



**Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel -  
Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen**

Titelbild: „Timberchipper“ bei der Hackschnitzelübergabe (Foto: LWF)

**ISSN 0945 – 8131**

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers.

Verfasser: Stefan Wittkopf, Uwe Hömer und Stefan Feller  
(Grundlage: Norbert Remler, Manfred Fischer (1996): Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln. Berichte aus der LWF Nr. 11)

Herausgeber und  
Bezugsadresse: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)  
Am Hochanger 11  
85354 Freising  
Tel. / Fax 08161 - 71 - 4881 / - 4971  
E-mail: [poststelle@fo-lwf.bayern.de](mailto:poststelle@fo-lwf.bayern.de) \* Internet: [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de)

Verantwortlich: Olaf Schmidt,  
Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Redaktion und  
Schriftleitung: Dr. Alexandra Wauer

Schlussredaktion: Dr. Joachim Hamberger

Redaktionsassistentin: Hildegard Naderer

© Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Mai 2003

## **Vorwort**

Seit einigen Jahren boomt der Einsatz von Hackschnitzelheizungen und der Bau von Heizwerken auf Biomasse-Basis. Der Grund dafür liegt in einem wachsenden Bewusstsein der Endlichkeit unserer Ressourcen an fossilen Energieträgern und der Notwendigkeit, diese durch nachwachsende zu ersetzen. Holz kommt im Bereich der Wärmeversorgung eine herausragende Stellung zu [EUROPÄISCHE KOMMISSION 1997: WEIBBUCH „ENERGIE FÜR DIE ZUKUNFT: ERNEUERBARE ENERGIETRÄGER“ und BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: GESAMTKONZEPT NACHWACHSENDE ROHSTOFFE VOM 28.04.2003]. Der Einsatz von Holzhack-schnitzeln ist bei Heizwerkprojekten mit intelligenter Konzeption und mit hohen Jahreslaufzeiten wirtschaftlicher als die Konkurrenz auf fossiler Basis mit Erdgas und Heizöl. Die Technik ist mittlerweile ausgereift.

Bevor die Hackschnitzel aber energetisch genutzt werden können, müssen sie für die Heizanlage so rationell wie möglich bereitgestellt werden. Waldbesitzer wollen daher umfassend darüber informiert werden, welche Verfahren geeignet sind. Diese sollen ihren jeweiligen ökonomischen, aber auch ergonomischen und ökologischen Ansprüchen genügen.

Der vorliegende LWF-Bericht versucht, den neuesten Kenntnisstand praxisgerecht und prägnant darzustellen. Grundlage ist der vergriffene Bericht Nr. 11 „Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln“, den Norbert Remler und Manfred Fischer 1996 vorlegten. Uwe Hömer und der Holzenergieberater der LWF, Stefan Wittkopf, aktualisierten das Manuskript. Sie ergänzten es um Ergebnisse aus Zeitstudien, die im Rahmen von Projektarbeiten im Sachgebiet unter Leitung von Helmut Weixler und Stefan Feller durchgeführt wurden. Allen genannten Mitarbeitern sei an dieser Stelle für die hervorragende Arbeit während ihrer Zeit an der LWF gedankt.

Dr. Gunther Ohrner

Leiter des Sachgebietes

Waldarbeit und Forsttechnik

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung.....</b>  | <b>4</b> |
| <b>2</b> | <b>Material und Methoden .....</b>  | <b>5</b> |
|          | 2.1 Leistungs- und Kostenwerte .....  | 5        |
|          | 2.2 Lohnkosten .....  | 6        |
|          | 2.3 Maschinenkosten .....   | 6        |
| <b>3</b> | <b>Produktionsabschnitte für die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln –<br/>Maschinen und Arbeitsverfahren, Leistungen und Kosten.....</b> | <b>7</b> |
|          | 3.1 Fällern .....   | 8        |
|          | 3.1.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 8        |
|          | 3.1.2 Leistung beim Fällern .....   | 9        |
|          | 3.1.3 Kosten des Fällens.....   | 10       |
|          | 3.2 Vorliefern des Hackholzes.....  | 12       |
|          | 3.2.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 12       |
|          | 3.2.2 Leistung beim Vorliefern .....  | 14       |
|          | 3.2.3 Kosten des Vorlieferns .....  | 15       |
|          | 3.3 Fällern/Vorliefern bzw. Fällern/Aufarbeiten/Vorliefern.....   | 15       |
|          | 3.3.1 Verfahrensmerkmale .....  | 15       |
|          | 3.3.2 Leistung.....   | 15       |
|          | 3.3.3 Kosten.....   | 17       |
|          | 3.4 Rücken .....  | 19       |
|          | 3.4.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 19       |
|          | 3.4.2 Leistung beim Rücken.....   | 23       |
|          | 3.4.3 Kosten des Rückens.....   | 24       |
|          | 3.5 Kombination von Fällern, Vorliefern und Rücken .....  | 25       |
|          | 3.5.1 Merkmale des Verfahrens.....  | 25       |
|          | 3.5.2 Leistung.....   | 26       |
|          | 3.5.3 Kosten.....   | 26       |
|          | 3.6 Sonderfall: Bündelung von Schlagabraum .....  | 27       |
|          | 3.6.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 27       |
|          | 3.6.2 Bündelmaschinen .....   | 28       |
|          | 3.7 Hacken .....  | 30       |
|          | 3.7.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 30       |
|          | 3.7.2 Leistung beim Hacken.....   | 36       |
|          | 3.7.3 Die Kosten des Hackens.....   | 37       |
|          | 3.8 Ferntransport.....  | 39       |
|          | 3.8.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts .....  | 39       |
|          | 3.8.2 Leistung und Kosten beim Ferntransport .....  | 42       |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>4</b>  | <b>Mögliche Bereitstellungssysteme für Hackschnitzel.....</b>  | <b>47</b> |
| 4.1       | Vorliefern von Hand, Hacken auf der Rückegasse.....  | 47        |
| 4.2       | Vorliefern mit dem Pferd, Rücken mit Kranrückewagen .....  | 49        |
| 4.3       | Teilmechanisiertes Fällen, Vorliefern/Rücken, Hacken auf der Waldstraße<br>mit kranbeschicktem Anhängenhacker.....                             | 51        |
| 4.4       | Fällen/Vorliefern mit Seilschlepper; Rücken und Hackholztransport mit<br>Kran-rückewagen zum Lagerplatz/Heizanlage, Hacken am Lagerplatz ..... | 53        |
| 4.5       | Verfahren „Neustadt“; Aufteilung der Bestandsfläche in Zangenzone/<br>Seilzone, Rücken mit Zangenschlepper, Hacken auf der Waldstraße .....    | 54        |
| 4.6       | Teilmechanisiertes Fällen und Vorliefern mit Seilschlepper; Hacken auf der<br>Rückegasse mit Aufbauhacker .....                                | 57        |
| 4.7       | Vollmechanisiertes Fällen und Vorliefern mit Harvester, Rücken mit<br>Forwarder, Hacken auf der Waldstraße .....                               | 58        |
| 4.8       | Vollmechanisiertes Fällen, Vorliefern und Hacken mit Hackschnitzel-<br>Harvester, Rücken mit Transportfahrzeug (Shuttle).....                  | 60        |
| <b>5</b>  | <b>Daten zur Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Bayern .....</b>   | <b>63</b> |
| <b>6</b>  | <b>Diskussion .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>7</b>  | <b>Zusammenfassung .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>8</b>  | <b>Summary.....</b>  | <b>70</b> |
| <b>9</b>  | <b>Literatur .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>10</b> | <b>Anhang.....</b>   | <b>75</b> |
| 10.1      | Tabellenverzeichnis .....  | 75        |
| 10.2      | Abbildungsverzeichnis .....  | 75        |
| 10.3      | Umrechnung Erntefestmeter - BHD .....  | 76        |
| 10.4      | Kalkulationsgrundlagen - Stundensätze für Arbeitskräfte und Maschinen .....  | 77        |
| 10.5      | Umrechnungszahlen für Energieholz .....  | 78        |
| 10.6      | Abkürzungen.....   | 79        |

## 1 Einleitung

In den vergangenen Jahren und Jahrzehnten wurden zahlreiche Bestrebungen in Gang gesetzt, um die CO<sub>2</sub>-Anreicherung in der Erdatmosphäre zu reduzieren und damit den globalen Treibhauseffekt zu verlangsamen. Beispielsweise wird im Nationalen Klimaschutzprogramm der Bundesrepublik Deutschland vom 18. Oktober 2000 das ehrgeizige Ziel formuliert, die bundesweite CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge bis 2005 gegenüber dem Basisjahr 1990 um 25 % zu vermindern.

Vor diesem Hintergrund wächst die Bedeutung von Holz und anderen nachwachsenden Rohstoffen in der Energiewirtschaft. Die energetische Nutzung von Holz wird als annähernd CO<sub>2</sub>-neutral erachtet, da das bei der Verbrennung freiwerdende Kohlendioxid in der nachwachsenden Biomasse wieder gebunden wird. Mit wachsendem Preisniveau fossiler Brennstoffe steigt zudem die Konkurrenzfähigkeit der alternativen Energieträger.

Dabei ist insbesondere auf dem Gebiet der Hackschnitzelproduktion und -verwertung reges Interesse zu verzeichnen. Während der letzten Jahre wurden zahlreiche Anlagen zur energetischen Nutzung von Hackschnitzeln in Betrieb genommen. Die Waldbesitzer als Lieferanten sehen in der Erzeugung von Waldhackschnitzeln aus dem bisher schwer absetzbaren Schwachholz eine Möglichkeit, Pflege-rückstände in ihren Wäldern aufzuarbeiten.

Entscheidend für die Rentabilität der Hackschnitzel-Bereitstellung ist die effektive Gestaltung der Produktionskette „vom Wald ins Heim“. Dem unternehmerischen Entscheidungsträger stellt sich die Frage, welches Verfahren unter den im eigenen Fall vorliegenden Bedingungen am zweckmäßigsten ist. Dafür wurde in dieser Studie das in der Literatur vorhandene Material zu den dokumentierten Verfahren aufbereitet.

Bereits im Jahre 1996 erschien die erste Auflage des LWF-Berichts Nr.11 „*Kosten und Leistungen bei der Aufarbeitung von Waldhackschnitzeln*“. Mit der nun vorliegenden aktualisierten Fassung ist die Weiterentwicklung des Wissensstandes auf diesem Gebiet berücksichtigt. Im Zuge des technischen Fortschritts stehen alternative Produktionsverfahren zur Auswahl, bei den schon bisher bekannten Systemen liegen inzwischen zusätzliche Erfahrungswerte vor. Schließlich wurden die Kalkulationsgrundlagen der Produktionskosten (Personal und Maschinen) dem aktuellen Preisniveau angeglichen, die DM-Beträge in Euro umgerechnet.

Diese Studie soll insbesondere für kommunale und bäuerliche Waldbesitzer als Hilfe zur betriebswirtschaftlichen Entscheidungsfindung dienen. Daher wird auf die Einsatzmöglichkeit der dargestellten Varianten unter den spezifischen forsttechnischen und betriebswirtschaftlichen Voraussetzungen in diesen Zielgruppen eingegangen.

## 2 Material und Methoden

Um eines oder mehrere Aufarbeitungssysteme für die Erzeugung von Waldhackschnitzeln empfehlen zu können, ist es zuerst notwendig, die einzelnen Produktionsabläufe hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Kosten zu beurteilen.

Daher werden zunächst die einzelnen Abläufe (Fällen, Aufarbeiten, Vorliefern, Rücken, Hacken, Transport bzw. Kombinationen dieser Teilschritte) aufgegliedert und wo nötig nach dem Mechanisierungsgrad (motormanuell, teil- oder vollmechanisiert) unterschieden. In *Kapitel 3* werden diese Produktionsschritte sowie die dazu benötigten Maschinen beschrieben. Auf Grund seiner Bedeutung wird ausführlich auf den Ort, an dem der Hackvorgang stattfindet (Rückegasse, Waldstraße oder zentraler Aufarbeitungsplatz), eingegangen.

### 2.1 Leistungs- und Kostenwerte

Jeweils nach dem beschreibenden Teil werden in *Kapitel 3* Leistungs- und Kostenwerte aus Versuchseinsätzen oder Modellen für den jeweiligen Produktionsabschnitt in Abhängigkeit vom BHD dargestellt.

Waren in der jeweils zugrunde liegenden Studie Leistung und Kosten auf die Stückmasse bezogen, so wurde der BHD-Wert zur jeweiligen Stückmasse nach dem im Anhang aufgeführten Schema ermittelt.

Grundlage dieser Vorgehensweise waren Baumkurven, die die LWF im Jahre 1999 im Rahmen einer Studie mit dem Timberchipper in einem Durchforstungsbestand im Bereich des Forstamtes Geisenfeld ermittelte. Dabei ist den Verfassern der vorliegenden Arbeit bewusst, dass die damals vorliegenden Formigkeitswerte zunächst nicht verallgemeinert werden können. Mangels Literaturdaten aus anderen Studien entschloss man sich aber trotz eventueller Ungenauigkeiten zu diesem Verfahren.

Für viele Teilschritte der Hackschnitzelbereitstellung liegen in der Fachliteratur keine auf die Hackschnitzelproduktion bezogenen Leistungs- und Kostendaten vor, obwohl sie bereits praktiziert werden bzw. ihr Einsatz zumindest denkbar wäre. Für diese Fälle wurden Leistungszahlen aus der konventionellen Schwachholzernte herangezogen und in die Bezugseinheit Schüttraummeter (Srm) umgerechnet. Die im Anhang (siehe Kapitel 10.5) genannten Faktoren ermöglichen Umrechnungen in andere Bezugseinheiten (z. B. Tonne).

Da im Gegensatz zur Industrieholzbereitstellung die Entastungsqualität bei der Hackschnitzelaufarbeitung geringeren Ansprüchen genügt, sind die hier ermittelten Leistungsdaten als Minimalwerte, die Kostensätze dementsprechend als Maximalwerte aufzufassen. In Kapitel 4 werden davon ausgehend ausgewählte und in der Praxis gängige Verfahrensketten umfassend beschrieben. Kosten und Leistungswerte der Verfahren sind jeweils für die BHD-Stufen 10, 15 und wenn möglich 20 cm angegeben. Die Beurteilung schließt weiterhin Einsatzbereiche und -grenzen, Aspekte der Ergonomie sowie der Boden- und Bestandespfleglichkeit ein.

Entsprechend der Zielsetzung des Berichtes werden in Kapitel 5 die einzelnen Varianten verglei-

chend diskutiert. Hier wird insbesondere auf verfahrensspezifische Gesichtspunkte eingegangen, die der Waldbesitzer bei seiner Entscheidung zugunsten eines bestimmten Bereitstellungsverfahrens in Betracht ziehen muss.

## **2.2 Lohnkosten**

Ein wesentlicher Kostenfaktor bei der Aufarbeitung von Waldhackschnitzeln sind die Ausgaben für das Personal bzw. die in Ansatz gebrachten Lohnkosten.

In diesem Bericht wurden die Personalkosten einheitlich mit einem Maschinenringsatz von 10 Euro/Stunde berechnet. Bei vollmechanisierten Verfahren oder Teilschritten, bei denen man annehmen kann, dass die Arbeiten an Unternehmer vergeben werden müssen, wird ein höherer Lohn (25,-- €/h) als Kalkulationsgrundlage angesetzt.

Als kalkulatorischer Stundensatz eines bäuerlichen Waldbesitzers für die eigene Arbeitskraft wird ein Maschinenringsatz von 10,-- €/h unterstellt.

## **2.3 Maschinenkosten**

Um die Vergleichbarkeit mit den in älteren und neueren Studien ermittelten Maschinenkosten zu gewährleisten, wurde bei den jeweils eingesetzten Maschinen - bei zum Teil unterschiedlicher Leistungsstärke - mit einheitlichen Kostensätzen (auf der Grundlage aktueller Empfehlungen des KWF) neu kalkuliert. Damit wird der seit der Durchführung der jeweiligen Studie vorangeschrittenen Kostenentwicklung Rechnung getragen. In älteren Verfahren wurde zum Teil mit heute technisch überholten Maschinen gearbeitet. In diesen Fällen wurde, wenn keine brauchbaren Daten neueren Datums vorlagen, für die alten Geräte mit den aktuellen Kostensätzen der Nachfolgemodelle (z. B. bei den Seilschleppern) kalkuliert. Diese Vorgehensweise führt zu wesentlich realistischeren Kosten als dies beim Belassen der veralteten Kostensätze möglich gewesen wäre.

Die Maschinenkosten beinhalten Abschreibungen, Reparatur-, Wartungs- und Betriebsstoffkosten, An- und Abfahrt, Umsetzen sowie sonstige Kosten (Versicherung, Verwaltung etc.). Die angewandten Kostensätze für die eingesetzten Maschinen werden im Anhang aufgelistet (siehe Kapitel 10.4).

Bei den Motorsägenkosten wurde pro Maschinenarbeitsstunde mit einem Betrag von 6,39 € (vorher 12,50 DM) gerechnet. Dieser Kostensatz beinhaltet bereits die Verwendung von Sonderkraftstoffen zur Verringerung der Gefahrstoffbelastung.



### 3 Produktionsabschnitte für die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln – Maschinen und Arbeitsverfahren, Leistungen und Kosten

Es erscheint zunächst sinnvoll, den Bereitstellungsprozess in einzelne Abschnitte zu gliedern. Sie stellen - isoliert betrachtet - sowohl arbeitstechnisch als auch kalkulatorisch eine Einheit dar, der Leistung und Kosten eindeutig zuzuordnen sind. Diese Einteilung bietet außerdem die Möglichkeit, unterschiedliche Produktionsvarianten, d.h. Kombinationen von Maschinen und Arbeitsverfahren, nach Leistungsfähigkeit und Kostenbelastung zu bewerten.

Bei konventioneller Aufarbeitung lassen sich folgende Abschnitte identifizieren:

- Fällen (mit Aufarbeiten, für Hackholz in der Regel nur grobes Entasten und Zopfen)
- Vorliefern
- Rücken (Hackholz oder Hackschnitzel)
- Hacken
- Transport (Hackholz oder Hackschnitzel)

Die Abfolge der Bereitstellungsabschnitte - Rücken, Hacken, Transport - hängt in erster Linie davon ab, an welcher Stelle der Kette der Hackvorgang stattfindet (Rückegasse, Waldstraße oder zentraler Aufarbeitungsplatz). Wird beispielsweise bereits auf der Rückegasse gehackt, findet das Hacken vor dem Rücken statt. Die weitere Bereitstellungskette muss entsprechend darauf abgestimmt werden.

Die anfallende Hiebmenge und die Verfügbarkeit der Geräte und Maschinen bestimmen im Wesentlichen die Auswahl der Maschinen für die Arbeitskette.

Unter **Hackholz**<sup>1</sup> ist hier das Rohmaterial zu verstehen, das den Hackern zugeführt wird, um daraus **Hackschnitzel** zur energetischen Nutzung zu gewinnen. Hackholz kann aus ganzen Bäumen (entastet oder nicht) oder aus Baumteilen bestehen.

Je nach Mechanisierungsgrad und Organisation innerhalb der Bereitstellungskette sind mehrere Produktionsabschnitte so eng miteinander verknüpft, dass sie einen Arbeitsgang darstellen und bei Zeitstudien gemeinsam erfasst werden. Am häufigsten geschieht dies mit den Kombinationen „Fällen/Vorliefern“ und „Fällen/Vorliefern/Rücken“, wie z. B. beim *Modifizierten Goldberger Verfahren* oder beim Einsatz von Harvestern.

---

<sup>1</sup> Abweichend vom LWF-Bericht Nr. 11 „Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln“ wird das Rohmaterial, das dem Hacker zugeführt wird, nicht mehr als „Hackgut“, sondern als „Hackholz“ in Anlehnung an die ÖNORM M 7132 (1986) bezeichnet.

## 3.1 Fällen

### 3.1.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts

Das **motormanuelle Fällen mit der Motorsäge** ist trotz der hohen Belastung des Motorsägenführers nach wie vor das Standardverfahren in der Holzernte.

Im Nadel- und Laubschwachholz kommen Fälltechniken mit Fällheber oder auch Hebelfällkarren bereits in Betracht, sind aber erst ab ca. BHD 14 cm effektiv. Im schwächeren Bereich wird zumeist ohne Anlage eines Fallkerbes mit einem waagerechten oder leicht schrägen Schnitt vom Stock getrennt. Der Stamm wird dabei mit der Schulter oder mit einer Fällhilfe zu Boden gebracht. Bei schwierigen Arbeitsbedingungen kann der Einsatz von Keilen oder eine Seilunterstützung notwendig werden, um eine vorgegebene Fällordnung einzuhalten. Stehende Stämme sollten mit der Motorsäge bis in Brusthöhe aufgeastet werden, da dies für den nachfolgenden Hackereinsatz vorteilhaft ist.

Wegen der stark eingeschränkten Bewegungsfreiheit der Arbeiter in zu durchforstenden Beständen lassen sich *Freischneidegeräte* nur bedingt einsetzen, auch wenn ein geringer BHD (bis ca. 12 cm) dies zulassen würde. Aus demselben Grund müssen vielfach auch *Axt* oder *Heppe* ausscheiden.

Beim **teilmechanisierten Fällen mit Motorsäge und Windenunterstützung** steht ein mit einer funkferngesteuerten Doppeltrommelseilwinde ausgerüsteter Schlepper auf der Rückegasse. Der Waldarbeiter zieht das Windenseil bis zum letzten Baum der Seillinie aus. Das Anhängen des Baumes kann vor oder nach dem Trennschnitt erfolgen. Durch das Einziehen des Seiles wird der Baum zu Fall gebracht und zum nächsten zu entnehmenden Baum vorgeliefert. Pro Seillinie werden je nach Stückmasse vier bis sechs Bäume gefällt und zur Rückegasse gezogen.

Bei diesem Vorgehen sind die Teilabschnitte Fällen und Vorliefern direkt miteinander verknüpft. In der Literatur sind deshalb häufig gemeinsame Kosten oder Leistungen angegeben.



*Abb. 1: Leichter Durchforstungsharvester Timberjack 870 B*

Zum **vollmechanisierten Fällen** dienen Vollernter (Harvester) (Abb. 1) oder spezielle Fällmaschi-

nen wie Fäller/Bündler (Feller/Buncher). Vollernter sind multifunktionale mobile Holzerntemaschinen, die entweder die Teilarbeiten Fällen, Entasten (mit Abzopfen) und Vorliefern oder, bei modernen Aggregaten die Regel, auch das Einschneiden und somit die gesamte Aufarbeitung ausführen. Ihre Leistung unterliegt einem deutlichen Stückmasseeinfluss. Fäller/Bündler decken die Arbeitsabschnitte Fällen und Vorliefern ab. Sie sind auch in der Lage, mehrere Stämmchen stehend vor dem Ablegen zu bündeln. Da Hackschnitzel in der Regel aus Vollbäumen produziert werden, reichen diese Geräte dafür aus.

Mit den vollmechanisierten Ernteverfahren wird die höchste technische Arbeitsproduktivität (TAP) erzielt. Voraussetzung für diese Verfahren ist die eindeutige Auszeichnung des ausscheidenden Bestandes. Dadurch wird der gewünschte waldbauliche Effekt gewährleistet und sichergestellt, dass Auswahlentscheidungen des Maschinenführers die Leistung des Gerätes nicht mindern. Die maximalen Reichweiten bei Kranharvestern mit Radfahrwerk betragen etwa 10 m. Bei Abständen von mehr als 20 m zwischen den Rückegassen ist motormanuelles Zufällen, von mehr als 30 bis 40 m zusätzlich der Einsatz von Seilwinden notwendig.

Prototypen von Vollerntern mit aufgebautem Hackaggregat („Hackschnitzel-Harvester“) befanden sich während der letzten Jahre verschiedentlich im Einsatz (Abb. 2), konnten sich aber in der forstlichen Praxis nicht durchsetzen. Eine Ursache dafür sind die hohen Kosten dieser Maschine. Um sie effektiv einzusetzen, ist ein zusätzliches Transportfahrzeug (Shuttle) von Vorteil, das die auf der Rückegasse erzeugten Hackschnitzel zur Waldstraße rückt (Kosten ca. 75 €/MAS nach FELLER, REMLER, WEIXLER 1998). Der Hackschnitzel-Harvester wäre dazu zwar auf Grund des integrierten Containers selbst in der Lage, das Hackaggregat könnte aber während dieser Zeit nicht arbeiten. Dies wäre angesichts der hohen Kostenbelastung von rund 140 € pro Maschinenarbeitsstunde (FELLER, REMLER, WEIXLER 1998) nicht wirtschaftlich.



*Abb. 2: Hackschnitzel-Harvester mit schwenkbarer Kabinen-Ausleger-Einheit*

### **3.1.2 Leistung beim Fällen**

Zwischen dem Brusthöhendurchmesser (BHD) und der Leistung beim Fällen existiert ein starker Zusammenhang. Dabei ist eine lineare Abhängigkeit zu erkennen. Die Technische Arbeitsproduktivität

tät erhöht sich nach PATZAK (1984) um  $0,87 \text{ m}^3$  Hackschnitzel (HS)/h Reine Arbeitszeit (RAZ), wenn der Durchschnitts-BHD um 1 cm steigt. Bei den einzelnen Baumarten gibt es keine signifikanten Unterschiede. Aus diesem Grund werden im folgenden die Kosten- und Leistungsdaten des Fällens nicht nach Baumarten unterschieden, sondern differenziert nach BHD und Mechanisierungsgrad der Aufarbeitung wiedergegeben. Für den Produktionsabschnitt „Fällen“ standen in der Fachliteratur nur Leistungs- und Kostendaten für motormanuelle Verfahren zur Verfügung. Bei höhermechanisierten Bereitstellungsketten wurde das Fällen häufig gemeinsam mit dem Vorliefern oder mit dem Rücken erfasst. Entsprechend sind die vorgefundenen Daten in den folgenden Abschnitten dargestellt.

### Leistung (motormanuell)

Die Leistung beim motormanuellen Fällen ist in Abbildung 3 dargestellt. Dem Trend der Grafik folgend lässt sich für einen BHD von 10 cm eine Leistung von etwa 5 Srm HS/h GAZ feststellen. Entsprechend dem Stück-Masse-Gesetz steigt die Leistung und erreicht bei einem BHD von 15 cm ca. 8,5 Srm HS/h GAZ, bei BHD 20 cm rund 13 Srm HS/h GAZ. Der stark reduzierte Aufarbeitungsgrad bei der Gewinnung von Hackholz (nur grobes Entasten und Zopfen) trägt dazu bei, die Produktivität im Vergleich zur Aushaltung von Industrieholz lang (IL) zu steigern.

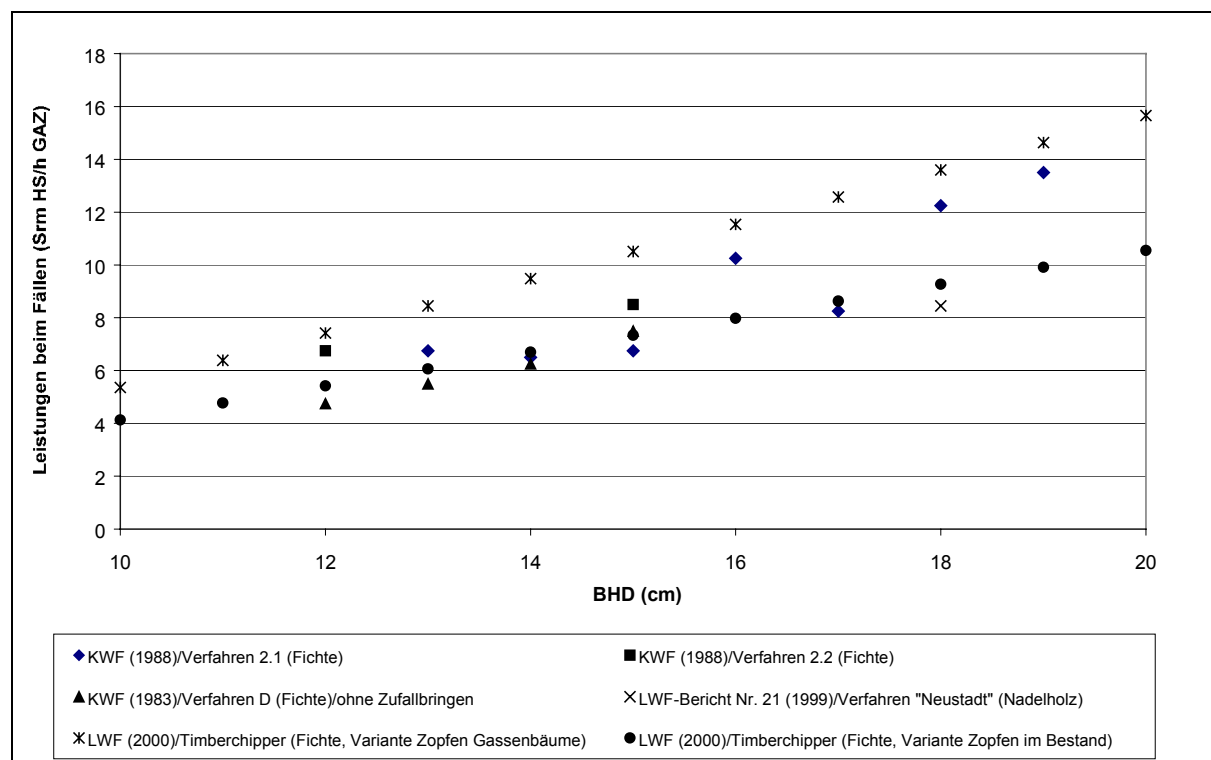


Abb. 3: Leistung bei motormanuellem Fällen in Abhängigkeit vom BHD

### 3.1.3 Kosten des Fällens

#### Motormanuell

Bei der Kalkulation der Kosten des Fällens wird grundsätzlich von der gleichen Leistung bei Arbeit in Eigenregie und bei Unternehmerarbeit ausgegangen. Die Leistung kann aber je nach Übungsgrad

der mit der Ausführung betrauten Personen stark schwanken. In der Regel ist sie bei professionellen Arbeitskräften deutlich höher.

Die Kosten für das Fällen bei unterschiedlichen kalkulatorischen Ansätzen sind in den Abbildungen 4 und 5 zu sehen. Der Lohnkostenansatz wirkt sich hier besonders stark aus, da die Maschinenkosten niedrig sind. Folglich verteuert sich dieser Produktionsabschnitt bei höheren Stundensätzen sprunghaft.

Die Kosten sind bei Zugrundelegung von Maschinenringsätzen am niedrigsten. Bei einem BHD von 10 cm belaufen sie sich auf rund 2,70 €/Srm HS (vgl. Unternehmereinsatz: knapp 6 €/Srm HS) und sinken bei einem BHD von 15 cm auf 1,50 €/Srm HS (Unternehmer: ca. 3,50 €/Srm HS) bzw. bei BHD 20 cm auf 1,00 €/Srm HS (Unternehmer ca. 2,20 €/Srm HS).

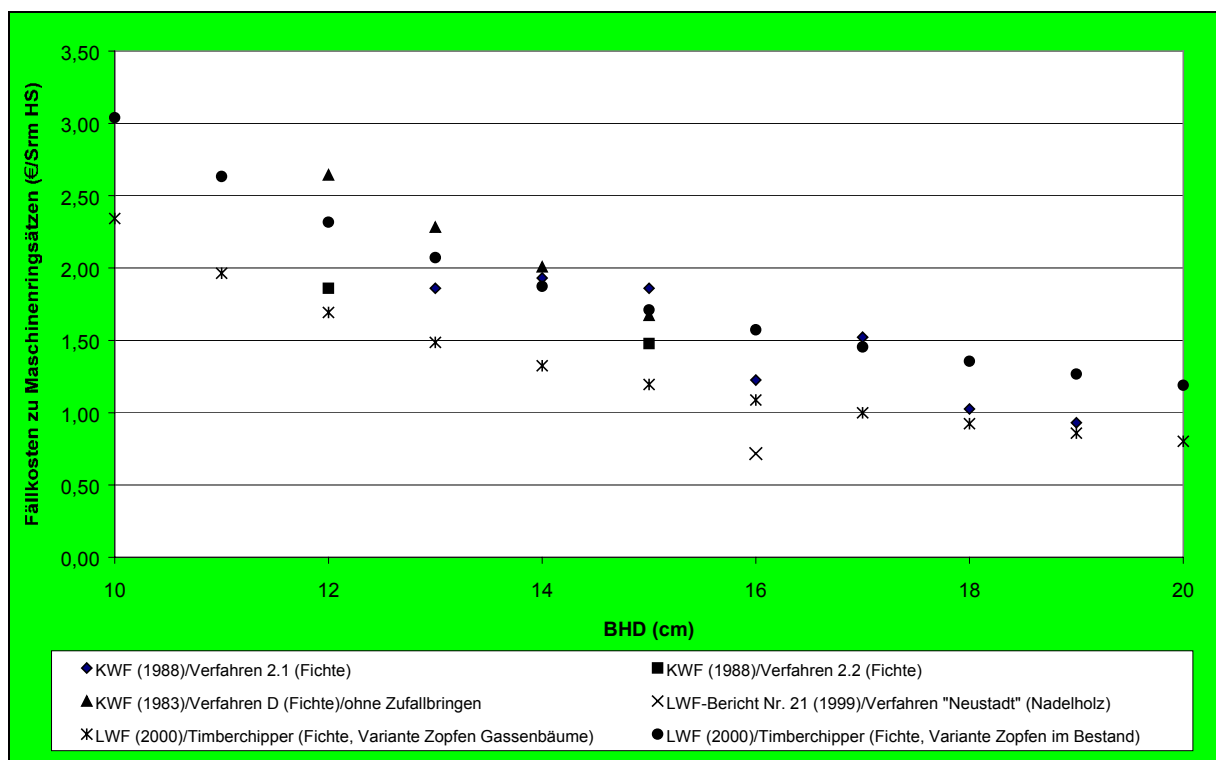


Abb. 4: Kosten für motormanuelles Fällen in Abhängigkeit vom BHD (Maschinenringsätze bzw. Eigenleistung des Waldbesitzers; Lohnansatz: 10 €/h)

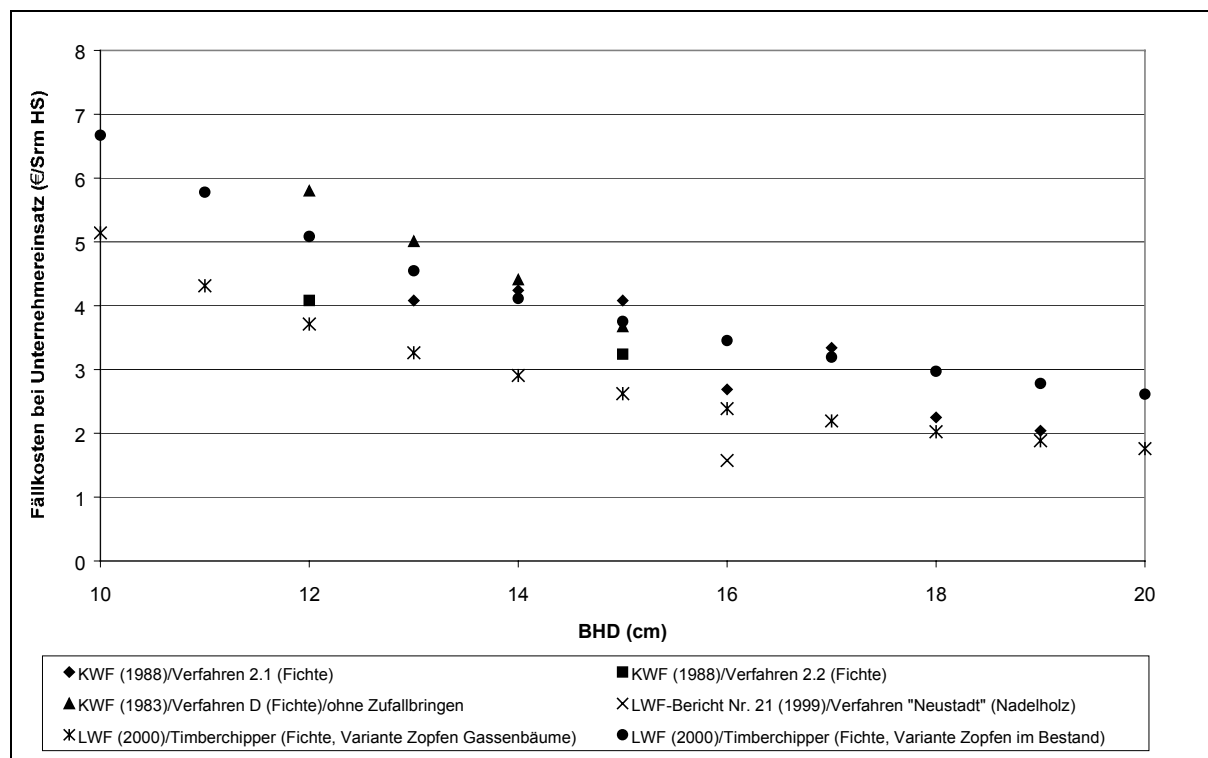


Abb. 5: Kosten für motormanuelles Fällen in Abhängigkeit vom BHD (bei Unternehmereinsatz; Lohnansatz: 25 €/h)

## 3.2 Vorliefern des Hackholzes

### 3.2.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts

Als Vorrücken oder Vorliefern wird der Transport vom Fällort zur Feinerschließungslinie (Rückegasse oder Rückeweg) bezeichnet. Dabei werden sehr unterschiedliche Transportmittel und -verfahren eingesetzt. Der Produktionsabschnitt lässt sich daher ebenso wie das Fällen nach dem Mechanisierungsgrad differenzieren.

Das **manuelle Vorliefern**, das Tragen und Ziehen der Vollbäume oder baumfallenden Längen, ist vor allem im bäuerlichen Privatwald noch weit verbreitet. Es handelt sich um ein sehr pflegliches, jedoch sehr teures und körperlich belastendes Transportverfahren für Schwachholz über kurze Distanzen. Bei größeren Stammdurchmessern ist es für den Waldarbeiter aus ergonomischen Gründen nicht mehr möglich, einen ganzen Baum vorzuliefern. Dann müssen Trennschnitte vorgenommen werden. Sie reduzieren die ohnehin geringe Leistungsfähigkeit des Verfahrens noch zusätzlich. Auf Grund der eindeutigen ergonomischen und wirtschaftlichen Nachteile wird empfohlen, soweit im Einzelfall möglich, eines der im folgenden beschriebenen teilmechanisierten Verfahren anzuwenden.

Beim **teilmechanisierten Vorliefern** können mehrere Maschinen eingesetzt werden.

### Kleinmaschinen

Dazu zählen insbesondere Kleinseilwinden. Dies sind tragbare oder sich selbst ziehende, überwiegend funkfern gesteuerte Winden mit Verbrennungsmotoren zwischen 3 und 6 kW Leistung und einer Windenzugkraft von 0,6 bis 1,5 t. Die ökonomisch sinnvolle Entfernung ist erfahrungsgemäß kürzer als 50 m.

Die Winde wird auf der Rückegasse, gegebenenfalls auch an der Waldstraße, an einem stehenden Baum verankert. Der Waldarbeiter zieht das Seil aus, hängt die Stämme an und begleitet die von der Winde beigezogene Last bis zur Ablagestelle. Mit Hilfe von Umlenkrollen lassen sich von einer Windenposition aus mehrere Seillinien ausrücken.

In der forstlichen Praxis konnten sich diese Vorliefersysteme auf Grund der hohen Kostenbelastung nicht durchsetzen.

### **Schlepper aller Kategorien, vom landwirtschaftlichen Schlepper bis hin zum Forstspezialschlepper**

Mit Hilfe einer am Schlepper angebauten Seilwinde werden die Stämme aus dem Bestand zur Rückegasse gezogen. Oft sieht das Aufarbeitungsverfahren kein Ablegen der vorgelieferten Stämme an der Rückegasse vor. Direkt im Anschluss an das Vorliefern wird das Hackholz ohne Transportbruch an die Waldstraße vorgerückt (vgl. z. B. *modifiziertes Goldberger Verfahren*).

Um den zeitraubenden einzelstammweisen Beizug vom Hiebsort zum Schlepper zu erleichtern, wurde das *Choker-Verfahren* entwickelt. Dabei werden an den zu rückenden Stämmen Chokerketten oder -schlingen angebracht. Die Chokerketten werden in das ausgezogene Windenseil eingehängt. Beim Einspulen des Windenseils fädeln sich die Stämme von hinten zu einem Lastbündel auf. Zur Begrenzung der Schäden am verbleibenden Bestand muss sorgfältig gerückt und eine gute Schlagordnung eingehalten werden.



**Abb. 6:** Vorliefern mit Chokerketten

Vorteilhaft ist ein hoher Seileinlauf. Er erzeugt beim Beizug einen gewissen Lifteffekt und vermindert den Reibungswiderstand. So kann schonender gerückt werden.

Bei guter Feinerschließung und entsprechender Schlagordnung können in begrenztem Maße Vollbäume und baumfallende Längen aus Schwachholz mit Hilfe eines *Langkran-Tragschleppers* oder *Zangenschleppers* an die Rückegasse vorgeliefert werden. Das Hackholz wird dann ohne Transportbruch zur Waldstraße gebracht.

### **Rückepferd**

Besonders auf Problemstandorten kann das Zugpferd beim Vorliefern eine gute Alternative zum Schlepper sein. Eingesetzt werden dabei vor allem schwere Kaltblutrassen. Sie eignen sich von ihren körperlichen Voraussetzungen her am besten. Der Umgang mit den Tieren erfordert vom Pferdeführer Einfühlungsvermögen, gründliche Kenntnisse über das HolZRücken mit Pferden und entsprechende Übung.

Optimale Leistungen werden mit Rückepferden in der Ebene oder hangabwärts im schwach bis mäßig geneigten Gelände erzielt, wobei eine Vorlieferentfernung von maximal 50 Metern nicht überschritten werden sollte. Empfohlen wird, das Rücken zur Waldstraße sowie das Poltern mit einem forstlichen Schlepper durchzuführen, da dieser dabei wesentlich kostengünstiger arbeitet (KWF 1985).

#### ***Vorteile des Vorlieferns mit dem Pferd (KWF 1985)***

Anzahl und Größe der Schäden am verbleibenden Bestand sind insgesamt günstiger zu beurteilen als bei anderen Rückemitteln.

- Die beim Rücken auftretenden Bodendrucke sind zwar kleinflächig hoch, die daraus resultierenden Bodenschäden (Trittschäden) sind aber zu vernachlässigen;
- ökologischer Vorteil: Umweltbelastung durch Maschinenabgase entfällt;
- das Rücken mit dem Pferd ist ganzjährig auch auf problematischen Standorten möglich;
- Ergonomie: Für den Rücker selbst ergeben sich keinerlei maschinenbedingte Belastungen oder einseitige Körperhaltungen.

Bei **vollmechanisierten Aufarbeitungsverfahren** wird automatisch nach dem Fällen vorgeliefert, in der Regel mit Hilfe des maschineneigenen Krans.

Das Vorliefern ist gemeinsam mit dem Fällen oft integraler Bestandteil einer arbeitstechnischen und kalkulatorischen Einheit.

### ***3.2.2 Leistung beim Vorliefern***

Die Abhängigkeit der Technischen Arbeitsproduktivität (TAP) beim Vorliefern je cm BHD-Änderung ist signifikant (PATZAK 1984). Bei Betrachtung verschiedener Baumarten sind die feststellbaren Unterschiede jedoch nicht stark genug ausgeprägt. Deshalb wird hier, ebenso wie beim



Fällen, eine Differenzierung nach der Stärke (BHD) der vorgelieferten Bäume vorgenommen.

Für eine Auswertung und Interpretation stand nur eine sehr begrenzte Anzahl von Versuchsergebnissen zur Verfügung. Sie beziehen sich auf das händische Vorliefern sowie das Vorliefern mit Pferden. Die Vorlieferleistung steigt demnach mit zunehmendem BHD linear an. CORDA (1999) ermittelte für eine Vorlieferentfernung von 10 m im BHD-Bereich von 10 bis 16 cm Leistungen zwischen 5 und 13 Srm HS/h GAZ. Laut KWF (1998) werden im BHD-Bereich zwischen 14 und 20 cm Leistungen von 6 bis 14 Srm HS/h GAZ erreicht (Vorlieferentfernung: 15 m).

Für die BHD-Stufen unter 10 cm standen auch Daten für händisches Vorliefern mit Packzangen zur Verfügung. Demnach liegt die Leistung im Bereich von BHD 5 cm zwischen 2 und 3 Srm HS/h GAZ. Eine kostendeckende Gestaltung des Vorlieferns ist auf diese Weise jedoch kaum möglich und wird, auch wegen der damit einhergehenden ergonomischen Nachteile, nicht empfohlen.

Obwohl keine Zahlen über das Vorliefern mit Schlepperseilwinde oder höher mechanisierten Verfahren vorlagen, darf angenommen werden, dass dabei grundsätzlich ähnliche Leistungen wie beim Zugpferd erreicht werden. Bei Hieben, in denen die Arbeiten dem optimalen Leistungsbereich des Pferdes entsprechen, liegt seine Leistung in der Regel über der des Schleppers.

### **3.2.3 Kosten des Vorlieferns**

Die Kosten für das Vorliefern sinken mit zunehmendem BHD. Die Kalkulation ergab für die Studie von CORDA (1999) zu Maschinenringsätzen für BHD 10 bis 16 cm Kosten von 3,20 bis 1,30 €/Srm HS (Unternehmereinsatz: 6,10 – 2,50 €/Srm HS), für das vom KWF (1998) vorgestellte Verfahren im BHD-Bereich 14 bis 20 cm 3,00 bis 1,20 €/Srm HS (Unternehmereinsatz: 5,60 – 2,20 €/Srm HS).

## **3.3 Fällen/Vorliefern bzw. Fällen/Aufarbeiten/Vorliefern**

### **3.3.1 Verfahrensmerkmale**

Beim Verfahrensschritt Fällen (mit Aufarbeiten)/Vorliefern ist zwischen teil- und vollmechanisierten Verfahren zu unterscheiden. (Erläuterungen siehe Kapitel 3.1).

### **3.3.2 Leistung**

Bei den *teilmechanisierten* Varianten (Abb. 7) schwanken die angegebenen Leistungen sehr stark. Bei BHD 15 cm wird ein Arbeitsergebnis von etwa 9 Srm HS/h GAZ erreicht, bei einem BHD von 18 cm durchschnittlich etwa 13 Srm HS/h GAZ. Ein etwa im Durchschnitt der angegebenen Leistungen liegendes Verfahren mit Einsatz eines Rückepferdes erbringt bei BHD 20 cm eine Leistung von gut 18 Srm HS/h GAZ. Das im Diagramm aufgeführte Verfahren mit der höchsten Produktivität kann nicht als repräsentativ gelten, denn dort herrschten äußerst günstige Voraussetzungen.

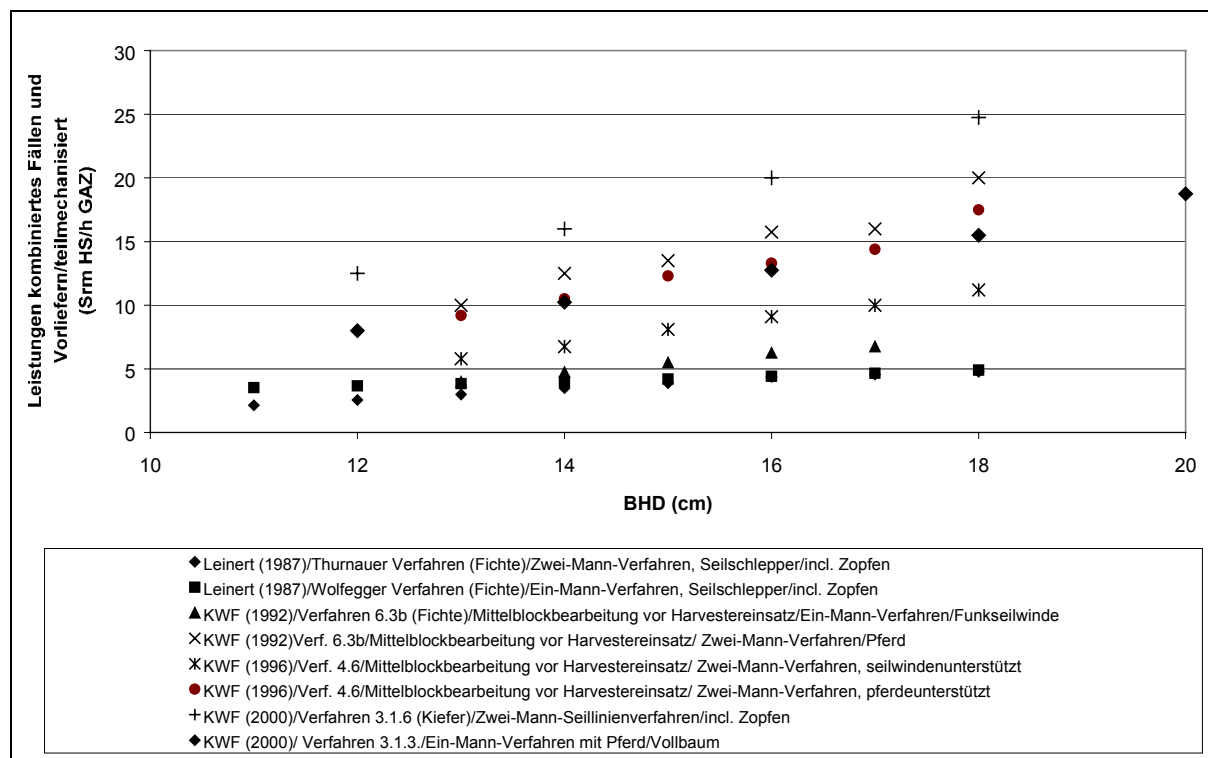
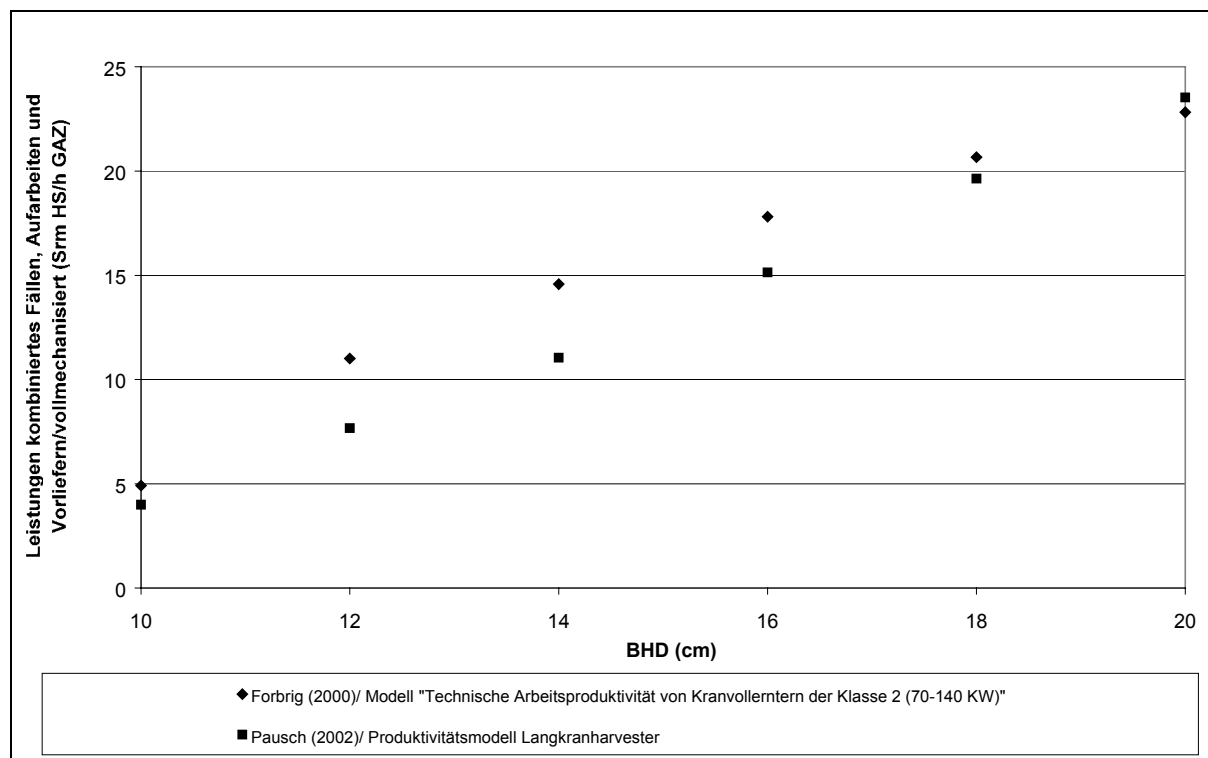


Abb. 7: Leistung bei teilmechanisiertem Fällen/Vorliefern in Abhängigkeit vom BHD

Mit *vollmechanisierten* Geräten, z. B. Kranvollerntern, werden nach den Modellen von PAUSCH (2002) und FORBRIG (2000) generell höhere Leistungen erzielt (Abb. 8). Beide Modelle basieren auf tatsächlichen Leistungsnachweisen von Forstunternehmern. Folgt man der Trendlinie der Kurven, so ergibt sich für einen BHD von 15 cm eine Durchschnittsleistung von 15 Srm HS/h GAZ, bei BHD 20 cm von 22 bis 23 Srm HS/h GAZ. Bei verschiedenen Arbeitsstudien während der letzten Jahrzehnte wurden häufig höhere Leistungen und demzufolge tendenziell geringere Stückkosten festgestellt als dies in den beiden dargestellten Modellen der Fall ist. PAUSCH (2002) betrachtet dies als generelles Problem von Zeitstudien. Als mögliche Ursachen führt er unter anderem an, dass

- optimal vorbereitete Versuchsbestände die Produktivität erhöhen;
- die Fahrer während weniger Zeitstudientage eine überdurchschnittliche Leistung erbringen;
- die Maschinen innerhalb von Versuchseinsätzen technisch durchschnittlich besser vorbereitet sind;
- bei Zeitstudien weniger allgemeine Zeiten (z. B. Telefonate) anfallen als im langfristigen Durchschnitt.



**Abb. 8:** Leistung bei vollmechanisiertem Fällen/Vorliefern in Abhängigkeit vom BHD

### 3.3.3 Kosten

Die höheren Investitionskosten und die dadurch bedingt höheren Maschinenstundensätze kompensieren oft die etwas höhere Leistungsfähigkeit *vollmechanisierter* Systeme. Zu beachten ist zudem, dass in unserer Modellrechnung bei den vollmechanisierten Verfahren das Aufarbeiten (Entasten) im Arbeitsablauf inbegriffen ist, während dieser Schritt bei den angeführten teilmechanisierten Systemen entfallen kann.

Zum Zweck der Vergleichbarkeit werden in den Abbildungen 9 und 10 die Kosten der teil- und vollmechanisierten Systeme jeweils unter Annahme eines Unternehmereinsatzes kalkuliert, da regelmäßig Unternehmer die vollmechanisierte Leistung des Fällens, Aufarbeitens und Vorlieferns erbringen. Eine Veränderung der Lohnkosten schlägt hier weitaus weniger zu Buche als bei geringer mechanisierten Systemen.

Die Kosten innerhalb der einzelnen Kalkulationsvarianten bewegen sich wie folgt: Bei einem BHD von 12 cm kostet die teilmechanisierte Variante für die unterschiedlichen Kalkulationsansätze zwischen 5 und 20 €/Srm HS, als Durchschnitt ergibt sich ein Wert von 10 bis 11 €/Srm HS (vollmechanisiert: 16-17 €/Srm HS). Dieser bewegt sich bei BHD 15 cm um 8 bis 9 €/Srm HS (vollmechanisiert:  $\geq 10$  €/Srm HS), bei BHD 20 cm um 6 bis 7 €/Srm HS (vollmechanisiert: rund 7 €/Srm HS).

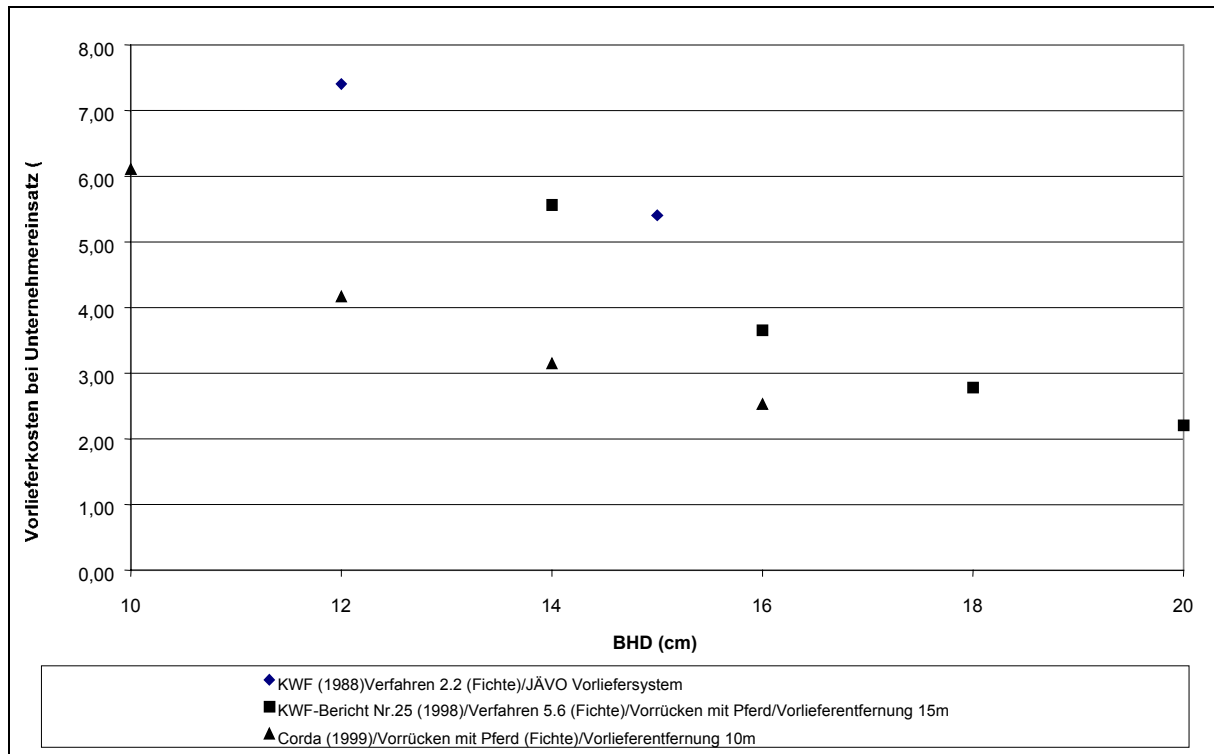


Abb. 9: Kosten bei teilmechanisiertem Fällen und Vorliefern in Abhängigkeit vom BHD (Lohnansatz: 25 €/h)

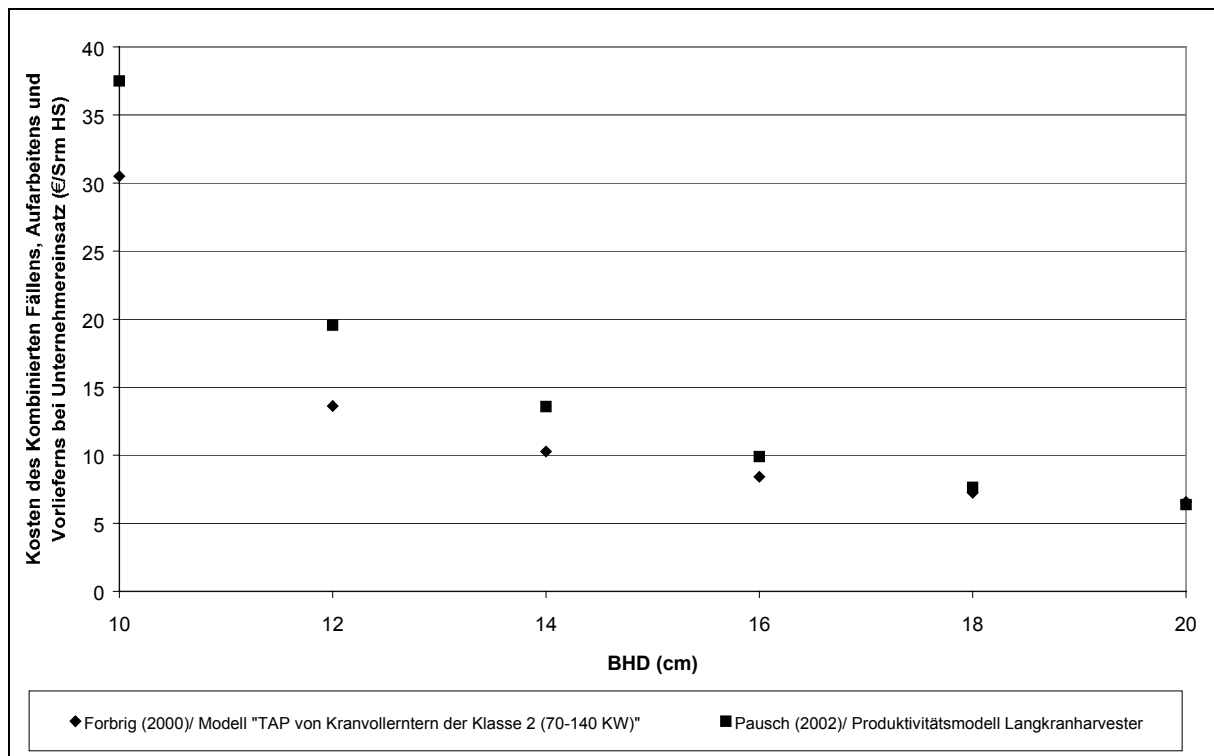


Abb. 10: Kosten für vollmechanisiertes Fällen/Aufarbeiten/Vorliefern in Abhängigkeit vom BHD (Lohnansatz: 25 €/h)

## 3.4 Rücken

### 3.4.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts

#### Hackholz-Rücken

Hier ist unter Rücken der Transport des Hackholzes von der Feinerschließungslinie hin zum Lagerplatz im Wald (Waldstraße) zu verstehen. Die Teilarbeit ist bei der Hackschnitzelbereitstellung erforderlich, wenn nicht auf der Rückegasse, sondern auf dem Hauptfahrweg oder auf einem zentralen Aufarbeitungsplatz (z. B. beim Verbraucher) gehackt werden soll.

Bei allen gängigen Transportarten auf der Rückegasse ist das Einschwenken des vorgelieferten Hackholzes in die Gasse zum Weitertransport hinsichtlich Zeitbedarf und vor allem Bestandsschäden besonders kritisch zu beurteilen.



*Abb. 11: Seilschlepper*

Das Rücken mit dem *Seilschlepper* ist das älteste Verfahren der mobilen mechanisierten Holzbringung (Abb. 11). Bei den eingesetzten Geräten kann es sich um landwirtschaftliche Traktoren mit Forstausrüstung, Forstschlepper und Forstspezialschlepper handeln. Im Schwachholzbereich besitzen Seilschlepper im Vergleich zu anderen Rückesystemen eine vergleichsweise niedrige Leistungsfähigkeit (siehe Kapitel 3.4.2).

*Klemmbankschlepper* (Abb. 12) gehören zu den Forstspezialschleppern. Sie sind mit einer Rahmenknicklenkung ausgestattet. Auf dem vorderen Teil des Fahrzeuges befinden sich Motor, Fahrerkabine und häufig der Ladekran, auf dem hinteren Teil sind fallweise Ladekran und Klemmbank angebracht. Der wirtschaftliche Vorteil der Klemmbank gegenüber anderen Schleppern liegt in seiner hohen Ladekapazität pro Lastfahrt. Besonders geeignet ist die Klemmbank für das Rücken von Vollbäumen, da sie die Bäume einseitig - meist dickkörtig - rückt. Die Verschmutzung des Hackholzes und folglich auch der Hackschnitzel kann wegen des geringeren Bodenkontaktes minimiert werden.



*Abb. 12: Klemmbankschlepper*

*Forwarder* (Abb. 13) sind Tragschlepper mit Rahmenknicklenkung mit zwei bis vier Achsen oder alternativ mit Gleiskettenfahrwerk. Sie sind mit Ladekran ausgestattet, ihr hinterer Teil ist als Runnenwagen konstruiert. Besonders geeignet ist der Forwarder für Kurzholz, Kranlängen und Stammholzfixlängen bis etwa 7 m Länge. Das Basisfahrzeug kann häufig umgerüstet werden und Klemmbank, Hackschnitzel-Container oder Hacker aufsatteln.



*Abb. 13: Forwarder (Trag-Knickschlepper, Kranrückezug)*

Rückinstrument eines *Zangenschleppers* ist die an einem ausfahrbaren Schwenkarm befestigte Rückezange (Abb. 14). Eine oft vorhandene Trommelseilwinde dient dem Beiseilen einzelner Stämme, die die Zange nicht direkt erreichen kann. Die Vorteile des Rückens mit der Zange liegen in

die die Zange nicht direkt erreichen kann. Die Vorteile des Rückens mit der Zange liegen in der Pflughlichkeit, da die Zange eine gezielte Manipulation der Stämme ermöglicht und Schäden am Bestand verringert werden. Der Zangenschlepper eignet sich besonders gut für das Rücken von vorkonzentriertem Langholz und Vollbäumen.



*Abb. 14: Zangenschlepper*

Bei einem *Kran-Rückewagen bzw. -anhänger* (Abb. 15) handelt es sich um ein Rückefahrzeug zum Anhängen an einen Schlepper. Das Holz wird dabei mit einem Kran manipuliert, der entweder am Schlepper an- oder auf dem Wagen selbst aufgebaut ist. Ist bereits ein Schlepper im Betrieb vorhanden, so kann man durch die Anschaffung eines solchen Anhängers mittels einer relativ geringen Zusatzinvestition bereits eine leistungsfähige Rückeeinheit zusammenstellen. Der Rückeanhänger hat sich im bäuerlichen Privatwald während der letzten Jahre zunehmend durchgesetzt.



*Abb. 15: Kran-Rückewagen*

## **Rücken der Hackschnitzel**

Analog zum Holzrücken gilt hier der Begriff Hackschnitzel-Rücken für den Transport zur Waldstraße. Dieser Vorgang tritt nur auf, wenn im Bestand oder auf der Rückegasse gehackt wird. Schlepper mit landwirtschaftlichen Anhängern sind auf der Rückegasse nur bedingt einsatzfähig. In der Regel werden die Hackschnitzel mit *Aufbau- oder Anhängerecontainern* (Abb. 16) gerückt, die mit dem Trägerfahrzeug des Hackers verbunden sind. Die Container sollten in engen Rückegassen nicht zu groß sein, um Schlagschäden an den Randbäumen der Rückegasse zu vermeiden. Bei längeren Leerfahrten zwischen Rückegasse und LKW-Container sinkt die Gesamtleistung des Systems erheblich.



*Abb. 16: Anhängehacker mit Aufbaucontainer*

Der Einsatz eines *Transportfahrzeuges (Shuttle)* (Abb. 17), ein zwischen Hacker und Hackschnitzeltransporter pendelndes Rückefahrzeug, ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn eine entsprechend höhere Leistung des Systems die zusätzlichen Maschinen- und Lohnkosten kompensiert.



*Abb. 17: Transportfahrzeug (Shuttle)*



### 3.4.2 Leistung beim Rücken

#### Leistung beim Rücken von Hackholz

Beim Rücken des Hackholzes ist hinsichtlich der Leistung der jeweiligen Arbeitsverfahren eine große Streubreite festzustellen. Diese hängt nach PATZAK (1984) viel stärker von den Rückegeräten und ganz besonders von der Transportentfernung ab als vom BHD der gerückten Bäume.

Bei der Unterscheidung nach den *Baumarten* zeigt sich nach PATZAK keine entscheidende Differenz nach dem BHD, wohl aber ein Unterschied bei Nadel- und Laubholz. Die durchschnittliche TAP ist bei Laubholz signifikant höher als bei Nadelholz.

Beispielhaft sind in Abbildung 18 einige Leistungsdaten angegeben. Der Seilschlepper fällt mit seinem niedrigen Wert von knapp 8 Srm HS/h GAZ bei einem BHD von 15 cm (BHD 20: 10 Srm HS/h GAZ) weit aus dem Rahmen. Man muss jedoch beachten, dass das nicht vorkonzentrierte Hackholz bei der zugrundeliegenden Studie zusätzlich an die Rückegasse vorgeliefert werden musste. Die Schlepperleistung wurde dadurch beträchtlich gemindert.

In dieser Darstellung ist z. B. bei einem BHD des ausscheidenden Bestandes von 15 cm die Leistung eines Klemmbankschleppers am höchsten, sie liegt im Bereich 30 bis 35 Srm HS/h GAZ. Danach folgen Forwarder (durchschnittlich ca. 23 Srm HS/h GAZ) und Zangenschlepper (im Schnitt ca. 20 Srm HS/h GAZ). Die Kombination eines Schleppers mit Kran-Rückewagen erzielt eine dem Zangenschlepper ähnliche Leistung. Für den BHD-Bereich 13 bis 20 cm wird eine Spanne von 15 bis 22 Srm HS/h GAZ angegeben.

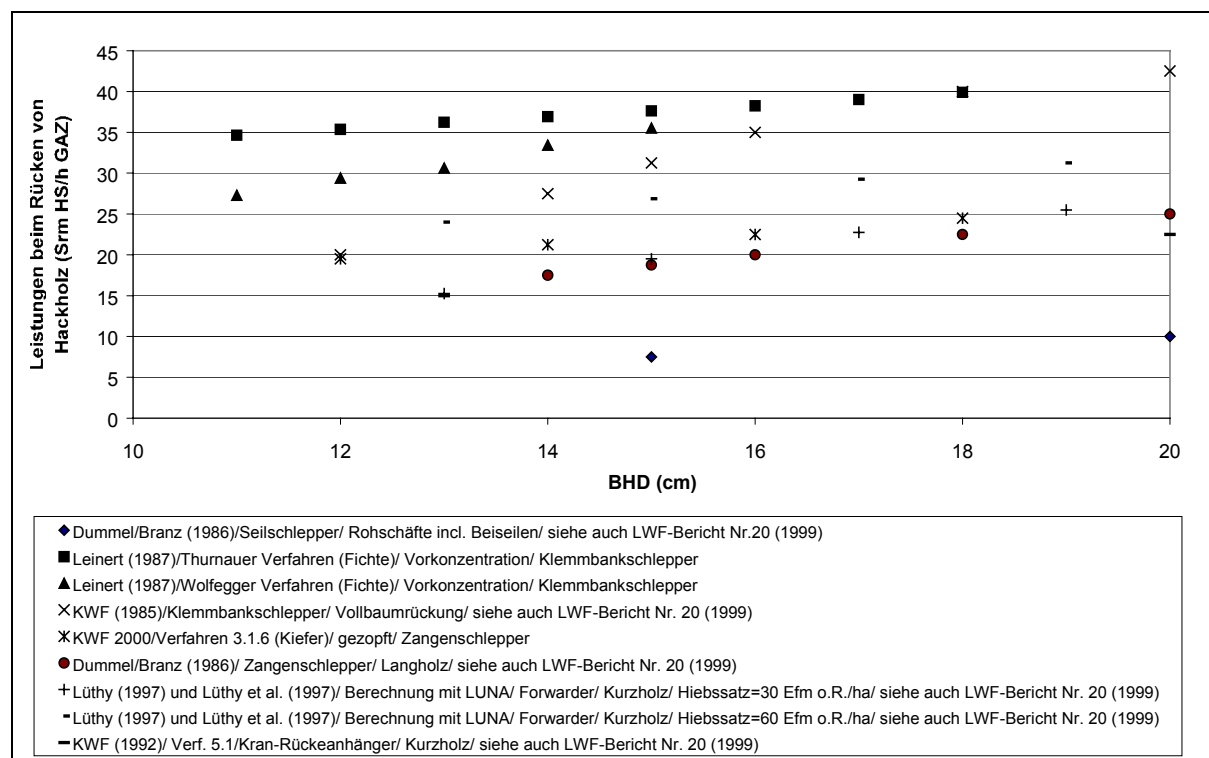


Abb. 18: Leistung für Rücken von Hackholz in Abhängigkeit vom BHD

### **Leistung beim Rücken der Hackschnitzel**

Als Haupteinflüsse beim Rücken sind das Transportmittel, das Transportvolumen und die Transportentfernung relevant. Dabei wirken sich die ersten beiden Größen auf die Leistung stärker aus als die Transportentfernung, deren Einfluss auf die Leistung nach PATZAK (1984) nicht signifikant ist.

Bei dieser Literaturrecherche konnte nur auf einen sehr geringen Datenumfang zurückgegriffen werden. Beim Hacken auf der Rückegasse mit Maschinen mit aufgesatteltem Container ist das Hackschnitzel-Rücken integraler Bestandteil des Hackvorganges und wird in Arbeitsstudien meist nicht gesondert erfasst.

Die einzige praxisrelevante Angabe für diesen Produktionsabschnitt macht JONAS (1986). Demnach betrug die Leistung beim Transport der Hackschnitzel mit *Schlepper und landwirtschaftlichem Kippanhänger* zur Waldstraße rund 22 Sm<sup>3</sup> HS/h GAZ.

Bei der Planung sollte berücksichtigt werden, dass bei diesem System der Hacker die Rückkunft des Rückefahrzeuges abwarten muss. Dies mindert zwangsläufig die Systemleistung. Bei der isolierten Betrachtung eines Bereitstellungsabschnittes schlägt sich diese Tatsache nicht in den Kosten nieder, sondern erst bei Analyse von Systemleistung und -kosten.

### **3.4.3 Kosten des Rückens**

#### **Kosten des Rückens von Hackholz**

Analog zur oben dargestellten Leistung der jeweiligen Arbeitsverfahren sind auch bei den mit dem Unternehmersatz von 25 €/h kalkulierten Kosten für das Rücken des Hackholzes (Abb. 19) verfahrensabhängig große Unterschiede festzustellen. Bei steigendem BHD ist nicht immer ein deutliches Absinken der Kosten pro Einheit zu verzeichnen. Hier fließen vor allem die eingesetzten Geräte und die Transportentfernung als wichtige Parameter in die Kalkulation ein.

Im Allgemeinen schneiden die Klemmbankschlepper am günstigsten ab. Im Schnitt fallen hier bei BHD 15 cm Kosten von ca. 2,30 €/Srm HS an. Es folgen die Zangenschlepper, die im Bereich von BHD 14-16 cm Kosten von 2,50 bis 2,60 €/Srm HS verursachen. Der Kranrückewagen weist im Bereich BHD 13 bis 20 cm Kosten zwischen 2,70 und 4,00 €/Srm HS auf, der Forwarder kostet bei BHD 15 cm im Schnitt knapp unter 4,00 €/Srm HS (BHD 20 cm: durchschnittlich unter 3,00 €/Srm HS).

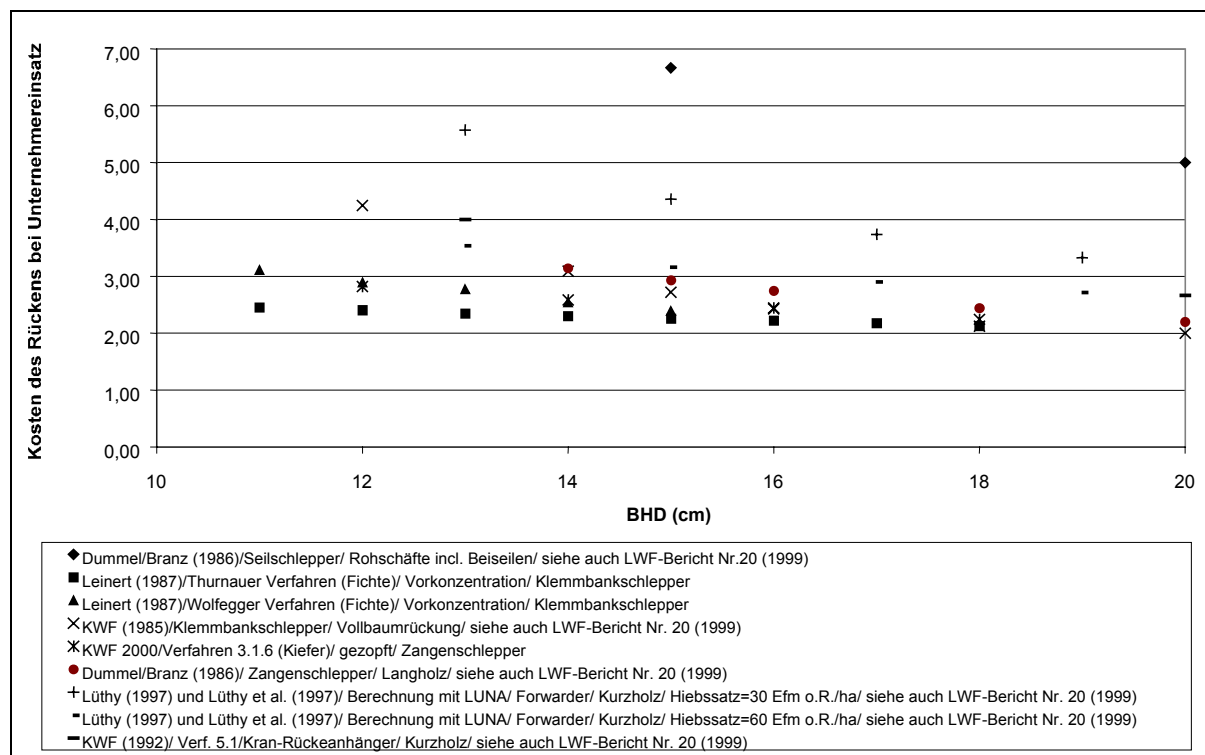


Abb. 19: Kosten für das Rücken des Hackholzes in Abhängigkeit vom BHD (bei Unternehmereinsatz; Lohnkosten: 25 €/h)

### Kosten beim Rücken der Hackschnitzel

Die Kosten für das Rücken der Hackschnitzel mit Schlepper und landwirtschaftlichem Kippanhänger belaufen sich nach JONAS (1986) bei Maschinenringsätzen bzw. bei Eigenleistung des Waldbesitzers auf rund 3,40 €/Srm HS.

Das Rücken der Hackschnitzel mit dieser Gerätekonfiguration ermöglicht ein flexibleres Gestalten der Bereitstellung, da damit auch der Ferntransport der Hackschnitzel übernommen werden kann. Es gilt jedoch zu bedenken, dass der Einsatz eines landwirtschaftlichen Schleppers mit Anhänger auf der Rückegasse nicht ohne Probleme zu bewerkstelligen ist.

## 3.5 Kombination von Fällen, Vorliefern und Rücken

### 3.5.1 Merkmale des Verfahrens

Das gemeinsame Erfassen der Produktionsabschnitte Fällen, Vorliefern und Rücken ist typisch für teilmechanisierte Bereitstellungssysteme. Dabei wird, wie bereits in Kapitel 3.1.1 erläutert, mit Hilfe einer Seilwinde gefällt, dann bis zum Trägerfahrzeug der Winde beigeseilt und ohne Transportbruch zur Waldstraße gerückt.

### 3.5.2 Leistung

Die Leistung dieser Systeme ist in Abbildung 20 dargestellt. Bei einem BHD von 12 cm beträgt sie ca. 3 Srm HS/h GAZ, sie steigt bei BHD 16 cm auf etwa 5, bei BHD 20 cm auf ca. 7 Srm HS/h GAZ an.

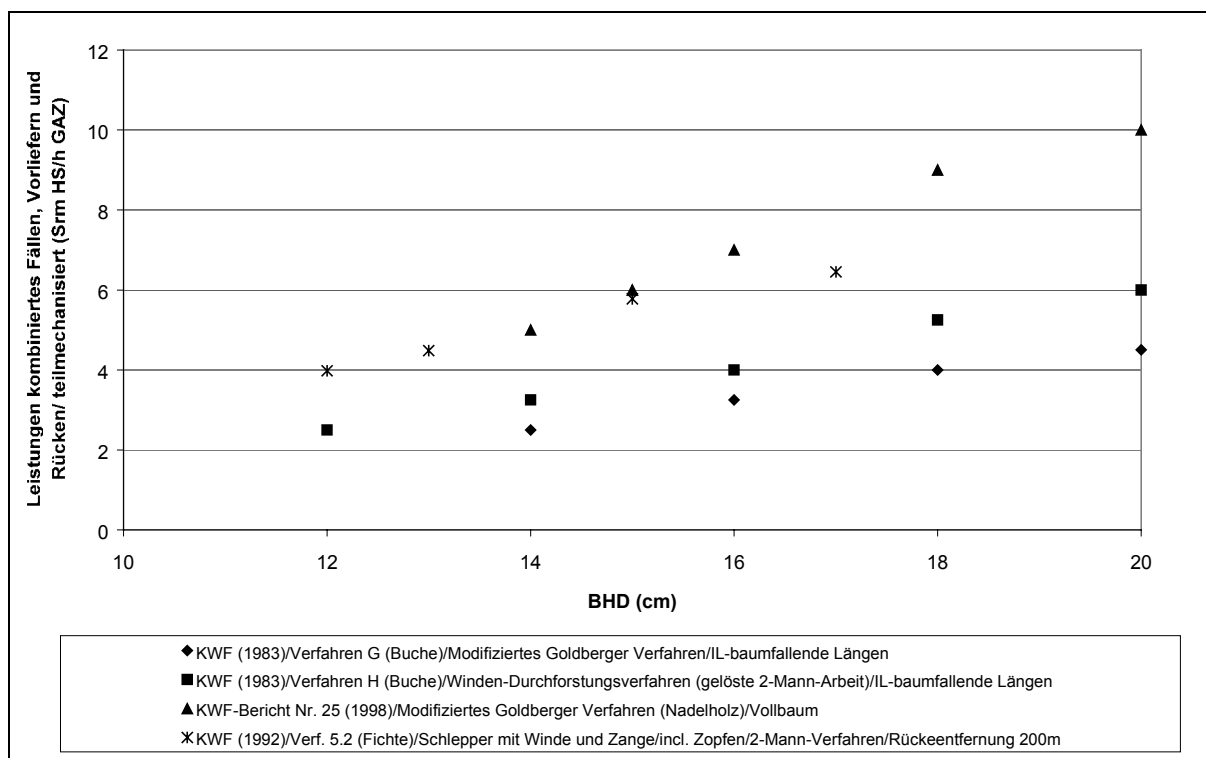


Abb. 20: Leistung für teilmechanisiertes Fällen/Rücken in Abhängigkeit vom BHD

### 3.5.3 Kosten

Die Kosten (Abb. 21) sinken mit steigendem BHD. Sie bewegen sich z. B. bei BHD 16 cm in einem Rahmen von rund 10 bis 24 €/Srm HS bei Unternehmereinsatz. Dabei fällt auf, dass die Erhebungen neueren Datums wesentlich niedrigere Kosten nennen. Diese beiden Verfahren liegen im Bereich 11 bis 15 €/Srm HS, also im Schnitt bei 13 €/Srm HS. Da es sich hier durchwegs um Zwei-Mann-Verfahren handelt, spielen die Löhne innerhalb der Gesamtkosten eine gewichtige Rolle. Berechnet man das Ganze zum Maschinenringsatz, kommt man auf Einsparungen im Rahmen von ca. 35-40 % der im Diagramm aufgeführten Kosten.

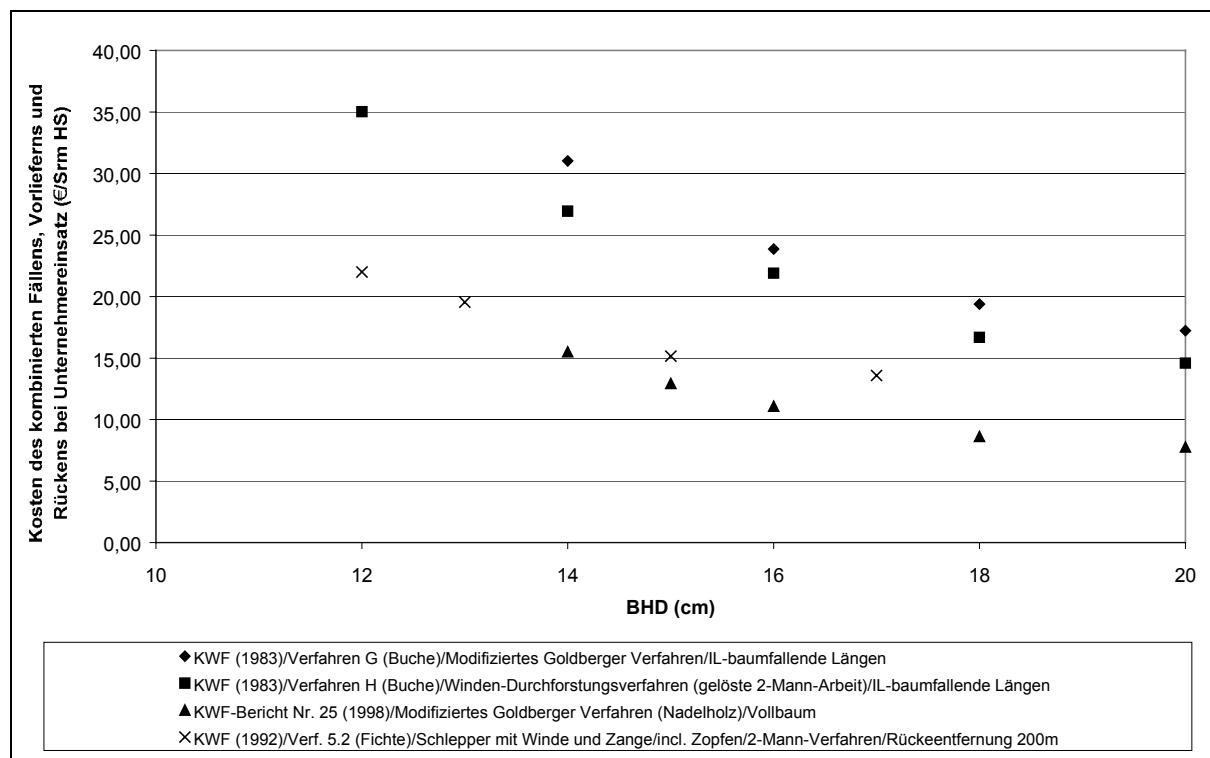


Abb. 21: Kosten für teilmechanisiertes Fällen/Rücken in Abhängigkeit vom BHD (bei Unternehmereinsatz; Lohnkosten 25 €/h)

### 3.6 Sonderfall: Bündelung von Schlagabraum

#### 3.6.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts

Zwei skandinavische Firmen bieten Bündelmaschinen als Aufbauten für Forwarder an. Diese Aggregate pressen und bündeln Astwerk, vorzugsweise Schlagabraum aus Endnutzungen, zu zylindrischen Bündeln. Ein möglicher Vorteil dieser Maschinen liegt in der Option, den gebündelten Schlagabraum in Form von Rollen mit den gleichen Logistikeinheiten wie das Rundholz selbst transportieren zu können. Die Bündel werden dabei wie normale Holzabschnitte mit dem Forwarder an die Waldstraße gerückt. Von dort bringt sie später ein Rundholz-LKW zum Heizwerk. Das Hacken der Bündel kann am Kraftwerk je nach Bedarf erfolgen.

Das feste Packmaß vermindert die Witterungsempfindlichkeit der Bündel, die Zersetzung verläuft langsamer als dies bei losen Restholzhaufen der Fall wäre

#### Mögliche Vorteile der Bündelmaschinen

- Das Restholz lässt sich mit einem normalen Kranrückezug einsammeln;
- der Gelände- und Straßentransport kann mit Standardmaschinen (Rückezug oder LKW) erfolgen.

Die Bündelmaschinen erfordern für einen wirtschaftlichen Einsatz massierte Hiebsanfälligkeiten (Kahlhiebs). An ihrer Rentabilität unter unseren waldbaulichen Verhältnissen bestehen große Zweifel. Brennstoffe mit dieser geringen Qualität (hoher Grünanteil) stehen zudem hierzulande als Landschaftspflegematerial den Werken nahezu kostenlos zur Verfügung.

Nach den bisherigen Erfahrungen in Skandinavien ist zur Auslastung einer solchen Bündelmaschine der vorangehende Einsatz von drei bis vier Harvestern im Wirkungsbereich des Bündlers notwendig, damit überhaupt entsprechend viel Schlagabraum anfällt. Rund ein Drittel der potentiellen Bündelmasse verbleibt dort zur Erhaltung des standörtlichen Wuchspotentials als Nährstoffquelle auf der Fläche.

Generell ist der Entzug von Nährstoffen beim Einsatz der Bündler kritisch zu sehen. Beim Anfall großer Schadholzmengen, z. B. bei Windwurfereignissen, könnte sich ihr Einsatz bei drohendem Borkenkäferbefall in seltenen Fällen als sinnvoll erweisen, um potentielles Brutraummaterial von der Fläche zu räumen. Die Auslastung des Bündlers muss aber gewährleistet sein, um die hohen Investitionskosten rechtfertigen zu können.

Bisher liegen für Mitteleuropa keine Erfahrungswerte zu diesen Maschinen vor.

### **3.6.2 Bündelmaschinen**

#### **FIBERPAC 370 von Timberjack**

Die Bündlereinheit dieser Maschine (Abb. 22) presst das zugeführte Astmaterial zu einem Endlosbündel (THORNER 1999). Die Zuführung des Pressmaterials erfolgt von oben per Kran. Der kontinuierliche Materialeinzug wird dabei durch zwei Rollen sichergestellt. Eine integrierte Kappsäge schneidet einzelne Rollen in der jeweils gewünschten Länge ab. Diese werden vierfach mit Schnüren zusammengebunden. Am Ende stößt die Maschine die fertigen Bündel aus und legt sie ab, den Transport zur LKW-befahrbaren Straße übernimmt der Forwarder.

Während des Betriebs steht das Aggregat quer zur Fahrtrichtung des Forwarders und erfordert deshalb entsprechend viel Platz. Ein Einsatz auf Rückegassen in hiesigen Durchforstungsbeständen wäre daher kaum möglich.

Das gepresste Restholz wird in Skandinavien aus Fichtenbeständen oder Mischbeständen mit mindestens 50 % Fichtenanteil gewonnen. Unter den dortigen Bedingungen produzieren Kiefernreinbestände hingegen nicht genügend Restholz für eine lohnende Aufarbeitung (FORSTMASCHINENPROFI 2001).



*Abb. 22: Fiberpac 370 von Timberjack*

#### **Leistungsangaben des Herstellers**

Die Maschine erzeugt 15 bis 20 Bündel pro Maschinenarbeitsstunde. Die Einzelrolle hat dabei im frischen Zustand bei einer Gesamtlänge von z. B. 3 m und einem Durchmesser von ca. 70 cm ein Gewicht von rund 500 kg. Ein Bündel enthält demnach 1-1,5 Megawatt an Energie. Dies wäre vergleichbar mit dem Energiegehalt von 80 bis 100 Litern Heizöl (UUKOWSKI 2001).

#### **WOOD PAC**

Der WOOD PAC (Abb. 23) ist wie der FIBERPAC eine Bündelmaschine. Der Unterschied liegt lediglich in der Bauweise des Bündlers. Er formt keine Endlosrolle aus, sondern presst in einem von acht Rollen umgebenen Aggregatinnenraum Fixlängenbündel und bindet ebenfalls mit vier Schnüren. Feinmaterial kann dabei nach unten durchfallen (WORLD WOOD PAC AB 2000).



*Abb. 23: Wood Pac*

Bei dieser Maschine ist die Bündlereinheit in Längsrichtung auf den Forwarder montiert. Sie wäre

daher auch auf der Rückegasse einsetzbar. Mittlerweile vertreibt die Firma Valmet den WOOD PAC (VALMET 2002).

### ***Leistungsangaben des Herstellers***

Bei der Pressung von Fichtenschlagabraum mit einem Feuchtegehalt von 45-50 % wurden Bündel von durchschnittlich 460 kg hergestellt. Die höchste dabei erreichte Arbeitsproduktivität lag bei 15 Bündeln/MAS. Der eingesetzte Forwarder trug im Test 15-20 Bündel. Der für den Ferntransport bestimmte Holz-LKW konnte bis zu 80 Bündel fassen. Dabei ist es möglich, gleichzeitig neben den Bündeln auch Rundholz zu laden (SKOG FORSK 1998).

## **3.7 Hacken**

### ***3.7.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts***

Bei diesem Produktionsabschnitt soll zunächst auf drei Unterscheidungsmerkmale von Hackvorgängen hingewiesen werden. Die Aufteilung erfolgt nach der eingesetzten Hackertechnologie, dem Hackertyp sowie dem Ort des Hackvorgangs. Diesem kommt eine große Bedeutung zu, da im Wesentlichen davon die Hackleistung abhängt. Auch müssen alle nachfolgenden Abschnitte der Logistikkette vom Ort des Hackvorgangs aus gestaltet werden.

Bei der Betrachtung von Leistung und Kosten wird deshalb in der Folge nach dem Ort des Hackens unterschieden.

### **Hackertechnik**

Nach der Art der Messeranordnung unterscheidet man *Scheibenhacker*, *Trommelhacker* und *Spiralhacker*. Daneben kommt *Schrauben-*, *Schnecken-* und *Kegelhackern* noch eine gewisse Bedeutung zu (LÖFFLER 1989).

Beim *Scheibenhacker* sind die Messer (2 bis 16) an der Stirnseite einer rotierenden Stahlscheibe angebracht (Abb. 24). Über die Änderung der Anzahl der Messer, Drehzahl oder Schneidelänge lässt sich die Größe der Hackschnitzel variieren. Das Holz wird schräg von oben oder senkrecht zur Scheibe zugeführt. Bei der Hackschnitzelgewinnung auf der Rückegasse hat sich die Zufuhr im Winkel von 45° zur Rotationsachse bewährt. Eine Messerschleifeinrichtung ist meist eingebaut. Bei gleichem Ausgangsmaterial liefern Scheibenhacker eine homogene Hackschnitzelqualität (LÖFFLER 1989).



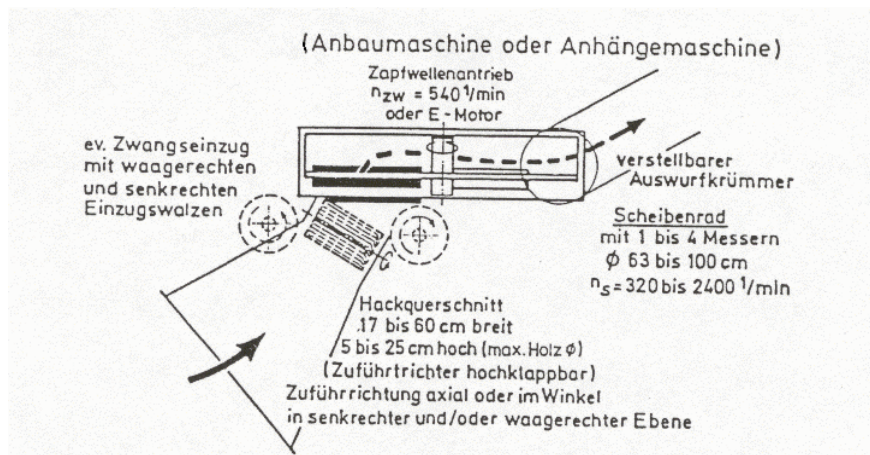


Abb. 24: Funktionsprinzip eines Scheibenhackers (APFELBECK 1983)

Das Hackaggregat eines *Trommelhackers*, auch Hackrotor genannt, besteht aus einem Zylinder, auf dessen Außenfläche bis zu 20 Hackmesser angebracht sind (Abb. 25). Der Zylinder rotiert um seine Längsachse. Die Hackschnitzelgröße lässt sich durch Veränderung der Rotationsgeschwindigkeit, der Anzahl der Hackmesser und der Schneidelänge variieren. Nach Angaben von BECKER et al. (1986) liegen die Vorteile eines Trommelhackers in seiner hohen Leistung, dem geringen Spreißel- und Reststückeanteil, den kompakten Abmessungen und der variierbaren Schnitzelgröße. Nachteilig sind dagegen erhebliche Faserstauchungen, (die allerdings bei einer energetischen Verwertung der Hackschnitzel keine Rolle spielen), der hohe Kraftaufwand und die unbefriedigende Auswurfleistung. Nach LÖFFLER (1989) weisen Trommelhacker den Vorzug der größeren Einzugsöffnung auf, weshalb sie zum Hacken von sperrigem Material (Schlagabraum, Kronenmaterial) und bei geringeren Anforderungen an die Hackschnitzelqualität (z. B. für Brennhackschnitzel für größere Holzfeuerungsanlagen) bevorzugt werden. Eine Messerschleifvorrichtung ist meist eingebaut.

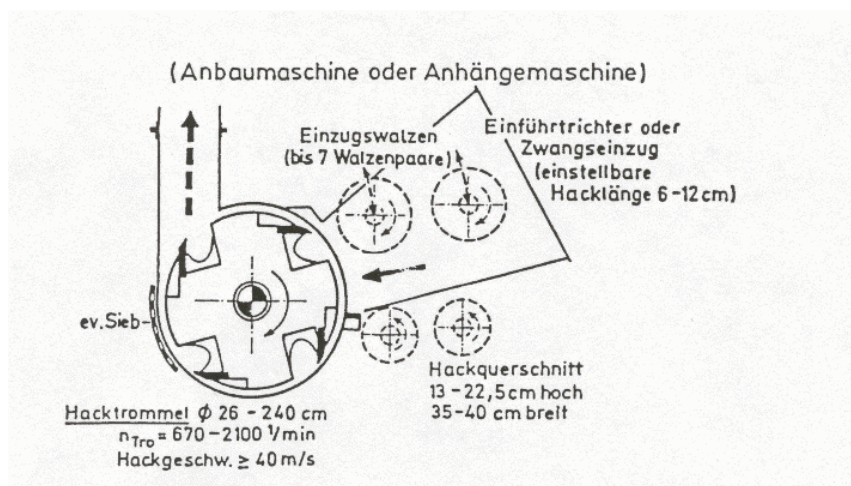


Abb. 25: Funktionsprinzip eines Trommelhackers (APFELBECK 1983)

Bei Scheiben- und Trommelhackern schneiden die Messer zunächst Scheiben vom Rundholz ab, die schließlich weiter zerfallen.

Im Falle von *Schrauben-, Schnecken- und Kegelhackern* ist das schneidende Werkzeug spiralförmig auf einem rotierenden Kegel oder als gerades Messer auf dessen Mantelfläche angeordnet (Abb. 26). Das Hackholz wird dem Aggregat parallel zur Rotationsachse zugeführt. Die Hackschnitzelgröße lässt sich nicht variieren, da die Form der Hackschnecke nicht verändert werden kann. Veränderungen in der Stückgröße sind möglich, indem verschiedene Spiralen verwendet werden. Dieses einfache und robuste Prinzip, das allerdings Hackschnitzel von nur mäßiger Qualität liefert, wird vorzugsweise in leichteren Anbauhackern zur Herstellung von Brennhackschnitzeln angewandt. Der Kraftaufwand für den Antrieb ist geringer als bei anderen Hackaggregaten (LÖFFLER 1989; APFELBECK 1983).

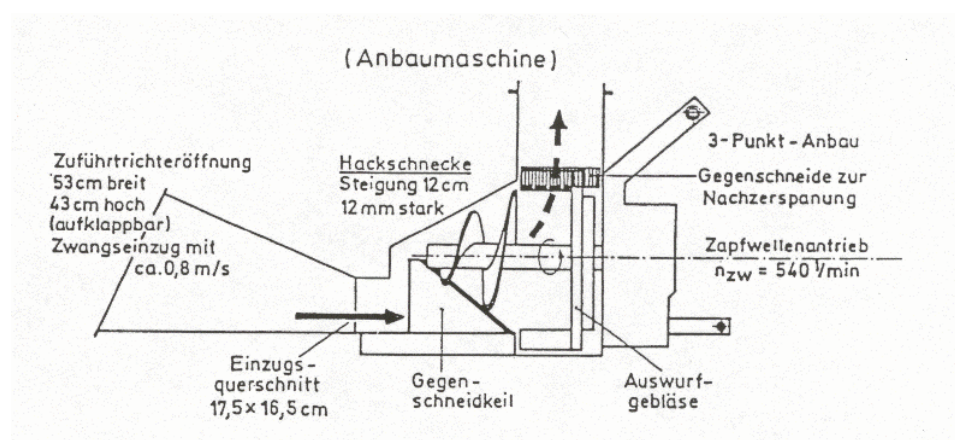


Abb. 26: Funktionsprinzip eines Schneckenhackers (APFELBECK 1983)

Die *Beschickung* von Hackern kann manuell oder mit Kran erfolgen. Manuelle Beschickung ist bei kleinen Anbau- und Anhängelackern die Regel. Mobilhackern der mittleren und oberen Größen- und Leistungsklassen werden heute ausnahmslos mit Kran beschickt (LÖFFLER 1989).

Beim *Holz einzug* unterscheidet man zwischen Selbsteinzug und Zwangseinzug.

- Bei kleineren Hackern ist meistens nur der Selbsteinzug des Hackmaterials vorgesehen. Die fräsende und schneidende Arbeitsweise der Hackaggregate führt zum Einzug des Materials. In einigen Fällen unterstützt die Neigung des Einzugstrichters um etwa  $45^\circ$  zur Horizontalen die Einzugsarbeit. Die Bäume müssen dadurch häufig angehoben werden. Dies wirkt sich nachteilig auf die Leistung aus (APFELBECK 1983).
- Der Zwangseinzug wird bei den meist größeren Scheiben- und Trommelhackern mittels mechanisch oder hydraulisch angetriebener Rippen- bzw. Stachelwalzen bewerkstelligt. Vor- oder Rücklauf der Einzugswalzen sowie die Möglichkeit, die Walzengeschwindigkeit zu variieren, gewährleisten im Gegensatz zum Selbsteinzug einen weitgehend störungsfreien Betrieb (APFELBECK 1983).

Die horizontale Zufuhr, bei der Hackschnitzel mit gleichmäßigen Abmessungen entstehen, setzt den

Zwangseinzug voraus. Gleiches gilt für sperriges Material mit größerem Einzugswiderstand.

Das *produzierte Schüttgut* wird entweder auf mechanischem Wege durch an die Hackscheibe angeschweißte Auswurf Flügel oder bei leistungsstärkeren Mobilhackern pneumatisch durch Ventilationsflügel *ausgeworfen* (LÖFFLER 1989).

### Hackertypen

Nach DREINER et al. (1994) lassen sich Mobilhacker in vier Gruppen einteilen: Anbau-, Anhänger-, Aufbauhacker und selbstfahrende Großhacker.

*Anbauhacker* (Abb. 27) sind meist kleine bis mittlere Hacker, die an der Dreipunkthydraulik eines Schleppers befestigt und über eine Zapfwelle vom Motor des Schleppers angetrieben werden.



*Abb. 27: Anbauhacker*

*Anhängenhacker* (Abb. 28) sind auf Anhänger montiert, die ein schnelles Umsetzen ermöglichen. Mittlere und große Hacker verfügen zum Teil über einen eigenen Motor.



*Abb. 28: Anhängenhacker*

*Aufbauhacker* (Abb. 29) werden auf das Chassis eines Forwarders oder Universalschleppers mon-

tiert. Ihr Antrieb erfolgt mittels Wandlergetriebe durch den Schleppermotor oder durch eigene starke Dieselmotoren.



*Abb. 29: Aufbauhacker auf Forwarder*

*Mobile Großhacker* (Abb. 30) sind Spezialkonstruktionen, die ausschließlich der Bereitstellung von Hackschnitzeln dienen. Bei diesen Hackern ist das Hackaggregat in das Fahrzeug integriert und lässt sich in der Regel nicht an oder auf anderen Fahrzeugen verwenden. Sind diese Maschinen zusätzlich mit einem Container ausgerüstet, so lassen sich mit ihnen Rücken und Hackvorgang kombinieren. Bedenken sollte man bei Verwendung einer solchen Maschine, dass die Entkoppelung von Aufarbeitung/Rücken und Hackvorgang die Hackschnitzelqualität verbessert, da das Hackholz an der Waldstraße vortrocknen kann. Trockene Hackschnitzel sind vor allem für Kleinanlagen wichtig.



*Abb. 30: Mobiler Großhacker*

Abbildung 30 zeigt den „Timberchipper“, eine Spezialhackmaschine, die mittels ihres um 170° dreh-

baren Einzugs beiderseits der Rückegasse Hackholz aufnehmen kann, also jede Gasse nur einmal in eine Richtung befahren muss.

Mobilhacker der kleinen und mittleren Größen- und Leistungsklasse sind meist Anbau- und Anhängenhacker, leistungsfähige Großaggregate dagegen in der Regel Aufbauhacker und selbstfahrende Hacker.

Mobil im Wald erzeugte Hackschnitzel werden entweder direkt in das Transportfahrzeug (LKW, Traktoranhänger) oder in Wechselbehälter (Container) befördert. Nur auf diese Weise können einerseits die Rationalisierungsmöglichkeiten des mobilen Hackens genutzt und andererseits die Hackschnitzel vor (zusätzlicher) Verunreinigung geschützt werden (LÖFFLER 1989). *Container* sind entweder als Aufbaucontainer mit Kippeinrichtung oder als Anhänger konstruiert. Anhängecontainer haben den Vorteil eines größeren Volumens, sind aber wegen ihres hohen Schwerpunktes im beladenen Zustand kippgefährdet. Beim Einsatz der Hacker auf der Waldstraße oder auf einem zentralen Platz können die Hackschnitzel direkt in einen LKW-Wechselcontainer für den Ferntransport geladen werden.

## **Orte des Hackvorganges**

### ***Hacken auf der Bestandesfläche***

Das ungeordnete Befahren der gesamten Bestandesfläche ist sehr kritisch zu sehen und grundsätzlich abzulehnen. Wenn Linien im Abstand von ca. 20 m eingehalten werden, kann das Befahren auf vielen Standorten toleriert werden; dies um so mehr, wenn anfallendes Kronenholz nach größeren Kalamitäten aus Forstschutzgründen gehackt werden muss. Hierfür eignen sich grundsätzlich An- oder Aufbauhacker mit Ladekran mittlerer Dimension. Auf Grund der geringen anfallenden Mengen und des verstreut liegenden Hackholzes ist ihr Einsatz sehr häufig unwirtschaftlich.

### ***Hacken auf der Rückegasse***

Hier kommen vor allem An- und Aufbauhacker zum Einsatz. Ladekran, Aufbau- oder Anhängencontainer sind weitere Bestandteile der Gerätekonfiguration. Besonders wichtig ist hier die Aufnahme- richtung des Hackholzes. Sie sollte von beiden Seiten her möglich sein, zusätzlich auch von der Frontseite, etwa wie beim Timberchipper, einer Spezialmaschine zum Hacken auf der Rückegasse.

### ***Hacken auf der Waldstraße***

Das Hacken auf der Waldstraße ermöglicht den Einsatz großer, leistungsfähiger Hacker mit eigenem Antrieb. Das Hackholz kann direkt in bereitgestellte LKW-Container geblasen werden. Um die volle Leistungsfähigkeit eines großen Hackers nutzen zu können, ist eine kontinuierliche Materialzufuhr notwendig. Entweder muss das Material in großer Menge an der Waldstraße oder an einem Platz gelagert sein oder von mehreren Rückeschleppern immer rechtzeitig geliefert werden. Häufiges Umsetzen des Hackers senkt die Leistung erheblich und sollte daher vermieden werden.

Wie die Studie von WOLF und PFEIL (1976) zeigt, kann der Platzbedarf eines großen Anhängen-

ckers bei bis zu 15 m x 30 m liegen. Der Arbeitsablauf vom Anliefern der Bäume bis zum Abtransport der Hackschnitzel sollte in einer Richtung erfolgen. Weiterhin ist für die Auslastung eines solchen Hackers (Jahreskapazität 15.000 bis 20.000 fm) ein überregionaler Einsatz notwendig. Damit ist ein hoher logistischer Aufwand verbunden. In den Schlepperkapazitäten (Anlegen von Materialpuffern) und beim Abtransport des Materials dürfen keine Engpässe auftreten.

#### ***Hacken auf zentralem Aufarbeitungsplatz/Werkhof oder am Ort des Verbrauchs***

Beim Hacken auf dem Werkhof kann der Zeitpunkt des Hackens verschoben werden. Die natürliche Vortrocknung des Hackholzes ergibt Hackschnitzel mit niedrigerem Wassergehalt. Aus der Vorkonzentration des zu hackenden Materials resultieren höhere Hackerleistungen und verringerte Kosten. Diesem Vorteil stehen jedoch die höheren Transportkosten von Vollbäumen im Vergleich zu Hackschnitzeln entgegen.

#### **3.7.2 Leistung beim Hacken**

In einer Literaturstudie stellte PATZAK (1984) mit zunehmendem BHD des Hackholzes eine linear ansteigende Hackleistung fest.

Die Kranbeschickung vor allem bei Aufbau- und Anhängehackern reduziert den Einfluss der Hackholzstärke, da schwächere Dimensionen gebündelt und komprimiert dem Hacker zugeführt werden können. Diese Tendenz ist bei Großhackern noch stärker ausgeprägt. Im Vergleich zu handbeschickten Aggregaten weisen kranbeschickte Hacker eine erheblich höhere Technische Arbeitsproduktivität (TAP) auf.

Nach PATZAK (1984) besteht nur *bei kranbeschickten Hackern* ein signifikanter Zusammenhang zwischen der TAP beim Hacken und dem BHD des ausscheidenden Bestandes. Bei *handbeschickten Hackern* war hingegen keine Abhängigkeit festzustellen. Hier spielen andere Einflüsse wie Übungsgrad der Arbeitskräfte, Sperrigkeit und Bereitstellungsqualität des Hackholzes eine erheblich größere Rolle.

Die in Herstellerprospekten angegebenen Leistungsdaten der Hacker werden in der Praxis selten erreicht. Das liegt unter anderem an der Verfahrenswahl der Hackschnitzelproduktion und der damit verbundenen Art und Form der Konzentration des Hackholzes. Prospektangaben über Hackerleistungen können deshalb nur einen groben Anhaltspunkt innerhalb eines bestimmten Rahmens geben.

#### **Leistung beim Hacken auf der Rückegasse**

Beim Hacken auf der Rückegasse werden meist Anbau- oder Anhängehacker eingesetzt. Hier liegen zahlreiche Studien für den BHD-Bereich von 5 bis 10 cm vor. Die in der Regel händischen Verfahren liefern Durchschnittswerte von 8 bis 9 Srm HS/h GAZ.

FELLER und RIEDLBERGER (2001) ermittelten bei Arbeitsstudien mit dem Timberchipper im Forstamt Pfaffenhofen unter optimalen Bedingungen (Rückeentfernung 100 Meter, Hackholz zu 100 % an der Rückegasse vorkonzentriert) im BHD-Bereich 11 bis 16 cm Leistungswerte zwischen 21 und 34 Srm HS/h GAZ, unter ungünstigen Bedingungen (Rückeentfernung 300 Meter) wurde noch eine Leistung

von 13 bis 17 Srm HS/h GAZ erzielt.

Im Rahmen einer weiteren Studie der LWF erreichte das System Hackschnitzelharvester/Transportfahrzeug (Shuttle) beim Hacken einschließlich Fällen und Vorliefern im Bereich BHD 10 bis 20 cm Leistungen zwischen 8 und 32 Srm HS/h GAZ (FELLER et al. 1998). Grundsätzlich ist zu empfehlen, das Hackholz auf großen Haufen vorzukonzentrieren, da dies die Hackleistungen steigert. Dies gilt sowohl für das Hacken auf der Rückegasse (z. B. Vorkonzentration an Seillinien) als auch an der Waldstraße (Anlage großer Hackholzpolter). Wegen der erheblichen Unterschiede in den Verfahrensmerkmalen wird an dieser Stelle auf eine grafische Darstellung der angeführten Hacksysteme verzichtet.

### Leistung beim Hacken auf der Waldstraße

Abbildung 31 zeigt die beim Hacken auf der Waldstraße gemessenen Leistungen. Die geringste Leistung erzielen demnach kleine An- oder Aufbauhacker für Traktoren. Hier werden z. B. für BHD 10 cm 4, für BHD 16 cm 5 bis 7 Srm HS/h GAZ angegeben. Mit großen Aufbau- oder Anhängenhackern lassen sich bei BHD 10 cm schon zwischen 10 und 22, bei BHD 16 cm zwischen 21 und 38 Srm HS/h GAZ erzielen. Diese Leistungen hängen von der Konzentration des Hackholzes ab. Nach dem von STAMPFER (1997) entwickelten Modell arbeiten Kranhackmaschinen im BHD-Bereich zwischen 10 und 20 cm bei durchschnittlichen Verhältnissen 22 bis 52 Srm HS/h GAZ auf.

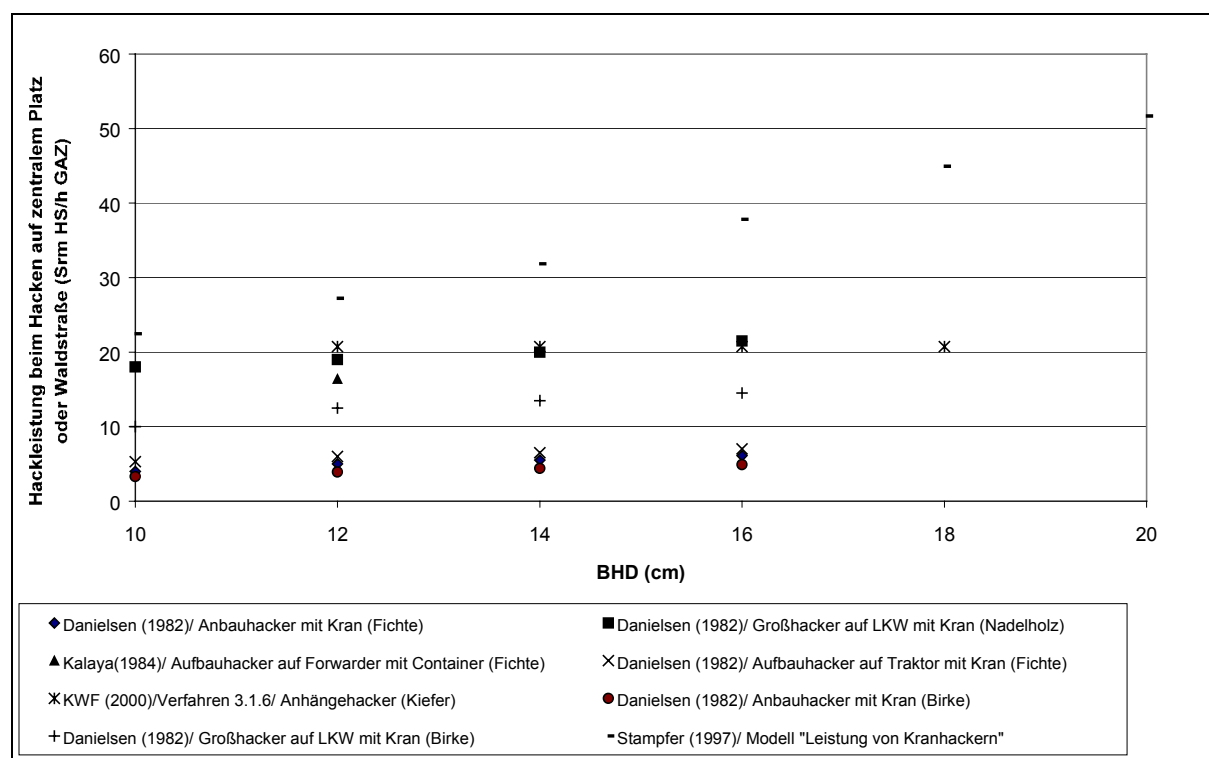


Abb. 31: Hackleistung auf der Waldstraße in Abhängigkeit vom BHD

### 3.7.3 Die Kosten des Hackens

Hacker sind grundsätzlich sehr kapitalintensive Maschinen. Im Einsatz sollte eine möglichst hohe

Auslastung erreicht werden (vorkonzentriertes Hackholz, ausreichende Platzverhältnisse, gute Transportorganisation). Geländegängige Hacker sind nur für schwierige Geländebedingungen nötig, etwa bei schlechter Erschließung mit LKW-befahrbaren Straßen oder Anfall von sperrigen Laubholzkronen auf der Fläche. Wegen der guten Umsetzungsmöglichkeit und der dadurch bedingten höheren Auslastung stellen Anhängenhacker oder LKW-Aufbauhacker häufig die bessere Lösung dar.

Der Hacker sollte über einen Kran und möglichst über einen eigenen Bunker verfügen. Man kann so mit geringem organisatorischen Aufwand Wartezeiten für den teuren Hacker bzw. für das Transportfahrzeug reduzieren oder überbrücken. Die Transportmittel sollten am Besten ein ganzzahlig Vielfaches des Bunkervolumens fassen, um den Umladevorgang rascher gestalten zu können.

### Kosten des Hackens auf der Rückegasse

Beim Einsatz des Timberchippers errechnen sich aus den von FELLER und RIEDLBERGER (2001) ermittelten Leistungswerten ausgehend von einem Unternehmereinsatz (Stundenlohn 25,00 €) folgende Kosten (frei Waldstraße):

|   | <b>BHD 11 cm</b>                           | <b>BHD 15 cm</b>                           |
|---|--|--|
| <b>unter günstigen Bedingungen</b><br>(Rückentfernung 100 m, Hackholz zu 100 % an der Rückegasse vorkonzentriert) | 10,05 €/Srm HS<br>(bei 21,40 Srm HS/h GAZ) | 6,30 €/Srm HS<br>(bei 34,10 Srm HS/h GAZ)  |
| <b>unter ungünstigen Bedingungen</b><br>(Rückentfernung 300 m)  | 16,41 €/Srm HS<br>(bei 13,10 Srm HS/h GAZ) | 12,72 €/Srm HS<br>(bei 16,90 Srm HS/h GAZ) |

Deutlich wird hierbei die maßgebliche Rolle der Transportentfernung für Produktivität und Rentabilität dieses Systems.

Beim Einsatz von Hackschnitzelharvester und Transportfahrzeug ergab die Kalkulation bei Unternehmereinsatz im Bereich BHD 10 bis 20 cm Kosten von 31,25 €/Srm HS (BHD 10 cm) bis 8,45 €/Srm HS (BHD 20 cm).

Bei den vollmechanisierten Systemen gaben die hohen Maschinenkosten letztendlich den Ausschlag für die sehr hohen Hackkosten.

### Kosten des Hackens auf der Waldstraße

Insgesamt standen zur Thematik Hacken sehr viele Arbeitsstudien zur Verfügung. Die vorgefundene, oft sehr heterogene Kostensituation kann sowohl auf die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der eingesetzten Hacker als auch auf die unterschiedlich effiziente Organisation der Arbeitseinsätze zurückgeführt werden.

Die höchsten Stückkosten (Abb. 32) wurden bei den kleinen An- und Aufbauhackern für Traktoren wegen der trotz geringer Leistung relativ hohen Maschinenkosten errechnet. Für diese Aggregate schlagen für den BHD-Bereich 10 bis 16 cm mit steigendem BHD sinkende Kosten von durchschnittlich rund 16 bis 11 €/Srm HS zu Buche. Um die Vergleichbarkeit der Kosten mit denen großer Hacker gewährleisten zu können, die weit überwiegend den Einsatz von Unternehmern erfordern, wurde hier generell mit den Kosten für Unternehmerarbeitskräfte kalkuliert. Da im Privatwald



wurde hier generell mit den Kosten für Unternehmerarbeitskräfte kalkuliert. Da im Privatwald beim Einsatz kleiner Maschinen oft eigene Arbeitskräfte tätig sind, können sich hier die Personal- und somit auch die Gesamtkosten entsprechend reduzieren, etwa in einer Größenordnung von 25 bis 30 % (bezogen auf die Gesamtkosten).

Die großen Aufbauhacker arbeiten hier kostengünstiger. Die für sie ermittelten Sätze sinken im angeführten BHD-Bereich von 5 €/Srm HS (BHD 10 cm) auf ca. 4 €/Srm HS (BHD 16 cm).

Generell sinken die Kosten pro Schüttraummeter Hackschnitzel mit zunehmendem BHD bei großen Hackern langsamer als bei den anderen Hackertypen. Der Grund liegt in der Ausstattung der Großhacker mit leistungsfähigen Hydraulik-Kränen und großen Trichteröffnungen, die den Einfluss des BHD von Anfang an relativ niedrig hält. Auch wenn die Kosten pro Schüttraummeter bei den Großhackern niedrig sind, darf nicht vergessen werden, dass mit diesen kostenintensiven Maschinen auf Dauer nur rentabel gearbeitet werden kann, wenn für eine entsprechende Jahresauslastung gesorgt ist.

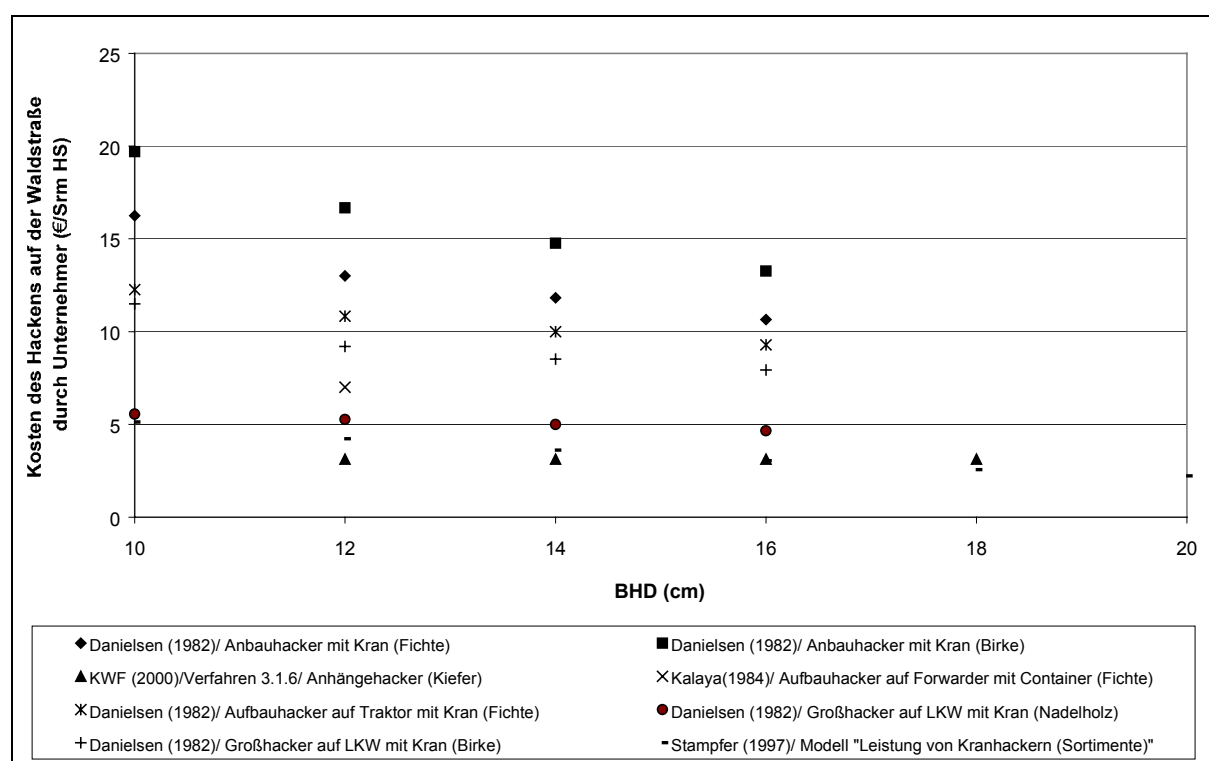


Abb. 32: Hackkosten für das Hacken auf der Waldstraße in Abhängigkeit vom BHD (Unternehmereinsatz; Lohnkosten: 25 €/h)

### 3.8 Ferntransport

#### 3.8.1 Beschreibung des Produktionsabschnitts

Der Grad der Aufarbeitung der Reststoffe - ob Vollbäume, Schlagabraum oder Hackschnitzel - bestimmt die benötigten Betriebsmittel und die Organisation des Transportes. Der Aufarbeitungsgrad der Reststoffe bestimmt weiterhin die Lade- und Lagerungsdichte. PATZAK (1981) unterscheidet da-

bei folgende Ladedichten:

**Tab. 1:** Ladedichten für Energieholz nach PATZAK (1981)

|                               |                                      |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| Vollbaum (Jungbestandspflege) | ca. 0,10 bis 0,15 m <sup>3</sup> /rm |
| Vollbaum (Jungdurchforstung)  | ca. 0,25 m <sup>3</sup> /rm          |
| Schlagabraum                  | ca. 0,08 bis 0,10 m <sup>3</sup> /rm |
| Hackschnitzel                 | ca. 0,40 m <sup>3</sup> /rm          |

Die Transportmittel für die Reststoffe können sehr vielfältig sein. Sie hängen ab vom Zustand des Transportgutes, dem gesamten Transportvolumen und den zu bewältigenden Entfernungen. Wegen des geringen Marktwertes der forstlichen Biomasse ist in besonderem Maße auf die volle Ausnutzung der Transportkapazität der Fahrzeuge zu achten (PATZAK 1981).

### Ferntransport des Hackholzes

Der Ferntransport von **Vollbäumen** oder **baumfallenden Längen** wird erforderlich, wenn nicht mobil im Wald gehackt werden soll, sondern stationär beim Verbraucher.

Wenn man vom kleinen landwirtschaftlichen Betrieb absieht, der das Hackholz mit dem *schleppergezogenen Anhänger* zu seinem Anwesen transportiert, kommt für den Transport nur ein mit einem Ladekran ausgestatteter *Spezial-LKW*, eventuell mit einem Anhänger, in Frage. Zum Verdichten des Ladegutes werden verschiedene Geräte verwendet wie z. B. Ketten, Stahlseile, Krangreifer, Stahlbänder, verstellbare Seitenwände oder hydraulische Balken.

Entscheidend ist, beim Vollbaum- und Schlagabraumtransport das Transportgut so vorzukonzentrieren und zu lagern, dass die Belade- und Wartezeiten minimiert werden.

Fahrzeuge mit geringeren Achslasten bringen für den Transport von Vollbäumen keinen Nachteil, da die Kapazität von Fahrzeugen für den Schwerlastverkehr kaum voll ausgenutzt werden kann.

### Ferntransport der Hackschnitzel

Der Hackschnitzel-Ferntransport zum Lager als **loses Schüttgut** kann ohne Transportbruch direkt mit der Maschinenkombination erfolgen, die auch die Hackschnitzel gerückt hat. Bei relativ kurzen Transportwegen ist dies häufig ein Schlepper mit einem oder zwei *landwirtschaftlichen Kippanhängern* (je 8 m<sup>3</sup>). Das Volumen dieser Kippanhänger lässt sich mittels Erhöhung der Bordwand auf 12 m<sup>3</sup> erweitern.

Bei größeren Transportentfernungen und bei der Verwendung von mit dem Trägerfahrzeug des Hackers verbundenen Container-Konstruktionen werden meist *LKW mit großen Wechselcontainern* (25 - 40 m<sup>3</sup>) eingesetzt. In der folgenden Übersicht sind die durchschnittlichen Kapazitäten von verschiedenen Transportmitteln mit den damit verbundenen Energieinhalten gegenüber gestellt.

**Tab. 2:** Durchschnittliche Kapazitäten verschiedener Transportmittel (LAUCHER 1995)

| Transportmittel                  | Transportkapazität (Srm) | Transportkapazität (t) | Transportgut          | Energieinhalt (kWh) |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| LKW mit Hänger und LKW Sattelzug | 90                       | 25                     | Rinde                 | 55.000              |
|                                  |                          |                        | Hackschnitzel frisch  | 65.000              |
|                                  |                          |                        | Späne frisch          | 60.000              |
| LKW mit Großcontainer            | 30-35                    | 8-10                   | Rinde                 | 18.000              |
|                                  |                          |                        | Hackschnitzel frisch  | 22.000              |
|                                  |                          |                        | Späne frisch          | 20.000              |
| Traktor mit Hänger (klein)       | 10-12                    | 3                      | Hackschnitzel frisch  | 7.000               |
|                                  | 10-12                    | 2                      | Hackschnitzel trocken | 8.500               |
| Traktor mit Hänger (groß)        | 15-20                    | 6                      | Hackschnitzel frisch  | 14.000              |
|                                  |                          |                        | Hackschnitzel trocken | 17.000              |

Das Beladen der Transportfahrzeuge kann auf verschiedene Arten organisiert werden:

- direktes Einblasen vom Hacker in den bereitstehenden LKW;
- Beladen durch Entleeren mitgeführter Container (Hacker oder Rückefahrzeug);
- vom Boden mit Schaufellader oder LKW-Kran.

Beim *Einblasen* der Hackschnitzel in den LKW ist kein zusätzliches Gerät erforderlich. Das Transportfahrzeug ist jedoch für die Dauer des Hackens an den Hackort gebunden. Das Transportsystem ist daher sehr anfällig gegen Störungen des Erntesystems oder des Hackens. Andererseits bewirken Störungen im Transportzyklus oft einen Stillstand des Hackers. Bei diesem Verfahren müssen daher die Kapazitäten gut aufeinander abgestimmt werden. Vorteilhaft sind beim Einblasen eine höhere Ladedichte und eine geringe Verschmutzung der Hackschnitzel. Das *Beladen durch Entleeren von mitgeführten Containern* ist für das Hacken im Bestand oder auf der Rückegasse konzipiert. Der Hacker bläst die Hackschnitzel in einen angehängten/aufgesattelten Behälter von 1,5 bis 15 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen. Diese Behälter werden wiederum in größere Container auf der Waldstraße entleert.

Beim *Beladen vom Boden mit Schaufellader oder LKW-Kran* werden die Beladestellen in der Regel an gut befahrbaren Wegen angelegt. Deshalb können meist alle Arten von Container-Fahrzeugen eingesetzt werden. Nachteilig sind die Verunreinigung von Hackschnitzeln und der Verlust eines gewissen Teiles, da eine restlose Wiederaufnahme der Hackschnitzel vom Boden nicht möglich ist.

Da die Transportphase häufig mit langen Wartezeiten belastet ist, werden Transportverfahren angewandt, bei denen der eigentlichen Fahrzeugeinheit mehrere Ladeaufbaueinheiten zugeordnet werden.

Dies geschieht einerseits mit dem Anhänger-Rotationssystem und andererseits mit dem Wechselcontainersystem (PATZAK 1981).

Das Verwenden von zwei oder mehr Anhängern pro LKW-Einheit kennzeichnet das *Anhänger-Rotationssystem*. Der LKW fährt mit einem Anhänger zur Beladestelle, wird beladen und fährt ohne Anhänger zurück. Bis das Fahrzeug mit dem zweiten Anhänger zurückkommt, kann der zurückgelassene Anhänger beladen werden, so dass für die nächste Lastfahrt nur noch der Zugwagen beladen werden muss und ein weiterer leerer Anhänger zum Beladen vorhanden ist. Die Standzeit kann so auf die Beladezeit des LKW reduziert werden. Für das Manövrieren treten jedoch zusätzliche Zeiten auf (10 bis 15 Minuten).

Beim *Wechselcontainersystem* werden einem Trägerfahrzeug vier oder mehr abrollbare Container zugeordnet, so dass hier auch für den Zugwagen die Wartezeit für das Beladen entfällt. Der Aufenthalt des Fahrzeuges am Beladeplatz kann somit bei guter Organisation auf die Zeit für das Austauschen der vollen gegen leere Container begrenzt werden.

Beim *Entladen* am Ort des Verbrauchers oder in einem Zwischenlager ist ebenso wie beim Beladen auf eine Minimierung der Standzeiten zu achten. Auch hier ist eine Vielzahl von Varianten möglich, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

### **3.8.2 Leistung und Kosten beim Ferntransport**

PATZAK (1981) stellte fest, dass bei *kurzen Transportentfernungen* die Be- und Entladezeit, bei *größeren Entfernungen* die Ladegröße der wichtigste Einflussfaktor ist. Wegen des geringen Marktwertes der forstlichen Biomasse ist in besonderem Maße auf die volle Ausnutzung der Transportkapazität zu achten.

Seine Versuchsergebnisse machten weiterhin deutlich, dass bei ausschließlicher Betrachtung des Biomasse-Ferntransportes der *Hackschnitzeltransport* dem *Hackholztransport* vorzuziehen ist. Die durchschnittlichen Kosten für den Hackholztransport sind etwa doppelt so hoch wie für den Hackschnitzeltransport. Bei den Hackholz-Varianten wirken sich das relativ geringe Ladegewicht bei gleichzeitig hohen Investitionskosten der Betriebsmittel aus. Das Schüttgut Hackschnitzel erreicht höhere Ladedichten.

Als günstigste Variante stellte sich der Hackschnitzel-Ferntransport mit angemieteten Wechselcontainern heraus. Dies gilt besonders, wenn die Hackaggregate mit aufgesatteltem Hackschnitzelbehälter zum Rücken der Hackschnitzel eingesetzt werden.

### **Leistung und Kosten beim Hackholz-Ferntransport**

Der Ablaufabschnitt Hackholz-Ferntransport ist noch mehr von der Transportentfernung abhängig als die anderen Transportvorgänge im Gelände (PATZAK 1984). Der Einfluss der Stückmasse ist jedoch nicht zu vernachlässigen. Sowohl beim Be- und Entladen als auch bei der Lastfahrt ist ihr Einfluss deutlich. Je höher die Stückmasse ist, um so kürzer ist der Zeitbedarf für Be- und Entladen und umso höher ist das Gewicht der Ladungen.

Zur Beurteilung der Leistung und insbesondere der Kosten stehen nur die Daten der Versuche von PATZAK (1984) zur Verfügung. Dazu bemerkt der Autor selbst, dass es sich um erste und nur wenige Versuche handelt. Dementsprechend niedrig sind auch die TAP-Werte im Verhältnis zu den anderen, meist im Ausland erzielten Leistungen.

### Leistung

Die Leistungsdaten für die Varianten LKW mit und ohne Anhänger sind in Abbildung 33 dargestellt. Dabei wurden unterschiedliche Ausgleichsgeraden für den Nah- und Fernbereich verwendet.

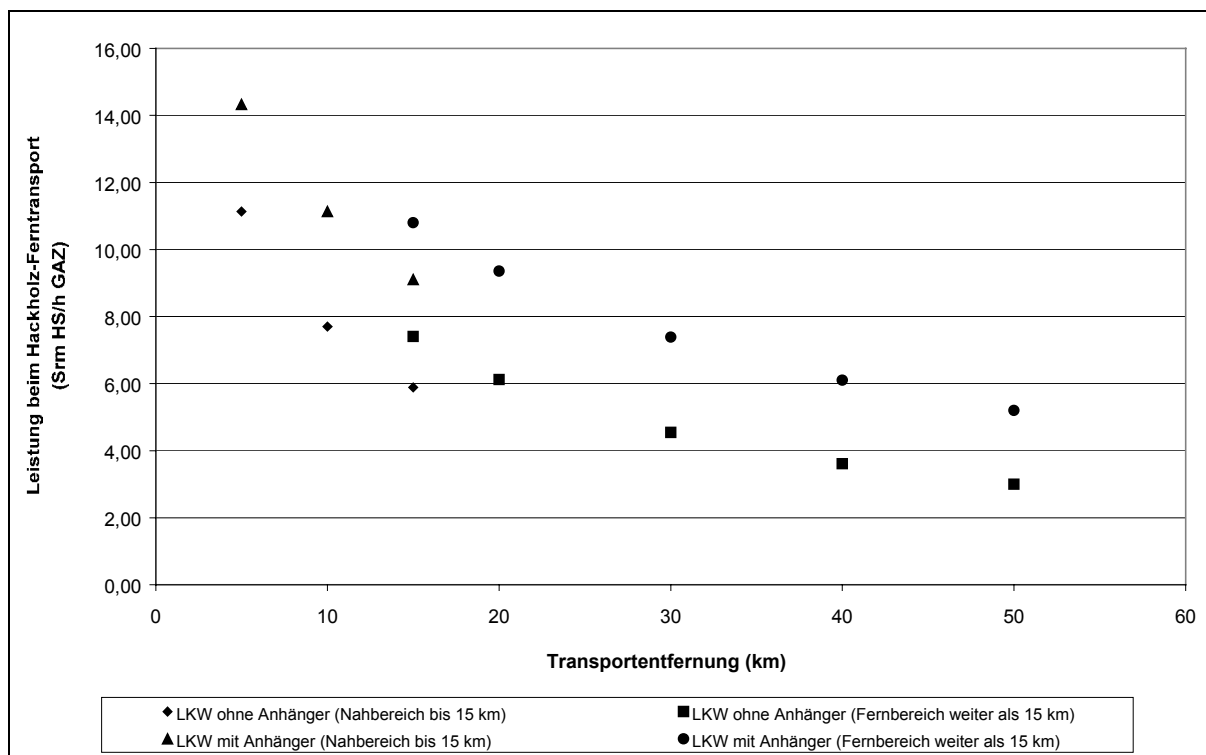
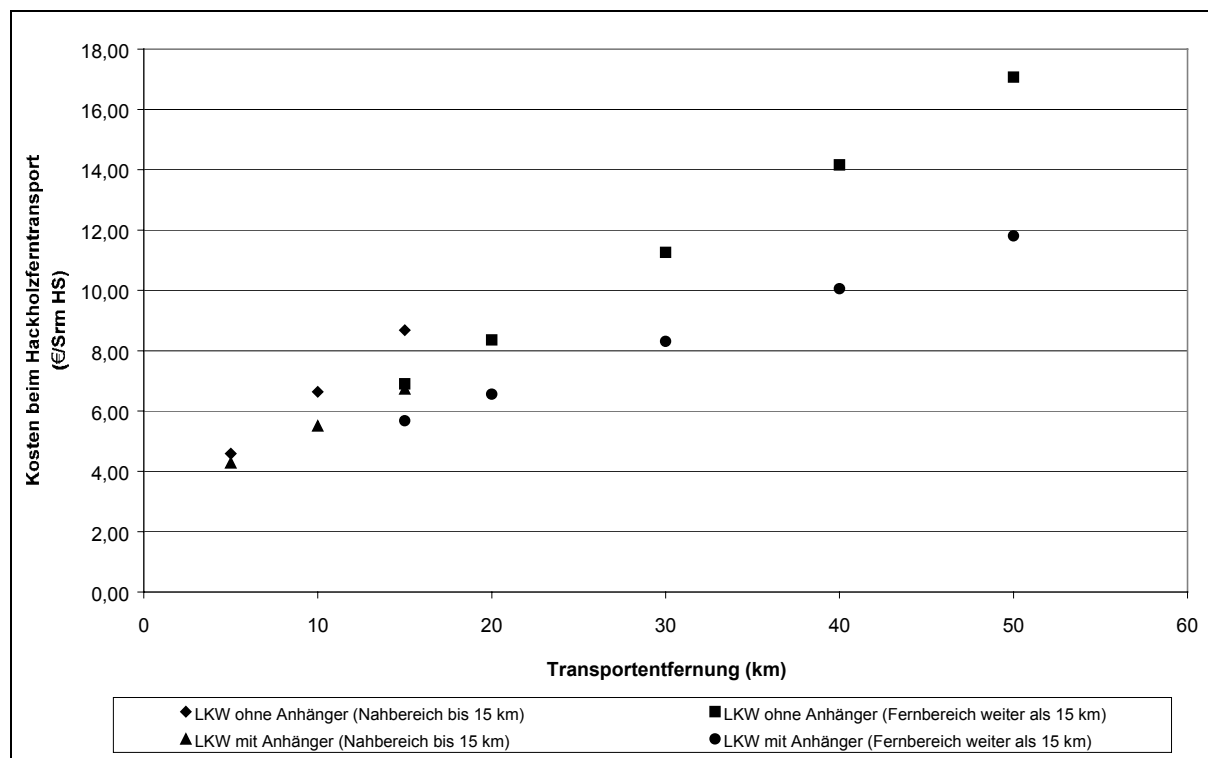


Abb. 33: Leistung bei Hackholz-Ferntransport mit verschiedenen Betriebsmitteln in Abhängigkeit von der Transportentfernung

Ein LKW ohne Anhänger kann beispielsweise bei einer Entfernung von 10 km umgerechnet rund 8, bei 30 km noch ca. 5 Srm<sup>3</sup> HS /hGAZ transportieren. Ein LKW mit Anhänger ist um ca. ein bis zwei Drittel leistungsfähiger.

### Kosten

Für die Betrachtung der Kosten des Ferntransportes des Hackholzes sind nur die Kalkulationen mit Unternehmersätzen heranzuziehen, da dies in der Praxis nur beauftragte Firmen vornehmen (Abb. 34). Pro Schüttraummeter Hackschnitzel kostet der Transport von Vollbäumen über 5 km beim LKW ohne Anhänger rund 4,50 €, mit Anhänger 4,00 €. Mit zunehmender Transportentfernung steigen die Kosten der Variante ohne Anhänger überproportional gegenüber den Kosten der Variante ohne Anhänger (13 % im unteren, über 30 % im oberen Entfernungsbereich).



**Abb. 34:** Kosten für den Hackholz-Ferntransport mit verschiedenen Betriebsmitteln in Abhängigkeit von der Transportentfernung

### Leistung und Kosten beim Hackschnitzel-Ferntransport

Ernte und Transport von Hackschnitzeln sind bei den meisten Verfahren eng miteinander verflochten. Eine exakte Abstimmung der beiden Phasen aufeinander ist daher unbedingte Voraussetzung für einen störungsfreien Ablauf (PATZAK 1981).

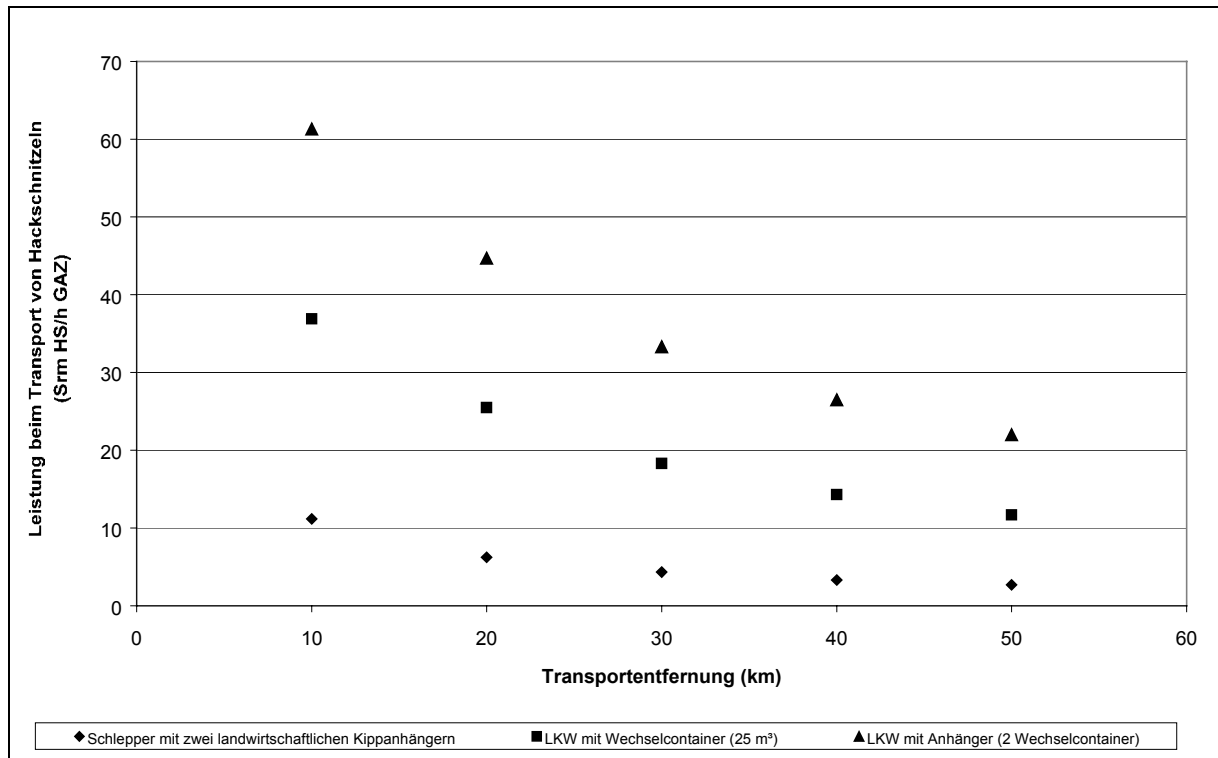
Die TAP beim Transport hängt in erster Linie von der Entfernung, vom Transportmittel (Transportvolumen) und von den Ladehilfen ab. Die Technik des Be- und Entladens ist ebenfalls ein wichtiger Einflussfaktor. Bei Ernteverfahren mit gekoppeltem Hacken und Beladen beeinflusst auch die Hackerleistung die Transportleistung.

Die Varianten mit Einsatz der Container-LKW schneiden sowohl in der Leistungsfähigkeit als auch von den Kosten her wesentlich besser ab als die Schleppergespanne (auch mit zwei Anhängern).

Wenn immer es zur Verfügung steht, sollte dieses MULTILIFT-System eingesetzt werden. Die Behältergrößen müssen jedoch an Hackleistung und Länge des Transportzyklus angepasst werden.

### Leistung

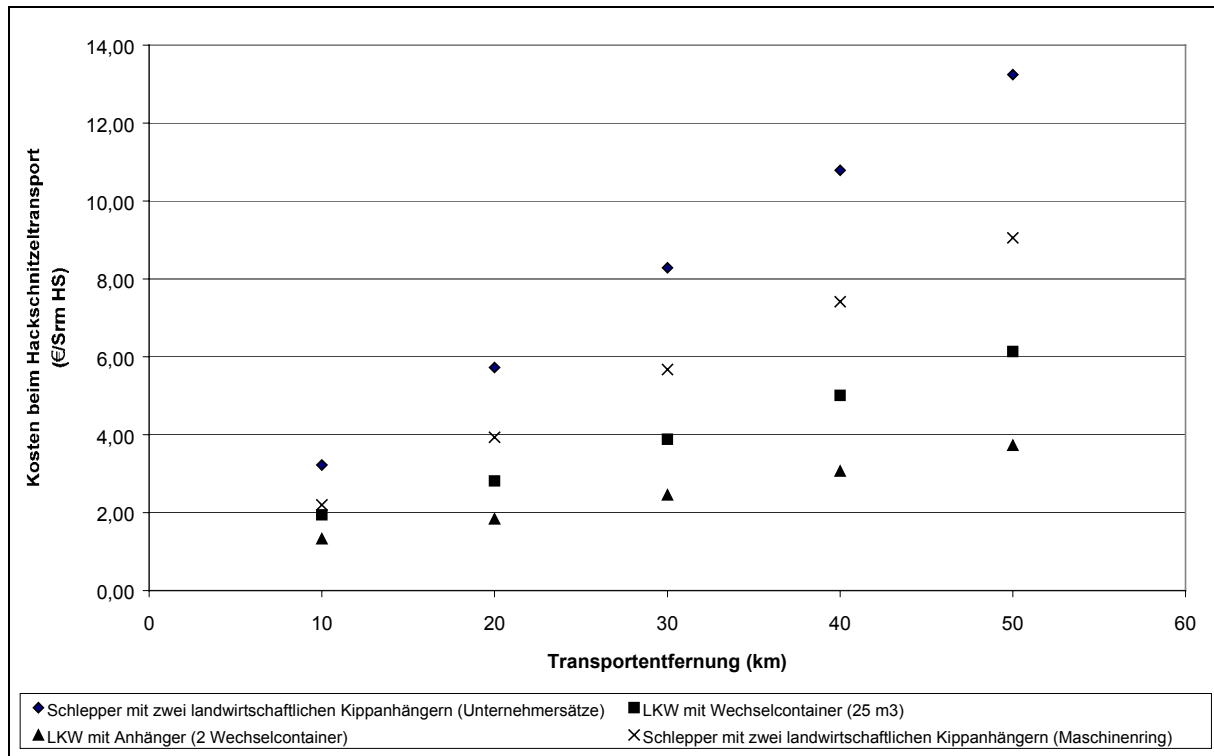
Die Leistungen der einzelnen Transportsysteme nach PATZAK (1984) sind in Abbildung 35 dargestellt. Die Abnahme der Leistung ist bei allen drei Varianten linear. Am leistungsfähigsten über alle Entfernungen hinweg ist der LKW mit Anhänger und Wechselcontainern.



**Abb. 35:** Leistung beim Hackschnitzel-Ferntransport mit verschiedenen Betriebsmitteln in Abhängigkeit von der Transportentfernung

### Kosten

Der Transport der Hackschnitzel mit dem Schlepper wird hier mit den Kalkulationsvarianten Maschinenring und Unternehmer betrachtet, der Transport mit dem LKW nur mit der Unternehmervariante (Abb. 36).



**Abb. 36:** Kosten des Hackschnitzel-Ferntransportes mit verschiedenen Betriebsmitteln in Abhängigkeit von der Transportentfernung

Am günstigsten schneidet auch hier die Variante „LKW mit Anhänger“ ab. Bei Entfernungen von 10 bis 50 km bewegen sich die Kosten in einem Rahmen von 1,30 bis 3,70 €/Srm Hackschnitzel. Beim LKW ohne Anhänger sind die Kosten um ca. 50 % höher.

Der Einsatz von Schleppern ist nur bis zu einer Entfernung von etwa 10 bis 15 km vertretbar. Insbesondere im Nahbereich bis zu 10 km Entfernung stellt die Nutzung von Schlepper und Anhängern zu Maschinenringsätzen eine sinnvolle Alternative dar. Bei einer Transportentfernung von 5 km sind hier die Kosten von 1,30 €/Srm HS nahezu identisch mit denen eines LKW ohne Anhänger und nur 0,30 €/Srm Hackschnitzel teurer als für LKW mit Anhänger. Vor allem beim Einsatz einer schwächeren Hackmaschine kann es sinnvoll sein, auf ein Schleppergespann zurückzugreifen, wenn die begrenzte Leistungsfähigkeit des Hackers sonst größere Wartezeiten verursachen würde (PLATH 1992).



## 4 Mögliche Bereitstellungssysteme für Hackschnitzel

Im folgenden Kapitel werden acht nach Praxisrelevanz ausgewählte Systeme für die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln dargestellt. Der Einsatzbereich eines Logistiksystems ergibt sich dabei jeweils aus den verfahrensspezifisch genannten technischen und betriebswirtschaftlichen Erfordernissen.

Leistung und Kosten des jeweiligen Systems zur Hackschnitzelproduktion werden für die BHD-Stufen 10, 15 und - nur für die höher mechanisierten Verfahren - 20 cm kalkuliert. Als Grundlage der Berechnungen fließen die in Kapitel 3 für die verschiedenen Arbeitsschritte und Mechanisierungsgrade angegebenen Werte ein. Auf ergonomische und waldbaulich-ökologische bzw. sonstige Gesichtspunkte wird abschließend eingegangen.

Grundsätzlich ist es auch möglich, aus den Daten im vorhergehenden Kapitel weitere Bereitstellungssysteme zu kombinieren und dafür Kosten und Leistungen zu berechnen.

### 4.1 Vorliefern von Hand, Hacken auf der Rückegasse





#### Einsatzbereich

Dieses Verfahren stellt eine Alternative bei schlechter Erschließungssituation und gleichzeitig geringem Materialanfall im Kleinprivatwald dar.

#### Technische Ausstattung

- Motorsäge, persönliche Schutzausrüstung, Fällheber, Packzangen
- handbeschickter Anbauhacker
- Traktor mit Anhänger

#### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Bestand   | Rückegasse  | Waldstraße  | Heizanlage |
|-------------------------------|---|---|---|------------|
| Fällen                        |  |   |   |            |
|                               |  |   |   |            |
|                               |   |  |   |            |
|                               |   |   |  |            |

- Im gelösten Zweimannverfahren wird mit der Motorsäge gefällt und von Hand vorgeliefert

(bis ca. 15 m Vorlieferentfernung).

- Gehackt wird auf der Rückegasse mit einem handbeschickten Anbauhacker. Auf einem angehängten Wagen werden die Hackschnitzel zur Waldstraße vorgerückt.
- Die Hackschnitzel werden unmittelbar nach dem Hacken und Rücken mit Traktor und Anhänger zum Hof transportiert.

### Organisation

Der Organisationsaufwand des Verfahrens ist gering, alle im Wald anfallenden Teilarbeiten können auch zeitlich getrennt voneinander erledigt werden. Lediglich Hackvorgang und Transport werden in einem (kombinierten) Arbeitsgang durchgeführt.

### Leistung des Verfahrens

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 5 km.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> |
|-----------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 1,4 Srm HS/h GAZ | 1,6 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens (im Durchschnitt)

Der eindeutige betriebswirtschaftliche Nachteil dieses Verfahrens liegt im händischen Vorliefern, das zeitaufwändig und lohnkostenintensiv ist. In der Praxis spielt dieser Aspekt jedoch häufig für die persönliche Entscheidung der Waldbauern eine untergeordnete Rolle, etwa weil die Arbeiten in Eigenregie durchgeführt werden und nur kalkulatorische Lohnkosten anfallen. Bei geringem Hiebsanfall kann es so für den Einzelnen trotzdem eine Alternative darstellen.

In der folgenden Kalkulation wird von einer Entlohnung der Arbeitskräfte zum Maschinenringsatz ausgegangen.

|                          | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> |
|--------------------------|------------------|------------------|
| <b>Maschinenringsatz</b> | 14,40 €/Srm HS   | 12,90 €/Srm HS   |

### Ergonomie

Aus ergonomischer Sicht ist das händische Vorliefern wegen der hohen physischen Belastung der Arbeitskräfte als sehr nachteilig zu betrachten. Für den Motorsägenführer und den Vorlieferer besteht jedoch die Möglichkeit, sich in ihrer Tätigkeit abzuwechseln (Jobrotation).

Auch bei der händischen Beschickung des Hackers treten hohe körperliche Belastungen auf. Wo immer möglich, sollten kranbeschickte Hacker eingesetzt werden.

### Sonstiges

Das Hacken auf der Rückegasse mit einem Anbauhacker und angehängtem Wagen erfordert ein ein-

faches Gelände, gute Erschließung und relativ breite Rückegassen.

Das gerückte Hackholz hat bei diesem Verfahren vor dem Hackvorgang nicht die Möglichkeit, an der Waldstraße abzutrocknen. Dies wirkt sich negativ auf die Qualität und Lagerfähigkeit der Hackschnitzel aus.

#### 4.2 Vorliefern mit dem Pferd, Rücken mit Kranrückewagen

Im Gegensatz zu dem unter 4.1 bezeichneten Verfahren wird auf der Waldstraße gehackt. Vorgeliefert und gerückt wird mit Pferd und Kranrückewagen.






##### Einsatzbereich

Für Forstbetriebe mit Zugriff auf ein geeignetes Rückepferd bietet sich dieses Verfahren für Hiebe auf Problemstandorten an.

##### Technische Ausstattung

- Motorsäge, persönliche Schutzausrüstung, Fällheber
- Zugpferd mit Rückegeschrir
- Traktor mit Kranrückewagen und Anhänger
- Kranbeschickter Anhängenhacker

##### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Bestand   | Rückegasse  | Waldstraße  | Heizanlage |
|-------------------------------|---|---|---|------------|
| Fällen,<br>Aufarbeiten        |  |   |   |            |
|                               |  |   |   |            |
|                               |   |  |   |            |
|                               |   |   |   |            |
|                               |   |   |  |            |

- Gefällt wird mit der Motorsäge, vorgeliefert wird mit dem Zugpferd.

- Gerückt wird mit einem Kranrückewagen, gehackt wird - zeitlich entkoppelt - auf der Waldstraße oder einem Lagerplatz mit einem kranbeschickten Hacker.
- Die Hackschnitzel werden unmittelbar nach dem Hacken mit Traktor und Anhänger zum Hof transportiert (etwa 5 km).

### Leistung des Verfahrens

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 5 km.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> |
|-----------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 1,7 Srm HS/h GAZ | 2,7 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens

Für die Kalkulation wurde eine Entlohnung der Arbeitskräfte zum Maschinenringsatz angenommen, mit Ausnahme des Pferdeführers. Seine Tätigkeit wurde mit dem Unternehmersatz 25 € bewertet.

|                                | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> |
|--------------------------------|------------------|------------------|
| <b>Maschinenringsatz*</b>      | 19,40 €/Srm HS   | 13,30 €/Srm HS   |
| *Pferdeführer: Unternehmersatz |                  |                  |

### Ergonomie

Das Vorliefern mit dem Pferd erfordert von Pferd und Führer hohe Konzentration. Eine Vorlieferentfernung von 50 m sollte nicht überschritten werden.

### Sonstiges

Das Vorliefern mit dem Pferd bietet sich bei schlechten Erschließungsverhältnissen, unwegsamem Gelände oder empfindlichen Böden an. Das Hackholz kann im Gegensatz zu dem in Kapitel 4.1 beschriebenen Verfahren in der Zeit zwischen den beiden Arbeitsphasen an der Waldstraße abtrocknen. Dies verbessert die Hackschnitzelqualität.

### 4.3 Teilmechanisiertes Fällen, Vorliefern/Rücken, Hacken auf der Waldstraße mit kranbeschicktem Anhängenhacker





#### Einsatzbereich

Das Verfahren eignet sich für Waldbesitzer, die eigene Arbeitskraft und Maschinen (Seilschlepper) einbringen wollen.

#### Technische Ausstattung

- Motorsäge, persönliche Schutzausrüstung
- Schlepper mit Funkseilwinde
- Anhängenhacker
- Anhänger

#### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Bestand   | Rückegasse | Waldstraße  | Heizanlage |
|-------------------------------|---|------------|---|------------|
| Fällen,<br>Aufarbeiten        |  |            |   |            |
| Rücken                        |  |            |   |            |
| Hacken                        |   |            |   |            |
|                               |   |            |  |            |

- Fällen und Vorliefern erfolgen teilmechanisiert mit Motorsäge und Seilschlepper im Zwei-mannverfahren.
- Gerückt wird ohne Transportbruch mit dem Seilschlepper bis zur Waldstraße (gekoppeltes Verfahren). Dort wird das Hackholz zur Trocknung gepoltert.
- Das Hacken erledigt zeitversetzt ein Anhängenhacker an der Waldstraße (entkoppeltes Verfahren).
- Unmittelbar nach dem Hackvorgang transportiert ein Schlepper mit Anhänger die Hackschnitzel zum Verbraucher (angenommene Transportentfernung 5 km).

### Organisation

Der Organisationsaufwand ist relativ gering. Die Teilarbeitsschritte Vorliefern, Rücken und Hacken erfolgen getrennt („entkoppelt“), müssen also nicht zeitlich aufeinander abgestimmt werden. Sinnvoll ist es aber, die Hackschnitzel unmittelbar nach dem Hacken zur Heizanlage, z. B. zum Hackschnitzelbunker am Heizwerk zu transportieren.

### Leistung des Verfahrens

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 5 km.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 2,0 Srm HS/h GAZ | 2,8 Srm HS/h GAZ | 3,5 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens

In der Kalkulation wurden die Arbeitskräfte zum Maschinenringsatz entlohnt.

|                          | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Maschinenringsatz</b> | 16,40 €/Srm HS   | 12,60 €/Srm HS   | 10,90 €/Srm HS   |

### Ergonomie

Das Ausziehen des Seils im Bestand beim Rücken ist eine körperlich anstrengende Arbeit. Auch muss die Kabine zur Lastbildung und zum Poltern häufig verlassen werden.

### Sonstiges

Das Rücken mit dem Seilschlepper führt bei nicht sachgerechter Durchführung zu erheblichen Schäden am verbleibenden Bestand. Langholz kann Rindenverletzungen verursachen am Übergang Bestand zu Rückegasse sowie beim Einschwenken von der Rückegasse auf die Waldstraße.

#### 4.4 Fällen/Vorliefern mit Seilschlepper; Rücken und Hackholztransport mit Kranrückewagen zum Lagerplatz/Heisanlage, Hacken am Lagerplatz




##### Einsatzbereich

Das Verfahren bietet sich an, wenn zentrale Lagerplätze für Hackholz existieren oder unmittelbar an nahegelegenen Heisanlagen gelagert und gehackt werden kann.

##### Technische Ausstattung

- Motorsäge, persönliche Schutzausrüstung
- Schlepper mit Funkseilwinde
- Kranrückewagen
- Anhängehacker

##### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Bestand   |  |  | Lagerplatz,<br>Heisanlage   |
|-------------------------------|---|--|--|---|
| Aufarbeiten                   |  |  |  |   |
|                               |   |  |  |   |
|                               |   |  |  |  |

- Fällen und Vorliefern erfolgen teilmechanisiert mit Motorsäge und Seilschlepper im Zwei-mannverfahren.
- Gerückt wird mit Kranrückewagen.
- Transport des Hackholzes zum Lagerplatz/Heisanlage mit Kranrückewagen (Entfernung 5 km)
- Gehackt wird mit einem Anhängehacker am Hackholzlager.

##### Leistung des Verfahrens (im Durchschnitt)

Eingerechnet ist ein Transport des Hackholzes über 5 km zum Lagerplatz oder zur Heisanlage.

|                       | BHD 10 cm        | BHD 15 cm        | BHD 20 cm        |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 3,6 Srm HS/h GAZ | 5,4 Srm HS/h GAZ | 6,5 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens

Für das Verfahren werden Kosten für die Entlohnung nach Maschinenringsatz und Unternehmersatz angegeben.

|                          | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Maschinenringsatz</b> | 16,80 €/Srm HS   | 11,60 €/Srm HS   | 9,70 €/Srm HS    |
| <b>Unternehmersatz</b>   | 22,90 €/Srm HS   | 15,20 €/Srm HS   | 12,50 €/Srm HS   |

### Ergonomie

Das gelöste, vom Seilschlepper unterstützte Zweimannverfahren beim Fällen und Vorliefern bietet die Möglichkeit, sich bei der schweren Motorsägenarbeit abzuwechseln. Das Rücken mit dem Kranrückewagen ist ebenfalls ergonomisch günstig zu beurteilen.

### Sonstiges

Das windenunterstützte Zufallbringen ermöglicht eine saubere Hiebsordnung mit geringen Schäden bei Fällen und Vorliefern. Der Rückewagen kann bei sorgfältiger Kranführung sehr bestandesschonend arbeiten. Wenn nicht direkt am Heizwerk gehackt wird, muss noch ein zusätzlicher Hackschnitzeltransport einkalkuliert werden.

## 4.5 Verfahren „Neustadt“; Aufteilung der Bestandsfläche in Zangenzone/Seilzone, Rücken mit Zangenschlepper, Hacken auf der Waldstraße

### Einsatzbereich






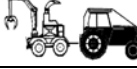

Das Verfahren eignet sich für große Hiebsflächen sowie zur Bereitstellung von Hackschnitzeln in größeren Mengen für Heizwerke.

### Technische Ausstattung

- Persönliche Schutzausrüstung, Motorsäge, Fällheber
- Forstspezialschlepper mit Seilwinde
- Zangenschlepper
- Anhängenhacker
- LKW mit Wechselcontainer oder landwirtschaftlicher Schlepper mit Anhänger



### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Zangenzone  | Rückegasse  | Waldstraße  | Heizanlage |
|-------------------------------|---|---|---|------------|
| Fällen, Aufarbeiten           |  |   |   |            |
|                               |   |  |   |            |
|                               | <b>Seilzone</b>   |   |   |            |
| Vorliefern                    |  |  |   |            |
|                               |   |  |   |            |
|                               |   |   |   |            |
|                               |   |   |  |            |

Das Hackholz wird in zwei getrennten Arbeitsschritten bereitgestellt. Zunächst wird aus der **Zangenzone** (= Rückegasse und angrenzende Bestandesteile innerhalb der Reichweite der Schlepperzange) das dort liegende Holz per Zangenschlepper an die Waldstraße gerückt. Danach wird auf der Restfläche (**Seilzone**) weitergearbeitet. Dort wird im Seillinienverfahren gefällt und das Hackholz mittels Seilschlepper an der Rückegasse vorkonzentriert. Das Rücken zur Waldstraße übernimmt der Zangenschlepper. Das Verfahren ist ausführlich im LWF-Bericht Nr. 21 „Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln“ (WEIXLER et al. 1999) beschrieben.

- Gefällt und aufgearbeitet wird motormanuell im gelösten Zweimannverfahren auf und in einer beidseitigen Zone von fünf bis zehn Metern entlang der Rückegassen (= Zangenzone); Fällrichtung zur Rückegasse.
- Hackholzernte in der Zangenzone, Rücken mit Zangenschlepper
- Hackholzernte in der Seilzone: Fällen, Aufarbeiten sowie Vorliefern zur Rückegasse erfolgen seilwindenunterstützt im Zweimannverfahren, gerückt wird mit dem bereits in der Zangenzone eingesetzten Zangenschlepper.
- Das Hacken übernimmt ein Anhängenhacker an der Waldstraße, der die Hackschnitzel direkt auf einen LKW oder landwirtschaftlichen Anhänger bläst.
- Die Hackschnitzel werden mit LKW und Wechselcontainer oder mittels eines landwirtschaftlichen Gespanns mit Hochwandanhänger transportiert.

### Organisation

Der hohe Mechanisierungsgrad und die Aufteilung des Bestandes in Zangen- und Seilzone bedingen erhöhte Anforderungen an die Arbeitsorganisation. Die Einsätze von Seil- und Zangenschlepper müssen aufeinander abgestimmt werden.

### Leistung des Verfahrens (im Durchschnitt)

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 15 km.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 4,1 Srm HS/h GAZ | 6,1 Srm HS/h GAZ | 7,2 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens (im Durchschnitt)

Für dieses Verfahren werden Kosten für die Entlohnung nach Maschinenringsatz und Unternehmersatz angegeben.

|                          | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Maschinenringsatz</b> | 13,10 €/Srm HS   | 9,10 €/Srm HS    | 7,90 €/Srm HS    |
| <b>Unternehmersatz</b>   | 18,60 €/Srm HS   | 12,50 €/Srm HS   | 10,50 €/Srm HS   |

### Ergonomie

In der Zangenzone ergeben sich keine ergonomischen Vorteile gegenüber der Aufarbeitung von Industrieholz lang (IL). Für die Seilzone wirkt sich das Zweimann-Seilverfahren positiv aus (z. B. Windenunterstützung, geringere Unfallgefährdung, Möglichkeit der Jobrotation). Ergonomisch nachteilig macht sich nur das Ausziehen des Seils über das in der Zangenzone liegende Reisig hinweg bemerkbar. Das Rücken mit dem Zangenschlepper ist als ergonomisch günstig zu beurteilen, da die Kabine zur Lastbildung und zum Poltern nicht verlassen werden muss.

### Sonstiges

Da das windenunterstützte Fällen in der Seilzone exaktes Einhalten der Fällordnung ermöglicht, ist bei diesem Verfahren mit geringen Schäden an stehenden Stämmen zu rechnen. Beim Festlegen der Seillinien muss auf den verbleibenden Bestand in der Zangenzone besonders geachtet werden, da hier die Entnahmebäume bereits geerntet sind. Mit dem Zangenschlepper lassen sich Schäden an Gassen-Randbäumen durch das Einschwenken der Stämme auf die Rückegasse verringern.

## 4.6 Teilmechanisiertes Fällen und Vorliefern mit Seilschlepper; Hacken auf der Rückegasse mit Aufbauhacker





### Einsatzbereich

Das Verfahren eignet sich nur für große Hiebsflächen und bei Belieferung von Heiz(kraft)werken mit niedrigen Anforderungen an die Brennstoffqualität.

### Technische Ausstattung

- Motorsäge
- Schlepper mit Funkseilwinde
- Aufbauhacker
- LKW mit Wechselcontainer

### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt | Bestand   |   |   | Heizanlage |
|-------------------------------|---|---|---|------------|
| Vorliefern                    |  |  |   |            |
|                               |   |  |   |            |
|                               |   |   |  |            |

- Gefällt und vorgeliefert wird teilmechanisiert im Zweimannverfahren per Motorsäge und Schlepper mit Funkseilwinde.
- Gehackt wird auf der Rückegasse mit einem kranbeschickten Aufbauhacker mit angehängtem Hackschnitzel-Container.
- Das Rücken zur Waldstraße erfolgt mit dem Aufbauhacker.
- Ein mit einem Wechselcontainer ausgestatteter LKW transportiert die Hackschnitzel zum Verbraucher (angenommene Transportentfernung 15 km).

### Variante des Verfahrens: Timberchipper

Bei dem von der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft im Rahmen einer Arbeitsstudie untersuchten Timberchipper handelt es sich um einen Mobilhacker, bei dem im Unterschied zu herkömmlichen Maschinen das Hackaggregat um 170° drehbar gelagert ist. Die Maschine kann daher beiderseits der Rückegasse greifen und zuführen, muss also jede Gasse nur einmal in eine Richtung befahren (FELLER und RIEDELBERGER 2000).

**Organisation**

Das Hacken/Rücken mit der Hackmaschine kann losgelöst von der vorangegangenen Bereitstellung des Hackholzes an der Rückegasse stattfinden. Für den Einsatz auf der Rückegasse geeignete Hacker sind Spezialmaschinen und verursachen entsprechend hohe Systemkosten. Der LKW-Transport muss deshalb unbedingt mit der Laufzeit der Hackmaschine abgestimmt sein, um unproduktive Zeiten des Systems zu vermeiden.

**Leistung des Verfahrens (im Durchschnitt)**

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 15 km.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b>  |
|-----------------------|------------------|------------------|-------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 4,7 Srm HS/h GAZ | 8,8 Srm HS/h GAZ | 12,1 Srm HS/h GAZ |

**Kosten des Verfahrens (im Durchschnitt)**

Für das Verfahren werden die Lohnkosten für Forstunternehmer herangezogen.

|                        | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unternehmersatz</b> | 26,20 €/Srm HS   | 14,50 €/Srm HS   | 10,40 €/Srm HS   |

**Ergonomie**

Das Manövrieren und Beschicken des Aufbauhackers auf der engen Rückegasse erfordert hohe Aufmerksamkeit und stellt auf Dauer eine hohe mentale Belastung dar. Auch Vibrationen und Geräuschentwicklung des Hackers sind negativ zu werten.

**Sonstiges**

Bei sachgerechter Durchführung des Verfahrens entstehen minimale Schäden am verbleibenden Bestand. Allerdings sind dazu ausreichend breite Rückegassen erforderlich. Bedenklich ist aber – insbesondere auf empfindlichen Böden - das hohe Gewicht des Trägerfahrzeugs mit dem Aufbauhacker. Ebenso negativ zu werten ist, dass das Holz nicht vorgetrocknet gehackt wird.

## **4.7 Vollmechanisiertes Fällen und Vorliefern mit Harvester, Rücken mit Forwarder, Hacken auf der Waldstraße**





**Einsatzbereich**

Der hohe Mechanisierungsgrad des Verfahrens führt zu beträchtlichen Systemkosten, die nur bei entsprechend umfangreichen Hiebsmaßnahmen zu rechtfertigen sind.

### Technische Ausstattung

- Harvester
- Forwarder
- Hacker auf LKW
- LKW mit Wechselcontainer

### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt      | Bestand | Rückegasse  | Waldstraße  | Heizanlage |
|------------------------------------|---------|---|---|------------|
| Fällen, Aufarbeiten,<br>Vorliefern |         |  |   |            |
| Rücken                             |         |  |   |            |
|                                    |         |   |    |            |
|                                    |         |   |  |            |

- Gefällt und vorgeliefert wird bei dieser Bereitstellungslinie vollmechanisiert mit einem Kranharvester mittlerer Leistungsstärke, der das Hackholz an der Rückegasse vorkonzentriert (entkoppeltes Verfahren).
- Das Rücken erfolgt mit Hilfe eines Forwarders.
- Gehackt wird idealerweise zeitversetzt mit einem Großhacker an der Waldstraße (entkoppeltes Verfahren).
- Ein mit einem Wechselcontainer ausgestatteter LKW transportiert die Hackschnitzel zum Verbraucher (angenommene Transportentfernung 15 km).

### Organisation

Drei Produktionsabschnitte können hier zeitlich voneinander losgelöst werden. Dies bedingt einen geringeren Organisationsaufwand.

Nach Abschluss des Fällens und Vorlieferns wird mit einem Tragschlepper zur Waldstraße gerückt. Erst nachdem das Hackholz dort ausreichend abgetrocknet ist, erfolgt das Hacken, an das sich unmit-

telbar der Ferntransport anschließt.

### Leistung des Verfahrens (im Durchschnitt)

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 15 km. Zu beachten ist, dass, wie in Kapitel 3.3.2 ausgeführt, für die Leistung des Harvesters nicht auf Ergebnisse von Zeitstudien sondern auf ein aus Praxisdaten abgeleitetes Produktivitätsmodell zurückgegriffen wird.

|                       | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 3,3 Srm HS/h GAZ | 6,9 Srm HS/h GAZ | 8,8 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens (im Durchschnitt)

Für das Verfahren wurden die Lohnkosten für Forstunternehmer herangezogen.

|                        | <b>BHD 10 cm</b> | <b>BHD 15 cm</b> | <b>BHD 20 cm</b> |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Unternehmersatz</b> | 39,10 €/Srm HS   | 17,00 €/Srm HS   | 12,90 €/Srm HS   |

### Ergonomie

Das Verfahren ist ergonomisch günstig zu werten.

### Sonstiges

Die vollmechanisierte Holzernte mit Harvester und Forwarder verursacht die geringsten Schäden am verbleibenden Bestand. Es ist sinnvoll, damit ansonsten nicht oder schwer verwertbare Hölzer aufzuarbeiten und der energetischen Nutzung zuzuführen. Die Möglichkeit, ein „Koppel“-Sortiment „Energieholz“ auszuhalten mit Holz, das aus Gründen der Qualität, Dimension oder Baumart nicht in die Hauptsortimente (z. B. Standardlängen oder Papierholz) passt, besteht fast immer. Dieses Sortiment kann alternativ auch an Selbstwerber zur Scheitholzproduktion abgegeben werden.

## 4.8 Vollmechanisiertes Fällen, Vorliefern und Hacken mit Hackschnitzel-Harvester, Rücken mit Transportfahrzeug (Shuttle)

### Einsatzbereich




Der Abstand der Rückegassen darf bei diesem Verfahren nicht mehr als 20 Meter betragen. Der Hackschnitzel-Harvester erreicht seine Einsatzgrenze bei Steigungen von maximal 45 %.

Der hohe Mechanisierungsgrad des Verfahrens bringt naturgemäß hohe Maschinenkosten mit sich, die nur bei entsprechend umfangreichen Holzerntemaßnahmen amortisiert werden können.

### Technische Ausstattung

- Hackschnitzel-Harvester mit Container
- Transportfahrzeug für Hackschnitzel auf der Rückegasse (Shuttle)
- LKW mit Wechselcontainer

### Beschreibung des Verfahrens

| Arbeitsort<br>Ablaufabschnitt              | Bestand | Rückegasse  | Waldstraße  | Heizanlage |
|--|---------|---|---|------------|
| Fällen, Aufarbeiten,<br>Vorliefern, Hacken |         |  |   |            |
|  |         |  |   |            |
|  |         |   |  |            |

- Gefällt und vorgeliefert wird bei dieser Bereitstellungslinie vollmechanisiert mit einem Hackschnitzel-Harvester. Dieser hackt das vorgelieferte Material noch auf der Rückegasse und bläst es in einen aufgesattelten Container.
- Das Rücken der Hackschnitzel erfolgt mittels eines Transportfahrzeugs, das die Hackschnitzel auf der Rückegasse vom Hacker-Container aufnimmt und in den an der Waldstraße bereitstehenden LKW oder dessen Wechselcontainer kippt.

### Organisation

Die Harvesterleistung bestimmt die Leistung des Gesamtsystems. Bei sinkender Rückeentfernung muss tendenziell mit unproduktiven Standzeiten des Transportfahrzeugs gerechnet werden. Dies verteuert die Gesamthiebsmaßnahme. Die gegenseitige Abhängigkeit der beiden Maschinen im Arbeitsablauf stellt hohe Anforderungen an den Organisationsaufwand.

### Leistung des Verfahrens (im Durchschnitt)

Eingerechnet ist ein Transport der Hackschnitzel zur Heizanlage über 15 km.

|                       | BHD 10 cm        | BHD 15 cm        | BHD 20 cm        |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Systemleistung</b> | 5,3 Srm HS/h GAZ | 8,5 Srm HS/h GAZ | 9,9 Srm HS/h GAZ |

### Kosten des Verfahrens (im Durchschnitt)

Für das Verfahren wurden die Lohnkosten für Forstunternehmer herangezogen.

|                        | BHD 10 cm      | BHD 15 cm      | BHD 20 cm      |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Unternehmersatz</b> | 25,90 €/Srm HS | 14,50 €/Srm HS | 11,70 €/Srm HS |

### **Ergonomie**

Sowohl der Fahrer des Harvesters als auch der des Transportfahrzeugs arbeiten in einer klimatisierten, lärm- und vibrationsgeschützten Sicherheitskabine. Die Belastung des Harvesterfahrers mit Lärm ist dennoch hoch. Der Lärmpegel beträgt in sieben Metern Entfernung zur Maschine 90 dB(A), in der Fahrerkabine wurden Werte von 79 dB(A) bei leer laufendem Hacker bzw. 86 dB(A) während des Hackens gemessen. Bei herkömmlichen Radharvestern liegt der äquivalente Dauerschallpegel bei 70-74 dB(A). Fahrersitze und Bedienungselemente sind ergonomisch ausgelegt. Die überwiegend sitzende Tätigkeit führt zu einseitiger Beanspruchung der Nacken-, Schulter- und Armmuskulatur. Die Höhe der Fahrerkabine bedingt den unbequemen Ein- und Ausstieg beim Hackschnitzel-Harvester. Die Sicht auf das Arbeitsfeld ist in beiden Maschinen gut, wenn auch das Hackaggregat beim Hackschnitzel-Harvester das Sichtfeld linksseitig etwas einschränkt.

Generell verursacht die Bedienung von Harvestern, insbesondere Hackschnitzel-Harvestern, hohe psychomentele Belastungen des Fahrers, wenn Fällen, Vermessen, Einschneiden, Ablegen, Hacken und Kranmanövrieren in kurzem Wechsel gesteuert werden müssen. Dies kann laut KWF (2000) eine Verkürzung der Schichtdauer bis auf drei Stunden erfordern.

### **Sonstiges**

Der für dieses Verfahren erforderliche Rückegassenabstand von 20 m bedingt eine hohe Befahrungsintensität (bezogen auf die Gesamtfläche), der entstehende Bodendruck des Harvesters ist hoch. Eine beim Entasten vor der Maschine entstehende Reisigmatte erhöht die technische Befahrbarkeit und den Bodenschutz auf der Rückegasse. Deren positive Wirkung ist jedoch eingeschränkt, wenn der Einbau „tragender“ Teile (Kronenresthölzer) unterbleibt, etwa bei Nutzung des gesamten Schaftholzes. Die in Reisig und Nadeln enthaltenen Nährstoffe verbleiben zwar im Bestand, nachteilig ist hierbei allerdings deren Konzentration im Bereich der Rückegassen. Die Bestandespfleglichkeit von Aufarbeitung und Rückung ist hoch, da ausschließlich von der Rückegasse aus gearbeitet wird. Die Bäume werden gerichtet zu Fall gebracht, Schäden am verbleibenden Bestand lassen sich so weitgehend vermeiden (FELLER et al. 1998).



## 5 Daten zur Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Bayern

HARTIG (2000) befragte im Frühjahr 2000 bundesweit Hackschnitzelerzeuger, um den aktuellen Stand der Waldhackschnitzelproduktion zu erfassen. Die erhobenen Daten wurden im Rahmen einer Situationsanalyse für bayerische Betriebe neu ausgewertet, um zu ermitteln, welche Rahmenbedingungen bei der Waldhackschnitzelproduktion im Freistaat Bayern gelten (HARTIG 2001). Die Ergebnisse werden wie folgt zusammengefasst:

- Die jährlichen Produktionsmengen differieren bei den befragten 32 Unternehmen zwischen 100 und 50.000 Srm Hackschnitzel. Die Gesamtheit der Befragten gliedert sich deutlich in eine große Gruppe mit geringen und eine kleine Gruppe mit großen Produktionsmengen.
- Die Erlöse frei Werk liegen zwischen 8,20 und 21,70 €/Srm Hackschnitzel. Das arithmetische Mittel liegt bei 14,20 €/Srm.
- Mehr als die Hälfte der Hackschnitzel wird aus Nadelholz, gut ein Drittel aus hartem Laubholz (Buche, Eiche) hergestellt.
- Nichtderbholz wie Astholz und Baumkronen sowie ganze Bäume mit Kronen werden am häufigsten zu Hackschnitzeln verarbeitet.
- Teilmechanisierte Verfahrensketten zur Waldhackschnitzelproduktion sind am weitesten verbreitet. Seilwindenunterstütztes Fällen, Rücken mittels Seil-, Klemmbank- oder Zangenschlepper, Hacken auf der Waldstraße mit kranbeschicktem Hacker und Hackschnitzeltransport per LKW kennzeichnen sie im Wesentlichen.

Im Vergleich zur Auswertung der bundesweiten Projektstudie „Verfahrensketten in der Waldhackschnitzelproduktion“ des Instituts für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie (HARTIG 2000) konnten für Bayern keine erheblichen Differenzen festgestellt werden. Dies ist unter anderem auf eine hohe Beteiligung bayerischer Betriebe an der Projektstudie zurückzuführen. Bemerkenswert ist jedoch, dass bei den befragten bayerischen Betrieben der mittlere Erlös frei Heizwerk mit 14,20 € um 0,50 €/Srm Hackschnitzel höher liegt als bei der Projektstudie. Da die Förder Richtlinien für Biomasseheizwerke in Bayern einen relativ hohen Biomasseanteil aus direkter land- oder forstwirtschaftlicher Produktion vorschreiben, liegt hier ein Zusammenhang nahe.

## 6 Diskussion

Schwach- und Restholz für die energetische Nutzung aufzuarbeiten kann zusätzliche Einkommensmöglichkeiten in ländlichen Gebieten schaffen und somit zu einer Verbesserung des Betriebsergebnisses von Forstbetrieben beitragen.

Nach WIPPERMANN (1987) ist die Hackschnitzelgewinnung besonders interessant für *mittlere* und *große Privatwälder* sowie in *Forstbetriebsgemeinschaften* organisierte Waldbesitzergruppen. Hier kann die Hackschnitzelproduktion einen wichtigen wirtschaftlichen Beitrag zur Verbesserung des Betriebsergebnisses leisten. Gerade bei diesen Waldbesitzern sind häufig freie Arbeitskapazitäten sowie größere Bauten mit hohem Wärmebedarf vorhanden. Dies sind gute Voraussetzungen für den Eigenbetrieb einer Hackschnitzelheizung.

Den Privatwald in Deutschland kennzeichnet eine sehr kleinparzellierte Besitzstruktur. Schon dadurch sind dem Einsatz höhermechanisierter Aufarbeitungssysteme Grenzen gesetzt. Um den Einsatz teurer Maschinensysteme rationell zu gestalten, ist eine gewisse Mindestgröße an zu pflegender Fläche erforderlich. Unterschiede in Bestandesaufbau, Baumartenzusammensetzung und nicht zuletzt in den Zielsetzungen der Eigentümer erschweren einen Einsatz derartiger Erntesysteme.

Auf der Ebene von Forstbetriebsgemeinschaften könnten die oben genannten Hemmnisse bei der Organisation und Durchführung, insbesondere bei höhermechanisierten Aufarbeitungssystemen, auch für den kleinbäuerlichen Waldbesitz gelöst werden.

Für den *Waldbesitzer mit geringer Waldfläche* werden diejenigen Aufarbeitungssysteme von besonderem Interesse sein, bei denen er möglichst eigene, bereits vorhandene Technik einsetzen kann. Weiterhin attraktiv sind Maschinen, die unproblematisch und günstig über den örtlichen landwirtschaftlichen Maschinenring zu beziehen sind.

Das zur Verfügung stehende Datenmaterial über die Bereitstellung von Waldhackschnitzeln ist noch relativ gering. Es kann deshalb nicht von eindeutigen Ergebnissen und Entwicklungen gesprochen werden. Bei der Betrachtung der Ergebnisse darf auch nicht vergessen werden, dass die Daten meist nur Resultate aus Versuchseinsätzen sind, die nicht immer einem praxisgerechten Arbeitseinsatz entsprechen (siehe Kapitel 3.3.2). Deshalb sollten Folgerungen vorsichtig gezogen werden.

Dennoch lässt sich folgendes feststellen:

Die *Leistungsfähigkeit* eines Verfahrens ist umso größer, je stärker mechanisiert es ist.

Bei der *Kostenbelastung* je Schüttraummeter Hackschnitzel verhält sich dies anders. Hier sind einerseits der Kostensatz pro Maschinenarbeitsstunde und andererseits die Höhe der in Ansatz gebrachten Lohnkosten von Bedeutung. Daraus ergibt sich eine relativ günstige Kostenstruktur bei den niedrig mechanisierten Aufbereitungsverfahren mit Einsatz von Arbeitskräften eines Maschinenringes und bei den hochmechanisierten Bereitstellungssystemen. Andererseits sind vor allem bei motormanuellen Arbeitsverfahren zeitraubende und physisch schwer belastende Teilarbeiten (beim Konzentrieren des Restmaterials und bei der manuellen Beschickung mobiler Hacker) enthalten.

Die besten Ergebnisse bei der Aufbereitung von Hackschnitzeln sind nach WIPPERMANN (1985) bei Kahlschlag zu erreichen. Darauf folgen die Werte bei der Durchforstung. Schlechte Ergebnisse zeigten sich bei der Aufarbeitung von Schlagabraum. Die Schlagräumung nach Abtrieb eines Bestandes ist mit erheblichem Aufwand an manueller Arbeitskraft oder mit hohen Kosten für selbstfahrendes schweres Gerät mit Kranbeschickung verbunden. Lohnend ist der Großhackereinsatz bei Kahlschlag von Flächen, die wegen Sturm-, Schnee-, Brand-, Käfer- oder anderer Waldschäden mit hohem Massenanteil minderwertiger Sortimente geräumt werden müssen.

Bezüglich der *Wahl des Hackaggregates* ist festzustellen, dass in den meisten Fällen kranbeschickte Aggregate der mittleren Leistungsklasse am besten der in Forstbetrieben Mitteleuropas gegebenen Situation entsprechen. Diese Situation ist gekennzeichnet durch:

- Kleinflächigkeit,
- relativ geringer Anfall an Hackholz pro Nutzungsort,
- notwendiges häufiges Umsetzen der Maschinen,
- großes Angebot an relativ preiswerten Schleppern aus der Landwirtschaft als Antriebs- und Zugerät.

Die Empfindlichkeit derartiger Hackaggregate gegenüber schwankender Auslastung und ihre Anforderungen an die Einsatzorganisation sind wesentlich geringer als bei Großhackern. (PATZAK 1984). Grundsätzlich sollten aus ergonomischen Gründen handbeschickte Hacker nur noch in Ausnahmefällen verwendet werden.

Von großer Bedeutung für die Produktivität der genannten Arbeitsverfahren ist immer die gründliche Vorkonzentration des Waldrestholzes als Arbeitsvorbereitung für den Maschineneinsatz (WIPPERMANN 1985) und eine auf die Vermeidung von Leerlaufzeiten abzielende Organisation.

Die Vorkonzentration an geeigneten Stellen gewährleistet den Einsatz von kranbeschickten Hackern und erlaubt das Vortrocknen zur Steigerung der Hackschnitzelqualität.

Unter verschiedenen Bedingungen kann der Einsatz von Holz als Brennstoff zu ökonomischen Vorteilen führen, beispielsweise wenn die Hackschnitzel gezielt bereitgestellt werden und geringe Transportentfernungen zu überwinden sind, wenn kleine Kommunen oder Gewerbetreibende in arbeitsarmen Zeiten eigene Arbeitskräfte einsetzen oder wenn Waldbesitzer ihren eigenen Wald pflegen und das anfallende Material selbst verheizen (HASCHKE 1994). „Gezielt“ in diesem Sinne bedeutet die Anwendung eines technologischen Verfahrens, das ausschließlich auf die Produktion von Hackschnitzeln ausgelegt und entsprechend effizient organisiert ist.

Werden die waldpflegenden Maßnahmen der Durchforstung mit Aufarbeitung von Hackschnitzeln dem Wert der Energiegewinnung aus Biomasse hinzugerechnet, so kann der Waldbesitzer die Erlöse aus der Restholzaufarbeitung noch günstiger beurteilen.

Bei eher extensivem Maschineneinsatz (Motorsäge, handbeschickter Anbauhacker mit aufgesattelttem Kleincontainer, Schlepper mit landwirtschaftlichem Anhänger) werden Leistungen von etwa 1,5

Srm HS/h GAZ erreicht (vgl. Tab. 3, gesamte Kette vom Hiebsort bis zur 5 km entfernten Heizanlage). Die Systemleistung der hoch- bzw. vollmechanisierten Verfahren erreicht bis zu fünf mal so hohe Werte. Annähernd sechsmal so hoch liegen dafür auch ihre Systemkosten. Entsprechend groß ist dort die Gefahr, dass bei suboptimaler Organisation oder Pannen übermäßig hohe Kosten je Produktionseinheit auflaufen.

**Tab. 3:** Ergebnisübersicht für BHD 15 cm zu den acht ausgewählten Bereitstellungsverfahren

| Verfahren | Lohnansatz | Transportentfernung | Kosten | Systemleistung | Systemkosten | Lohnkostenanteil |
|-----------|------------|---------------------|--------|----------------|--------------|------------------|
|           | €/h        | km                  | €/srm  | Srm/h          | €/h          | %                |
| 1         | 10,0       | 5,0                 | 12,9   | 1,6            | 21,0         | 48%              |
| 2         | 10,0*      | 5,0                 | 13,3   | 2,7            | 36,7         | 27%              |
| 3         | 10,0       | 5,0                 | 12,6   | 2,8            | 35,8         | 28%              |
| 4         | 10,0       | 5,0                 | 11,6   | 5,4            | 62,3         | 16%              |
| 5         | 25,0       | 15,0                | 12,5   | 6,0            | 74,5         | 44%              |
| 6         | 25,0       | 15,0                | 14,5   | 8,8            | 127,4        | 29%              |
| 7         | 25,0       | 15,0                | 17,0   | 6,9            | 116,6        | 30%              |
| 8         | 25,0       | 15,0                | 14,5   | 8,5            | 122,9        | 20%              |

\*Lohnansatz für den Pferdeführer: 25 €

Tabelle 3 zeigt, dass bei Einsatz eigenen Gerätes und der eigenen Arbeitskraft (Lohnansatz 10 €/h, Transportentfernung 5 km) die Kostenbelastung für private Waldbesitzer genau so gering wie bei hochmechanisierten Bereitstellungssystemen gehalten werden kann. Bei ausreichender Erschließung können bei einer BHD-Stufe von 15 cm Kosten von rund 12 bis 13 €/Srm Hackschnitzel erreicht werden. Sie liegen niedriger als die errechneten Kosten der höher- und vollmechanisierten Bereitstellung von Hackschnitzeln für Heizwerke durch Unternehmer (Unternehmersatz: 25 €/h, Transportentfernung 10 km). Die höchsten Kosten mit 17 € werden für das vollmechanisierte Verfahren angegeben, das auf dem weit verbreiteten Holzertesystem mit Harvester und Forwarder beruht. Dieser hohe Wert muss etwas relativiert werden, da mit im Vergleich zu den sonstigen Eingangsgrößen niedrigeren Leistungsangaben für den Harvester kalkuliert wurde (siehe Kapitel 3.3.2). Zudem bietet das Verfahren die Möglichkeit, Energieholz als Koppelprodukt bereitzustellen und innerhalb des Hiebes alle anfallenden Hölzer der optimalen Wertschöpfung entsprechend auszuhalten.

Tabelle 4 zeigt die Abhängigkeit der Bereitstellungskosten vom BHD. Insbesondere bei den höhermechanisierten Verfahren liegen sie bei BHD 10 fast doppelt so hoch wie bei BHD 15. Bei den niedrigermechanisierten Verfahren fällt der Anstieg deutlich moderater aus. Auf Grund dieses Zusammenhangs erscheint es ratsam, das Hacken von zu schwachem Material zu unterlassen. Als ökonomischer Grenzdurchmesser muss deshalb je nach Verfahrenskette 10-15 cm für niedrig mechanisierte bzw. 15-20 cm für die höhermechanisierten Verfahren angenommen werden. Über BHD 15 cm gerät die Hackschnitzelproduktion allerdings bereits in Konkurrenz mit Industrieholz und schwachem Stammholz. Hier muss nach Baumarten differenziert werden. Die jeweiligen Kosten und Erlöse der Industrieholzbereitstellung sowie die quantitativen Absatzmöglichkeiten des einzelnen Forstbetriebs müssen ebenso wie die Bereitstellungskosten und Absatzmöglichkeiten für Hackschnitzel bei der

Entscheidungsfindung berücksichtigt werden (WAGNER und WITTKOPF 2000).

**Tab. 4:** Vergleich der Bereitstellungskosten bei BHD 10, 15 und 20 cm

| Verfahren | Lohnansatz | Transport-<br>entfernung | Kosten<br>BHD 10 | Kosten<br>BHD 15 | Kosten<br>BHD 20 |
|-----------|------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|
|           | €/h        | km                       | €/srm            | €/srm            | €/srm            |
| 1         | 10,0       | 5,0                      | 14,4             | 12,9             | -                |
| 2         | 10,0*      | 5,0                      | 19,4             | 13,3             | -                |
| 3         | 10,0       | 5,0                      | 16,4             | 12,6             | 10,9             |
| 4         | 10,0       | 5,0                      | 16,8             | 11,6             | 9,7              |
| 5         | 25,0       | 15,0                     | 18,6             | 12,5             | 10,5             |
| 6         | 25,0       | 15,0                     | 26,2             | 14,5             | 10,4             |
| 7         | 25,0       | 15,0                     | 39,1             | 17,0             | 12,9             |
| 8         | 25,0       | 15,0                     | 25,9             | 14,5             | 11,7             |

\*Lohnansatz für den Pferdeführer: 25 €

Trotz vieler positiven Perspektiven darf nicht vergessen werden, dass der Markt für Hackschnitzel zur Zeit immer noch sehr begrenzt und - falls man bisher überhaupt von einem Marktpreis sprechen kann - dieser immer noch sehr niedrig ist. HARTIG (2001) ermittelte in einer Umfrage bei bayerischen Hackschnitzelproduzenten zwar einen Durchschnittspreis von 14,7 €/Srm frei Heizwerk (siehe Kapitel 5). Nach WAGNER und WITTKOPF (2000) werden die von den staatlich geförderten Heizwerken in Bayern eingesetzten Waldhackschnitzel aber durchschnittlich nur mit etwa 12 €/Srm vergütet (Schwankungsbereich 7-18 €). Dabei ist festzustellen, dass insbesondere die größeren Heiz- und Heizkraftwerke mit hohem Hackschnitzelverbrauch unterdurchschnittliche Preise bezahlen. Berücksichtigt werden muss auch, dass die im Rahmen dieses Berichtes angegebenen Bereitstellungskosten keinen Holzerlös enthalten und noch keine Unternehmergewinne eingerechnet sind.

Eine Erzeugung von Energiehackschnitzeln aus dem Wald im großen Umfang erfordert weiterhin eine Verfahrensrationalisierung, d.h. vor allem das Weglassen aller nicht notwendigen Teilprozesse. Das bedeutet weiterhin eine Konzentration auf die Organisation der Bereitstellungskette und notwendige Einübung des Bedienungspersonals. Häufiges Umsetzen des Hackers, der im Regelfall teuersten Maschine im Produktionssystem, sowie Leerlauf und Transportbruch müssen insbesondere bei den höher mechanisierten Verfahren minimiert werden.

## 7 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt einen Überblick über die Möglichkeiten und Varianten der Hackschnitzelbereitstellung. Das einschlägige Schrifttum hierzu wurde erfasst, ausgewertet und gegliedert dargestellt.

Zunächst werden die einzelnen Produktionsabschnitte bei der Hackschnitzelbereitstellung betrachtet: Fällen, Vorliefern, Rücken, Hacken und Transport. Sie werden, wenn notwendig, nach dem Mechanisierungsgrad aufgegliedert und die dazu benötigten Maschinen dargestellt. In der Folge werden für die einzelnen Produktionsabschnitte Leistungen in Abhängigkeit vom BHD angegeben. Mit diesen Leistungswerten werden verschiedene Kostenvarianten berechnet.

Bezüglich der *Leistung* lässt sich generell feststellen:

- Entsprechend dem Stück-Masse-Gesetz nimmt mit steigendem BHD die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bereitstellungssysteme stark zu.
- Die Leistungsfähigkeit eines Systems ist umso größer, je höher mechanisiert es ist. Beispielsweise liegt bei einem BHD von 15 cm die Leistung eines niedrig mechanisierten Systems bei 1,6 Srm HS/h, die von vollmechanisierten Systemen erreicht einen mehr als fünffachen Wert (8,8 Srm HS/h).

Die *Kostensituation* muss differenzierter betrachtet werden:

- Bei den niedriger mechanisierten Verfahren ergeben sich auf Grund der niedrigen Lohn- und Maschinenkostenbelastung günstigere Werte als bei den höher- und vollmechanisierten Systemen. Sie liegen bei einem BHD von 15 cm und Einsatz von Arbeitskräften eines Maschinenringes bei rund 12 bis 13 €/Srm HS. Neuere vollmechanisierte Systeme verursachen Kosten von 15-17 €/Srm HS.
- Die teilmechanisierten Bereitstellungssysteme vereinen die Vorteile vollmechanisierter und motormanueller Systeme. Sie besitzen eine relativ hohe Systemleistung bei gleichzeitig niedrigen Maschinenkosten. Insbesondere bei schwächeren BHD-Werten schneiden sie deutlich günstiger ab als die vollmechanisierten Verfahren.

Abgerundet wird die Studie mit einer Beurteilung der dargestellten Bereitstellungssysteme im Hinblick auf die Einsatzmöglichkeiten im Privatwald. Insbesondere für den Waldbesitzer mit geringer Fläche werden diejenigen Aufarbeitungssysteme von besonderem Interesse sein, bei denen er

- so viel eigene (landwirtschaftliche) Maschinen wie möglich einsetzen kann

und

- die notwendigen zusätzlichen Maschinen problemlos über den örtlichen landwirtschaftlichen Maschinenring beziehen kann.

Grundsätzlich kann die Hackschnitzelproduktion einen wichtigen wirtschaftlichen Beitrag zur Verbesserung des Betriebsergebnisses im Privatwald leisten. Häufig sind freie Arbeitskapazitäten sowie größere Bauten mit hohem Wärmebedarf vorhanden. Dies sind gute Voraussetzungen für den Betrieb einer Hackschnitzelheizung mit Brennstoff aus dem eigenen Wald. Eine aussichtsreiche Perspektive bietet zudem die wachsende Anzahl kommunaler Holzheizwerke und der Strom produzierenden Heizkraftwerke. Die Politik unterstützt diese Entwicklung mit Förderprogrammen zum Bau weiterer Anlagen.

Trotz positiver Perspektiven darf nicht vergessen werden, dass der Markt für Hackschnitzel immer noch sehr begrenzt ist und die Preisvorstellungen von Heizwerksbetreibern häufig unter den Produktionskosten für Hackschnitzel liegen.

## 8 Summary

This study gives an overview of the possibilities and variants of wood chip production. The relevant literature on this has been recorded, evaluated and organised for presentation.

First of all, the individual production tasks in wood chip production are considered: felling, transport to the skidroad, skidding, chipping and transport. Where necessary they are classified according to the degree of mechanisation, and the machines needed are presented. Thereafter, performance in relation to DBH is given for the individual production tasks. These values for performance are used to calculate different cost variants.

With regard to *performance* it can be stated:

- In accordance with the law of mass/unit, performance of the individual production systems increases significantly with increasing DBH.
- The more mechanised a system, the greater its performance capacity. Thus for example the output of a little mechanised system is 1.6 m<sup>3</sup> (loose) chips/hour given a DBH of 15 cm, whereas highly mechanised systems achieve an output which is more than five times this (8.8 m<sup>3</sup> (loose) chips/hour).

The *cost situation* must be examined with greater differentiation:

- For less mechanised processes, cost values are more favourable than for more highly and fully mechanised systems, because of the lower wage and machine costs. Given a DBH of 15cm and use of a machine pool, they are approx. 12 to 13 €/m<sup>3</sup> (loose) chips. More recent fully mechanised systems have costs of 15-17 €/m<sup>3</sup> (loose) chips.
- The partially mechanised production systems combine the advantages of fully mechanised and motor-manual systems. System performance is relatively high, and at the same time, machine costs are low. Especially for smaller DBH values, these systems are considerably cheaper than fully mechanised processes.

The study is rounded off with an evaluation of the production processes presented, with regard to their application in private forests. Of greatest interest for the owners of small areas of forest are those processing systems with which they

- can use as many of their own (agricultural) machines as possible

and

- can get the necessary additional machines without difficulty from the local agricultural machinery pool.

In principle, the production of wood chips can make an important economic contribution to improving the operating results of private forest companies. Often these have free working capacity and larger buildings with high heating requirements. These are good conditions for the operation of a



wood-chip heating system using fuel from the owner's own forest. The increasing number of municipal wood heating plants and electricity-producing heating power plants also offer rich prospects. Policy supports this development with subsidy programmes for the building of more plants.

Despite the positive prospects, it should not be forgotten that the market for wood chips is still very limited, and the prices heating plant operators have in mind are often lower than the production costs of wood chips.

## 9 Literatur

- ALLGEMEINE FORSTZEITSCHRIFT (1984): Empfehlenswerte Schwachholz-Ernteverfahren. Verfahrensbeispiele der KWF-Arbeitstagung 1983, AFZ Nr. 16, S. 389-419
- APFELBECK, R. (1983): Arbeitszeitbedarf und Kosten verschiedener Verfahren der Bergung von Waldrestholz zur Energiegewinnung. Diplomarbeit Technische Universität München
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2003): Gesamtkonzept Nachhaltende Rohstoffe vom 28.04.2003, München
- BECKER ET AL. (1986): Nutzung forstlicher Biomasse durch Hackung - Aufkommen, Bereitstellung und Qualität von Waldhackschnitzeln. Abschlussbericht zum EG-Projekt BOS/002/D(B), Freiburg
- CORDA (1999): Leistungs- und Kostenermittlung bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln im Kleinprivatwald. Diplomarbeit Ludwig-Maximilians-Universität München
- DANIELSEN, P. G. (1982): Chip harvesting of whole trees. Driftsteknisk Rapport Nr. 3, Norsk Institutt for Skogforskning
- DUMMEL, K.; BRANZ, H. (1986): Holzernteverfahren - Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Forstwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 333, Münster
- EU-KOMMISSION (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie, Brüssel
- FELLER, S.; REMLER, N.; WEIXLER, H. (1998): Vollmechanisierte Waldhackschnitzelbereitstellung- Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzel-Harvester. Berichte aus der LWF Nr. 16, Freising
- FELLER, S.; RIEDLBERGER, M. (2001): Hackschnitzelbereitstellung mit dem Timberchipper. Forst und Technik Nr. 4, S. 4-8
- FORBRIG, A. (2000): Konzeption und Anwendung eines Informationssystems über Forstmaschinen auf Grundlage von Maschinenbuchführung, Leistungsnachweisen und technischen Daten. Dissertation Technische Universität München, Bericht Nr. 29/2000 des Kuratoriums für Waldarbeit und Forsttechnik, Großumstadt
- FORSTMASCHINENPROFI (2001): Gebündelte Bioenergie für Kraftwerke. Nr. 5, S. 50/51
- HARTIG (2000): Bereitstellung von Waldhackschnitzeln – Aktuelle Verfahren, staatliche Förderung. Diplomarbeit Georg-August-Universität Göttingen
- HARTIG (2001): Aktuelle Daten zur Bereitstellung von Waldhackschnitzeln in Bayern. Situationsanalyse im Auftrag der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Freising, durchgeführt vom Institut für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie der Georg-August-Universität Göttingen
- HASCHKE, P. (1994): Energieholz - ein Beitrag zur Waldpflege und zum Umweltschutz. Forst und Holz Nr. 12, S. 328-334
- KALAJA, H.(1978): Harvesting small-sized trees with Terrain Chipper TT 1000 F. Folia Forestalia 374, Helsinki
- KALAJA, H. (1984): The example of terrain chipping system in first commercial thinning. Folia Forestalia 584, Helsinki

- KURATORIUM BAYERISCHER MASCHINEN- UND BETRIEBSHILFSRINGE e.V. (2000): Verrechnungssätze ab 2000 für Maschinen- und Betriebshilfsringe. Neuburg/Donau
- KWF (KURATORIUM FÜR WALDARBEIT UND FORSTTECHNIK E.V.) (1985): Waldschonende Holzernte - Tagungsführer zur 9. KWF-Tagung 1985 in Ruhpolding. Groß-Umstadt
- KWF (1988): Waldpflege- Investition für die Zukunft - Tagungsführer zur 10. KWF-Tagung 1988 in Heilbronn. Groß-Umstadt
- KWF (1992): Tagungsführer zur 11. KWF-Tagung 1992 in Koblenz. Groß-Umstadt
- KWF (1996): Tagungsführer zur 12. KWF-Tagung 1996 in Oberhof. Groß-Umstadt
- KWF (1998): Holzernteverfahren- Vergleichende Erhebung und Beurteilung der Holzernteverfahren in der Bundesrepublik Deutschland. KWF-Bericht Nr. 25, Groß-Umstadt
- KWF (2000): Tagungsführer zur 13. KWF-Tagung 2000 in Celle. Groß-Umstadt
- LAUCHER, A.(1995): Biomasse-Ortszentralheizung - Technische und betriebswirtschaftliche Überlegungen. Tagungsband zum Seminar Planung und Realisierung von Nahwärmekonzepten
- LEINERT, S. (1987): Vergleichende Untersuchung moderner Verfahren der Aufarbeitung von Fichten-Schwachholz in schlepperfahrbaren Lagen. Habilitationsschrift Ludwig-Maximilians-Universität München
- LÖFFLER, H. (1989): Manuskript zu den Lehrveranstaltungen Forstliche Verfahrenstechnik (Holzernte). Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik der Ludwig-Maximilians-Universität München
- LÜTHY, C. (1997): Holzrücken mit dem Forwarder. Wald und Holz Nr. 4, S. 33-35
- LÜTHY, C.; THEES, O.; NÄF, J.; LEMM, R. (1997): Kalkulationsgrundlage für das Holzrücken mit Forwarder. WSL Birmensdorf
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (1986): Energiewirtschaftliche Nutzung von Rinde als Brennstoff; Begriffsbestimmungen und brennstofftechnologische Merkmale. Önorm M 7132, Wien
- ÖSTERREICHISCHES NORMUNGSINSTITUT (1988): Holzhackgut für energetische Zwecke; Anforderungen und Prüfbestimmungen. Önorm M 7133, Wien
- PATZAK, W. (1981): Untersuchungen zum Transport von Biomasse vom Wald zu einem zentralen Lagerplatz für die Verhältnisse in Emmelshausen. Unveröffentlichtes Manuskript am Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik der Ludwig-Maximilians-Universität München
- PATZAK, W. (1984): Bereitstellung forstlicher Biomasse aus Erstdurchforstung in Fichten- und Kiefernbeständen. Forschungsbericht (C 0 76) Bereitstellung forstlicher Biomasse für das Bundesministerium für Forschung und Technologie Teil I und II, München
- PAUSCH, R. (2002): Ein System-Ansatz zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Waldstruktur, Arbeitsvolumina und Kosten der technischen und biologischen Produktion in Forstrevieren ost- und nordbayerischer Mittelgebirge. Dissertation Technische Universität München, 225 S.
- PLATH, H.-J. (1992): Transportökonomische Gesichtspunkte bei der Versorgung von Energieanlagen mit Heizhackschnitzeln. Der Wald 42 (5), S. 158-159, Berlin
- RAAB, S. (1999): Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte. Berichte aus der LWF Nr. 20, Freising
- REMLER, N.; FISCHER, M. (1996): Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln. Be-

- richte aus der LWF Nr. 11, Freising
- SKOG FORSK (1998): Composite residue logs – a new concept in bioenergy fuel. Skog Forsk News Nr. 2
- STAMPFER, E. (1997): Bereitstellung von Hackgut. Universität für Bodenkultur Wien, Hrsg.: Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft
- THORNER (1999): Bündelmaschine für Hiebsreste. Forst und Technik Nr. 12, S. 48
- UUKOSKI (2001): Fiberpac bündelt Bioenergie für Kraftwerke – Der Fiberpac 370 im Einsatz in Finnland. Timberjack News Nr. 1
- VALMET (2002): Valmet WoodPac bündelt Reisig und Äste zu Holzbrennstoff. Partek Forest International Magazin „Just Forest“ Nr. 2
- WEIXLER, H.; FELLER, S.; GÖLDNER, A.; KRAUSENBOECK, B.; REMLER, N.; V. WEBENAU, B.; (1999): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln. Berichte aus der LWF Nr. 21, Freising
- WAGNER, K.; WITTKOPF, S. (2000): Der Energieholzmarkt Bayern. Berichte aus der LWF Nr. 26, Freising
- WIPPERMANN, H. J.(1985): Wirtschaftliche Nutzung von Waldrestholz. Holz-Zentralblatt Nr. 95-98, S. 1389-1391, 1408-1410, 1418-1420
- WIPPERMANN, H. J.(1987): Brennstoff von nebenan: Restholz aus dem Großprivatwald. Holz-Zentralblatt Nr. 149, S. 2164-2165
- WOLF, E.; PFEIL, C. (1976): Versuchsbericht über den Einsatz eines mobilen Großhackers Morbark-Chipharvester Modell 75. Freiburg
- WORLD WOOD PAC AB (2000): Infoschrift zur Bündelmaschine Wood Pac. Vetlanda, Schweden

## 10 Anhang

### 10.1 Tabellenverzeichnis

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| <b>Tab. 1:</b> | Ladedichten für Energieholz nach PATZAK (1981).....   | 40 |
| <b>Tab. 2:</b> | Durchschnittliche Kapazitäten verschiedener Transportmittel(LAUCHER 1995)<br>.....          | 40 |
| <b>Tab. 3:</b> | Ergebnisübersicht für BHD 15 cm zu den acht ausgewählten Bereitstellungs-<br>verfahren..... | 66 |
| <b>Tab. 4:</b> | Vergleich der Bereitstellungskosten bei BHD 10, 15 und 20 cm .....                          | 67 |

### 10.2 Abbildungsverzeichnis

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Abb. 1:</b>  | Leichter Durchforstungsharvester Timberjack 870 B.....   | 8  |
| <b>Abb. 2:</b>  | Hackschnitzel-Harvester mit schwenkbarer Kabinen-Ausleger-Einheit .....  | 9  |
| <b>Abb. 3:</b>  | Leistung bei motormanuellem Fällen in Abhängigkeit vom BHD .....   | 10 |
| <b>Abb. 4:</b>  | Kosten für motormanuelles Fällen in Abhängigkeit vom BHD<br>(Maschinenringsätze bzw. Eigenleistung des Waldbesitzers; Lohnansatz: 10<br>€/h) ..... | 11 |
| <b>Abb. 5:</b>  | Kosten für motormanuelles Fällen in Abhängigkeit vom BHD (bei<br>Unternehmereinsatz; Lohnansatz: 25 €/h) .....                                     | 12 |
| <b>Abb. 6:</b>  | Vorliefern mit Chokerketten .....  | 13 |
| <b>Abb. 7:</b>  | Leistung bei teilmechanisiertem Fällen/Vorliefern in Abhängigkeit vom BHD ....   | 16 |
| <b>Abb. 8:</b>  | Leistung bei vollmechanisiertem Fällen/Vorliefern in Abhängigkeit vom<br>BHD .....   | 17 |
| <b>Abb. 9:</b>  | Kosten bei teilmechanisiertem Fällen und Vorliefern in Abhängigkeit vom<br>BHD (Lohnansatz: 25 €/h) .....  | 18 |
| <b>Abb. 10:</b> | Kosten für vollmechanisiertes Fällen/Aufarbeiten/Vorliefern in Abhängigkeit<br>vom BHD (Lohnansatz: 25 €/h).....                                   | 18 |
| <b>Abb. 11:</b> | Seil-Schlepper .....   | 19 |
| <b>Abb. 12:</b> | Klemmbankschlepper.....  | 20 |
| <b>Abb. 13:</b> | Forwarder (Trag-Knickschlepper, Kranrückezug).....   | 20 |
| <b>Abb. 14:</b> | Zangenschlepper .....  | 21 |
| <b>Abb. 15:</b> | Kran-Rückewagen.....   | 21 |
| <b>Abb. 16:</b> | Anhängehacker mit Aufbaucontainer.....   | 22 |
| <b>Abb. 17:</b> | Transport – Fahrzeug (Shuttle) .....   | 22 |
| <b>Abb. 18:</b> | Leistung für Rücken von Hackholz in Abhängigkeit vom BHD .....   | 23 |
| <b>Abb. 19:</b> | Kosten für das Rücken des Hackholzes in Abhängigkeit vom BHD (bei<br>Unternehmereinsatz; Lohnkosten: 25 €/h) .....                                 | 25 |
| <b>Abb. 20:</b> | Leistung für teilmechanisiertes Fällen/Rücken in Abhängigkeit vom BHD .....  | 26 |
| <b>Abb. 21:</b> | Kosten für teilmechanisiertes Fällen/Rücken in Abhängigkeit vom BHD (bei<br>Unternehmereinsatz; Lohnkosten 25 €/h) .....                           | 27 |
| <b>Abb. 22:</b> | Fiberpac 370 von Timberjack .....  | 29 |
| <b>Abb. 23:</b> | Wood Pac .....   | 29 |
| <b>Abb. 24:</b> | Funktionsprinzip eines Scheibenhackers (APFELBECK 1983).....   | 31 |
| <b>Abb. 25:</b> | Funktionsprinzip eines Trommelhackers (APFELBECK 1983).....  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Abb. 26:</b> Funktionsprinzip eines Schneckenhackers (APFELBECK 1983) .....  | 32 |
| <b>Abb. 27:</b> Anbauhacker.....  | 33 |
| <b>Abb. 28:</b> Anhängenhacker.....   | 33 |
| <b>Abb. 29:</b> Aufbauhacker auf Forwarder .....  | 34 |
| <b>Abb. 30:</b> Mobiler Großhacker .....  | 34 |
| <b>Abb. 31:</b> Hackleistung auf der Waldstraße in Abhängigkeit vom BHD.....  | 37 |
| <b>Abb. 32:</b> Hackkosten für das Hacken auf der Waldstraße in Abhängigkeit vom BHD<br>(Unternehmereinsatz; Lohnkosten: 25 €/h).....           | 39 |
| <b>Abb. 33:</b> Leistung bei Hackholz-Ferntransport mit verschiedenen Betriebsmitteln in<br>Abhängigkeit von der Transportentfernung.....       | 43 |
| <b>Abb. 34:</b> Kosten für den Hackholz-Ferntransport mit verschiedenen Betriebsmitteln in<br>Abhängigkeit von der Transportentfernung.....     | 44 |
| <b>Abb. 35:</b> Leistung beim Hackschnitzel-Ferntransport mit verschiedenen<br>Betriebsmitteln in Abhängigkeit von der Transportentfernung..... | 45 |
| <b>Abb. 36:</b> Kosten des Hackschnitzel-Ferntransportes mit verschiedenen Betriebsmitteln<br>in Abhängigkeit von der Transportentfernung.....  | 46 |

### 10.3 Umrechnung Erntefestmeter - BHD

| BHD | Efm   |
|-----|-------|
| 6   | 0,008 |
| 8   | 0,018 |
| 10  | 0,035 |
| 12  | 0,059 |
| 14  | 0,091 |
| 16  | 0,130 |
| 18  | 0,176 |
| 20  | 0,229 |
| 22  | 0,289 |
| 24  | 0,357 |
| 26  | 0,432 |
| 28  | 0,514 |
| 30  | 0,603 |
| 32  | 0,699 |
| 34  | 0,803 |
| 36  | 0,914 |
| 38  | 1,032 |
| 40  | 1,157 |

Formel:  $BHD = 0,0009 \cdot (Efm)^2 - 0,0076 \cdot (Efm) + 0,0209$

## 10.4 Kalkulationsgrundlagen - Stundensätze für Arbeitskräfte und Maschinen

### Stundensätze Arbeitskräfte und Motorsäge

|  | Lohnkosten | Entschädigung<br>Motorsäge  |
|--|------------|---|
| Arbeitskräfte bei Unternehmereinsatz                                     | 25,00 €/h  | 6,39 €/h<br><small>(entspricht den vom KWF<br/>(2000) empfohlenen<br/>12,50 DM/h)</small> |
| Arbeitskräfte und Maschinenführer landwirtschaftlicher<br>Maschinenringe | 10,00 €/h  | 6,39 €/h  |
| Eigenleistung des Waldbesitzers  | 10,00 €/h  | 6,39 €/h  |

### Kostensätze für eingesetzte Maschinen (Anhaltswerte, ohne Lohnkosten):

#### Hacker

|  |           |
|--|-----------|
| Anbauhacker, manuell beschickt         | 10,- €/h  |
| Anhängehacker, mit Kran                | 40,- €/h  |
| Aufbauhacker, mit Kran (auf Forwarder) | 90,- €/h  |
| Aufbauhacker, mit Kran (auf LKW)       | 90,- €/h  |
| Hackschnitzelharvester                 | 140,- €/h |
| Spezialhacker „Timberchipper“          | 190,-€/h  |

#### Schlepper, Forstspeziialschlepper und LKW

|  |          |
|--|----------|
| Landwirtschaftlicher Schlepper (34-40 kW)          | 10,- €/h |
| Landwirtschaftlicher Schlepper (72-81 kW)          | 15,- €/h |
| Landwirtschaftlicher Schlepper, Allrad (82-97 kW)  | 20,- €/h |
| Forstspeziialschlepper                             | 25,-€/h  |
| Schlepper mit Rückezange                           | 30,-€/h  |
| Forstspeziialschlepper mit Doppeltrommelseilwinde  | 25,-€/h  |
| Forstspeziialschlepper mit zwei Funkseilwinden     | 30,-€/h  |
| Klemmbankschlepper (ÖSA 250) mit Kran              | 60,-€/h  |
| Knickschlepper mit Doppeltrommelseilwinde und Kran | 35,- €/h |
| Vorrückesystem JÄVO (incl. Schlepper)              | 25,- €/h |
| LKW  | 45,- €/h |

**Zusatzgeräte**

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| Funkseilwinde                     | 8,-€/h  |
| Kranrückewagen                    | 35,-€/h |
| Landwirtschaftlicher Kippanhänger | 5,-€/h  |
| Anbau-Kran                        | 8,-€/h  |
| LKW-Anhänger                      | 5,-€/h  |
| Rückezeuge                        | 8,-€/h  |

**Kleinmaschinen**

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| Kleinseilwinde (AKJA, WALDRAPP) | 10,-€/h |
|---------------------------------|---------|

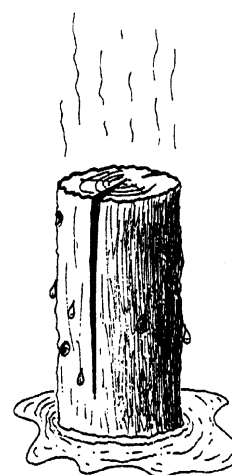
**Harvester, Forwarder**

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Harvester, mittlere Leistungsklasse | 125,-€/h |
| Forwarder, mittlere Leistungsklasse | 60,-€/h  |

**10.5 Umrechnungszahlen für Energieholz****Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Heizwert**

Der Energieinhalt von 1 kg Holz hängt nur in sehr geringem Maß von der Baumart ab. Die folgende Tabelle gibt den Heizwert/Kilogramm an.

| Wassergehalt in % | Heizwert in kWh/kg |           |
|-------------------|--------------------|-----------|
|                   | Laubholz           | Nadelholz |
| 0                 | 4,90               | 5,20      |
| 5                 | 4,62               | 4,91      |
| 10                | 4,34               | 4,61      |
| 15                | 4,06               | 4,32      |
| 20                | 3,78               | 4,02      |
| 25                | 3,51               | 3,73      |
| 30                | 3,23               | 3,44      |
| 35                | 2,95               | 3,14      |
| 40                | 2,67               | 2,85      |
| 45                | 2,39               | 2,55      |
| 50                | 2,11               | 2,26      |
| 55                | 1,83               | 1,97      |
| 60                | 1,55               | 1,67      |

**Gewicht und Heizwert in Abhängigkeit von Volumen und Wassergehalt**



Folgende Tabelle gibt an, wieviel ein Schüttraummeter Hackschnitzel der Hauptbaumarten bei unterschiedlichem Wassergehalt wiegt und welchen Heizwert er hat.

| Wassergehalt<br>in % | Raumgewicht in kg/Srm |       |        |        | Heizwert in kWh/Srm |       |        |        |
|----------------------|-----------------------|-------|--------|--------|---------------------|-------|--------|--------|
|                      | Buche                 | Eiche | Kiefer | Fichte | Buche               | Eiche | Kiefer | Fichte |
| 0                    | 222                   | 224   | 172    | 151    | 1086                | 1100  | 896    | 784    |
| 15                   | 261                   | 264   | 203    | 178    | 1059                | 1072  | 876    | 767    |
| 20                   | 277                   | 280   | 216    | 188    | 1048                | 1062  | 867    | 759    |
| 25                   | 296                   | 299   | 230    | 201    | 1036                | 1049  | 858    | 750    |
| 30                   | 316                   | 320   | 246    | 216    | 1022                | 1034  | 846    | 740    |
| 35                   | 341                   | 345   | 265    | 232    | 1005                | 1018  | 834    | 729    |
| 40                   | 369                   | 374   | 287    | 251    | 986                 | 998   | 818    | 716    |
| 45                   | 403                   | 408   | 314    | 274    | 963                 | 975   | 801    | 700    |
| 50                   | 443                   | 449   | 345    | 302    | 936                 | 948   | 780    | 682    |
| 55                   | 492                   | 499   | 383    | 335    | 902                 | 914   | 754    | 659    |
| 60                   | 554                   | 561   | 431    | 377    | 860                 | 872   | 721    | 631    |

1 Liter Heizöl hat einen Heizwert von 10 kWh. 1 Srm Fichtenhackschnitzel (WG 30 %) hat den Heizwert von 74 Litern Heizöl, die Buche liegt mit 102 Litern deutlich höher.

### Umrechnungszahlen der Raummaße

1 Festmeter (fm) = 1,4 Raummeter/Ster (rm) = 2,5 Schüttraummeter (Srm) Schnitzel

### 10.6 Abkürzungen

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| GAZ    | Gesamte Arbeitszeit             |
| RAZ    | Reine Arbeitszeit               |
| BHD    | Brusthöhendurchmesser           |
| t      | Tonne                           |
| t/atro | Tonne absolut trocken           |
| fm     | Festmeter                       |
| rm     | Raummeter                       |
| Srm    | Schüttraummeter                 |
| TAP    | Technische Arbeitsproduktivität |
| kW     | Kilowatt                        |
| kWh    | Kilowattstunde(n)               |
| h      | Stunde                          |
| HS     | Hackschnitzel                   |
| m      | Meter                           |
| LNK    | Lohnnebenkosten                 |
| m.R.   | mit Rinde                       |

**Bisher sind in der Reihe „Berichte aus der LWF“ folgende Hefte erschienen:**

|        |      |   |   |
|--------|------|---|---|
| Nr. 1  | 1994 | S. KRÜGER,<br>R. MÖSSMER,<br>A. BÄUMLER                       | Der Wald in Bayern:<br>Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990  |
| Nr. 2  | 1995 | A. KÖNIG,<br>R. MÖSSMER,<br>A. BÄUMLER                        | Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden<br>des Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation<br>zur Schadenszeit |
| Nr. 3  | 1995 | H. REITER,<br>R. HÜSER,<br>S. WAGNER                          | Auswirkungen von Klärschlammapplikation auf vier ver-<br>schiedene Waldstandorte  |
| Nr. 4  | 1995 | A. SCHUBERT,<br>R. BUTZ-BRAUN,<br>K. SCHÖPKE,<br>K.H. MELLERT | Waldbodendauerbeobachtungsflächen in Bayern   |
| Nr. 5  | 1995 | V. ZAHNER   | Der Pflanzen- und Tierartenbestand von Waldweiherlebens-<br>räumen und Maßnahmen zu deren Sicherung<br>(– <i>vergriffen</i> –)          |
| Nr. 6  | 1996 | A. ZOLLNER  | Düngeversuche in ostbayerischen Wäldern   |
| Nr. 7  | 1996 | S. NÜSSLEIN   | Einschätzung des potentiellen Rohholzaufkommens in Bay-<br>ern auf der Grundlage der Ergebnisse der Bundeswaldin-<br>ventur von 1987    |
| Nr. 8  | 1996 | F. BURGER,<br>N. REMLER,<br>R. SCHIRMER,<br>H.-U. SINNER      | Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwer-<br>tung (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 9  | 1996 | H.-J. GULDER  | Auwälder in Südbayern: Standörtliche Grundlagen und Be-<br>stockungsverhältnisse im Staatswald (– <i>vergriffen</i> –)                  |
| Nr. 10 | 1996 | O. SCHMIDT,<br>M. KÖLBEL (RED.)                               | Beiträge zur Eibe (– <i>vergriffen</i> –)   |
| Nr. 11 | 1996 | N. REMLER,<br>M. FISCHER                                      | Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhack-<br>schnitteln (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 12 | 1996 | O. SCHMIDT et al.   | Beiträge zur Hainbuche (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 13 | 1997 | V. ZAHNER   | Der Biber in Bayern - Eine Studie aus forstlicher Sicht<br>(– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 14 | 1997 | N. REMLER,<br>A. ZOLLNER,<br>H.-P. DIETRICH                   | Eigenschaften von Holzaschen und Möglichkeiten der Wie-<br>derverwertung im Wald (– <i>vergriffen</i> –)                                |

|        |      |   |  |
|--------|------|---|--|
| Nr. 15 | 1997 | J. DAHMER,<br>S. RAAB   | Pflanzverfahren und Wurzelentwicklung<br>(– <i>vergriffen</i> –)   |
| Nr. 16 | 1998 | N. REMLER,<br>H. WEIXLER,<br>S. FELLER                                | Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung – Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzel-Harvester<br>(– <i>vergriffen</i> –)   |
| Nr. 17 | 1998 | O. SCHMIDT et al.   | Beiträge zur Vogelbeere  |
| Nr. 18 | 1998 | H.J. GULDER et al.  | Humuszustand und Bodenlebewelt ausgewählter bayerischer Waldböden  |
| Nr. 19 | 1998 | G. LOBINGER   | Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren und Eichenschäden (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 20 | 1999 | S. RAAB   | Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 21 | 1999 | H. WEIXLER et al.   | Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln   |
| Nr. 22 | 1999 | CH. KÖLLING   | Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in den Wäldern Bayerns – Ergebnisse der Stoffhaushaltsuntersuchungen an den Bayerischen Waldklimastationen 1991 bis 1998<br>(– <i>vergriffen</i> –) |
| Nr. 23 | 1999 | L. ALBRECHT et al.  | Beiträge zur Wildbirne   |
| Nr. 24 | 1999 | O. SCHMIDT et al.   | Beiträge zur Silberweide (– <i>vergriffen</i> –)   |
| Nr. 25 | 2000 | S. NÜSSEIN et al.   | Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald – Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet (– <i>vergriffen</i> –)  |
| Nr. 26 | 2000 | K. WAGNER,<br>S. WITTKOPF,  | Der Energieholzmarkt Bayern  |
| Nr. 27 | 2000 | BAYER. LWF  | Großtiere als Landschaftsgestalter – Wunsch oder Wirklichkeit? (– <i>vergriffen</i> –)   |
| Nr. 28 | 2000 | BAYER. LWF  | Beiträge zur Sandbirke   |
| Nr. 29 | 2000 | A. WAUER  | Verfahren zur Rundholzlagerung   |
| Nr. 30 | 2001 | BAYER. LWF  | Symposium Energieholz  |
| Nr. 31 | 2001 | BAYER. LWF  | Waldzustandsbericht 2001   |
| Nr. 32 | 2001 | H. VALENTWOSKI,<br>H.-J. GULDER,<br>CH. KÖLLING,<br>J. EWALD, W. TÜRK | Die Regionale Natürliche Waldzusammensetzung Bayerns   |

|        |      |   |   |
|--------|------|---|---|
| Nr. 33 | 2001 | BAYER. LWF  | Waldbewohner als Weiser für die Naturnähe und Qualität der forstlichen Bewirtschaftung  |
| Nr. 34 | 2002 | BAYER. LWF  | Beiträge zur Esche  |
| Nr. 35 | 2002 | BAYER. LWF  | Auerhuhnschutz und Forstwirtschaft - Lösungsansätze zum Erhalt von Reliktpopulationen unter besonderer Berücksichtigung des Fichtelgebirges |
| Nr. 36 | 2002 | S. RAAB, S. FELLER,<br>E. UHL, A. SCHÄFER,<br>G. OHRNER | Aktuelle Holzernteverfahren am Hang   |
| Nr. 37 | 2003 | R. NÖRR, M. BAUMER                                      | Pflanzung – ein Risiko für die Bestandesstabilität?<br>Die Bedeutung wurzelschonender Pflanzung und ihre Umsetzung im Forstbetrieb          |