



*Martin Kühmaier  
DI, Forsttechnik  
Universität für Bodenkultur  
Wien, Österreich*

## **Optimierung der Waldhackgut- bereitstellung auf regionaler Basis**



# Optimierung der Waldhackgutbereitstellung auf regionaler Ebene

## Ausgangslage

Österreich erlebt derzeit einen Boom im Bereich des Energieholzes. Ausgehend vom Ökostrom-Gesetz 2002, welches 2006 novelliert wurde, entstand eine Planungs- und Baueuphorie bei den Energieversorgern. Die im Gesetz verankerten Einspeisetarife richten sich in ihrer Höhe nach den eingesetzten erneuerbaren Ressourcen. Neben der Förderung von Stromerzeugung aus Wind, Solar und Kleinwasserkraft, wird auch die thermische Stromproduktion unter Einsatz von Biobrennstoffen subventioniert. Ziel dieser Maßnahmen ist es, dass mit Ausnahme der Wasserkraft bis 2010, 10% der Stromproduktion aus erneuerbaren Ressourcen stammen (Ökostromgesetz – Novelle 2006). Schätzungen sprechen von einer Zunahme des Energieholzbedarfs für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) von 1,6 auf 5,0 Millionen Festmeter bis 2007. Der Brennstoffbedarf insgesamt lag im Jahr 2000 bei 10 Millionen Festmeter und soll sich aufgrund der Prognosen bis 2010 verdoppeln (Katzensteiner und Nemestothy, 2006).

Während in der Vergangenheit vorwiegend Sägenebenprodukte als Brennstoff eingesetzt wurden, wird in der Zukunft Waldhackgut als Rohstoffquelle an Bedeutung gewinnen. Die Gründe dafür sind verknappende Sägenebenprodukte auf Grund steigender Ausbaupkapazitäten und attraktive Förderbedingungen für Waldhackgut bei der Stromerzeugung. Prognosen für Niederösterreich und Wien ergeben einen Waldhackgutanstieg von derzeit 28% auf 56% am Gesamtbedarf. Es gibt verschiedene Überlegungen, woher dieser Mehrbedarf kommen soll. Als potentielles Ausgangsmaterial werden Holz aus Durchforstungen und Niederwäldern sowie Schlagabraum diskutiert. Zusätzliche Holzmengen sollen auch von Kurzumtriebsflächen kommen.

Die zusätzliche Mengenmobilisierung ist dabei keine Frage des Potenzials, vielmehr der ökonomischen Machbarkeit. Schwierige Geländebeziehungen – ein Großteil der Österreichischen Waldfläche ist im Seilgelände – und Kleinmengen auf Grund waldbaulichen Anforderungen und kleinbäuerlicher Waldstrukturen resultieren in hohen Kosten bei der Bereitstellung (Rohmoser & Stampfer, 2003). Diese Umstände lassen auch den Einsatz von in Skandinavien erprobten Verfahren (Hakkila, 2004) nur bedingt zu. Systematische Vergleiche für Waldhackgutbereitstellungssysteme gibt es vor allem für skandinavische Verhältnisse, für Gebirgsbedingungen allerdings nur auf Basis von Fallstudien.

Der vorliegende Beitrag bezweckt den Stand der Waldhackgutbereitstellung unter Gebirgsbedingungen zu analysieren und die wichtigsten Herausforderungen für die zukünftige Entwicklung zu diskutieren.

## Bereitstellungssysteme

Ein Waldhackgutbereitstellungssystem besteht aus einer Abfolge von unterschiedlichen Bearbeitungs-, Transport- und Steuerungsprozessen, mit dem Ziel forstliche Biomasse in Brennmaterial umzuwandeln und die Ressource vom Wald zum Verbraucher zu transportieren (Stampfer & Kanzian, 2006).

Das in Frage kommende Hackmaterial wird dabei in Schlagabraum und Energierohholz differenziert (Abbildung 1). Schlagabraum (Äste, Wipfel und Kappholz) stellt ein Koppelprodukt im Zuge der konventionellen Holzernte dar und hat den Vorteil, dass die Kosten für Fällen und Rücken des Materials der Rohholzproduktion angerechnet werden. Die Menge an Schlagabraum im Ver-

hältnis zur anfallenden Rundholzmenge variiert stark. Kanzian et al. (2006) ermittelten für Laubholznutzungen Energieholzmengen von 6 bis 26% bezogen auf den Rundholzanfall. Für nadelholzdominierte Bestände gibt Kanzian (2005) Werte von 10 bis 15% an. Eine finnische Studie beziffert die Schlagabraummenge bei Fichte und Kiefer in der Durchforstung mit 20 bis 30% und in der Endnutzung mit 4 bis 5% (Hakkila, 2004).

Durch die Nutzung des Schlagrücklasses können ökologische Risiken und Zuwachsverluste entstehen, da dem Bestand wertvolle Nährstoffe entzogen werden. In Finnland gilt auf Grund dieser Überlegungen die generelle Regel, dass 30% des Schlagrücklasses im Gelände verbleiben sollen (Hakkila, 2004).

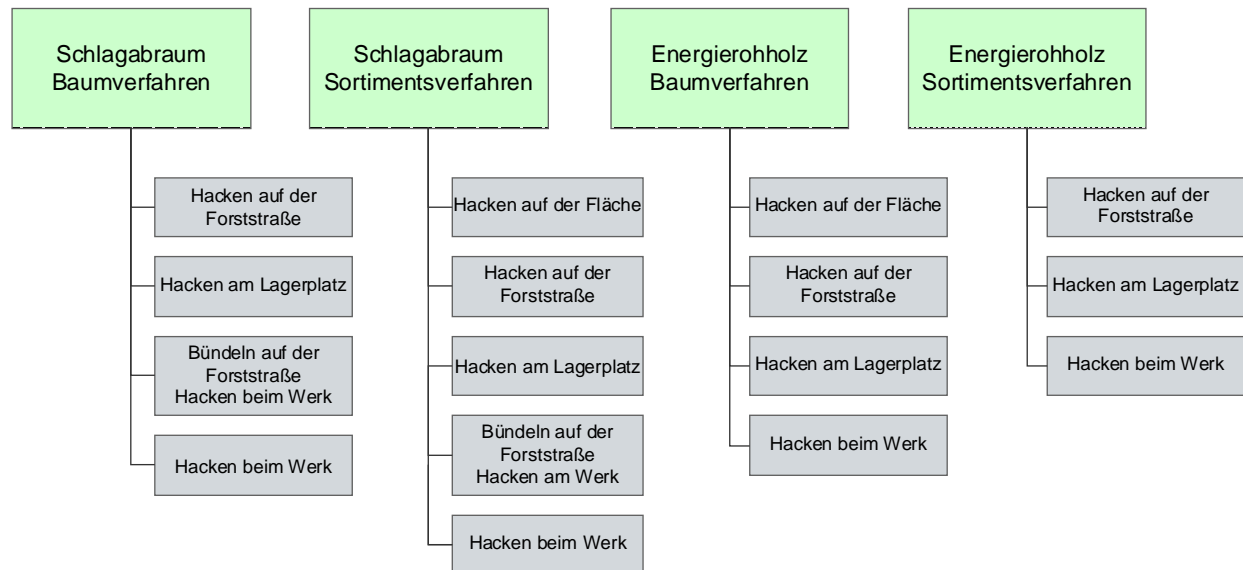


Abbildung 1: Systematisierung der Waldhackgutbereitstellungssysteme nach Ausgangsmaterial und Ort des Hackens

Energierohholz hingegen wird lediglich zum Zweck der thermischen Verwertung genutzt. Erstdurchforstungen in Nadel- und Laubholzbeständen sowie waldbauliche Maßnahmen in Niederwäldern fallen in diese Kategorie. Auf Grund meist schwacher Baumdimensionen ist eine effiziente Hackguterzeugung allerdings nur schwer möglich, aber aus Pflegeerfordernissen oft dringend notwendig. In diese Kategorie fällt auch gefälltes, entwipfeltes und entastetes Holz zum Zwecke der thermischen Verwertung.

Waldhackgutbereitstellungssysteme werden rund um den Hackprozess gebildet. Die Position des Hackers innerhalb der Gesamtkette determiniert den Zustand der Biomasse während des Transportprozesses. Als Hackort kommen der Bestand, die Forststraße, ein Lagerplatz und das Werk in Frage. Die Biomasse kann in Form von Schlagabraum, Rohholz, komprimierten Bündeln und Hackgut transportiert werden. Die erreichbare Ladedichte und die Transportdistanz sind bestimmende Erfolgsfaktoren.

Hacken im Bestand wird unter Gebirgsbedingungen sehr selten angewandt. In Dänemark dagegen ist dieses Verfahren sehr häufig in Durchforstungen und bei schwachen Baumdimensionen (Talbot & Suadicani, 2006). Die Fällung und Bündelung der Bäume erfolgt mit Feller-Bunchern in der Rückegasse. Nach einer etwa 20 Wochen dauernden Trocknungszeit wird das Material mit geländetauglichen Hackern direkt in mit- oder separat geführte Container gehackt und zur Forststraße gerückt, von wo es mit LKW-Abrollcontainern zum Werk transportiert wird. Silversides & Sundberg (1989) sehen den größten Verfahrensvorteil in der Möglichkeit mehrere Stämme

gleichzeitig zu hacken, was den Hacker weniger anfällig gegen negative Kosteneffekte auf Grund des Stück-Masse-Gesetzes macht.

Die bei der Waldhackgutbereitstellung häufigste Option ist Hacken an der Forststraße und Transport von Hackschnitzeln. Rund 70% der jährlichen Waldhackgutmenge in Finnland wird auf diese Art abgewickelt (Ranta und Rinne, 2006). Beim größten mitteleuropäischen KWK in Wien Simmering sollen je 50% der Menge als Rohholz bzw. in Form von Hackgut angeliefert werden. Weit verbreitet ist direktes Hacken in die Transportfahrzeuge. Durch die geschlossene Arbeitskette kommt es zu Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Maschinen. Ablaufbedingte Wartezeiten des Hackers auf den LKW bzw. der LKW auf den Hacker können die Folge sein. Die Herausforderung aus logistischer Sicht ist es, den gesamten Prozess so zu gestalten, dass die ablaufbedingten Wartezeiten minimal sind.

Ein weiteres Problem unter Gebirgsbedingungen stellen die teilweise ungenügenden Platzverhältnisse an der Forststraße dar. Direktes Beladen der Transportfahrzeuge erfordert ein Nebeneinanderstehen der beiden Maschinen, wofür ausreichendes Platzangebot notwendig ist. Eine Lösungsmöglichkeit ist das Trennen der Prozesse Hacken und Transportieren (unterbrochene Arbeitskette), wodurch die Maschinen unabhängig voneinander sind. Allerdings entstehen zusätzliche Kosten durch den Ladeprozess. Eine andere Lösung besteht in der Vorkonzentration des Hackmaterials an zentralen Lagerplätzen.

Besonders unter Gebirgsbedingungen und bei kleinflächigen Besitzstrukturen macht die Einrichtung von zentralen waldnahen Lagerplätzen Sinn. Hauptaufgaben dieser Lagerplätze sind die Bündelung von Mengen, das Trocknen des Hackmaterials und das Sicherstellen einer kontinuierlichen Versorgung der Werke mit Waldhackgut. Die Mengeneffekte wirken sich positiv auf Hackerproduktivität und -auslastung aus. Trocknung führt zu einer Qualitätssteigerung des Hackgutes und zu einer besseren Auslastung des Ladevolumens beim Transport. Lagerplätze nah am öffentlichen Straßennetz machen auch den Einsatz von Standardtransportmitteln (z. B. Sattelzugfahrzeuge mit Container) für den Hackguttransport möglich. Die Pufferfunktion des Lagers ist im Gebirge gerade in den Wintermonaten bei Schneelage besonders wichtig. Die Kosten für die Lagerplatzerrichtung sollten durch diese positiven Effekte wettgemacht werden.

In Skandinavien wird Schlagrücklass mit Spezialmaschinen verdichtet und gebündelt, um die Ladedichte beim Transport und die Produktivität beim Hacken im Werk zu erhöhen. Die Bündler sind auf Forwarder aufgebaut und arbeiten auf der Bestandesfläche (Johansson et al., 2006; Kärhä & Vartiamäki, 2006; Ranta & Rinne, 2006; Cuchet et al., 2004). Für Gebirgsbedingungen wurde ein Bündler auf LKW-Basis entwickelt (Kanzian, 2005).

Während in Skandinavien Waldhackgutbereitstellung mit der Bündlertechnologie sehr verbreitet ist (z.B. 18% des Waldhackguts in Finnland) und eine kosteneffiziente Alternative darstellt, hat eine österreichische Untersuchung das Gegenteil gezeigt (Kanzian, 2005). Das geringe Produktivitätsniveau von 9-13 Bündeln/PSH<sub>15</sub> ist allerdings auf einen unerfahrenen Maschinisten und unsachgemäße Vorbereitung des Schlagabraums (z.B. Verunreinigungen des Materials, Lagerung des Schlagabraumshaufens) zurückzuführen. Skandinavische Untersuchungen erreichen mit 13-26 Bündeln/PSH<sub>15</sub> durchwegs höhere Produktivitäten (Johansson et al., 2006; Kärhä & Vartiamäki, 2006). Wesentliche Unterschiede zwischen Skandinavien und Mitteleuropa bestehen hinsichtlich der unterstellten Stundensätze, die teilweise nur 40-50% des mitteleuropäischen Niveaus betragen (Johansson et al., 2006; Kärhä & Vartiamäki, 2006; Ranta & Rinne, 2006; Kanzian, 2005; Cuchet et al., 2004). Gründe dafür sind eine höhere Maschinenauslastungen, geringere Überstellabstände und größere Einsatzflächen. Die geringe Maschinenauslastung ist ein generelles Problem bei der Bereitstellung von Roh- und Energieholz in Österreich.

Hacken beim Werk macht den Transport- und Hackvorgang unabhängig voneinander. Die Biomasse wird in Form von Schlagabraum, ganzen Bäumen oder Sortimentsstücken ins Werk transportiert. Geringe erzielbare Ladedichten sind ein wesentlicher Systemnachteil. Der Einsatz von stationären Großhackern erlaubt das Hacken jeder Art von Biomasse bei gleichzeitig hohen Produktivitäten. Dieser Vorteil ist umso größer je mehr Rohmaterial gebraucht wird, erfordert allerdings hohe Investitionskosten.

## Transport von Energieholz

Die Suche nach Optimierungsmöglichkeiten entlang der Bereitstellungsketten zeigt auf, dass dem Transport bisher wenig Beachtung geschenkt wurde. Vor allem steigende Kraftstoffpreise und die Einführung der kilometerabhängigen Maut zeigen jedoch eine Notwendigkeit einer Verbesserung auf. Bei der Organisation des Transportes sind vor allem die Planung der Arbeitsabfolge, die Befahrbarkeit von Straßen, ausreichende Platzverhältnisse, adäquate Transportdistanzen und eine maximale Auslastung der Ladekapazität zu berücksichtigen. Beim intermodalen Transport ist zusätzlich ein mehrmaliger Wechsel der Fracht zwischen unterschiedlichen Transportmedien einzuplanen.

Die Transportkosten sind am stärksten von der Transportdistanz und der Ladedichte abhängig. Der Transport mit einem Schüttgut-LKW mit Anhänger und eigenem Ladekran erreicht bei einer Schüttdichte von 370 kg/SRM und einer Transportdistanz von 50 km Kosten in der Höhe von 5,1 €/SRM. Beim Einsatz eines LKW mit Abrollcontainer betragen die Kosten unter ähnlichen Voraussetzungen 5,0 bis 5,5 €/SRM. Der Transport von Schlagabraum ist aufgrund der geringen Ladedichten sehr kostenintensiv und sollte deshalb nur für kurze Distanzen (Vortransport) durchgeführt werden. Die Kosten betragen bei einer Distanz von zehn Kilometern circa 6,00 €/SRM für Schlagabraum und 4,00 €/SRM bei Wipfelmaterial (Kühmaier et al., 2007).

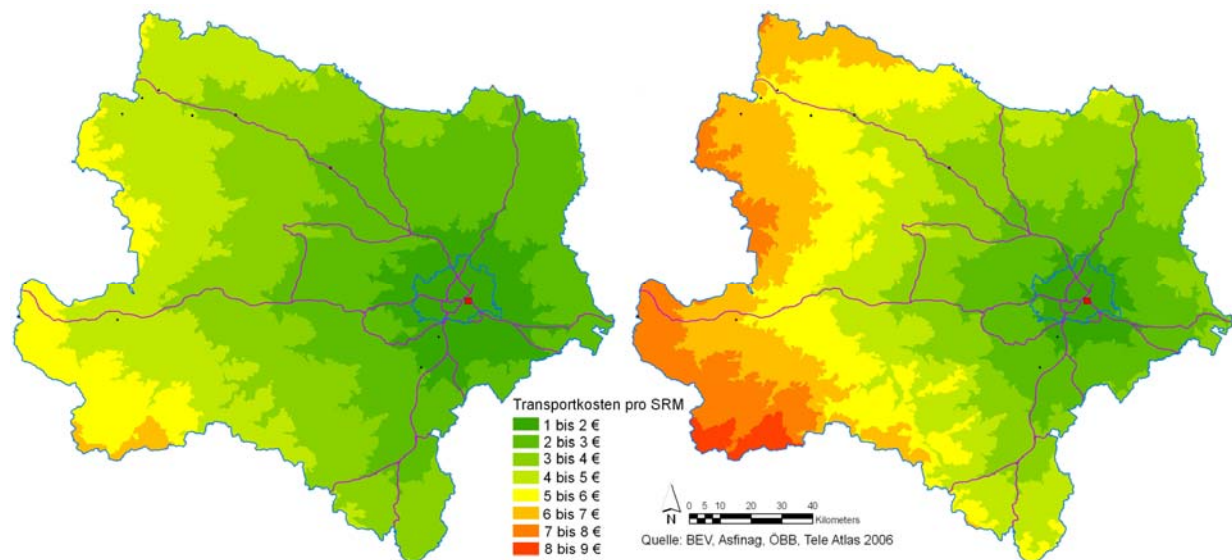


Abbildung 2: Transportkosten für einen Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau in Abhängigkeit von Distanz und Ladedichte

Auf kurzen Transportdistanzen weist der LKW- gegenüber dem intermodalen Transport derzeit noch deutliche Kostenvorteile auf. Beim Transport von Energierohholz sind erst ab einer Distanz von circa 80 km sind die Kosten für den intermodalen bzw. LKW-Transport ähnlich hoch und betragen umgerechnet 5,00 €/SRM. Beim Transport von Waldhackgut mit einer Schüttdichte von 350 kg/SRM sind die Transportkosten für Eisenbahn und LKW bei einer Entfernung von circa 100 km gleich hoch und betragen circa 6,50 €/SRM (Kühmaier et al., 2007).

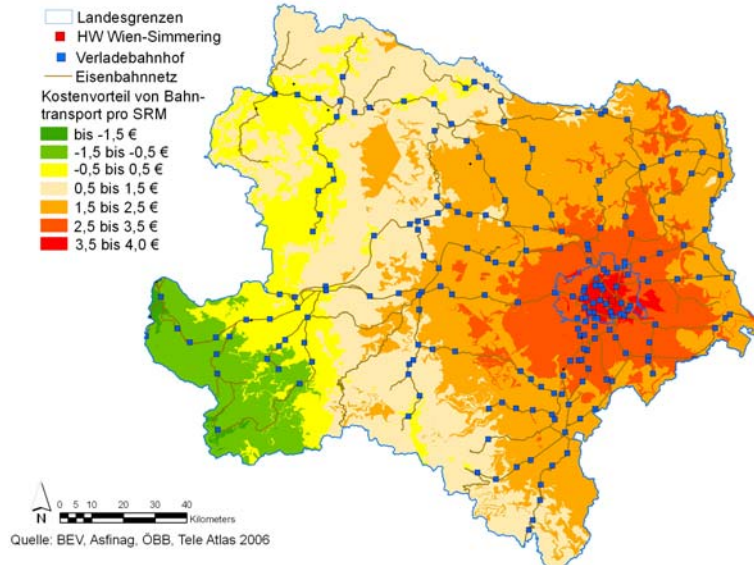


Abbildung 3: Kostenvergleich des Eisenbahn- und LKW-Transportes bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM

## Zwischenlagerung von Energieholz

Eine Zwischenlagerung von Waldhackgut auf einem zentralen Lagerplatz zur Sicherstellung einer kontinuierlichen Versorgung der Heizwerke, einer Vermeidung negativer forsthygienischer Effekte durch Lagerung außerhalb des Waldes, erwarteten Produktivitätssteigerungen durch Vermeidung von Wartezeiten und der Nutzung adäquater Maschinen und niedrigerer Pachtkosten als bei Lagerung am Heizwerk, wurde immer wieder angedacht, aber bisher vor allem aus Kostengründen und fehlenden technischen Voraussetzungen abgelehnt. Eine Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen führte jedoch, auch aufgrund einer stetig steigenden Nachfrage an Biobrennstoffen, teilweise zu einem Umdenken, sodass in einigen Gegenden Österreichs bereits einige Lagerplätze in Betrieb genommen wurden.

Vor der Errichtung eines Lagerplatzes sollte eine Standortbewertung durchgeführt werden, die eine weitestgehende Übereinstimmung zwischen Standortanforderungen und Standortfaktoren mit dem Ziel einer wirtschaftlichen Maximierung des wirtschaftlichen Erfolges gewährleistet. Die Ausstattung eines Lagerplatzes und somit die Höhe der Errichtungs- und Betriebskosten werden durch die umgeschlagene Menge an Energieholz, bereits vorhandene Strukturen sowie durch der Art der Verarbeitung bestimmt. Je höher die Umschlagmenge und je geringer die Lagerdauer, desto geringer sind die Kosten. Die Lagerdauer wird durch den gewünschten Wassergehalt des Energieholzes bestimmt.

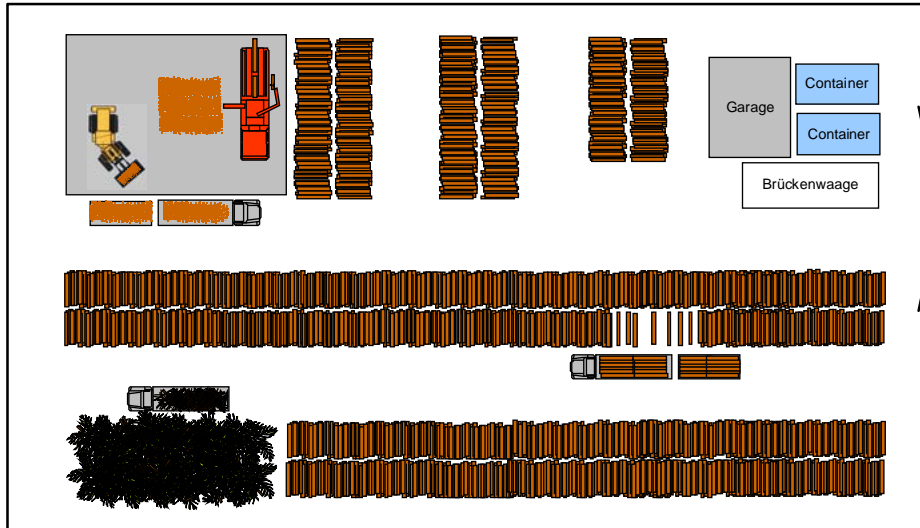


Abbildung 4: Beispiel für einen Energieholzlagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien

Einfache, geschotterte Lagerplätze sind für geringe Umschlagmengen bei meist längerer Lagerdauer ausgestattet. Die Kosten betragen bei einer Lagerung für zwölf Monaten und einer Umschlagsmenge von 5.000 SRM ca. 3,50 €/SRM. Mittlere Lagerplätze (mit 50% Asphaltierung und Brückenwaage) sind für mittlere Umschlagmengen und mittlerer Lagerdauer bestimmt. Bei einer Lagerung für sechs Monaten und einer Umschlagsmenge von 20.000 SRM ergeben sich Kosten in der Höhe von ca. 3,60 €/SRM. Große Lagerplätze sind zusätzlich mit einer Halle zur Lagerung von Hackgut ausgestattet. Bei einer Lagerdauer von zwei Monaten und einer Umschlagsmenge von 100.000 SRM betragen die Kosten ca. 2,10 €/SRM. Die entstehenden Kosten bei der Zwischenlagerung werden durch die Möglichkeit einer kontinuierlichen und intensivierten Verarbeitung des Hackgutes an zentralen Lagerplätzen wieder teilweise kompensiert (Kühmaier et al., 2007).

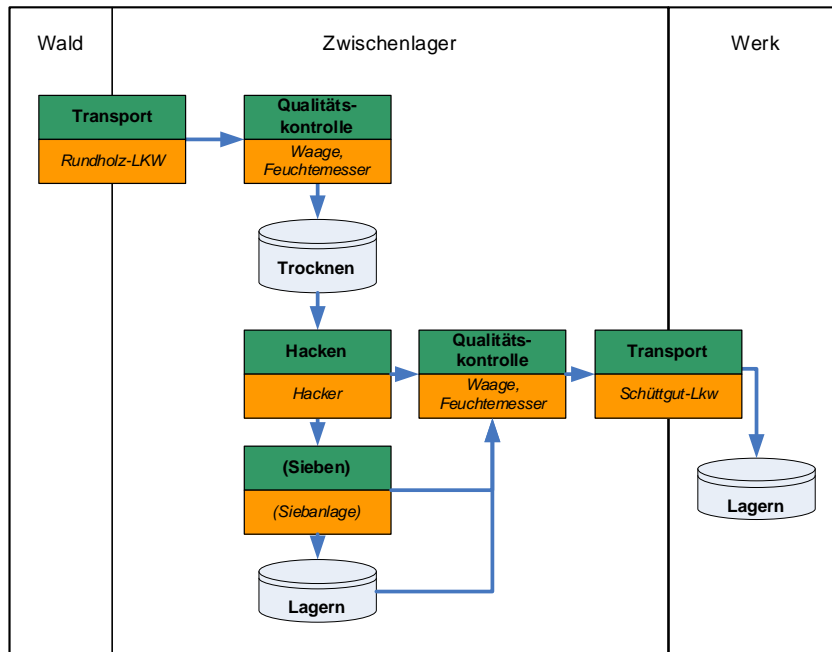


Abbildung 5: Ablaufdiagramm an einem Energieholzlagerplatz



## Versorgungsoptimierung

Ein logistisches System kann vereinfacht als eine übergreifende Kette zwischen Lieferant und Kunde, gegliedert nach Prozessen abgebildet werden. Wie Ranta (2002) zeigt, lässt sich dieses System durch Modifikation auch für die Energieholzlogistik adaptieren (Abbildung 6).

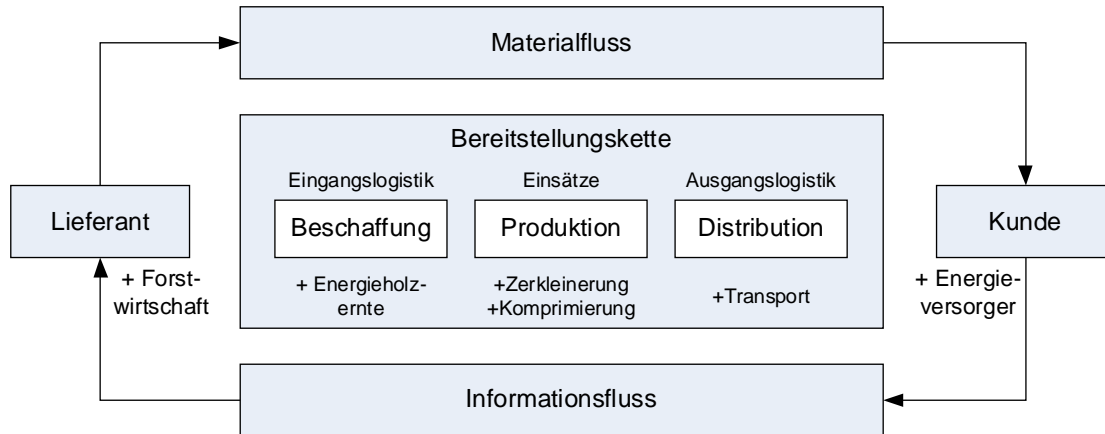


Abbildung 6: Vereinfachtes, logistisches System für die Waldhackgutbereitstellung (Ranta, 2002)

Dem Materialfluss vom Lieferanten zum Kunden steht der Informationsfluss gegenüber. Den Prozessen Beschaffung, Produktion und Distribution werden die forstspezifischen Prozesse Energieholzernte, Zerkleinerung und/oder Komprimierung sowie Transport zugeordnet. Eine Reduktion auf das dargestellte, vereinfachte System erscheint in der Praxis nicht realistisch. Die Beschaffung und Produktion werden hier als simple Prozesse dargestellt. Tatsächlich gestaltet sich der Ablauf als sehr komplex, da an jedem Punkt eine Reihe von Entscheidungen getroffen werden können bzw. müssen, welche großen Einfluss auf den weiteren Materialfluss haben (Andersson et al., 2002). Alleine die Wahl des Hackortes, welcher den Zustand des Energieholzes beim Transport bestimmt, hat große Auswirkungen auf die Logistikkette.

Die Logistikkette bzw. Wertschöpfungskette Waldhackgut kann daher nicht als simple Kette von der Rohstoffquelle zum Verbraucher gesehen werden. Vielmehr laufen eine Reihe von Prozessen parallel bzw. eng verzahnt ab. Der Begriff Versorgungsnetzwerk beinhaltet ein Set aus Bereitstellungsketten und möglichen Stoffflüssen und bringt somit die Komplexität besser zum Ausdruck (Andersson et al., 2002).

### Methodik

In einem räumlich abgegrenzten Gebiet wird für ausgewählte Abnehmer (Heizwerke) die Frage geklärt, ob eine Versorgung via Terminals aus ökonomischer Sicht Vorteile bringt. Dazu ist es erforderlich die ideale räumliche Verteilung dieser Terminals im Projektgebiet in Abhängigkeit von den Beschaffungs-, Lager- und Distributionskosten zu bestimmen. Eventuelle Mehrkosten durch Errichtung und Betrieb von Terminals werden über definierte Versorgungsszenarien abgebildet. Das Modell zielt nicht darauf ab, aus der Vielfalt von Bereitstellungsketten eine geeignete auszuwählen. Jene Teile der Erntekette, welche den Weg vom Bestand bis zur Forststraße beschreiben, werden im Modell nicht behandelt. Sie üben keinen direkten Einfluss auf die Lage von regionalen Terminals aus. Die fünf von Eriksson & Björheden (1989) vorgeschlagenen Lieferketten lassen sich aufgrund der Erkenntnisse aus den Transportstudien reduzieren, um die Lösbarkeit des Modells zu gewährleisten.

Der Materialfluss beschränkt sich im Wesentlichen auf drei Warenströme (Abbildung 7):

- (1) vom Wald direkt zum Werk
- (2) vom Wald zu einem regionalen Terminal
- (3) vom regionalen Terminal zum Werk

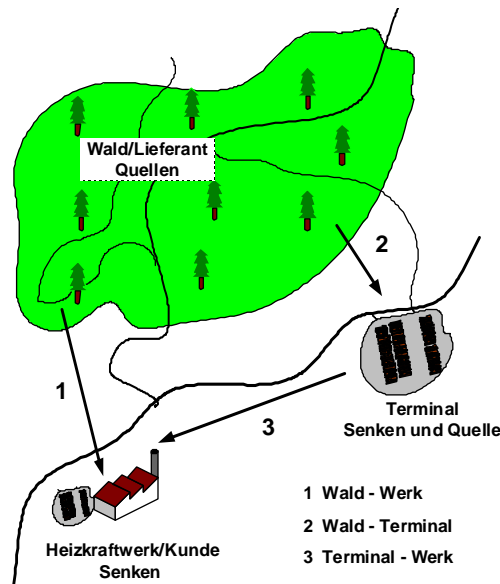


Abbildung 7: Materialflüsse von Waldhackgut laut Modellierung

Als Terminals werden drei verschiedene Varianten berücksichtigt. Einfache, geschotterte Lagerplätze sind für geringe Umschlagmengen bei meist längerer Lagerdauer ausgestattet. Die Kosten betragen bei einer Lagerung für zwölf Monaten und einer Umschlagsmenge von 5.000 SRM ca. 3,50 €/SRM. Mittelgroße Lagerplätze (mit 50% Asphaltierung und Brückenwaage) sind für mittlere Umschlagmengen und mittlerer Lagerdauer bestimmt. Bei einer Lagerung für sechs Monaten und einer Umschlagsmenge von 20.000 SRM ergeben sich Kosten in der Höhe von ca. 3,60 €/SRM. Große Lagerplätze sind zusätzlich mit einer Halle zur Lagerung von Hackgut ausgestattet. Bei einer Lagerdauer von zwei Monaten und einer Umschlagsmenge von 100.000 SRM betragen die Kosten ca. 2,10 €/SRM (Kühmaier et al., 2007).

Weiters ist eine Entscheidung über den Hackort des Energieholzes zu treffen. Mit dieser Entscheidung wird auch über den Zustand beim Transport und somit die Wahl des Transportmittels entschieden. Bei den Analysen des Transportes erweist sich bei den reinen Transportkosten der Schüttgut-LKW als günstigstes Transportmittel, gefolgt vom Rundholz-LKW. Bei den zu erwartenden Transportdistanzen innerhalb Niederösterreichs ist der Verkehrsträger Schiene im Vergleich zur Straße derzeit nicht konkurrenzfähig. Das Hacken kann bei der direkten Versorgung im Wald oder Werk stattfinden. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen werden für den Warenstrom (1) Mischkosten für das Hacken und den Transport berechnet. Bei der Verwendung von verschiedenen Transportmitteln in einer Kette verursacht das Umladen meist hohe Kosten. Daher werden der Transport vom Wald zum Terminal (2) ausschließlich mit dem Rundholz-LKW und die anschließende Distribution vom Terminal zum Werk (3) mittels Schüttgut-LKW abgewickelt.

Das Modell baut auf dem klassischen LP-Transportmodell auf, bei dem der Warenstrom vom Wald (Quellen) zu den Heizwerken (Senken) kostenoptimiert wird. In Ergänzung und zur Abgrenzung der Einzugsgebiete erfolgt eine binäre Zuordnung jeder Quelle zu nur einem Werk (vgl. Ranta, 2005; Kanzian et al., 2006a). Sollte das Potenzial aus den Quellen nicht ausreichen, müssen sich die Werke aus anderen Quellen versorgen. Die entstehende Fehlmenge soll unter definierten Substitutionskosten ebenfalls kostenoptimal auf die Werke verteilt werden.

## Ergebnisse

Die mit dem Modell berechneten Versorgungsszenarien für die Region Wien/Niederösterreich beinhaltet jene zwölf Heizwerke mit einem Jahresbedarf von über 100.000 SRM Waldhackgut, 180 durch eine Standortsanalyse ermittelten potenziellen Lagerplätze und ca. 7.000 Potenzialpunkte. Die Zuweisung von jedem der über 7.000 Potenzialpunkte zu einem Werk ermöglicht die Beschreibung und Darstellung der kostenminimalen – idealen – Verteilung des Potenzials auf die Heizwerke. So werden beim Szenario Direkt I die Waldflächen im Osten von Wien ausschließlich dem Werk Wien-Simmering (hellblau) zugewiesen. Sofern die Heizwerkstandorte nicht nahe zusammen liegen, erstrecken sich die Einzugsgebiete um die Werke. Aufgrund der Konzentration von Werken im Süden von Wien verschieben sich aber zum Beispiel die Einzugsgebiete für Baden und Mödling. Das Werk Baden würde optimal aus dem südwestlichen Niederösterreich beliefert (Abbildung 8). Der Standort Baden wird zu 100% aus Niederösterreich versorgt, wobei sich die gerundeten größeren Liefermengen aus den BFI-Bezirken wie folgt zusammensetzen:

- Baden (BN) 43.500 Srm/a
- Lilienfeld (LF) 30.800 Srm/a
- Neunkirchen (NK) 83.100 Srm/a
- St. Pölten Land (PL) 24.400 Srm/a
- Wiener Neustadt (WN) 67.700 Srm/a

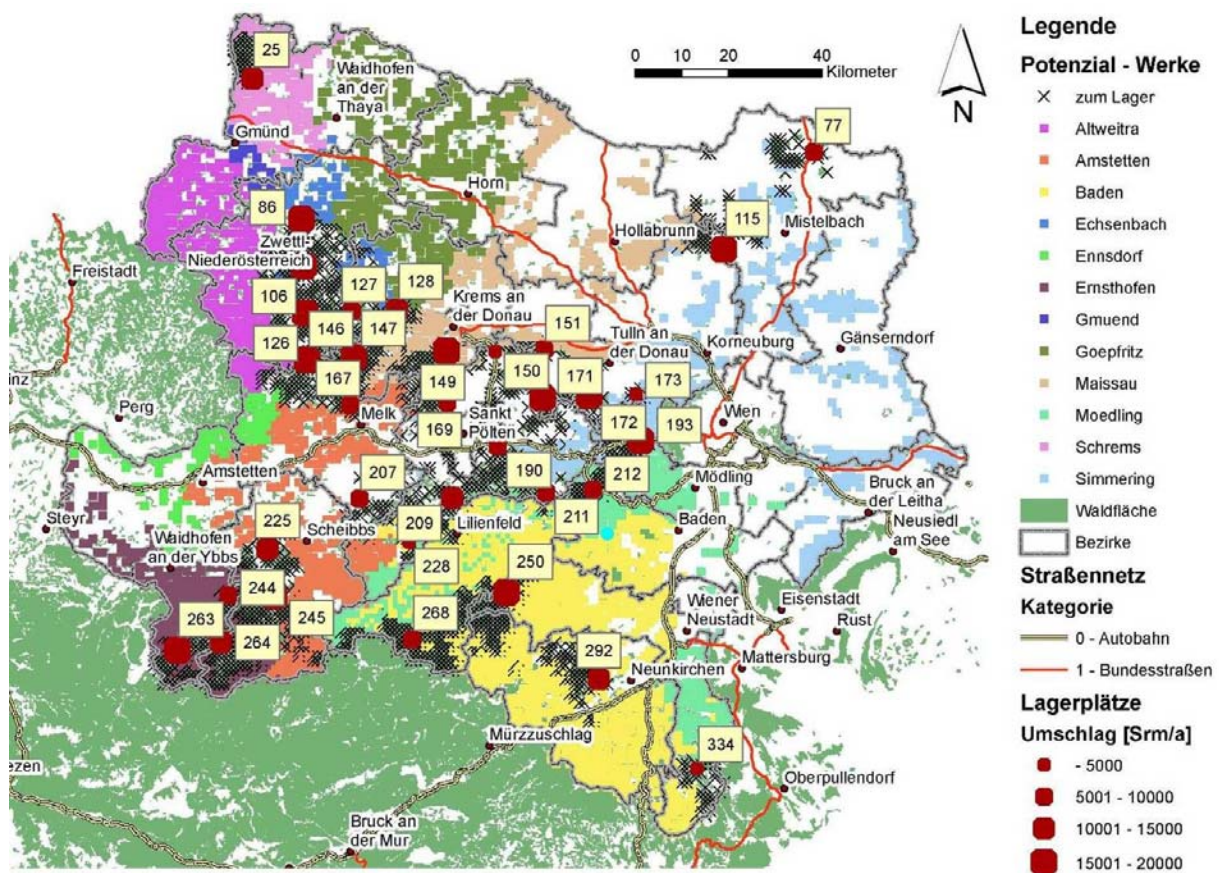


Abbildung 8: Einzugsgebiete von Heizwerken und ermittelte Standorte für kleine Terminals

Ein durchschnittlicher Versorgungsgrad von 51% verteilt sich sehr verschieden auf die Werke. Amstetten, Baden und Maissau erhalten demnach ausreichende Potenzialmengen. Gmünd und

Ennsdorf sind unter den gewählten Eingangsgrößen nicht voll versorgt. Simmering, die Anlage mit dem höchsten Bedarf, wird zu knapp 30% beliefert. Die mit der Menge gewichteten durchschnittlichen direkten Belieferungsdistanzen betragen zwischen 18 und 63 km, wenn man Gmünd nicht berücksichtigt. Die Gesamtkosten pro Schüttraummeter beinhalten keine Substitutionskosten und nehmen Werte zwischen 7,20 und 9,30 €/SRM an. Die Mautgebühren belasten die Kosten der direkten Versorgung mit maximal 0,09 €/SRM. Über eine Analyse der Grenzkosten kann eine Abschätzung des ökonomisch verfügbaren Potenzials bei optimaler Verteilung durchgeführt werden. So wären bei Grenzkosten von 9,20 €/SRM 90% des Potenzials nutzbar, was zu durchschnittlichen Kosten von 7,60 €/SRM führt. Diese Menge wäre auch innerhalb einer Distanz von 67 km um die Werke erreichbar (Kühmaier et al., 2007).

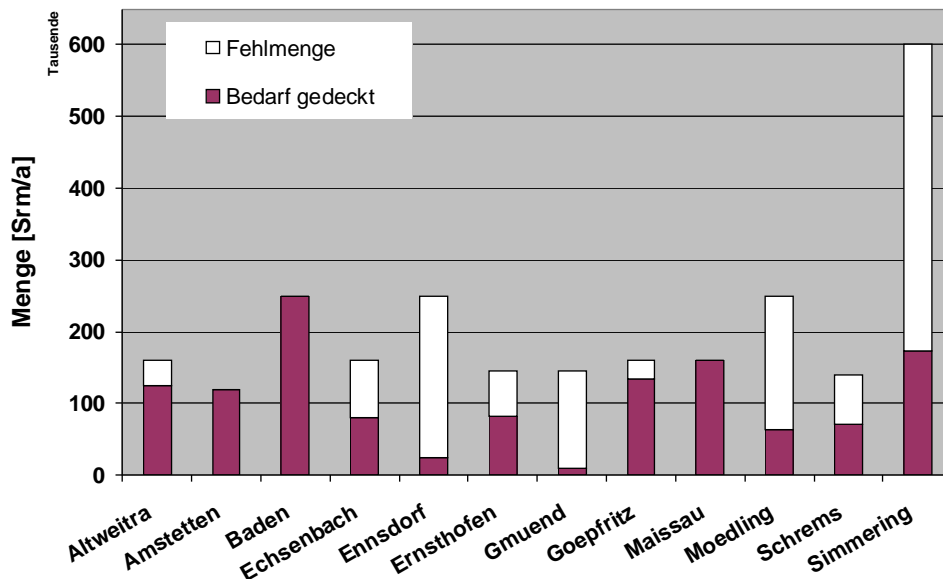


Abbildung 9: Versorgungsgrad der Heizwerke innerhalb des Untersuchungsgebietes

Da die technische maximale Kapazität der Terminalvariante „Klein“ mit 20.000 SRM/Jahr begrenzt ist, müssten bei einem geforderten Mindestumschlag über Terminals von 25% des Energieholzbedarfs eine entsprechend hohe Anzahl eröffnet werden (Abbildung 8). Die meisten Standorte der Terminals befinden sich im Großraum St. Pölten sowie im südlichen Waldviertel. Die einzelnen Heizwerke bekommen durchaus unterschiedliche Mengen über Terminals. Echsenbach erhält mit über 100.000 SRM/a 78% des zugewiesenen Potenzials über Terminals. Wien-Simmering wird bei diesem Szenario zu 64% versorgt und erhält mit rund 120.000 SRM/a nur 30% über Terminals. Die potenziellen Terminals 115, 172 und 193 werden in vollem Umfang genutzt und beliefern ausschließlich das Werk Wien-Simmering. Bei der Belieferung dieser Terminals betragen die durchschnittlichen Distanzen 6,8 bis 11 km und die Transportkosten ca. 3,0 bis 3,2 €/SRM. Für die Distribution zum Werk sind Distanzen von 27 bis 52 km zu überwinden. Die Kosten bis zum Werk würden dann 9,60, 9,10 bzw. 8,60 €/SRM betragen (Kühmaier et al., 2007).

Betrachtet man rein die Kosten aus Sicht des Lieferanten, die ein optimiertes Versorgungsnetzwerk aufbauen wollen, so wäre die direkte Versorgung trotz schwankender Versorgungssicherheit eine günstige Variante. Bei der Analyse sind jedoch die Kosten einer werkseigenen Lagerung nicht berücksichtigt. Will man die Versorgungssicherheit durch den Einsatz von Terminals erhöhen, muss mit zusätzlichen Kosten gerechnet werden. Bei Betrachtung dieser Variante wird allerdings der Effekt der Wertsteigerung durch Trocknung außer Acht gelassen. Die Abschätzung einer Wertsteigerung hängt stark von der Marktsituation ab. Geht man von den vorliegenden Kos-

tendaten aus, sollte eine individuelle Abschätzung möglich sein. Transport-, Hack- und Lagerkosten betragen bei Versorgung über Terminals zwischen 7,80 und 9,30 €/SRM und sind somit um bis zu 18% höher als bei einer optimalen direkten Versorgung. Eine garantierte Versorgungssicherheit ist daher nur bei zusätzlichen Kosten machbar (Kühmaier et al., 2007).

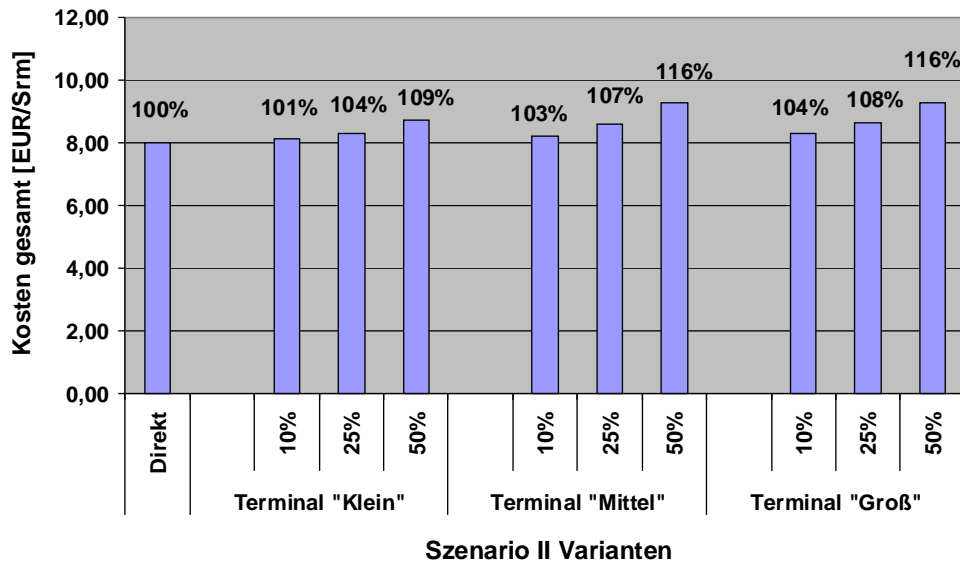


Abbildung 10: Transport-, Hack- und Lagerkosten bei unterschiedlichen Versorgungsszenarien

Die Terminalvarianten „Klein“ und „Mittel“ haben relativ geringe jährliche Fixkosten und meist auch geringe mittlere Zulieferdistanzen von 10 bis 17 km. Die Werke sollten für die Distribution sollten im Mittel nicht weiter als 50 bis 55 km von diesen Terminals entfernt sein. Terminals „Groß“ rücken räumlich aufgrund ihrer hohen Kosten und Mindestumschlagmengen in Richtung der Abnehmer (Heizwerke). Hier stellt sich die Frage, inwieweit diese Terminals in Konkurrenz zu werkseigenen Lagerplätzen treten können. Für die Versorgung größerer Werke, welche meist geringere Qualitätsansprüche haben, sollte auch abgewogen werden, ob sich der hohe Aufwand mit Lagerhalle lohnt. Die mittleren Distanzen Wald-Terminal sind mit 22 bis 23 km doppelt so hoch wie bei den Terminals „Klein“. Um sowohl die Fixkosten als auch die höheren Zulieferungskosten zu kompensieren, fällt oder muss die Distributionsdistanz niedriger sein (Kühmaier et al., 2007).

## Referenzen

- Andersson, G., Asikainen, A., Björheden, R., Hall, P. W., Hudson, J. B., Jirjis, R., Mead, D. J., Nurmi, J. & Weetman, G. F. (2002): Bioenergy from Sustainable Forestry. Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands, Kapitel: Production of Forest Energy, S. 49-123.
- Cuchet, E., Roux, P. und Spinelli, R. (2004): Performance of a logging residue bundler in the temperate forests of France. *Biomass and Bioenergy* 27(1), S. 31 - 39.
- Eriksson, L. O. und Björheden, R. (1989): Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operational Research* 43(1), S. 26 - 33.
- Hakkila, P. (2004): Developing technology for large-scale production of forest chips - Wood Energy Technology Programme 1999 – 2003. Forschungsbericht, VTT Processes, 99S.

- Johansson, J., Liss, J., Gullberg, T. & Bjorheden, R. (2006): Transport and handling of forest energy bundles - advantages and problems. *Biomass-and-Bioenergy* 30(4), S. 334-341.
- Kanzian, C. (2005): Bereitstellung Von Waldhackgut. Verfahren Energieholz bündel im Gebirge. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften an der Universität für Bodenkultur Wien. 32 S.
- Kanzian, C., Fenz, B., Holzleitner, F., Stampfer, K. (2006): Waldhackguterzeugung aus Schlagrücklass. FPP Bericht, Wien. 29 S.
- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Kindermann, G. und Stampfer, K. (2006a): Regionale Energieholzlogistik Mittelkärnten, Technical report, Insitut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, 133.
- Kärhä, K. & Vartiamäki, T. (2006): Productivity and costs of slash bundling in Nordic conditions. *Biomass and Bioenergy* 30(12), S. 1043--1052.
- Katzensteiner, K. und Nemestothy, K. P. (2006): Energetische Nutzung von Biomasse aus dem Wald und Bodenschutz - ein Widerspruch? *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 74, 1-10.
- Kühmaier, M., Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K. (2007): Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Projektstudie im Auftrag von BMLFUW, Land Niederösterreich, Stadt Wien und ÖBf AG. Institut für Forsttechnik, Department für Wald und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, Wien, 282 S.
- Ranta, T. (2002): Logging residues from regeneration fellings for biofuel production - A GIS-based availability and supply cost analysis. Dissertation, Lappeenranta University of Technology, 180 S.
- Ranta, T. (2005): Logging residues from regeneration fellings for biofuel production - a GIS-based availability analysis in Finland. *Biomass-and-Bioenergy* 28(2), S. 171-182.
- Ranta, T. und Rinne, S. (2006): The profitability of transporting uncomminution raw materials in Finland. *Biomass and Bioenergy* 30 (2006) 231-237.
- Rohrmoser, C.; Stampfer, K. (2003): Optimierung der Bereitstellungskette von Waldhackgut. Unveröffentlichte Projektstudie „EWLOG-Umsetzung-Rohstofforschung“, AGRAR PLUS GesmbH, 96 S.
- Silversides, C. R. und Sundberg, U. (1989): Operational efficiency in forestry. Vol. 2: practice, 1-169.
- Stampfer, K. und Kanzian, C. (2006): Current state and development possibilities of wood chip supply chains in Austria. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27(2), S. 135 - 145.
- Talbot, B. und Suadicani, K. (2005): Analysis of two simulated in-field chipping and extraction systems in spruce thinnings. *Biosystems Engineering* 91 (3): 283-292.