



Waldhackguterzeugung aus Schlagrücklass

Fallbeispiele im
Laub- und Nadelholz



**Christian Kanzian
Bernhard Fenz
Franz Holzleitner
Karl Stampfer**



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

Diese Publikation entstand auf Basis von zwei durch das Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier geförderten Forschungsprojekten: „Erzeugung von Waldhackgut im Stift Klosterneuburg“ und „Bereitstellung von Waldhackgut“.

Für die Unterstützung des Projektes möchten wir uns bei folgenden Institutionen bedanken:

- Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier (FPP),
- Papierholz Austria,
- Forstbetrieb Stift Klosterneuburg,
- sowie allen beteiligten Bioenergie-Unternehmen und Zeitstudienpersonen.

Anschrift

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Bodenwissenschaften
Institut für Forsttechnik

Peter Jordan Straße 82/3
1190 Wien

<http://www.boku.ac.at>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Verfahrensbeschreibung	2
2.1	Hacken von Schlagrücklass - Laubholz.....	2
2.2	Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz	5
3	Methodische Vorgangsweise.....	7
4	Ergebnisse	9
4.1	Hacken von Schlagrücklass - Laubholz.....	9
4.1.1	Einsatzflächen.....	9
4.1.2	Rücken.....	10
4.1.3	Hacken.....	10
4.1.4	Transport.....	11
4.1.5	Wassergehalt	13
4.1.6	Kosten	13
4.2	Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz	15
4.2.1	Einsatzflächen.....	15
4.2.2	Vortransport	16
4.2.3	Hacken.....	17
4.2.4	Kosten	19
5	Kostenvergleich.....	21
6	Probleme und Empfehlungen	22
6.1	Reduktion der ablaufbedingten Wartezeiten beim Hacken.....	22
6.2	Hacker mit Direktbeladung von Abrollcontainern	23
6.3	Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer	25
6.4	Abhängigkeit der Transportkosten vom Wassergehalt	26
7	Verzeichnisse	27
7.1	Literatur	27
7.2	Mündliche Mitteilungen.....	27
7.3	Zitierte Normen.....	27
7.4	Abbildungsverzeichnis.....	28
7.5	Tabellenverzeichnis.....	29

1 Einleitung

Auf Grund des Ökostromgesetzes 2002 und der derzeit gültigen Einspeisetarife ist in Österreich mit einem erheblichen Mehrbedarf an Waldhackgut zu rechnen. Für die Hackgutproduktion aus dem Wald kommen prinzipiell Energierohholz und Schlagrücklass sowie Hölzer aus Niederwäldern und Kurzumtriebsflächen in Frage. Dabei stellen die zu hohen Bereitstellungskosten das größte Problem dar (Rohmoser und Stampfer, 2003; Kanzian, 2005).

Die Nutzung von Schlagrücklass bietet die Möglichkeit, dass Energieholz als Koppelprodukt bei der konventionellen Holzproduktion anfällt und damit die Bereitstellungskosten gering sind. Der größte Kostenvorteil ergibt sich bei der Holzernte im Baumverfahren, wo das gesamte zu verhackende Material an der Waldstraße anfällt. Wird Hackgut nach der Holzernte im Sortimentsverfahren erzeugt, ist der im Bestand verbleibende Schlagrücklass in einem zusätzlichen Arbeitsgang an die Forststraße zu transportieren. Diese Bereitstellungsketten sind sowohl für Laub- als auch Nadelholz vorstellbar. Bei beiden Systemen ist zur Erhöhung des Energieholzanfalles auch eine Änderung der Ausformungsstrategie (z.B. früheres Abzapfen) vorstellbar.

Zur optimalen Prozessgestaltung bei der Nutzung von Schlagrücklass gibt es sehr wenige Untersuchungen. Aus Sicht der Verfahrensoptimierung ist vor allem die Frage nach einer Vorkonzentration des Schlagrücklasses an einem zentralen Lagerplatz zwecks Kostensenkung beim Hacken zu stellen. Potenzial an der Schnittstelle Hacken und Transport ergibt sich auf Grund der Entscheidung, ob direkt in das Transportfahrzeug oder auf den Boden der Forststraße gehackt wird. In zweiten Fall erfolgt die Beladung des Transportmittels mit dem eigenen Ladekran.

Wird Schlagrücklass über eine bestimmte Zeit gelagert, entsteht ein Trocknungseffekt, der nicht nur die Qualität des Hackgutes erhöht sondern auch zu einer wesentlich besseren Auslastung der Transportkapazität führt. Untersuchungen über die notwendige Lagerdauer des Hackguts, den eintretenden Trocknungseffekt (Golser et al., 2005) und die Auswirkungen auf die Ladekapazität des Transportfahrzeuges gibt es erst in Ansätzen.

2 Verfahrensbeschreibung

2.1 Hacken von Schlagrücklass - Laubholz

Nach Fällung und Aufarbeitung (motormanuell bzw. mittels Harvester) wird das Sägerund- und Industrieholz sowie in einem eigenen Arbeitsgang auch der verbleibende Schlagrücklass (Äste, Wipfel, Kappholz sowie Holzstücke schlechter Qualität) mittels Forwarder zur Forststraße transportiert und dort getrennt voneinander gelagert. Die Zwischenlagerung des Schlagrücklasses an der Forststraße erfolgt über mehrere Monate, um den Wassergehalt zu senken (Abbildung 3). Das Hacken wird auf der Forststraße direkt in Lkw durchgeführt (Abbildung 4). Zum Abtransport wird ein Lkw und Abrollcontainer eingesetzt (Abbildung 5).

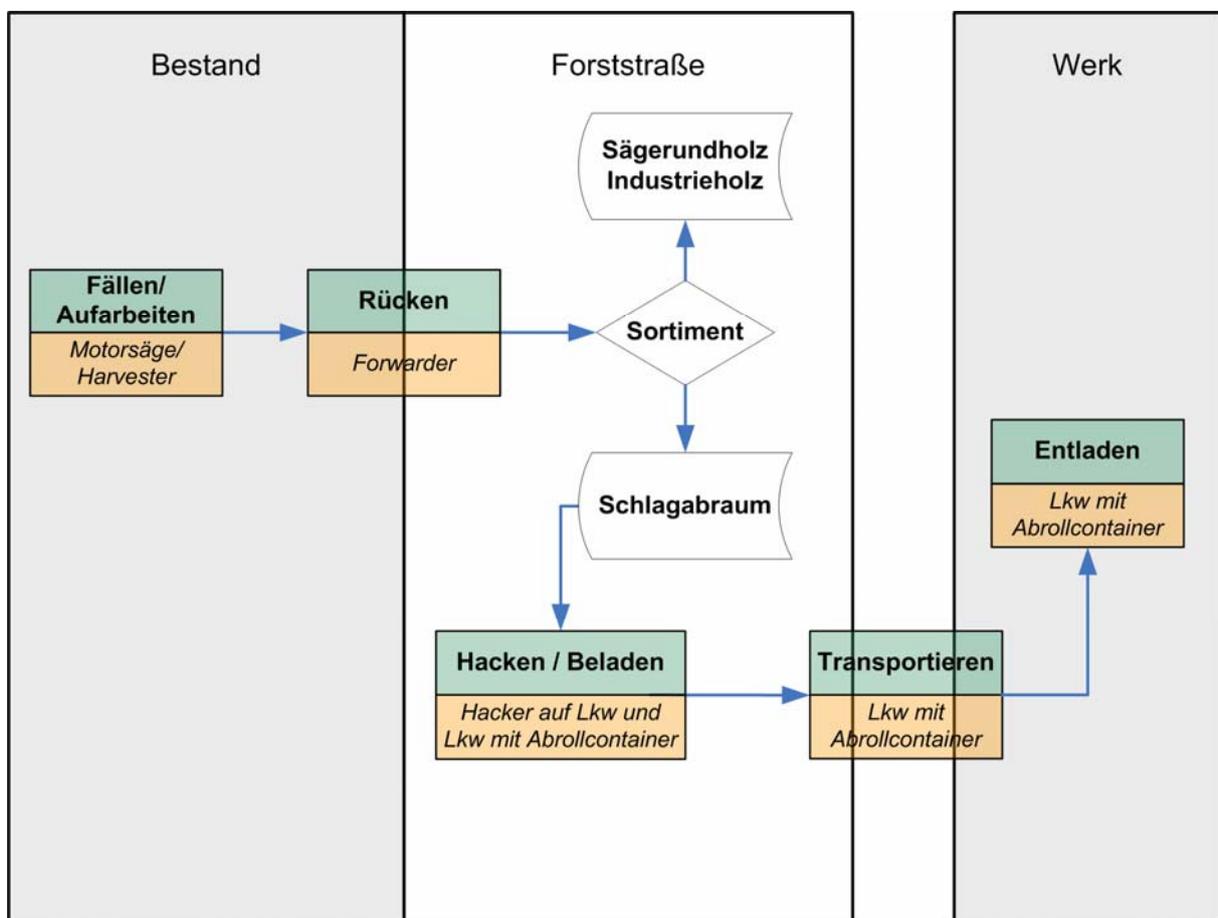


Abbildung 1: Darstellung des Verfahrensablaufes der Fallstudie Klosterneuburg.

In Abbildung 2 ist der Arbeitsablauf aus Sicht des Lkw dargestellt. Bei diesem Einsatz wurde nicht im Wechselsystem gefahren sondern der Lkw wartete während der am Boden abgestellte Container beladen wurde. Aufgrund der geringen Transportdistanz erfolgte der Transport mittels Solo-Lkw, da bei Einsatz eines Lkw-Zuges eine hohe Anzahl an Manipulationen der Container erforderlich ist, welche zu höheren Kosten führt.

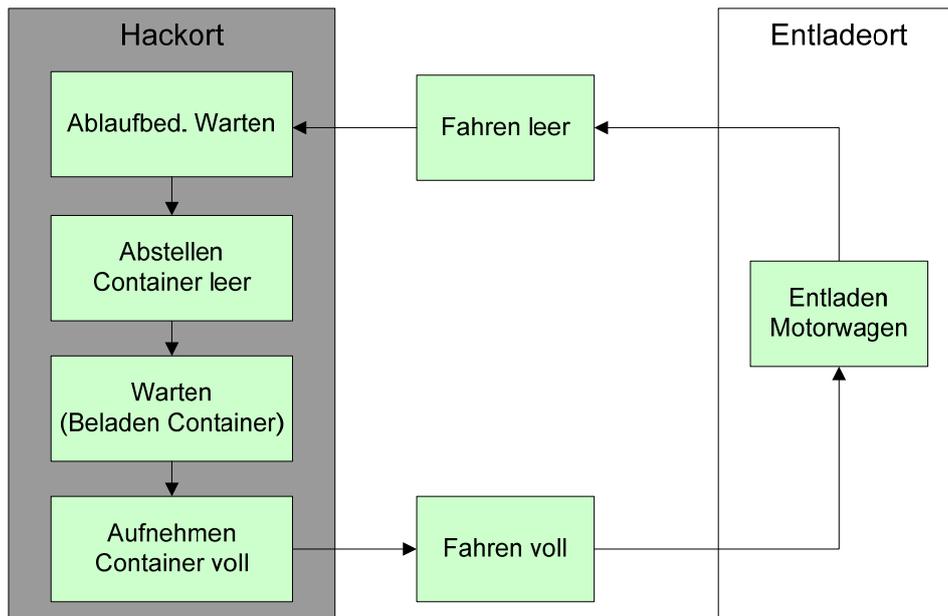


Abbildung 2: Schematisch dargestellter Prozessablauf beim Einsatz eines Solo-Lkw mit Abrollcontainern.



Abbildung 3: Schlagrücklass der Fläche 1 (geschätzter Rauminhalt 240 m³, Festgehalt ca. 27 fm und Energieinhalt ca. 60 MWh).



Abbildung 4: Hacker Starchl 1200-800 auf Lkw.



Abbildung 5: Lkw-Zug mit Abrollcontainern zu je 36 Sm Fassungsvermögen.

2.2 Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz

Der nach Seil- oder Schlepperrückung im Baumverfahren mit anschließender Aufarbeitung durch einen Prozessor an der Forststraße verbleibende Schlagrücklass (Äste, Wipfel und Kappholz) wird durch einen Rundholz-Lkw abtransportiert und an geeigneter Stelle zu einem großen Haufen konzentriert. Das Hackgut wird dort durch den Hacker direkt auf einen bereitstehenden Schüttgut-Lkw geladen (Abbildung 7). Durch die Vorkonzentration wird bei den räumlich beengten Verhältnissen an der Forststraße die Zufahrt der Schüttgut-Lkw erleichtert und Überstellvorgänge des Hackers können entfallen, womit sich kostenmäßige Vorteile ergeben.

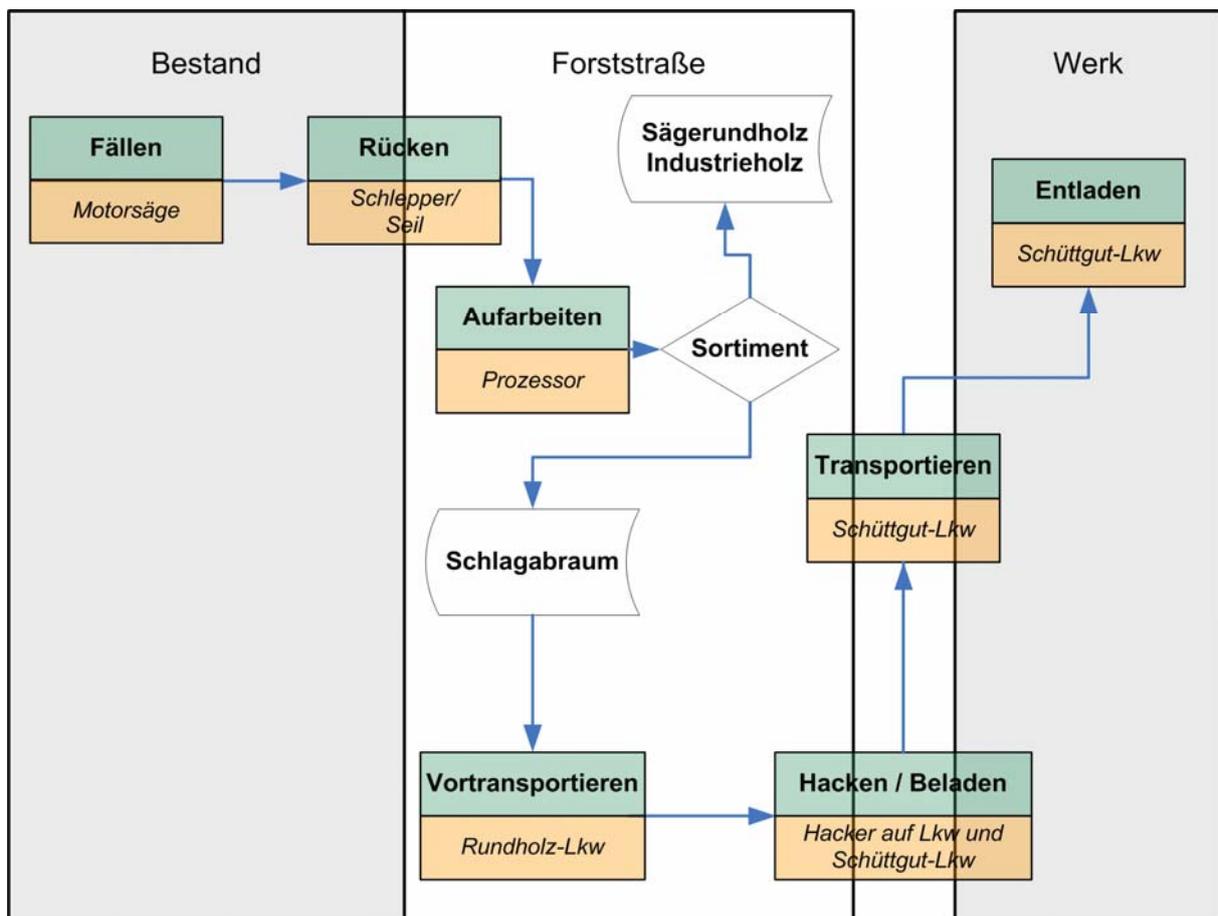


Abbildung 6: Verfahrensablauf beim Hacken von Nadel-Schlagabraum.

Tabelle 1 stellt technische Daten zweier Schüttgut-Lkw Systeme einander gegenüber. Das im Vergleich zum konventionellen Schüttgut-Lkw höhere Eigengewicht des Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer ergibt sich nicht nur aufgrund der Ausstattung mit dem Kran sondern auch wegen des höheren Gewichtes des Allrad-Antriebes des Motorwagens.

Tabelle 1: Systemvergleich Schüttgut-Lkw-Zug.

Bezeichnung	Schüttgut-Lkw	Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer
		
Technische Daten		
Eigengewicht	18.500 kg	20.800 kg
Nutzlast	19.500 kg	17.200 kg
Lichtes Raummaß	87 m ³	81 m ³
Antrieb	6x2	6x6



Abbildung 7: Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz mit Direktbeladung auf Schüttgut-Lkw.

3 Methodische Vorgangsweise

Grundsätzlich wurde folgende Vorgangsweise festgelegt:

- Rücken (Betriebsaufzeichnungen),
- Hacken (Zeitstudien),
- Transportieren (Selbstaufzeichnung),
- Wassergehalt (Darrmethode).

Das Zeitgliederungskonzept für die Zeitstudie Hacken basiert auf dem Schema von Stampfer (2002) und beinhaltet die in Tabelle 2 dargestellten Arbeitsablaufabschnitte. Die Berechnung der Produktivität bezieht sich auf die produktive Systemstunde inklusive Unterbrechungen bis 15 Minuten (PSH_{15}). Als Beobachtungseinheit bei der Zeitstudie Hacken wird die Fuhre gewählt. Die ablaufbedingten Wartezeiten des Hackers oder Lkw sind in der PSH_{15} enthalten. Die anfallenden Wartezeiten sind von der Qualität der Organisation und natürlich auch von zufälligen Ereignissen (Verkehr, Ortskenntnis der Lkw-Fahrer usw.) abhängig.

Tabelle 2: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Hacken.

Abkürzung	Einheit	Beschreibung
PSH_0	min	Produktive Arbeitszeit. Diese beinhaltet alle Tätigkeiten, welche dem Arbeitsfortschritt dienen.
Hacken	min	Produktive Maschinenarbeitsstunde.
$U \leq 15$	min	Unterbrechungen bis zu 15 Minuten.
$U > 15$	min	Unterbrechungen größer 15 Minuten.
Fortbewegung	min	Zeit für die Überstellung der Maschine innerhalb des Einsatzortes.
Überstellung	min	Zeit für die Überstellung der Maschine zum nächsten Einsatzort im selben Betrieb.
Sonstiges	min	Sonstige nicht auswertbare Zeiten.

Die Aufzeichnungen für den Transport werden über elektronische Selbstaufzeichnung der Lkw-Fahrer mittels Pocket-PC mit integriertem GPS realisiert. Vor Beginn des Arbeitsstudiums wird ein Standard-Arbeitsablauf inklusive der entsprechenden Parameter am PDA definiert. In diesen vorgegebenen Arbeitsablauf kann vom Fahrer jederzeit eingegriffen werden, um situationsbedingte Anpassungen vorzunehmen. Das GPS wird in erster Linie zur Berechnung der Wegstrecke verwendet.

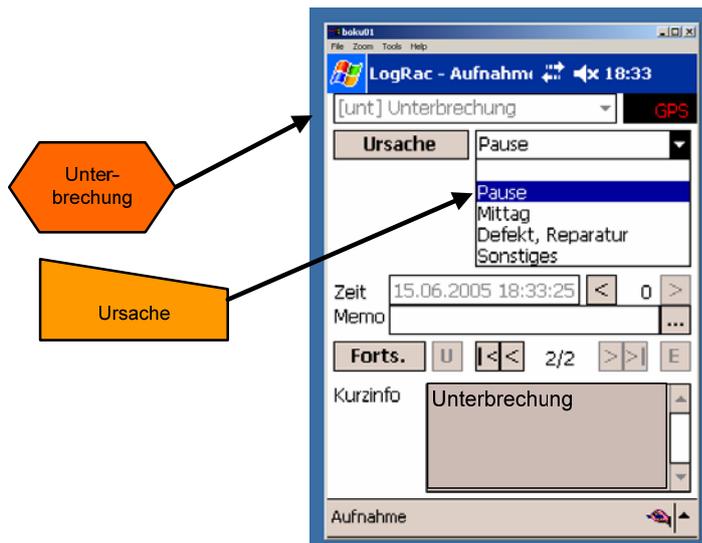


Abbildung 8: Beispiel für die Benutzeroberfläche LogRac am PPC im Arbeitsschritt „Unterbrechung“.

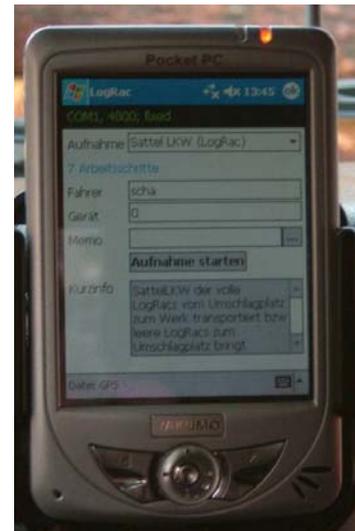


Abbildung 9: Standard PDA mit Datenaufzeichnungssoftware im Lkw.

Die Messung des Wassergehaltes erfolgt in Anlehnung an die ÖNORM M 7133 im direkten Verfahren mittels Darrschrankmethode. Es werden je zwei Proben zu 3 dm³ pro Container im Heizwerk beim Entladen gezogen. Von jeder Probe wird im Labor der Wassergehalt bestimmt. Somit stehen je Container zwei Messwerte zur Verfügung, deren Mittelwert gebildet wird. Zur Berechnung des atro-Gewichtes der einzelnen Fuhren wird das mittels Brückenwaage ermittelte lutro-Gewicht sowie der mittlere Wassergehalt je Fläche herangezogen. Zusätzlich wurden seitens des Stifts Klosterneuburg Messungen mit dem elektronischen Hackgut - Feuchtemessgerät FMG 3000 direkt beim Heizwerk durchgeführt.

Für die Kalkulation des Energieinhaltes (unterer Heizwert) ist es ebenfalls erforderlich den Wassergehalt zu kennen. Bezogen auf das Trockengewicht unterscheiden sich die Holzarten kaum im Heizwert, wodurch eine leichte Bestimmung des unteren Heizwertes aus Gewicht und Wassergehalt möglich ist. Für Laubholz wird üblicherweise 18 MJ/kg bzw. 5 kWh/kg verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Hacken von Schlagrücklass - Laubholz

4.1.1 Einsatzflächen

Es wurden insgesamt sechs verschiedene Standorte angefahren. Aufgrund der vorgegebenen Zeit konnten lediglich drei vollständig gehackt werden. Es handelt sich um eine Durchforstungsfläche und zwei Kahlschlagflächen. Das Hackholz lagerte zwischen 6 und 12 Monaten neben der Forststraße (Tabelle 3).

Tabelle 3: Vollständig bearbeitete Nutzungsflächen im Rahmen dieser Fallstudie.

Nutzungsart	Nutzungsfläche [ha]	Lagerdauer [Monate]	Holzanfall am Ort [fm]		
			Blochholz	Faserholz	gesamt
Kahlschlag	0,7	12	137	351	488
Durchforstung	3,0	6	27	350	377
Kahlschlag	0,5	6	81	152	233
			245	853	1098

Die Schlagrücklass-Haufen wurden vor dem Einsatz mit einem Maßband vermessen. Das Verhältnis von geschätztem Raummaß und dem Hackgutanteil in Schüttraummeter [Srm] bewegt sich zwischen 3,3 und 1,4 und liegt im Mittel bei 1,9. Aus der Umrechnung auf den Festgehalt mit dem Faktor 2,7 ergibt sich eine gesamte Nutzungsmenge von zusätzlichen 160 Festmeter mit Rinde (fmR). Die Ladedichte als Verhältnis von Hackgut in fm zum Haufenvolumen, welches die Transportkosten wesentlich beeinflusst, liegt demnach bei 0,20 fmR/rm (Tabelle 4).

Der Anteil der als Energieholz zusätzlich zu nutzenden Menge bezogen auf den Anfall von Sägerund- und Industrieholz liegt in den untersuchten Flächen zwischen 5 und 24%. Kanzian (2005) gibt für nadelholzdominierte Bestände Werte von 10 bis 15% an. Hakkila (2004) beziffert den zusätzlich anfallenden Energieholzanteil bei Fichte und Kiefer mit 20 bis 30% in der Erstdurchforstung und für Endnutzungen mit 4 bis 5%.

Tabelle 4: Raummaße und anfallendes Hackgut bei den drei Einsatzorten.

Abmessungen Haufen [m]				Volumen	Hackgut		Energieinhalt	Prozent von Holzanfall
L1	L2	H	B	[rm]	[Srm]	[fm]*	[MWh]	
19	8	3,5	5	236	72	27	61	5%
24,5	15	4	4,5	356	248	92	226	24%
20,5	12,5	3,5	4	231	119	44	102	19%
				823	439	163	390	

* Umrechnung mit Faktor 2,7

4.1.2 Rücken

Zum Rücken des Schlagrücklasses wurde der Forwarder Valmet 820 eingesetzt. Aus den Aufzeichnungen des Betriebes sind die verrechnete Einsatzzeit und eine geschätzte mittlere Rückedistanz je Fläche bekannt. Die sich aus den Aufzeichnungen ergebenden Produktivitäten liegen zwischen 4,5 und knapp 18 Srm/h. Bezogen auf den Energieinhalt ergibt sich im Mittel eine Produktivität von 12 MWh/h.

Tabelle 5: Aufzeichnungen über das Rücken mit dem Forwarder und die resultierenden Produktivitäten.

Fläche	Einsatzstunden [h]	Rückedistanz [m]	Produktivität [Srm/h]		
			[Srm/h]	[atro-to/h]	[MWh/h]
1	16	70	4,5	1,0	3,8
2	14	100	17,7	4,1	16,2
3	10	50	11,9	2,8	10,2
	40		11,0	2,6	9,7

4.1.3 Hacken

Für das Abarbeiten der drei Haufen war inklusive Überstellung zwischen den Einsatzorten eine Zeit von 8,7 h notwendig. Die Überstelltdistanz beträgt 7,1 km, was bei einer Zeit von 29 min eine mittlere Geschwindigkeit von 14,6 km/h ergibt. Betrachtet man die prozentuelle Verteilung der Arbeitsschritte für alle drei Flächen, so zeigt sich, dass der Hacker nur zu 52% arbeitete. Größere Störungen beim Hacker traten keine auf, lediglich das Verlegen des Auswurfes und organisatorische Tätigkeiten führten zu Unterbrechungen. Rund ein Drittel der Zeit musste der Hacker auf die Containerbereitstellung durch den Lkw warten (Abbildung 10).

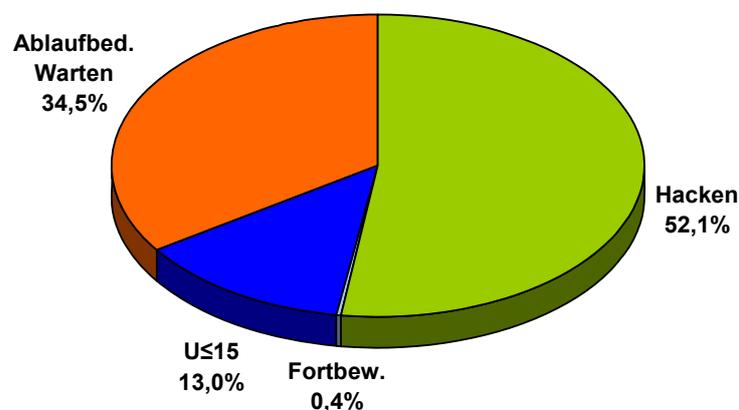


Abbildung 10: Verteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in der Studie Klosterneuburg.

Bezogen auf die produktive Systemstunde beträgt die Produktivität des Hackers 69 Srm/PSH₀. Die Produktivität bei Berücksichtigung von Unterbrechungen bis 15 min liegt bei 60 Srm/PSH₁₅. Bezogen auf die atro-to beträgt die Produktivität 16 atro-to/PSH₀ bzw. 13,1 atro-to/PSH₁₅ (Tabelle 6).

Tabelle 6: Produktivitäten des Hackers bezogen auf verschiedene Zeitsysteme

Nummer	Menge		Produktivität			
	[atro-to]	[Srm]	[Srm/PSH ₀]	[Srm/PSH ₁₅]	[atro-to/PSH ₀]	[atro-to/PSH ₁₅]
1	17	72	62	60	14,5	11,6
2	58	248	76	65	18	15
3	28	119	59	51	16	12
	102	439	97	82	16,0	13,1

4.1.4 Transport

Die Fahrten wurden neben den PDA Aufzeichnungen zusätzlich noch durch einen Zeitnehmer beim Werk festgehalten. Insgesamt waren drei Lkw im Einsatz. Die Arbeitsschritte Last- und Leerfahrt nehmen 78% der produktiven Arbeitszeit ein. Das ablaufbedingte Warten beläuft sich auf 15%. In diesem Fall wurden nur 3% der Zeit für die Manipulation der Abrollcontainer aufgewendet (Abbildung 11).

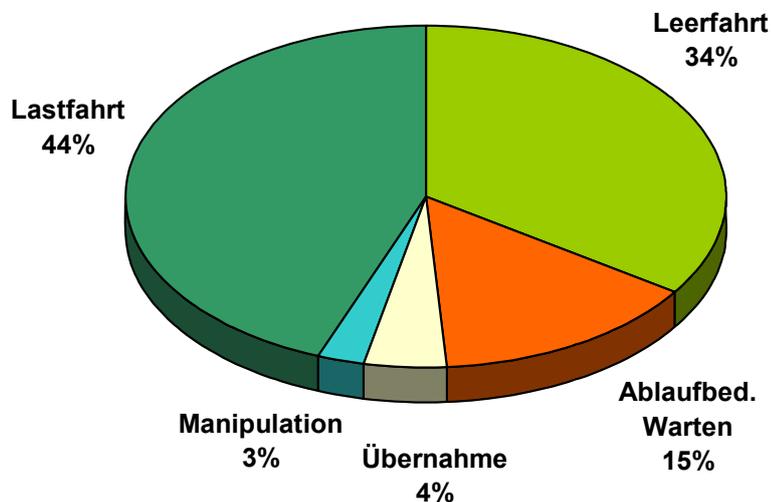


Abbildung 11: Verteilung der Arbeitsschritte aus den Aufzeichnungen des PDA für den Lkw 3.

Fahrzeitmodell

Grundsätzlich wird unterstellt, dass sich die mittlere Geschwindigkeit eines Lkw mit Abrollcontainer unter gleichen Bedingungen nicht von jenen eines Rundholz-Lkw unterscheidet. Das Fahrzeitmodell für den Rundholz-Lkw von Friedl et al. (2004) deckt einen Distanzbereich von 10 bis 120 km ab (1). Eine Schätzung der Fahrzeiten für Distanzen unter 10 km ist durch dieses Modell nicht sinnvoll, weshalb für die aufgezeichneten Fahrten ein eigenes Modell erstellt wird, das es ermöglicht die Fahrzeit in Abhängigkeit von der Distanz für einen Bereich von 4 bis 12 km zu schätzen. Das Bestimmtheitsmaß beträgt dabei 0,94 (2). Abgeleitet aus dieser Funktion ergibt sich eine durchschnittliche Fahrzeit von 3,6 Minuten pro Kilometer, was einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 17 km/h entspricht.

$$(1) \quad v = -7,10 + 32,1 * \log(Distanz)$$

$$R^2 = 0,51$$

vDurchschnittsgeschwindigkeit Wald – Werk [km/h]

$Distanz$Entfernung Wald – Werk [km]

$$(2) \quad Dauer [min] = 3,615 * Distanz [km]$$

$$R^2 = 0,94$$

Aus den Aufzeichnungen wurden die Einsatzzeiten der Lkw ermittelt. Die Einsatzzeit beinhaltet die Last- und Leerfahrt für jeden Ort vom Heizwerk aus. Die Distanz vom Wald zum Heizwerk fällt mit 7,4 bis 8,3 km sehr niedrig aus. Die Produktivitäten bezogen auf den Schüttraummeter variieren zwischen 13,2 und 19,4 Srm/h.

Tabelle 7: Transportzeiten, Anzahl der Fahren und Produktivitäten für die Einsatzorte.

Nummer	Fahren [n]	Einsatzzeit [h]	Distanz [km]	Produktivität		
				[Srm/h]	[atro-to/h]	[MWh/h]
1	2	5,5	7,4	13,2	3,1	11,3
2	7	12,8	7,9	19,4	4,5	17,7
3	4	7,4	8,3	16,2	3,8	13,9
	13	25,6		17,2	4,0	15,2

4.1.5 Wassergehalt

Die Lagerung des Hackholzes erfolgte bei allen Flächen über den Sommer, wobei die erste Fläche bereits im Herbst genutzt wurde. Unterstellt man einen Wassergehalt zum Zeitpunkt der Schlägerung von 40 bis 50% (Golser et al., 2005), so konnte dieser über den Sommer auf bis zu 20% reduziert werden. Nach ÖNORM M 7133 entspricht das Hackgut der Fläche 2 der Klasse W 20 (lufttrockenes Hackgut). Die anderen Flächen fallen in die Klasse W 30, was als lagerbeständiges Hackgut ausgewiesen wird. Die mit dem elektronischen Hackgut – Feuchtemessgerät FMG 3000 gewonnenen Werte scheinen im Vergleich zu den im Labor bestimmten etwas höher zu sein. Für konkrete Aussagen wäre allerdings eine höhere Anzahl von Messungen notwendig.

Tabelle 8: Wassergehalt bestimmt mit der Darrschrankmethode und mit einem elektrischen Messgerät des Heizwerkes.

Fläche	Container [Nr.]	Wassergehalt						Lagerdauer [Monate]
		Probe 1 [%]	Probe 2 [%]	Mittelwert [%]	Standardfehler [%]	FMG 3000 MW [%]		
1	1	29,8%	26,0%					12
	2	18,8%	19,4%	23,5%	2,7%	24,0%		
2	3	20,9%	23,1%			27,0%		6
	4	17,5%	20,0%			23,0%		
	5	20,8%	23,1%			29,0%		
	6	15,7%	15,9%			20,0%		
	7	17,8%	18,7%			23,0%		
	8	18,5%	19,4%					
	9	17,0%	16,7%	18,9%	0,6%	24,0%		
3	10	22,2%	21,4%					6
	11	22,0%	23,8%					
	12	22,7%	23,5%					
	13	23,8%	25,0%	23,1%	0,4%			

4.1.6 Kosten

Für die Kostenkalkulation werden die von den Unternehmern verrechneten Stundensätze verwendet. Beim Rücken mit dem Forwarder fallen 51,0 €/h, für den Hacker 240 €/h und für den Lkw mit Abrollcontainer 46,0 €/h an. Es ergeben sich daraus Kosten für das Rücken von im Mittel 4,6 €/Srm. Die Hackkosten fallen aufgrund der aufgetretenen Wartezeiten mit 4,5 €/Srm hoch aus. Mit den Transportkosten von 2,9 €/Srm ergeben sich in Summe Bereitstellungskosten von 12,0 €/Srm. Die Transportkosten beinhalten die geschätzten anteiligen An- und Abfahrtskosten für den Einsatz.

Die Bereitstellungskosten reihen sich in jene der bisher in Österreich dokumentierten Studien im mittleren Bereich ein. Bei der von Rohrmoser und Stampfer (2003) durchgeführten Fallstudie Klosterneuburg wurde ein Weidenvorwald flächig geerntet. Im Gegensatz zur gegenständlichen Studie wurde dort im Baumverfahren gearbeitet. Vergleichbare Fallstudien über Schlagrücklass - Laubholz sind nicht vertreten.

Tabelle 9: Kosten für die Bereitstellung von Waldhackgut in der Fallstudie Klosterneuburg 2005 - Hacken von Laubrestholz im Schleppergelände mit mobilem Großhacker (exkl. MWSt.).

Fläche	Rücken	Hacken	Transport	Gesamtkosten
Kosten pro Schüttraummeter [€/Srm]				
1	11,3	4,8	3,7	19,8
2	2,9	4,4	2,6	9,8
3	4,3	4,5	3,0	11,8
Gesamt	4,6	4,5	2,9	12,0
Kosten pro atro-Tonne [€/atro-to]				
1	48,8	20,8	16,0	85,5
2	12,4	18,7	11,2	42,3
3	18,4	19,5	13,2	51,2
Gesamt	20,0	19,3	12,5	51,8
Kosten pro Energieeinheit [€/MWh]				
1	13,3	5,7	4,4	23,3
2	3,2	4,8	2,9	10,8
3	5,0	5,3	3,6	13,9
Gesamt	5,2	5,0	3,3	13,6

4.2 Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz

4.2.1 Einsatzflächen

Bei den aufgezeichneten Einsätzen handelt es sich in zwei Fällen um eine Seil- bzw. Schlepperrückung im Baumverfahren mit anschließender Aufarbeitung an der Forststraße durch einen Prozessor (Tabelle 10). Im dritten Fall wurde der auf der Kahlschlagfläche verbliebene Schlagabraum mittels Forwarder an die Forststraße transportiert und dort gehackt. Bei allen Einsätzen erfolgte der Abtransport des Hackgutes mit einem Schüttgut-Lkw-Zug.

Tabelle 10: Einsatzflächen Hacken von Schlagrücklass – Nadelholz.

Ort	Nutzungsart	Fläche [ha]	Verfahren
Eisenerz	Kahlschlag	1,5	Harvester - Forwarder - Vortransport mit Forwarder
Knittelfeld	Windwurf	k.A.	motormanuell - Schlepper - Prozessor
Stanz	Absäumungen, Durchforstung	k.A.	motormanuell - Seilkran - Prozessor - Vortransport mit Lkw

Die Umrechnung der gehackten Menge von Srm auf fm mit dem Faktor 2,7 ergibt eine Gesamtmenge von 351 fm. Das dem Hacker zugeführte Material wurde zu 82 % als Äste und Wipfel und zu rund einem Fünftel als Bruchstücke, Kappholz und sonstiges starkes Material angesprochen (Tabelle 11).

Tabelle 11: Zusammensetzung des dem Hacker zugeführten Materials und angefallene Menge an Hackgut.

Ort	zugeführtes Material [%]			Hackgut	
	Äste	Wipfel	Bruchstücke	[Srm]	[fm]*
Eisenerz	72	24	4	310	115
Knittelfeld	63	17	20	108	40
Stanz	63	8	29	529	196
	66	16	18	947	351

* Umrechnung mit Faktor 2,7

4.2.2 Vortransport

Für den Vortransport des Schlagabraumes auf der Fläche Stanz wurden 20 Lkw-Stunden verrechnet. Bei einem Stundensatz von 65,0 €/h für einen Rundholz-Lkw und umgelegt auf die angefallene Menge an Hackgut entspricht dies 2,5 €/Srm. Auf der Fläche Eisenerz wurde der Schlagabraum mittels Forwarder an die Forststraße transportiert, Aufzeichnungen die Kosten betreffend liegen jedoch nicht vor.

Bei der Kalkulation der Vortransportkosten spielt die erreichbare Ladedichte insofern eine bedeutende Rolle, als diese die entstehenden Kosten stark beeinflusst. Aus der Literatur sind Angaben über Ladedichten unterschiedlichen Materials bekannt (Tabelle 12). Die ÖNORM M 7132 gibt für das Sortiment „Knüppel, Äste, Reisig, geschichtet“ eine Ladedichte von 0,35 m³/rm an. Die Ladedichte von Hackgut G30 wird mit 0,40 m³/rm angegeben, diejenige von Hackgut G50 mit 0,33 m³/rm.

Tabelle 12: Ladedichten für Energieholz nach Patzak (1981) und Frey (1996).

Form des Energieholzes	Ladedichte in m ³ /rm
Bäume aus Jungbestandspflege	0,10 - 0,15
Bäume aus Jungdurchforstung	0,25
Schlagabraum	0,08 - 0,10
Hackschnitzel	0,40
Rundholzsortimente	0,60 - 0,70

Aufgrund des relativ hohen Anteils an starken Holzstücken im zugeführten Material mit 18% über alle Flächen, liegt die erreichbare Ladedichte bei den gegenständlichen Studien wohl deutlich über den für Schlagabraum angegebenen 0,08 – 0,10 m³/rm.

Berechnet man die Kosten beim Transport mit verschiedenen Ladedichten unter den in der Tabelle 13 angegebenen Annahmen und trägt diese über der Distanz auf, so wird die große Spreitung deutlich. Bei einer Distanz von fünf Kilometern beträgt die Differenz zwischen den Transportkosten bei einer Ladedichte von 0,25 m³/rm und einer Ladedichte von 0,15 m³/rm schon zwei Euro (Abbildung 12).

Tabelle 13: Eingangsgrößen zur Berechnung der Transportkosten von Schlagabraum mit Lkw.

Art	Einheit	Wert
lichtes Ladevolumen Lkw	m ³	30
Stundensatz Lkw	€/h	65
Zeit zum Be- und Entladen	min	20
Umrechnungsfaktor fm - Srm		2,7

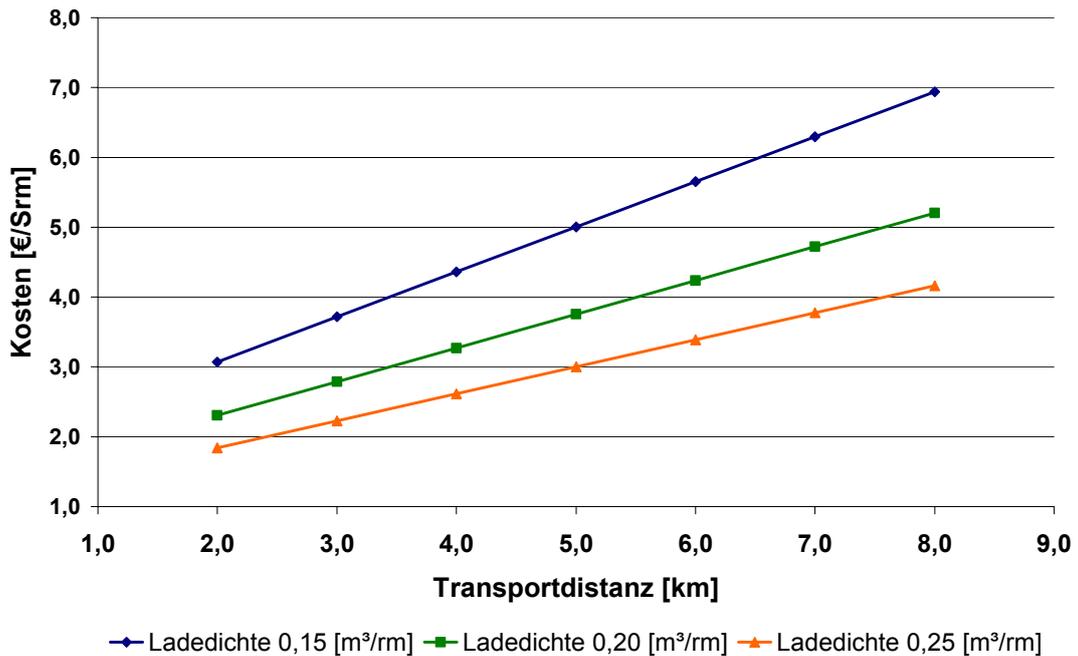


Abbildung 12: Transportkosten mit verschiedenen Ladedichten beim Transport mit Rundholz-Lkw zu einem Stundensatz von 65 €/h und einem lichten Ladevolumen von 30 m³.

4.2.3 Hacken

Der Anteil vom Hacken an der produktiven Arbeitszeit fällt bei den untersuchten Einsätzen mit einem Starchl U-1250 beim Hacken von Nadel-Schlagabraum mit 68 % relativ niedrig aus (Abbildung 13). Der Anteil des ablaufbedingten Wartens ist mit 9 % zwar deutlich niedriger als bei der Studie Klosterneuburg, lässt aber auf ein Optimierungspotenzial hinsichtlich der Organisation schließen. Der Anteil der Fortbewegung ist aufgrund Hackens entlang der Forststraße hoch.

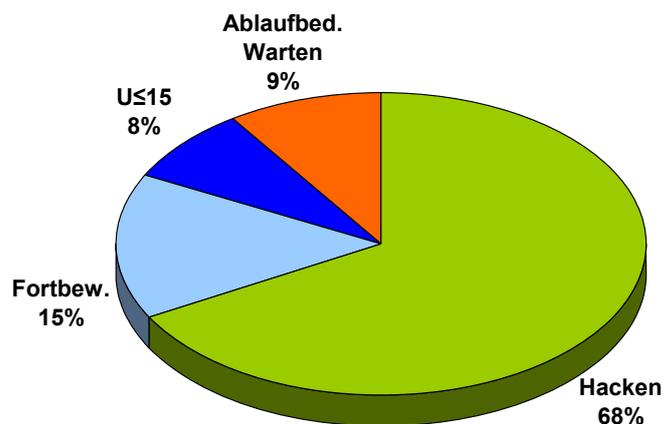


Abbildung 13: Verteilung der Arbeitszeit beim Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz.

Die Produktivitäten bei den dokumentierten Einsätzen (Tabelle 14) liegen für den Hacker mit 60 Srm/PSH₀ bzw. 55 Srm/PSH₁₅ auf etwa dem gleichen Niveau wie jene der Zeitstudie Klosterneuburg.

Tabelle 14: Hacken von Schlagabraum - Nadelholz bei drei Einsätzen mit einem Starchl U-1250.

Ort	Menge		Produktivität	
	[lutro-to]	[Srm]	[Srm/PSH ₀]	[Srm/PSH ₁₅]
Eisenerz	110	310	52	48
Knittelfeld	31	108	66	59
Stanz	186	529	61	57
	326	947	60	55



Abbildung 14: Hacken von Schlagabraum – Nadelholz.

4.2.4 Kosten

Für die Kostenkalkulation werden die von den Unternehmern verrechneten Stundensätze (exkl. MWSt.) verwendet. Die Kosten für die Vorkonzentration des Nadel-Schlagabraumes werden mit 2,5 €/Srm beziffert. Für den Hacker werden 240,0 €/h angesetzt.

Die Bereitstellungskosten für Schlagabraum – Nadelholz werden modellhaft für die Transportdistanzen von 10, 30, 60 und 100 km beim Transport mit Schüttgut-Lkw berechnet. Es wird für den Kostenvergleich darüber hinaus auch die Variante Schüttgut-Lkw mit Ladekran einbezogen. Bei diesem Verfahren wird das Hackgut beim Hacken direkt auf den Boden gelagert. Der Abtransport erfolgt dabei zu einem späteren Zeitpunkt mittels eines Schüttgut-Lkw, der mit einem Ladekran mit Schalengreifer ausgestattet ist. Dieses Verfahren stellt geringe Ansprüche an die Straßenverhältnisse (Maximalsteigungen der Forstraßen, Kurvenradien, Witterungsbedingungen usw.). Es ist prädestiniert für den Einsatz auf abgelegenen und schwer erreichbaren Ladeorten. Neben einem geringen Organisationsaufwand kann der Effekt des Wegfalles ablaufbedingter Wartezeiten beim Hacker einen deutlichen Kostenvorteil darstellen. Die Fahrzeiten werden mit dem Fahrzeitmodell von Friedl et al. (2004) geschätzt. Die Ladezeit beim Schüttgut-Lkw entspricht der Produktivität des Hackers. Die Anzahl der eingesetzten Lkw wird für den Schüttgut-Lkw in Abhängigkeit von der benötigten Umlaufzeit berechnet. Anfahrkosten für den Hacker und die Lkw werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 15: Eingangsgrößen zur Kostenkalkulation.

Art	Einheit	Wert
Hacker		
Produktivität	Srm/PSH ₀	60,0
Wartezeitanteil	%	9,0
Stundensatz	€/h	240,0
Schüttgut-Lkw ohne Ladekran		
Vortransport	€/Srm	2,5
Lichtes Raumaß	m ³	87,0
Stundensatz	€/h	60,0
Ladezeit	h	1,3
Entladezeit	h	0,3
Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer		
Lichtes Raumaß	m ³	81,0
Stundensatz	€/h	65,0
Ladezeit	h	1,6
Entladezeit	h	0,3

Abbildung 15 zeigt, daß die berechneten Bereitstellungskosten für Hackgut aus Nadelholz bei Verwendung eines Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer geringer sind als für Schüttgut-Lkw mit Direktbeladung durch den Hacker. Hauptverantwortlich für diesen Kostenunterschied sind die Prozesse Vortransport und Hacken.

Hacken mit Direktbeladung des Schüttgut-Lkw erfordert ein Nebeneinanderstehen der beiden Maschinen, was bei beengten Forststraßenverhältnissen in den seltensten Fällen möglich ist, weshalb eine Vorkonzentration des Materials an geeigneten Lagerplätzen notwendig ist. Die zusätzlichen Vortransportkosten können nur teilweise durch höhere Hackerproduktivitäten ausgeglichen werden.

Bei Verwendung eines Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer kann dieser Prozess jedoch entfallen, da der Hacker auf der Forststraße problemlos aufgestellt werden kann und der Abtransport des Hackgutes zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt. Durch die Entkoppelung von Hacken und Transport gibt es keine ablaufbedingten Wartezeiten des Hackers, was dessen Produktivität erhöht und somit die Kosten senkt. Die gegenüber einem Schüttgut-Lkw ohne Ladekran geringere Nutzlast bedingt eine geringere Produktivität des Schüttgut-Lkw mit Ladekran was in etwas höheren Transportkosten resultiert.

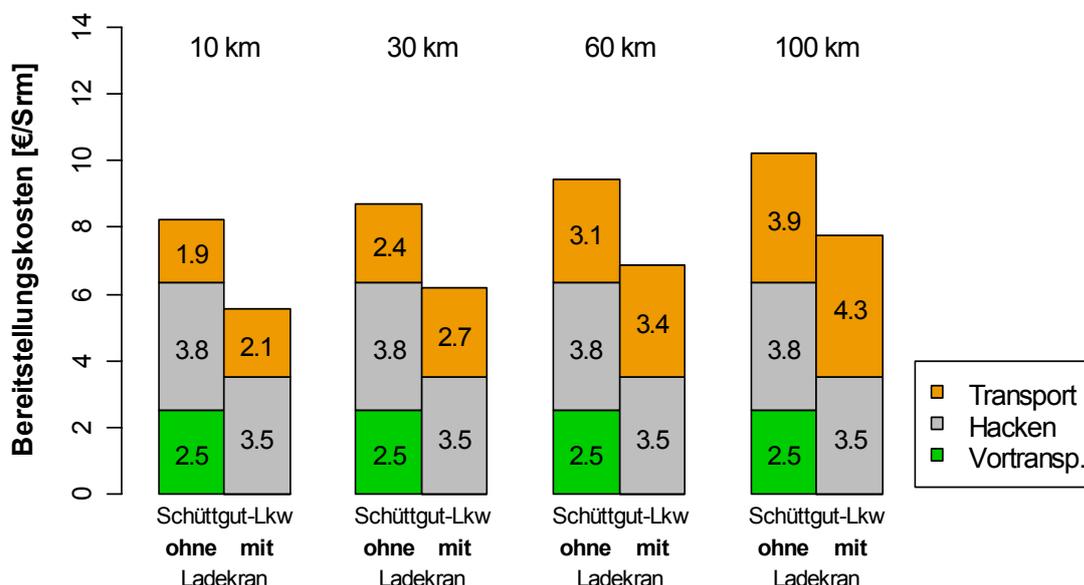


Abbildung 15: Kosten für verschiedene Nadelholz-Schlagrücklass Bereitstellungssysteme.

5 Kostenvergleich

Bezieht man die Transportkosten auf eine Transportdistanz von 30 km und vergleicht die sich ergebenden Bereitstellungskosten aller untersuchten Varianten, so scheint die Bereitstellung von Hackgut aus Laubholz mit 12,5 €/Srm am teuersten zu sein. Die Kosten für Hackgut aus Nadelholz liegen mit 8,7 bzw. 6,2 €/Srm darunter. Ein Grund dafür liegt in der Tatsache, dass der Schlagabraum beim Baumverfahren quasi als Koppelprodukt an die Forststraße gerückt wird. Rückekosten fallen daher im Gegensatz zum Laubholz nicht an. Kann bei Einsatz eines Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer der Vortransport weitgehend entfallen, verringern sich die Bereitstellungskosten nochmals.

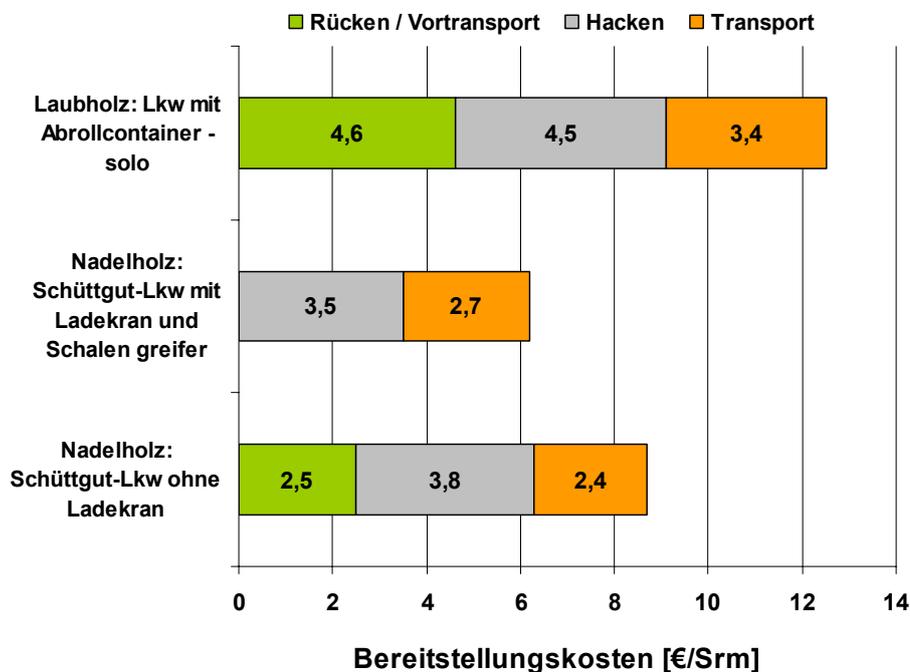


Abbildung 16: Bereitstellungskosten bezogen auf eine Transportdistanz von 30 km.

6 Probleme und Empfehlungen

6.1 Reduktion der ablaufbedingten Wartezeiten beim Hacken

Ziel von Arbeitsstudien ist es unter anderem, den Gesamtprozess so zu gestalten, dass ablaufbedingte Wartezeiten möglichst gegen Null gehen. Unterstellt man in den vorliegenden Fällen eine optimale Arbeitsgestaltung – sprich den Wegfall jeglicher ablaufbedingter Wartezeit – so erhöht sich die Produktivität des Hackers im Falle von Klosterneuburg von 60 auf 81 Srm/PSH₁₅ und beim Hacken von Schlagabraum – Nadelholz von 55 auf 59 Srm/PSH₁₅, was einem Optimierungspotenzial von 35% bzw. 7% entspricht (Abbildung 17).

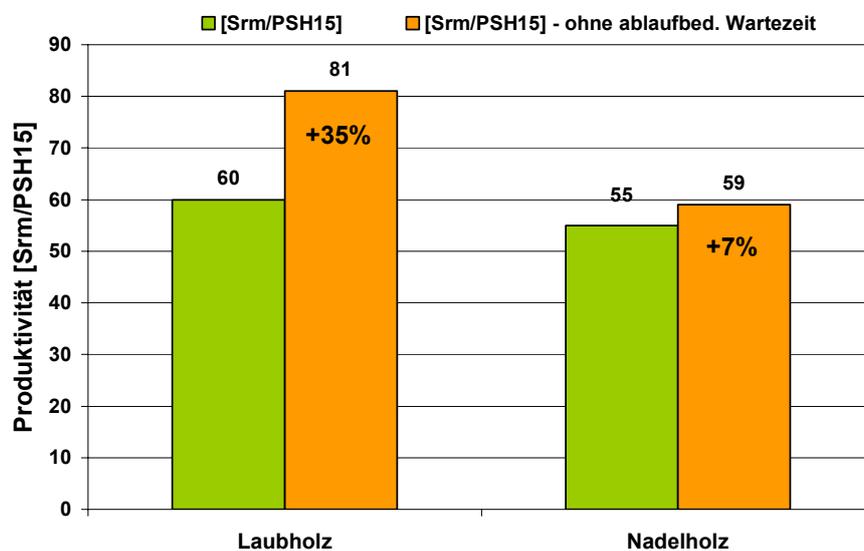


Abbildung 17: Produktivitätssteigerung des Hackers bei Wegfall von ablaufbedingten Wartezeiten.

6.2 Hacker mit Direktbeladung von Abrollcontainern

Platzangebot

Ein Problem stellt das geringe Platzangebot auf der Forststraße dar (Abbildung 18). Selbst im ebenen Gelände, wie beispielsweise im Auwald, ist es nicht möglich, den Hacker richtig zu platzieren, wenn das Hackholz zu nahe an der Forststraße gelagert wird. Auf richtige Lagerung in ausreichendem Abstand zur Straße ist daher unbedingt zu achten (Grieser, 2005).



Abbildung 18: Platzprobleme bei der Lagerung des Hackholzes direkt neben der Forststraße.

Staubentwicklung

Der niedrige Wassergehalt führte beim Hacken in Klosterneuburg zu hoher Staubentwicklung (Abbildung 19). Da Hacker auf diese Situation ausgelegt sind (Reinigungssystem für Kühler, Filter usw.), stellt dies beim Hacken selbst kein Problem dar. Anders verhält sich das mit den Lkw, welche das öffentliche Straßennetz benützen und deshalb mindestens deren Windschutzscheibe sowie Rückspiegel und Beleuchtungseinrichtungen frei sein müssen. Ebenfalls ist damit zu rechnen, dass sich der feine Holzstaub am Kühler, im Motorraum usw. ablegt (Überhitzungs- und Brandgefahr). Hier stellt der Einsatz von Abrollcontainer einen großen Vorteil im Vergleich zur Direktbeladung von Schüttgut-Lkw dar, weil der Lkw während der Beladung des Containers abseits warten kann.



Abbildung 19: Hohe Staubentwicklung beim Hacken von Laubholz mit geringem Wassergehalt.

Wechselfahrweise mit Abrollcontainer

Wechselcontainer würden theoretisch eine gebrochene Kette ermöglichen, da die Container im Vorfeld antransportiert und nach Beendigung des Hackens wieder abgeholt werden. Dieser Vorteil kann allerdings auf der Forststraße kaum ausgespielt werden, weil:

- Container aufgrund des geringen Platzangebotes nicht für längere Zeit abgestellt werden können.
- Die geringe Auswurfweite des Hackers ein direktes Aufstellen der Container neben dem Hacker erfordert.
- Die Anlieferung im Vorfeld mindestens eine zusätzliche Fahrt pro Einsatzort erfordert, wodurch keine Kostenvorteile entstehen. Dies ist aufgrund der geringen Einsatzmengen pro Ort besonders von Bedeutung.

Geringe Ladehöhe bei Abrollcontainern

Durch das Absetzen der Container verringert sich die Ladehöhe (Abstand Boden – Containeroberkante). Das kann vor allem bei schwierigen Forststraßenverhältnissen und/oder bei geringer Auswurfhöhe des Hackers von großem Vorteil sein (Abbildung 20). Speziell Schredder, wo das Hackgut über ein Förderband ausgeworfen wird, profitieren davon (Gruber, 2005).



Abbildung 20: Vereinfachte Direktbeladung bei Wechselcontainer durch die Möglichkeit des Aufklappens und Absetzens.

6.3 Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer

Der Schwerpunkt liegt im Abtransport von Waldhackgut an schwer erreichbaren, abgelegenen Einsatzorten. Das Transportfahrzeug stellt geringe Ansprüche an die Straßenverhältnisse und Witterung durch die Ausstattung mit einem 6x6-Antrieb. Weiters bieten der geringe Platzbedarf bei der Selbstbeladung mit dem montierten Ladekran und Schalengreifer erhebliche Vorteile gegenüber anderen Systemen. Weitere Stärken liegen in der flexiblen Einsatzplanung und dem geringen Organisationsaufwand. Die Anwendung ist sowohl in gekoppelten, als auch in entkoppelten Arbeitssystemen möglich.

Nachteilig auf die Produktivität und somit auf die Transportkosten wirkt sich der mitgeführte Ladekran durch die reduzierte Nutzlast aus.

Bei der Einsatzplanung ist auf die Qualität des Untergrunds des Waldhackgut-Haufens hinsichtlich Ladetätigkeit und auf die Reichweite des Ladekrans zu achten.

6.4 Abhängigkeit der Transportkosten vom Wassergehalt

Wie bereits im Abschnitt Vortransport erwähnt, spielt die Ladedichte für die Transportkosten eine bedeutende Rolle. Die erreichbare Ladedichte in kg/rm ist nicht nur von der Struktur des Ladegutes sondern auch von dessen Wassergehalt abhängig. Abbildung 21 vergleicht die Kosten beim Transport von Hackgut aus Rotbuche mit einem Schüttgut-Lkw und Direktbeladung mit unterschiedlichen Wassergehalten unter folgenden Annahmen (Tabelle 16).

Tabelle 16: Eingangsgrößen zur Berechnung der Kosten beim Transport von Hackgut unterschiedlicher Wassergehalte mit Schüttgut-Lkw.

Art	Einheit	Wert
Eigengewicht Schüttgut-Lkw	to	18,5
Höchstzul. Gesamtgewicht	to	38,0
lichtes Raumaß Schüttgut-Lkw	m ³	87,0
Beladezeit (=Produktivität Hacker)	Srm / PSH ₁₅	60,0
Wartezeitanteil	%	10,0
Fahrzeit	min / km	1,65
Entladezeit	min	15,0
Stundensatz	€ / h	60,0
mittleres atro-Gewicht Rotbuche lt. ÖNORM M 7132	kg / fm	680,0
Umrechnungsfaktor fm - Srm bei G30 lt. ÖNORM M 7132		2,5

Aufgrund der Fahrzeugdaten errechnet sich eine optimale Ladedichte von 224 kg/Srm. Bei konstantem Ladevolumen kann mit sinkendem Wassergehalt die Auslastung des Lkw somit von 56% bei W50 über 63% bei W40 auf 73% bei W30 verbessert werden. Dementsprechend verringern sich die Transportkosten. Es ergibt sich daraus beispielsweise bei einer Transportdistanz von 70 km ein Kostenunterschied zwischen W30 und W50 von rund einem Euro.

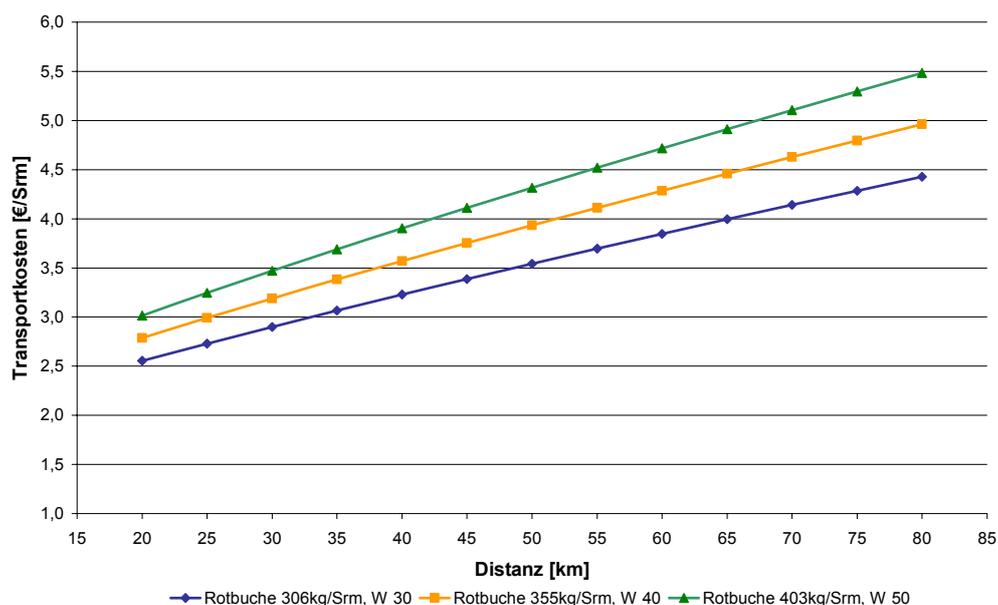


Abbildung 21: Kosten beim Transport mit unterschiedlichen Ladedichten.

7 Verzeichnisse

7.1 Literatur

- Frey, B. (1996): Untersuchungen über die Bereitstellung forstlicher Biomasse für eine moderne Biomasse-Heizanlage – dargestellt am Beispiel des Klostergutes Scheyern. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaften und Informatik, Universität München. 122 S.
- Friedl, K., Kanzian, Ch., Stampfer, K. (2004): Netzwerk Holz. Endbericht zu einer Studie im Auftrag des Kooperationsabkommens Forst-Platte-Papier und der Holzindustrie Österreichs. Eigenverlag des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien. 105 S.
- Golser, M., Pichler, W., Hader, F. (2005): Energieholz Trocknung. Endbericht. Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier. Wien. 138 S.
- 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. (2005): Bereitstellung von Waldhackgut. Verfahren Energieholz bündel im Gebirge. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften an der Universität für Bodenkultur Wien. 32 S.
- Patzak, W. (1981): Untersuchungen zum Transport von Biomasse vom Wald zu einem zentralen Lagerplatz für die Verhältnisse in Emmelshausen. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Rohrmoser, Ch., Stampfer, K. (2003): Effiziente Waldhackgutbereitstellung. Österreichische Forstzeitung (Arbeit im Wald), 114, 10, 4-5.
- Stampfer, K. (2002): Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge. Habilitationsschrift, Universität für Bodenkultur Wien. 96 S.

7.2 Mündliche Mitteilungen

- Grieser, M. (2005): Förster Stift Klosterneuburg, in A-3400 Klosterneuburg
- Gruber, M. (2005): Internationale Transporte GesmbH, in A-5585 Unternberg bei Tamsweg

7.3 Zitierte Normen

- ÖNORM M 7132 (1998): Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff. Begriffsbestimmungen und Merkmale. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), 9 S.
- ÖNORM M 7133 (1998): Hackgut für energetische Zwecke. Anforderungen und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), 7 S.

7.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung des Verfahrensablaufes der Fallstudie Klosterneuburg.	2
Abbildung 2: Schematisch dargestellter Prozessablauf beim Einsatz eines Solo-Lkw mit Abrollcontainern.....	3
Abbildung 3: Schlagrücklass der Fläche 1 (geschätzter Rauminhalt 240 m ³ , Festgehalt ca. 27 fm und Energieinhalt ca. 60 MWh).....	4
Abbildung 4: Hacker Starchl 1200-800 auf Lkw.....	4
Abbildung 5: Lkw-Zug mit Abrollcontainern zu je 36 Srm Fassungsvermögen.....	4
Abbildung 6: Verfahrensablauf beim Hacken von Nadel-Schlagabraum.	5
Abbildung 7: Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz mit Direktbeladung auf Schüttgut-Lkw.....	6
Abbildung 8: Beispiel für die Benutzeroberfläche LogRac am PPC im Arbeitsschritt „Unterbrechung“.	8
Abbildung 9: Standard PDA mit Datenaufzeichnungssoftware im Lkw.....	8
Abbildung 10: Verteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in der Studie Klosterneuburg.	10
Abbildung 11: Verteilung der Arbeitsschritte aus den Aufzeichnungen des PDA für den Lkw 3.....	11
Abbildung 12: Transportkosten mit verschiedenen Ladedichten beim Transport mit Rundholz-Lkw zu einem Stundensatz von 65 €/h und einem lichten Ladevolumen von 30 m ³	17
Abbildung 13: Verteilung der Arbeitszeit beim Hacken von Schlagrücklass - Nadelholz.	17
Abbildung 14: Hacken von Schlagabraum – Nadelholz.....	18
Abbildung 15: Kosten für verschiedene Nadelholz-Schlagrücklass Bereitstellungssysteme.....	20
Abbildung 16: Bereitstellungskosten bezogen auf eine Transportdistanz von 30 km.	21
Abbildung 17: Produktivitätssteigerung des Hackers bei Wegfall von ablaufbedingten Wartezeiten.	22
Abbildung 18: Platzprobleme bei der Lagerung des Hackholzes direkt neben der Forststraße.....	23
Abbildung 19: Hohe Staubentwicklung beim Hacken von Laubholz mit geringem Wassergehalt.	24

Abbildung 20: Vereinfachte Direktbeladung bei Wechselcontainer durch die Möglichkeit des Aufkippens und Absetzens.	25
Abbildung 21: Kosten beim Transport mit unterschiedlichen Ladedichten.	26

7.5 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemvergleich Schüttgut-Lkw-Zug.....	6
Tabelle 2: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Hacken.	7
Tabelle 3: Vollständig bearbeitete Nutzungsflächen im Rahmen dieser Fallstudie.....	9
Tabelle 4: Raummaße und anfallendes Hackgut bei den drei Einsatzorten.	9
Tabelle 5: Aufzeichnungen über das Rücken mit dem Forwarder und die resultierenden Produktivitäten.	10
Tabelle 6: Produktivitäten des Hackers bezogen auf verschiedene Zeitsysteme	11
Tabelle 7: Transportzeiten, Anzahl der Fahren und Produktivitäten für die Einsatzorte.	12
Tabelle 8: Wassergehalt bestimmt mit der Darrschrankmethode und mit einem elektrischen Messgerät des Heizwerkes.	13
Tabelle 9: Kosten für die Bereitstellung von Waldhackgut in der Fallstudie Klosterneuburg 2005 - Hacken von Laubrestholz im Schleppergelände mit mobilem Großhacker (exkl. MWSt.).....	14
Tabelle 10: Einsatzflächen Hacken von Schlagrücklass – Nadelholz.....	15
Tabelle 11: Zusammensetzung des dem Hacker zugeführten Materials und angefallene Menge an Hackgut.	15
Tabelle 12: Ladedichten für Energieholz nach Patzak (1981) und Frey (1996).....	16
Tabelle 13: Eingangsgrößen zur Berechnung der Transportkosten von Schlagabraum mit Lkw.	16
Tabelle 14: Hacken von Schlagabraum - Nadelholz bei drei Einsätzen mit einem Starchl U-1250.	18
Tabelle 15: Eingangsgrößen zur Kostenkalkulation.....	19
Tabelle 16: Eingangsgrößen zur Berechnung der Kosten beim Transport von Hackgut unterschiedlicher Wassergehalte mit Schüttgut-Lkw.	26

WALDHACKGUT
SCHLAGRÜCKLASS

2006

FALLBEISPIELE

©BOKU FORSTECHNIK