenten.
Energieholzerzeugung	min	Fällen von Stämmen mit BHD kleiner 15cm sowie Entasten bzw. Zerlegen von Kronen.
Seilarbeit	min	Arbeiten mit Seilwinden-Traktor.
U≤15	min	Unterbrechungen kleiner/gleich 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 Rundholzerzeugung, Energieholzerzeugung, Seilarbeit und U≤15.

Tabelle 2: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Rücken.

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Rundholzrückung	min	Rücken von Rundholzsortimenten.
Energieholzrückung	min	Rücken von Energieholz.
Motorsägenarbeit	min	Ausformen von Rundholzsortimenten.
Seilarbeit	min	Arbeiten mit Seilwinden-Traktor.
U≤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 Rundholzrückung, Energieholzrückung, Motorsägenarbeit, Seilarbeit und U≤15.

Zur Ermittlung der Produktivität beim Hacken wird ebenfalls eine Zeitstudie durchgeführt. Die dafür definierten Arbeitsablaufabschnitte sind in Tabelle 3 dargestellt. Als Beobachtungseinheit wird die Fuhre gewählt. Die Ermittlung der jeweiligen Hackgutmenge in Schüttraummetern (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 (PSH₁₅).

Neben der Angabe der Produktivität des Hackers beim gesamten Einsatz soll auch der Einfluss des Ausgangsmaterials an den beiden Energieholzhaufen untersucht werden. Zu diesem Zweck wird zusätzlich die Produktivität je Bestand ohne Berücksichtigung ablaufbedingter Wartezeiten sowie des Überstellvorganges berechnet.

Tabelle 3: 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 km-Ständen notiert. Die Aufenthaltsdauer im Werk wird mithilfe der am Wiegeschein vermerkten Uhrzeiten für die erste und zweite Wiegung erfasst.

Daten über die produzierte Rundholzmenge werden, getrennt nach Baumart und Beständen, vom Betrieb geliefert. Das Raummaß der Energieholzhaufen wird durch Abmessen ermittelt.

3.3. Trockengehaltsmessung

Die Ermittlung des Trockengehaltes des Energieholzes erfolgt entsprechend ÖNORM M 7132 durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz im Wärmeschrank bei 104° C. Je Haufen werden unmittelbar bei der Ernte vier Stichproben gezogen.

4. ERGEBNISSE

4.1. Deskriptive Statistik

4.1.1. Rund- und Energieholzerzeugung

Im Zeitraum vom 6. bis 8. Februar 2006 wurde Bestand 1 beerntet, die Nutzung von Bestand 2 erfolgte vom 13. bis 15. Februar 2006. Während dieser Zeit sind Arbeitsstudien zur Erfassung der Produktivität des Ernteverfahrens durchgeführt worden.

Abbildung 8 stellt die Arbeitszeitanteile des Motorsägenführers dar. Der Arbeitszeitanteil für die Erzeugung von Rundholz ist im Bestand 2 deutlich höher als im Bestand 1. Dies liegt an der unterschiedlichen Stärkeklassenverteilung der beiden Bestände. Unterbrechungen kleiner 15 Minuten sind in erster Linie durch Tanken und Schärfen der Motorsägen-Kette zu Stande gekommen. Der Arbeitstakt Seilarbeit in Bestand 2 bezieht sich auf das Sichern eines Baumes durch den Motorsägenführer, da der Traktorfahrer zu dieser Zeit nicht am Schlagort anwesend war.

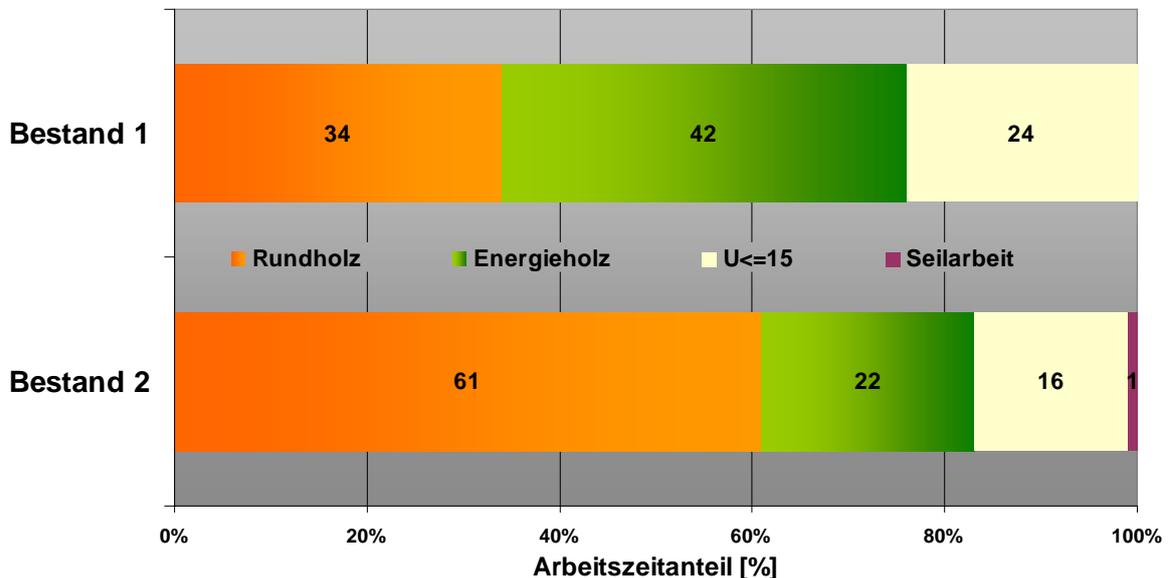


Abbildung 8: Vergleich der Arbeitszeitverteilung der Motorsägenarbeit in den Beständen 1 und 2.

4.1.2. Rund- und Energieholzrückung

Die Analyse der Arbeitszeitverteilung beim Rücken mit dem Traktor ergibt annähernd gleich verteilte Anteile bei den Teilprozessen (Abbildung 9). Wider erwarten fällt der als Seilarbeit bezeichnete Arbeitstakt im Bestand 2 höher aus als im steileren Bestand 1. Dies ist einerseits dadurch zu erklären, dass aufgrund der tiefen Temperaturen und des dadurch gefrorenen Bodens ein flächiges Befahren im Bestand 1 möglich war. Die Verwendung der Seilwinde erfolgte im Bestand 1 daher hauptsächlich zum Sichern einiger Stämme bei der Fällung. Lediglich einmal wurden drei gefällte Bäume gehokert und ca. 10 m geseilt. Andererseits wurden einige Stämme im Bestand 2 bei der Fällung mittels Seil gesichert, um zu verhindern, dass sie in den vorbei fließenden Fluss Pielach fallen. Teilweise wurden durch den Traktorfahrer auch Trennschnitte bei den bereits gerückten Rundholzsortimenten durchgeführt (Motorsägenarbeit). Die mittlere Rückedistanz betrug in beiden Beständen 50 m.

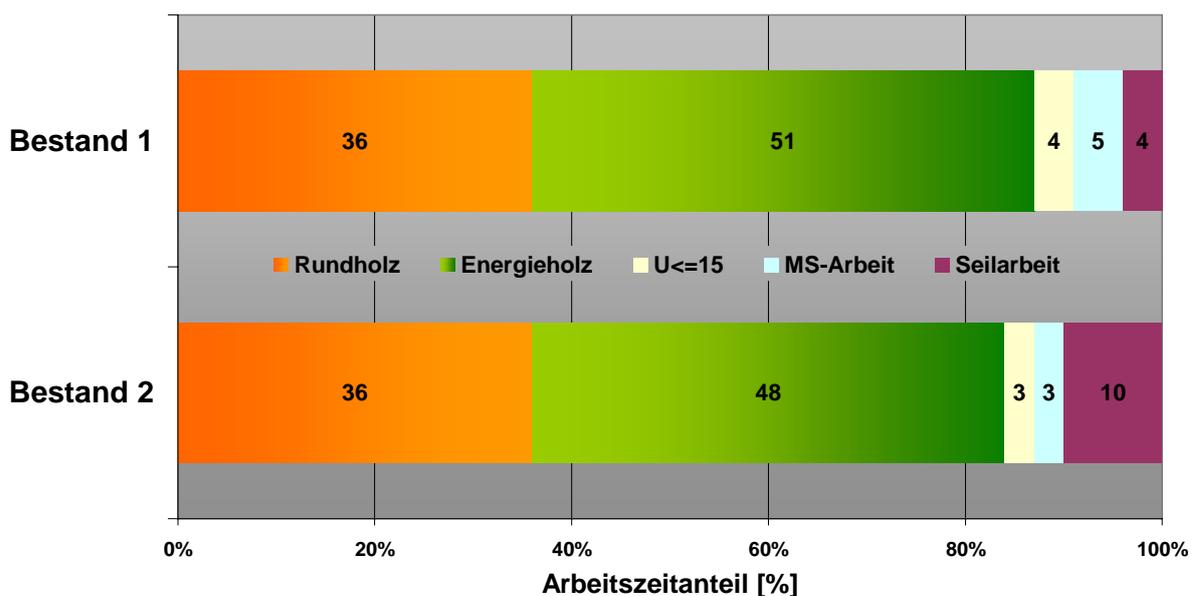


Abbildung 9: Vergleich der Arbeitszeitverteilung des Traktors beim Rücken in den Beständen 1 und 2.

4.1.3. Hacken

Am 9. November 2006 wurde das Energieholz gehackt. Es wurde zunächst der Haufen aus Bestand 2 (Abbildung 11) abgearbeitet und dabei genau zwei Fuhren (in Summe 163 Srm bzw. 31,24 atro to) beladen. Danach überstellte der Hacker zum Haufen aus Bestand 1 (Abbildung 10), wo wieder zwei Fuhren beladen wurden. Mit der noch verbleibenden Restmenge wurde eine fünfte Fuhre begonnen. Anschließend überstellten der Hacker und der Schüttgut-Lkw zu einem anderen Einsatzort im Betrieb, wo dieser weiter beladen wurde. Die Teilmenge im fünften Zug wurde mit 9 Srm zu 1,5 atro to angeschätzt. Insgesamt wurden demnach im Bestand 1 177 Srm bzw. 38,89 atro to Hackgut produziert.



Abbildung 10: Energieholzhaufen von Bestand 1 im Winter.



Abbildung 11: Energieholzhaufen von Bestand 2 im Sommer.

Abbildung 12 stellt die Arbeitszeitverteilung des Hackers über den gesamten Einsatz dar. Insgesamt musste der Hacker 19 Prozent der Arbeitszeit auf die Ankunft eines Lkw warten. Die Produktivität des gesamten Hackeinsatzes (Bestand 1 und Bestand 2 gemeinsam) liegt bei 67,8 Srm/PSH₁₅ bzw. 13,03 atro to/PSH₁₅.

Die Produktivität bezogen auf die PSH_{15} wird maßgeblich vom Anteil der ablaufbedingten Wartezeit beeinflusst, die wiederum hauptsächlich von der Anzahl der eingesetzten Transportfahrzeuge abhängt. Berechnet man die erreichten Produktivitäten an den beiden Energieholzhaufen abzüglich sämtlicher jeweils angefallener ablaufbedingter Wartezeiten und ohne Berücksichtigung des Überstellvorganges von einem Haufen zum nächsten, so stellen derartige Werte den Einfluss des Ausgangsmaterial in beiden Beständen besser dar. Im gegenständlichen Fall ergeben sich Werte von $66,0 \text{ Srm}/PSH_{15}$ und $16,27 \text{ atro to}/PSH_{15}$ für den Haufen in Bestand 1 bzw. $70,49 \text{ Srm}/PSH_{15}$ und $13,74 \text{ atro to}/PSH_{15}$ für den Haufen in Bestand 2.

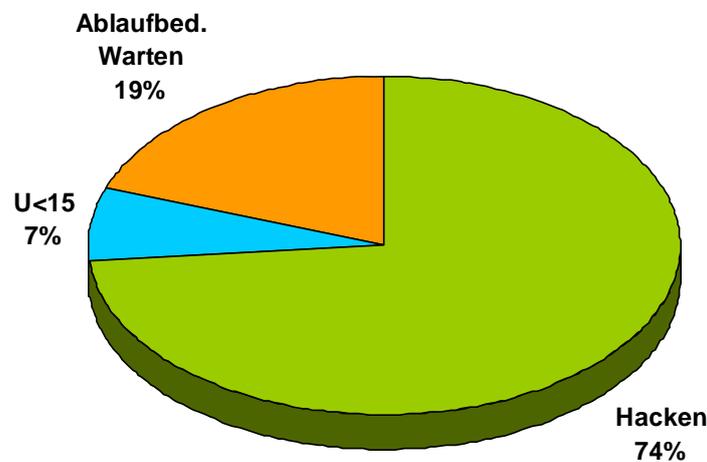


Abbildung 12: Arbeitszeitverteilung des Hackers.

4.1.4. Transport

Tabelle 4 stellt die aufgezeichneten Prozesszeiten dar. Dabei bezeichnet Lastfahrt die Fahrt vom Hacker zum Empfängerwerk und Leerfahrt den Weg zurück. Die am Hackplatz erhobenen ablaufbedingten Wartezeiten sind, abgesehen von Fuhre 2 (überpünktliches Eintreffen des zweiten Lkw am Morgen), gering. Grund dafür ist die gute Kommunikation der beiden Lkw-Fahrer während des Einsatzes. Potenzielle Wartezeiten wurden durch eingelegte Pausen am Rückweg minimiert und spiegeln sich so in einer gegenüber der Lastfahrt teilweise längeren Leerfahrtzeit wider. Der Aufenthalt im Werk wird durch den Zeitraum zwischen der ersten und zweiten Wiegung festgelegt und beträgt im Mittel 16 Minuten. Die Distanz vom Hackort zum Werk betrug 26 km und wurde in durchschnittlich 44 Minuten zurückgelegt. Es berechnet sich daraus eine Durchschnittsgeschwindigkeit der Lastfahrt von $35,5 \text{ km/h}$.

Tabelle 4: Erhobene Prozesszeiten beim Transport des Hackgutes.

Fuhre	Warten min	Beladen min	Lastfahrt min	Aufenthalt Werk min	Leerfahrt min	Zyklusdauer hh:mm
1	0	64	54	21	45	03:04
2	57	67	50	11	69	04:14
3	7	71	37	21	59	03:15
4	18	82	38	11	36	03:05
Mittelwerte:	20	71	44	16	52	03:24

Die errechnete Produktivität aus den vier vollständigen Fuhren beträgt 24,59 Srm/h bzw. 5,13 atro to/h (Tabelle 5). Es werden dabei nur die vier vollständigen Fuhren aus Bestand 1 und 2 berücksichtigt, die fünfte Fuhre wurde aufgrund der stark unterschiedlichen Ausgangssituation an der Folgeinsatzfläche nicht in die Berechnung mit einbezogen.

Tabelle 5: Transportierte Mengen.

Fuhre	Menge		Produktivität	
	[Srm]	[atro to]	[Srm/Std]	[atro/Std]
1	75,3	14,81	24,55	4,83
2	87,4	16,43	20,65	3,88
3	81,5	18,09	25,08	5,57
4	86,6	19,30	28,09	6,26
Mittelwerte:	82,70	17,16	24,59	5,13

4.2. Trockengehaltsmessung

Um die Auswirkung der Lagerung auf den Trockengehalt des Energieholzes beurteilen zu können, wurden am 14. Februar Proben aus den Energieholzhaufen gezogen und diese im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Es wurde ursprünglich auf Fläche 1 ein mittlerer Trockengehalt von 68,3% bzw. von 67,8% auf Fläche 2 ermittelt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Trockengehalte der Stichproben.

Fläche	#	Trockengehalte Feb.06	Mittelwert [%]	Trockengehalte Nov.06	Mittelwert [%]	Veränderung Prozentpunkte
1	1	68,0	68,3	74,8	74,2	5,9
	2	67,7				
	3	68,6				
	4	68,8				
2	1	67,8	67,8	68,0	66,8	-1,0
	2	68,0				
	3	67,2				
	4	68,1				

Während sich der Trockengehalt des Energieholzes von Fläche 1 auf 74,2% verbesserte, blieb der Wert für Fläche 2 praktisch gleich. Die schattige Lage des Haufens auf Fläche 2 lässt die erhobene Verschlechterung des Trockengehaltes um einen Prozentpunkt durchaus plausibel erscheinen.

4.3. Bereitstellungskosten

Die Kalkulation der Bereitstellungskosten basiert auf den in Tabelle 7 angeführten Stundensätzen. Für das Hacken und den Transport stellen diese Stundensätze die von den Unternehmern angegebenen Werte dar. Der Stundensatz für die Mannstunde inkl. Motorsäge stammt vom Forstbetrieb. Die Stundenkosten für den Traktor sind der Forstmaschinen-CD-ROM des Bundesamts und Forschungszentrums für Wald bei einer unterstellten jährlichen Auslastung von 1000 Stunden entnommen (Pröll et al., 2003) und werden zur Berechnung der Gesamtkosten mit den entsprechenden Mannstunden addiert.

Tabelle 7: Stundensätze für die Kalkulation der Bereitstellungskosten.

Bezeichnung	Einheit	Wert
Mannstunde	€/Std	20,58
Traktorstunde	€/Std	24,00
Hacken	€/Std	200,00
Transport	€/Std	55,00

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der vom Betrieb intern verrechnete Stundensatz für den Traktor mit 18,89 € noch deutlich unter dem für die Kostenkalkulation herangezogenen Wert liegt. Im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit wurde allerdings der in der Selbstkostenrechnung des BFW (Pröll et al., 2003) angeführte Stundensatz verwendet.

In den beiden Beständen wurden 84,1 bzw. 66,2 fm Rundholz erzeugt. Tabelle 8 stellt die erzeugten Mengen und die gefundenen Arbeitszeitverhältnisse dar.

Tabelle 8: Angefallene Mengen und anteilige Arbeitszeit.

Angefallene Mengen	Einheit	Bestand 1	Bestand 2
Rundholz	fm	84,1	66,2
Energieholz	rm	300,0	270,0
Energieholz	Srm	162,7	177,1
Energieholz	atro to	38,9	31,2
Energieholz	lutro to	50,4	46,9
Arbeitszeitanteile	Einheit	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Rundholz	%	45	74
Ernte Energieholz	%	55	26
Rücken Rundholz	%	44	45
Rücken Energieholz	%	56	55

Tabelle 9 stellt die kalkulierten Bereitstellungskosten für Waldhackgut aus beiden Beständen dar. Für die Kalkulation der Kosten pro MWh wurde ein Energieinhalt von 5 kWh/kg Hackholz unterstellt. Die sich ergebenden Kosten sind in Bestand 2 jeweils höher als in Bestand 1.

Tabelle 9: Bereitstellungskosten für Waldhackgut frei Werk bezogen auf verschiedene Einheiten.

Kosten je Srm [€/Srm]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	1,53	1,94
Rücken Energieholz	3,17	3,17
Hacken	3,69	3,95
Transport	2,37	2,33
Gesamt	10,75	11,40
Kosten je atro to [€/atro to]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	6,40	11,03
Rücken Energieholz	13,26	17,97
Hacken	15,43	22,41
Transport	9,90	13,20
Gesamt	44,99	64,61
Kosten je MWh [€/MWh]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	1,28	2,21
Rücken Energieholz	2,65	3,59
Hacken	3,09	4,48
Transport	1,98	2,64
Gesamt	9,00	12,92

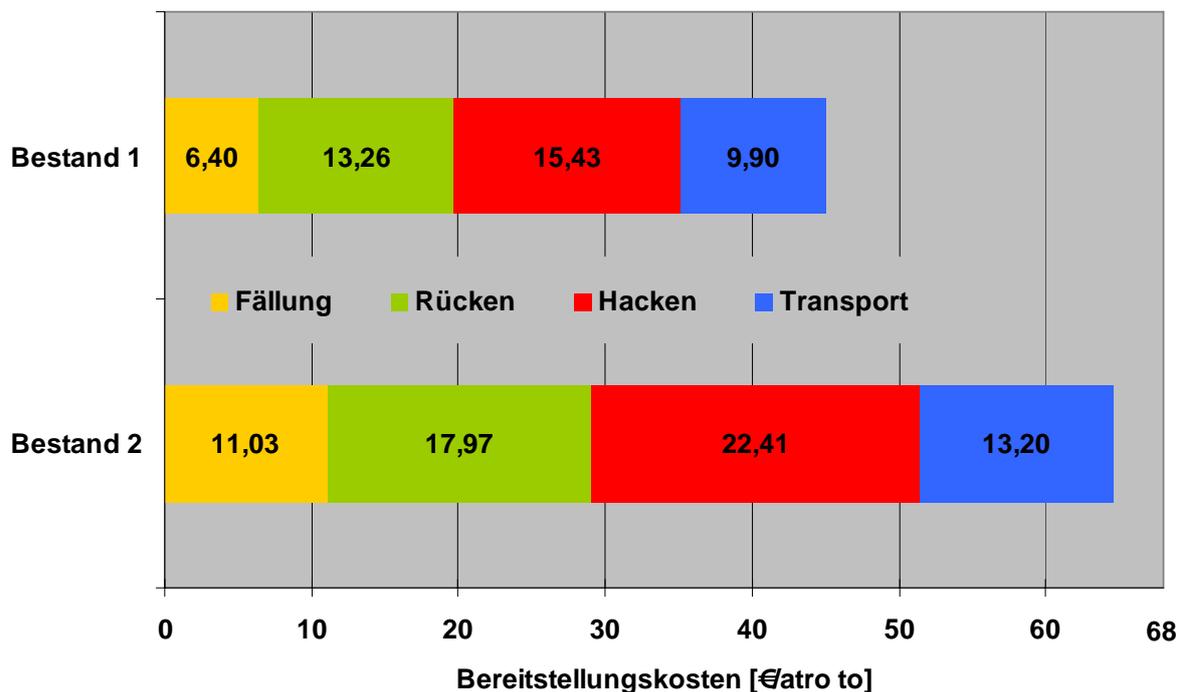


Abbildung 13: Bereitstellungskosten für Waldhackgut in beiden Bestände in €/atro to.

Die Verteilung der Bereitstellungskosten ergibt folgendes Bild (Abbildung 13): Etwa 45% der gesamten Kosten entfallen auf Fällung und Rücken des Energieholzes, etwas mehr als ein Drittel nehmen die Hackkosten ein. Die restlichen rund 20% entfallen auf den Transport.

Das Abnehmerwerk bezahlt je atro to Waldhackgut 68 €. Demzufolge beträgt der Deckungsbeitrag berechnet als Differenz aus Erlös und Bereitstellungskosten im Bestand 1 23,01 €/atro to und im Bestand 2 3,39 €/atro to.

Durch die kombinierte Erzeugung von Rund- und Energieholz können auch die Erzeugungskosten des Rundholzes verringert werden, da bestimmte Aufwendungen (beispielsweise Kosten für die Zerkleinerung und Manipulation der Kronen) den Erzeugungskosten für Energieholz zugeteilt werden.

5. INTERPRETATION

Die erzielte Produktivität beim Hacken mit 67,8 Srm/PSH₁₅ bzw. 13,03 atro to/PSH₁₅ liegt im erwarteten Bereich. Kanzian et al. (2006) dokumentierten beim Hacken von Schlagrücklass Laubholz mit einem Starchl 1200 eine Produktivität von 60 Srm/PSH₁₅ bzw. 13,1 atro to/PSH₁₅. Der Wartezeitanteil des Hackers fiel im gegenständlichen Fall mit 19% gegenüber der oben genannten Studie gering aus. Dort betrug der Wartezeitanteil beim Beladen von Abrollcontainern 34%. Die von Weixler (1999) und Schuhbauer (2004) belegten Wartezeiten liegen ebenfalls deutlich über dem gegenständlichen Wert.

Wittkopf (2005) vergleicht die Leistung und Kosten sowie den Energieverbrauch von zehn ausgewählten Bereitstellungsketten und stellt eine Nutzwertanalyse an. Die Kosten werden unter der Annahme verschiedener, BHD abhängiger Produktivitäten berechnet. Es wird dabei jeweils von Durchforstungen mit ausschließlicher Energieholzproduktion ausgegangen. Wittkopf schlussfolgert, dass sich im Vergleich zur vollmechanisierten Holzernte die motormanuelle Energieholzbereitstellung konkurrenzfähiger darstellt als bei der Aufarbeitung von Industrie- bzw. Sägerundholz. Grund dafür sei, dass auf den Arbeitsschritt Aufarbeiten verzichtet werden könne. Darüber hinaus können die Lohnkosten von motormanuell arbeitenden Kräften niedriger angesetzt werden als Unternehmersätze.

6. EMPFEHLUNGEN

Grundsätzlich ist die praktische Anwendung des beschriebenen Arbeitsverfahrens bei gleichzeitiger Erzeugung von Rund- und Energieholz sinnvoll. Die Ausnutzung von vorhandenem Maschinen- und Arbeitskräftepotential, bei gegenüber Unternehmerlöhnen geringeren Kosten, lässt ein derartiges Verfahren unter gegebenen Rahmenbedingungen durchaus konkurrenzfähig erscheinen. Die nachstehend aufgelisteten Punkte sind für einen reibungslosen Ablauf entscheidend.

- Beim Rücken mittels Traktor und Frontlader ist der höhere Platzbedarf beim Poltern zu beachten. Die maximale Hubhöhe der Palettengabel liegt laut Herstellerangaben bei 4 m. Die tatsächlich erreichte Höhe des Energieholzhaufens beträgt allerdings lediglich 2 bis 2,5 m (Abbildung 14).
- Eine Verschmutzung des Energieholzes ist bei allen erforderlichen Manipulationen unter allen Umständen zu vermeiden!

Die Lagerung von Energieholz mittels Frontlader kann naturgemäß nicht so sorgfältig erfolgen wie dies mit einem Kran möglich wäre. Um die Arbeit des Hackers nicht zu erschweren, sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Für ausreichend Lagerplatz ist zu sorgen.
- Das Energieholz soll derart aufbereitet werden, dass die Beschickung des Hackers leicht erfolgen kann. Sperrige Teile sollen zerkleinert, starke Astgabeln geteilt werden. Dabei ist die Einzugsbreite und -höhe des Hackers zu berücksichtigen.
- Die starken Enden sollen aneinander liegen.
- Für die Lagerung des Energieholzes erwies es sich als vorteilhaft, Querhölzer zu legen. Das Greifen des Energieholzes durch den Kran wird dadurch erleichtert und das unbeabsichtigte Mitnehmen von Verunreinigungen wird verringert. Eine Auswirkung auf den Trockengehalt konnte nicht nachgewiesen werden, scheint aber denkbar.
- Um einen Trocknungseffekt zu erzielen, soll der Lagerplatz möglichst sonnig gelegen sein.

Die erreichbare Produktivität des Hackers hängt wesentlich von der Organisation der Abfuhrlogistik ab. Folgende Punkte sind daher Wesentlich:

- Die Zufahrt zum Hackplatz soll hinreichend geeignet sein. Die benötigte Ausstattung der Transportfahrzeuge ist gegebenenfalls im Vorhinein zu klären (z.B.: eingeschränkte Befahrbarkeit für Sattel-Lkw; Allradantrieb etc.)
- Eine ausreichende Anzahl an Transportfahrzeugen ist einzusetzen. Diese ergibt sich aus der Transportdistanz und der dafür benötigten Umlaufzeit sowie der zu erwartenden Produktivität des Hackers.
- Die beteiligten Fahrer sind rechtzeitig hinsichtlich der räumlichen Gegebenheiten am Einsatzort (Umkehr- und Vorbeifahrmöglichkeiten) einzuweisen um zeitraubende Rangiermanöver zu vermeiden.



Abbildung 14: Traktor beim Poltern von Energieholz.

7. LITERATUR

Hakkila, P. 2004. Developing technology for large-scale production of forest chips. Final Report. Wood Energy Technology Programme 1999-2003. Helsinki, 99 S.

Kanzian, C., Holzleitner, F., Kindermann, G., Stampfer, K. (2006): Regionale Energieholzlogistik Mittelkärnten. Entwicklungsagentur Kärnten, 153 S.

Kanzian, C.; Fenz, B.; Holzleitner, F.; Stampfer, K. (2006): Waldhackguterzeugung aus Schlagrücklass. FPP Bericht, Wien. 29 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

Schuhbauer, J. (2004): Untersuchungen zur Versorgungslogistik mit Waldhackschnitzeln des Biomasseheizkraftwerkes Pfaffenhofen. Diplomarbeit an der Technischen Universität München, 98 S.

Stampfer, E.; Stampfer, K.; Trzesniowski, A. (1997): Rationalisierung der Bereitstellung von Hackgut. Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Band 29. Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft, Wien, 70 S.

Wittkopf, S.(2005): Bereitstellung von Hackgut zur thermischen Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern. Dissertation am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik, Weihenstephan, 209 S.

Weixler, H.; Feller, S.; Göldner, A.; Krausenboeck, B.; Remler, N.; Webenau, B. (1999): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln. Berichte aus der LWF Nr. 21, Freising. 103 S.

8. ANHANG

8.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verwendete Arbeitstakte bei der Zeitstudie Motorsägenarbeit.....	10
Tabelle 2: Verwendete Arbeitstakte bei der Zeitstudie Rücken.	10
Tabelle 3: Verwendete Arbeitstakte für die Zeitstudie Hacken.	11
Tabelle 4: Erhobene Prozesszeiten beim Transport des Hackgutes.	16
Tabelle 5: Transportierte Mengen.....	16
Tabelle 6: Trockengehalte der Stichproben.....	17
Tabelle 7: Stundensätze für die Kalkulation der Beretstellungskosten.	18
Tabelle 8: Angefallene Mengen und anteilige Arbeitszeit.	19
Tabelle 9: Bereitstellungskosten für Waldhackgut frei Werk bezogen auf verschiedene Einheiten.	19

8.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Traktor mit Frontlader und Rückezange (links); Traktor mit Frontwinde (rechts).....	3
Abbildung 2: Palettengabel mit hydraulischem Niederhalter (Foto: Hersteller).....	4
Abbildung 3: Hacker Eschlböck Biber 80 aufgebaut auf Steyr 32S34 6x6.	5
Abbildung 4: Systemskizze des untersuchten Verfahrens.....	6
Abbildung 5: Baumartenverteilung und Ansicht von Bestand 1.	8
Abbildung 6: Baumartenverteilung und Ansicht von Bestand 2.	8
Abbildung 7: Durchmesserverteilung in Bestand 1 und 2.	9
Abbildung 8: Vergleich der Arbeitszeitverteilung der Motorsägenarbeit in den Beständen 1 und 2.	12
Abbildung 9: Vergleich der Arbeitszeitverteilung des Traktors beim Rücken in den Beständen 1 und 2.	13
Abbildung 10: Energieholzhaufen von Bestand 1 im Winter.....	14
Abbildung 11: Energieholzhaufen von Bestand 2 im Sommer.....	14
Abbildung 12: Arbeitszeitverteilung des Hackers.....	15

Abbildung 13: Bereitstellungskosten für Waldhackgut in beiden Bestände in €/atro to.	20
Abbildung 14: Traktor beim Poltern von Energieholz.....	23