

Dieses Projekt wurde von Lebensministerium, Land Niederösterreich, Stadt Wien und der ÖBf AG kofinanziert



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

Wertschöpfungskette Waldhackgut

Optimierung von Ernte, Transport und Logistik

Oktober 2007

Institut für Forsttechnik
Peter-Jordan-Straße 82/3
1190 Wien
<http://www.boku.ac.at/forstt>



Zitiervorschlag: 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, 283 S.

Institut für Forsttechnik

Martin Kühmaier

E-Mail: martin.kuehmaier@boku.ac.at

Christian Kanzian

E-Mail: christian.kanzian@boku.ac.at

Franz Holzleitner

E-Mail: franz.holzleitner@boku.ac.at

Karl Stampfer

E-Mail: karl.stampfer@boku.ac.at

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Universität für Bodenkultur

Peter Jordan Straße 82

1190 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
1.1	Problemstellung	5
1.2	Zielsetzung	6
2	Waldhackgutbereitstellung.....	7
2.1	Qualitätsanforderungen an Waldhackgut	7
2.1.1	Wassergehalt.....	7
2.1.2	Größe des Holzhackgutes	7
2.1.3	Schüttdichte	8
2.1.4	Aschegehalt	8
2.1.5	Anteil an Fremdstoffen.....	8
2.2	Transport	9
2.2.1	Gesetzliche Grundlagen und Normen	9
2.2.2	Straßentransport.....	16
2.2.3	Eisenbahntransport.....	29
2.2.4	Schiffstransport.....	35
2.2.5	Intermodaler Transport	39
2.2.6	Transportkostenberechnungsmodell	42
2.3	Zwischenlagerung	52
2.3.1	Rechtliche Bestimmungen	52
2.3.2	Lagerungsvarianten (nach Golser et al., 2005)	54
2.4	Bereitstellungssysteme.....	58
2.4.1	Schlagabraum BAUM – Hacken auf der Forststraße.....	60
2.4.2	Schlagabraum SORT - Hacken auf der Forststraße.....	61
2.4.3	Schlagabraum – Vorkonzentration – Hacken am Lagerplatz.....	63
2.4.4	Schlagabraum - Bündeln - Hacken beim Werk.....	64
2.4.5	Schlagabraum - Hacken beim Werk	65
2.4.6	Schlagabraum/Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße.....	67
2.4.7	Energierohholz BAUM – Hacken auf der Fläche	68
2.4.8	Energierohholz BAUM – Hacken auf der Forststraße	70
2.4.9	Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße	72
2.5	Steuerung der Waldhackgutbereitstellung.....	73
2.5.1	Logistiksoftware in der Forstwirtschaft.....	73
2.5.2	Soft- und Hardware zur Unterstützung der Rundholzbereitstellung.....	73
2.5.3	Dateiformat zum Austausch von Daten in der Forstwirtschaft.....	75
2.5.4	Übersicht angebotener Softwarelösungen.....	76
2.6	Versorgungsoptimierung	80

2.6.1	Versorgungsnetzwerk	80
2.6.2	Design und Optimierung des Versorgungsnetzwerks Energieholz	82
3	Material und Methodik.....	89
3.1	<i>Bedarfserhebung von Energieholz zur Verwertung in Biomasseheizwerken</i>	<i>89</i>
3.2	<i>Transport von Energieholz</i>	<i>91</i>
3.2.1	Vortransport von Schlagabraum	91
3.2.2	Intermodaler Transport von Energieholz mit LKW und Eisenbahn	93
3.3	<i>Zwischenlagerung von Energieholz.....</i>	<i>101</i>
3.3.1	Standortplanung	101
3.3.2	Modellierung der Standortbewertung.....	101
3.3.3	Kostenbewertung.....	108
3.4	<i>Analyse von Bereitstellungssystemen</i>	<i>115</i>
3.4.1	Erhebung der Bestandesdaten	115
3.4.2	Zeitstudie für die Erzeugung und den Transport von Energieholz.....	115
3.4.3	Erfassung der produzierten Energieholzmenge	117
3.5	<i>Versorgungsszenarien für Biomasseheizkraftwerke.....</i>	<i>119</i>
3.5.1	Problembeschreibung.....	119
3.5.2	Eingangsdaten – Herleitung und Aufbereitung	122
3.5.3	Technische Umsetzung	126
4	Ergebnisse	129
4.1	<i>Bedarf an Energieholz zur energetischen Verwertung</i>	<i>129</i>
4.2	<i>Transport von Energieholz</i>	<i>133</i>
4.2.1	Vortransport von Schlagabraum	133
4.2.2	Transport von Energieholz per Eisenbahn	137
4.2.3	Intermodaler Transport von Energieholz mit Eisenbahn und LKW	139
4.2.4	Vergleich von LKW- und Bahntransport	144
4.3	<i>Zwischenlagerung von Energieholz.....</i>	<i>151</i>
4.3.1	Standortsbewertung.....	151
4.3.2	Ausstattung	152
4.3.3	Lagerplatzvarianten	169
4.3.4	Nebenbedingungen	181
4.4	<i>Fallstudien zur Bereitstellung von Energieholz.....</i>	<i>186</i>
4.4.1	Waldhackguterzeugung aus Schlagabraum im Laubholz.....	186
4.4.2	Waldhackguterzeugung aus Schlagabraum im Nadelholz	188
4.4.3	Unterbrochene oder geschlossenen Arbeitskette	189
4.4.4	Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung im Laubwald.....	191
4.4.5	Mechanisierte Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung im Nadelwald.....	195

4.4.6	Energieholzbereitstellung mit Fällaggregat.....	197
4.5	Anforderungen an Logistiksoftware	202
4.6	Versorgungsszenarien für ausgewählte Biomasseheizwerke	204
4.6.1	Direkte Versorgung	206
4.6.2	Versorgung über Terminals	209
4.6.3	Empfehlungen.....	219
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	221
5.1	Transport	221
5.2	Zwischenlagerung	222
5.3	Bereitstellung.....	223
6	Verzeichnisse.....	227
6.1	Literaturverzeichnis	227
6.2	Mündliche und schriftliche Mitteilungen	232
6.3	Zitierte Normen.....	232
6.4	Zitierte Internetseiten.....	233
6.5	Abbildungsverzeichnis.....	235
6.6	Tabellenverzeichnis.....	241
6.7	Abkürzungsverzeichnis.....	244
7	Glossar	246
7.1	Definitionen rund ums Energieholz.....	246
7.2	Maßeinheiten nach ÖNORM M 7132	247
8	Anhang	248
8.1	Kommunikation.....	248
8.2	Qualitätsmerkmale für Waldhackgut.....	249
8.3	Beurteilung von Transportsystemen.....	251
8.3.1	LKW-Transport	252
8.3.2	Eisenbahntransport.....	269
8.4	Zwischenlagerung	278

Zusammenfassung

Im Rahmen des Ökostrom-Gesetz 2002, entstand bei den Energieversorgern eine Planungs- und Baueuphorie für Biomasseheizkraftwerke. Ziel der Gesetzgebung ist es, dass, mit Ausnahme der Wasserkraft, bis 2010 die Stromproduktion aus erneuerbaren Ressourcen auf 10% gesteigert wird. Österreich erlebt dadurch einen Boom im Bereich der Energieholznutzung. Aufgrund der Steigerung der Nachfrage an ökologischen Brennstoffen, eröffnen sich auch für Waldhackgut neue Fragen im Hinblick auf die Verfügbarkeit, Bereitstellung bzw. Logistik.

Derzeit werden in Niederösterreich und Wien 333 Biomasseheizkraftwerke betrieben oder befinden sich in Bau. Die Erhebung des Brennstoffbedarfs erfolgte durch Rückfrage bei Behörden sowie Heizwerkbetreibern. Bis zum Jahresende 2007 wurde ein Energieholzbedarf von knapp 6 Mio. SRM prognostiziert. Davon entfallen 3,5 Mio. SRM auf Waldhackgut. Gebiete mit hohem Brennstoffbedarf konzentrieren sich auf Siedlungskonglomerationen entlang des Donautals und im Wiener Becken.

Der Kenntnis über die Höhe und geografische Verteilung des Energieholzpotenzials kommt sowohl politisch als betrieblich eine strategisch hohe Bedeutung zu. Gebiete mit hohem Brennstoffpotenzial konzentrieren sich auf den Bereich des Alpenbogens und im Waldviertel. Die Abschätzung der energetisch verwertbaren Holzmenge erfolgt mit Hilfe der Daten der Österreichischen Waldinventur und bei einer Unterstellung von drei konkreten Nutzungsszenarien. Bei Beibehaltung des aktuellen Nutzungsverhaltens ergibt sich im Untersuchungsgebiet ein Energieholzpotenzial von 1,097 Mio. FM pro Jahr. Beim Abbau der Pflegerückstände innerhalb von 10 bzw. 20 Jahren fallen 1,391 bzw. 1,167 Mio. FM an.

Die Verfügbarkeit und die Verteilung der Ressource Energieholz haben erheblichen Einfluss auf die Bereitstellungskosten. Bisher spielte Waldhackgut als Brennstoff eine geringe Rolle, weil die Bereitstellungskosten im Vergleich zu alternativen Brennstoffen zu hoch waren. Bei der Bereitstellung von Energieholz soll sichergestellt werden, dass der gewünschte Brennstoff in ausreichender Menge, adäquater Qualität und zu einem bestimmten Zeitraum zur Verfügung steht. Qualitätsstandards werden durch Art und Größe der Feuerungsanlage vorgegeben.

Bereitstellungsverfahren sollten Transportmöglichkeiten, Lagerkapazitäten sowie den vorhandenen Maschinenpark berücksichtigen. Die Entscheidung des Mechanisierungsgrades wird maßgeblich durch die Topografie bedingt. Das Hackmaterial wird differenziert in Schlagabraum (Äste, Wipfelstücke, Stammabschnitte) und Energierohholz (Sortiment, Vollbäume). Beide können im Sortiments- als auch im Baumverfahren geerntet werden. Möglichkeiten zur Optimierung ergeben sich vor allem durch Anpassung von Technologie und Nutzung an Standort und Bestand, durch Abstimmung der Arbeitsabfolge, sowie Nutzung von Ladekapazitäten.

Bei der Ausnutzung von vorhandenem Maschinen- und Arbeitskräftepotenzial, das gegenüber Unternehmerlöhnen geringere Kosten verursacht, lässt eine Energieholzbereitstellung mit motormanueller Fällung durchaus konkurrenzfähig erscheinen. Die Mechanisierung der Arbeitssysteme führt vor allem bei hohen Produktivitäten und guter Auslastung der teuren Maschinen zu guten Ergebnissen. Die Nutzung von Schlagabraum bietet die Möglichkeit der Verwertung von Energieholz als Koppelprodukt bei der konventionellen Holzproduktion bei geringen Bereitstellungskosten. Die Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat stellt eine Alternative bei Nutzungen in Erstdurchforstungen und im Niederwald dar.

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 Be-

fahrbarkeit 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.

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.

Eine Zwischenlagerung von Waldhackgut auf einem zentralen Lagerplatz wurde 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 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 die 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.

Einfache, geschotterte Lagerplätze sind für geringe Umschlagmengen bei meist längerer Lagerdauer ausgestattet. Die Kosten betragen bei einer Lagerung für zwölf Monaten und einer Umschlagmenge von 5.000 SRM ca. 3,50 €/SRM. Mitttelgroße Lagerplätze (mit 50% Asphaltierung und Brückenwaage) sind für mittlere Umschlagmengen und mittlerer Lagerdauer bestimmt. Bei einer Lagerung für sechs Monaten und einer Umschlagmenge 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 Umschlagmenge 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.

Die Bereitstellung von Waldhackgut wird vielfach auf einzelne Ketten reduziert und in Form von simplen aufeinander folgenden Prozessen dargestellt. Führt man jedoch einen räumlichen Bezug ein und betrachtet mehrere Abnehmer gleichzeitig, so erkennt man ein Versorgungsnetzwerk mit mehreren parallel ablaufenden und miteinander verknüpften Prozessen. Die Optimierung eines solchen Netzwerkes unter Einbeziehung von Lagerplätzen bedeutet dabei hauptsächlich eine Optimierung der Transportströme.

Die Beantwortung von Fragen einer optimalen Versorgung über Lagerplätze in einem Netzwerk erfolgt mit einem Optimierungsmodell, das die drei wesentlichen Transportwege (Wald-Werk, Wald-Lager, Lager-Werk) nachbildet und dabei sowohl fixe, als auch variable Kosten von Lagerplätzen berücksichtigt. Ein entwickeltes Modell entscheidet weiters, ob und in welchem Ausmaß potenzielle Lagerplätze verwendet werden. Zur räumlichen Datenanalyse wurde ein GIS verwendet. Das mathematische Modell wurde in einer professionellen Standardsoftware für LP/MIP-Programmierung umgesetzt.

Die mit dem Modell berechneten Versorgungsszenarien 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. Der Versorgungsgrad der Heizwerke beträgt 50 bis 67% des gesamten Energieholzpotenzials. Transport- und Hackkosten bei direkter Versorgung betragen ca. 7,80 bis 8,00 €/SRM. Transport-, Hack- und Lagerkosten bewegen sich 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.

Potenzielle Standorte für kleine und mittlere Lagerplätze werden vom Modell in Rohr im Gebirge, in Opponitz im südwestlichen Niederösterreich, im Tullnerfeld an der Grenze zum Wienerwald, in Ottenschlag im Waldviertel und in Ernstbrunn im Weinviertel vorgeschlagen. Die Belieferung dieser Plätze erfolgt auf Transportdistanzen von 10 bis 17 km. Die Distanzen vom Lager zum Werk betragen im Mittel 50 bis 55 km. Große Lagerplätze befinden sich aufgrund der hohen jährlichen Fixkosten in die Nähe der Abnehmer. Daraus resultieren hohe Distanzen vom Wald zum Lagerplatz und niedrigere vom Lagerplatz zum Heizwerk. Das Modell schlägt für große Lagerplätze zuerst Standorte im Waldviertel vor.

Für die Organisation der Bereitstellung von Energieholz werden unterschiedliche Logistiklösungen angeboten. Das wichtigste Kriterium zur Auswahl einer geeigneten Software ist die Optimierung der Geschäftsprozesse und somit eine Verringerung der Durchlaufzeit von Waldhackgut durch Verwaltung und Information der Holzmengen vom Wald zum Werk. Die wichtigsten Anforderungen stellen die Portabilität, die Modularität und die Wartbarkeit des Produktes dar.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Österreich hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet, die Treibhausgas-Emissionen bis zum Zeitraum 2008-2012 um 13% gegenüber dem Bezugsjahr 1990 zu reduzieren (Schneider und Proidl, 2003). Eine Maßnahme zur CO₂-Reduktion stellt die Förderung der Produktion von Ökostrom dar. Ausgehend vom Ökostrom-Gesetz 2002, welches 2006 novelliert wurde, entstand eine Planungs- und Baueuphorie bei Energieversorgungsanlagen. Ziel dieser Maßnahmen ist es, dass mit Ausnahme der Wasserkraft bis 2010, die Stromproduktion aus erneuerbaren Ressourcen auf 10% zu steigern. Österreich erlebt dadurch einen Anstieg in der Nachfrage an Energieholz. Schätzungen sprechen von einer Zunahme des Energieholzbedarfs für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) von 1,6 auf 5,0 Mio. FM pro Jahr bis 2007. Der Brennstoffbedarf für Holz lag im Jahr 2000 insgesamt bei 10 Mio. Festmeter und soll sich aufgrund der Prognosen bis 2010 verdoppeln (Katzensteiner und Nemestothy, 2006).

Waldhackgut als Brennstoff spielte bisher eine geringe Rolle, weil die Bereitstellungskosten im Vergleich zu Sägenebenprodukten und Rinde zu hoch waren und deshalb diese als günstige Alternativen eingesetzt wurden (Stockinger und Obernberger, 1998; Kanzian et. al., 2006). Die steigende Nachfrage eröffnet vor allem Fragen im Hinblick auf die Rohstoffverfügbarkeit und die Bereitstellung bzw. Logistik. Die Verfügbarkeit und die Verteilung der Ressource Energieholz hat erheblichen Einfluss auf die Bereitstellungskosten (Asikainen et al., 2001; Nord-Larsen und Talbot, 2004; Ranta, 2005; Kanzian et. al., 2006). Der Kenntnis über die Höhe und geografische Verteilung des Energieholzpotenzials kommt daher sowohl politisch als auch betriebsstrategisch eine hohe Bedeutung zu.

Für den Planungsraum Niederösterreich und Wien waren mit Stand Ende 2006 bereits 333 Biomasseheizkraftwerke in Betrieb oder in der Bauphase. Weitere sieben KWK-Anlagen befinden sich in der Projektierungsphase. Derzeit wird ein Brennstoffbedarf von ca. 3,3 Mio. SRM Waldhackgut prognostiziert (Patzl, 2006; Nemestothy 2006a). Da sich die Gebiete mit hohem Brennstoffpotenzial konzentriert im Bereich des Alpenbogens und im Waldviertel, und jene mit hohem Brennstoffbedarf in Siedlungskonglomerationen entlang des Donautales und im Wiener Becken, befinden, bedarf es einer komplexen, logistischen Abstimmung der Einzugsgebiete, Transportwege und Absatzgebiete.

Studien zur Analyse der Bereitstellung von Energieholz aus dem Wald liegen bereits einige vor, beispielsweise von Stampfer et al. (1997), Remler et al. (1998), Kuprat & Wenzelides (2002), Rohrmoser & Stampfer (2003), Wittkopf et al. (2003) und Kanzian (2005). Standardverfahren für die Energieholzgewinnung konnten bisher jedoch nicht entwickelt werden. Vielmehr scheint eine weitere Optimierung der Teilprozesse notwendig, um kostendeckende Verfahren zu fördern.

Der Rohstoff Holz stellt ein knappes Gut dar, das zusätzlich noch mit einer geringen Dichte über eine große Fläche verteilt ist und im Verhältnis zum Volumen bzw. zur Masse einen geringen Wert besitzt. Holz als Massengut gilt als transportkostenintensiv, das heißt, das Verhältnis Transportkosten zum Warenwert ist im Vergleich zu anderen Gütern sehr hoch (Kienzler et al., 2000). Noch problematischer gestaltet sich dieses Bild in der Kette Waldhackgut, wo die geringen Ladedichten des Energieholzes (v. a. bei Schlagabraum) die Kosten erhöhen (Patzak, 1984; Andersson et al., 2002; Hakkila, 2004). Dem Transport kommt damit eine zentrale Bedeutung zu, wie auch Eriksson und Björheden (1989) anmerken: „Optimierung der Energieholzproduktion bedeutet im Wesentlichen die Minimierung der Transportkosten“. Die Entscheidungsfindung, wann und wo Schlagabraum

bzw. Energieholz zu Waldhackgut verarbeitet und wie das Material transportiert und gelagert wird, stellt somit ein fundamentales Problem in der Bereitstellung dar.

Eine Zwischenlagerung von Waldhackgut wurde bisher meistens aus Gründen der fehlenden technischen Voraussetzungen und der Mehrkosten für Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes nicht durchgeführt. Aufgrund der gesteigerten Nachfrage an Waldhackgut ergeben sich teilweise Kapazitätsengpässe, die die kontinuierliche Versorgung der Heizwerke gefährden. Um auch eine Versorgung bei schlechten Witterungsverhältnissen zu gewährleisten, scheint die Anlage von Sicherheitsbeständen notwendig. Die entstehenden Kosten für die Lagerung können durch Wahl geeigneter Standorte für die Errichtung sowie der Anpassung der Ausstattung an Umschlagshäufigkeit und -menge niedrig gehalten werden.

Versorgungskonzepte für bestimmte Werke bzw. Regionen sind in Österreich mit Ausnahme der Studie von Kanzian et al. (2006) noch keine bekannt bzw. publiziert worden. Die Kenntnis der optimalen Einzugsgebiete, potenzieller Lagerplätze sowie die Abstimmung mit bestehenden Strukturen und Einrichtungen stellen jedoch wichtige Einflussfaktoren für eine nachhaltige betriebliche Versorgungsplanung dar.

Softwarelösungen zur Unterstützung der Steuerung der Holzbereitstellung wurden zwar entwickelt, die meisten erfüllen aber nicht die gewünschten Anforderungen. Ein Pflichtenheft für Softwarelösungen im Bereich der Energieholzbereitstellung ist zurzeit nicht vorhanden.

1.2 Zielsetzung

Ziel des vorliegenden Projektes ist, die Wertschöpfung aus dem Wald durch effiziente Waldhackgutbereitstellung zu steigern, sowie die nachhaltige und kontinuierliche Rohstoffversorgung von Biomasseheizwerken zu fördern. Die Abstimmung der logistischen Prozesse von der Ernte des Energieholzes bis zur Übernahme am Heizwerk sollen verbessert werden.

Zur Erreichung der Aufgabenstellung soll dabei auf folgende Schwerpunkte eingegangen werden:

- Analyse des Bedarfs an Waldhackgut zur energetischen Verwertung in Biomasseheizkraftwerken
- Abgleich des Bedarfs an Waldhackgut mit dem prognostizierten Potenzial
- Analyse der Qualitätsanforderungen für Waldhackgut
- Optimierung bereits bekannter Bereitstellungssysteme
- Testen neuer Bereitstellungsverfahren
- Kosten- und Leistungsaufstellung verschiedener Transportsysteme
- Definitionen der Rahmenbedingungen für einen Lagerplatz für Energieholz
- Analyse der Ausstattung für einen Lagerplatz für Energieholz bei unterschiedlichen Umschlagshäufigkeiten und -mengen
- Bewertung der Kosten für einen Lagerplatz für Energieholz bei unterschiedlichen Umschlagshäufigkeiten und -mengen
- Erstellung von konkreter Szenarien für die Versorgung geplanter bzw. bereits bestehender Biomasseheizkraftwerke
- Evaluierung von praxistauglichen Logistiklösungen zur Bereitstellung von Waldhackgut

2 Waldhackgutbereitstellung

2.1 Qualitätsanforderungen an Waldhackgut

Von Abnehmern (Heizwerkbetreiber) für Waldhackgut werden Qualitätskriterien definiert, die bereits bei der Bereitstellung zu berücksichtigen sind. In der ÖNORM M 7133 „Holzhackgut für energetische Zwecke – Anforderungen und Prüfbestimmungen“ wurden Qualitätskriterien definiert, welche in den folgenden fünf Unterkapiteln dargestellt werden.

Bei den in Tabelle 36 dargestellten Heizwerken wurden zusätzliche Qualitätskriterien erhoben, die bei der Übernahme von Waldhackgut zwischen Lieferant und Heizwerkbetreiber vereinbart wurden. Durch diese Bestimmungen soll garantiert werden, dass einerseits die Heizwerke mit dem bestmöglichen Brennmaterial versorgt werden und andererseits die Lieferanten ihre Strategie bei der Erzeugung von Hackgut schon frühzeitig ausrichten können.

2.1.1 Wassergehalt

Tabelle 1 zeigt die in der ÖNORM M 7133 definierten Wassergehaltsklassen. In den großen Heizwerken im Untersuchungsgebiet wird Hackgut jedoch waldfallend, d.h. maximal erntefrisch, übernommen. Je höher der Wassergehalt, desto höher sind aber die Preisabschläge. Für das Heizwerk Wien Simmering werden beispielsweise für Waldhackgut Fichte bei W 20 12,19 € und bei W 50 10,91 €/SRM bezahlt. Für Buche werden bei ähnlichen Wassergehalten Preise in der Höhe von 18,03 € bzw. 15,96 €/SRM angegeben (Steindl & Köck 2006).

Tabelle 1: Qualitätskriterium „Wassergehalt“ bei Waldhackgut

Klasse	Wassergehalt w	Bezeichnung
Holzhackgut W 20	$w \leq 20\%$	lufttrockenes Holzhackgut
Holzhackgut W 30	$20\% < w \leq 30\%$	lagerbeständiges Holzhackgut
Holzhackgut W 35	$30\% < w \leq 35\%$	beschränkt lagerbeständiges Holzhackgut
Holzhackgut W 40	$35\% < w \leq 40\%$	feuchtes Holzhackgut
Holzhackgut W 50	$40\% < w \leq 50\%$	erntefrisches Holzhackgut

Der durchschnittliche Wassergehalt bei der Übernahme der zwölf größten Werke im Untersuchungsgebiet beträgt 30 bis 45 %. In den großen Heizwerken liegt der optimale Kesselwirkungsgrad bei einem Wassergehalt von circa 40 %. Deshalb ist eine lange Trocknung des Holzes nicht mehr notwendig und es können kürzere Lagerzeiten erzielt werden. Kleinere Heizwerke sind jedoch auf Hackgut mit niedrigeren Wassergehalten angewiesen, da deren optimaler Kesselwirkungsgrad daran angepasst ist.

2.1.2 Größe des Holzhackgutes

- Holzhackgut G 30 (Feinhackgut)
Holzhackgut mit einer Nennlänge von 30 mm, Einzelstücke des Grobanteils bis zu einem Querschnitt von 3 cm² und einer Länge von 8,5 cm, Feinstanteil höchstens 4 %.
- Holzhackgut G 50 (Mittelhackgut)
Holzhackgut mit einer Nennlänge von 50 mm, Einzelstücke des Grobanteils bis zu einem Querschnitt von 5 cm² und einer Länge von 12 cm, Feinstanteil höchstens 4 %.
- Holzhackgut G 100 (Grobhackgut)

Holzhackgut mit einer Nennlänge von 100 mm, Einzelstücke des Grobanteils bis zu einem Querschnitt von 10 cm² und einer Länge von 25 cm, Feinstanteil höchstens 4 %.

Die zwölf größten Heizwerke im Untersuchungsgebiet übernehmen Hackgut in allen drei angegebenen Klassen. Da die Produktion von Feinhackgut aufwändiger und somit kostenintensiver ist, sollte Feinhackgut nur an jene (kleinere) Werke geliefert werden, welche auf die Befeuerung mit Feinhackgut angewiesen sind. Die größeren Werke werden mit Grobhackgut versorgt.

2.1.3 Schüttdichte

- Holzhackgut S 160 (geringe Schüttdichte)

Holzhackgut mit einer Schüttdichte bis 160 kg/m³. Dazu gehören Pappel, Tanne und Fichte.

- Holzhackgut S 200 (mittlere Schüttdichte)

Holzhackgut mit einer Schüttdichte über 160 kg/m³ bis 200 kg/m³. Dazu gehören Erle, Kiefer, Weide, Lärche und Hasel.

- Holzhackgut S 250 (hohe Schüttdichte)

Holzhackgut mit einer Schüttdichte über 200 kg/m³. Dazu gehören Ahorn, Rotbuche, Esche, Birke, Eiche, Zerreiche, Robinie und Hainbuche.

Biomasseheizwerke übernehmen für gewöhnlich Hackgut aus allen Holzarten. In den großen Heizwerken werden bei der Preiskalkulation die unterschiedlichen Schüttdichten allerdings berücksichtigt. So werden derzeit für das Heizwerk Simmering beispielsweise bei einer Wassergehaltsklasse W 40 für Baumarten mit geringen Schüttdichten (Pappel) 10,51 €/SRM und für Baumarten mit sehr hohen Schüttdichten (Hainbuche) 17,98 €/SRM bezahlt (Steindl & Köck 2006).

2.1.4 Aschegehalt

- Holzhackgut mit geringem Rindenanteil A 0,5

Holzhackgut mit einem Aschegehalt $a \leq 0,5$ %

- Holzhackgut mit erhöhtem Rindenanteil A 2

Holzhackgut mit einem Aschegehalt $0,5 < a \leq 2$ %

Der Aschegehalt steigt mit dem im Holzhackgut enthaltenen Rindenanteil. Bei der Übernahme am Heizwerk sollte das Hackgut einen Aschegehalt von maximal 2 % aufweisen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass nur Hackgut aus Holz bzw. Ästen mit einem Minstdurchmesser (Mindestzopf) von vier bis fünf Zentimeter übernommen wird (Steindl & Köck 2006, Gierer 2001). Für die Entsorgung einer Tonne Holzasche auf eine Deponie sind zudem Kosten im Ausmaß von circa 60 € zu berücksichtigen (vgl. Der Standard, 18.10.2006).

2.1.5 Anteil an Fremdstoffen

Laut ÖNORM M 7133 sind grobe Verunreinigungen, wie Steine, Metallteile und sonstige Fremdkörper, sowie die Zugabe von brennbaren Fremdstoffen, wie z. B. Schleifstaub, unzulässig. Holz und/oder Rinde, welche(s) mit Holzschutzmitteln behandelt wurde, und beschichtetes Holz dürfen nicht beigemischt sein.

Zusätzlich dürfen bei Waldhackgutlieferungen kein Salz oder Mineralöl als Schutz gegen Anfrieren verwendet werden.

2.2 Transport

2.2.1 Gesetzliche Grundlagen und Normen

2.2.1.1 LKW-Transport

Für den LKW-Transport sind vor allem die Straßenverkehrsordnung (StVO. 1960), das Güterbeförderungsgesetz (GütbefG, 1995) und das Arbeitszeitgesetz, zu beachten.

In § 4 Abs. 7a des Kraftfahrgesetzes (KFG von 1967, geändert mit dem 107. Bundesgesetz) werden die zulässigen Gesamtgewichte von Kraftfahrzeugen und Anhänger, Sattelanhänger, Container und Wechsellaufbauten festgelegt (<http://www.ris.bka.gv.at>). Zulässige Gesamtgewichte bzw. Summen der Achslasten sind demnach:

- Bei Kraftwagen mit Anhängern 38.000 kg,
- im Vorlauf- und Nachlaufverkehr mit kranbaren Sattelanhängern 39.000 kg,
- mit Containern und Wechsellaufbauten 42.000 kg,
- beim Transport von Rundholz aus dem Wald bis zum nächstgelegenen technisch geeigneten Verladebahnhof oder Verarbeitungsbetrieb, höchstens jedoch 100 km Luftlinie, wenn die hintere Achse des Anhängers mit Doppelbereifung ausgerüstet ist oder beide Fahrzeuge jeweils mehr als zwei Achsen haben, 42.000 kg.

Bei, in einem EU-Mitgliedstaat zugelassenen Kraftfahrzeug sind die genannten Gewichte um 5 %, gerundet auf volle tausend Kilogramm, zu erhöhen.

Die Länge von Kraftwagen mit Anhängern darf 18,75 m, von Sattelkraftfahrzeugen 16,5 m nicht überschreiten (<http://www.ris.bka.gv.at>). Die maximale Höhe wurde mit vier Metern und die maximale Breite mit 2,55 m festgelegt.

Auch bei Teilbeladung ist für die richtige Gewichtsverteilung zu sorgen, damit jede Achse anteilmäßig belastet wird. Damit die höchsten zulässigen Achslasten auch bei Einhaltung des höchsten zulässigen Gesamtgewichtes nicht überschritten werden, kann für jedes Fahrzeug ein Lastverteilungsplan erstellt werden. Die Vorgehensweise zur Erstellung der Lastverteilung kann bei der AUVA (www.auva.at) nachgelesen werden.

Die tägliche Lenkzeit beträgt maximal acht Stunden. Durch Kollektivvertrag oder Betriebsvereinbarung ist eine Ausdehnung auf neun Stunden und zweimal wöchentlich bis auf zehn Stunden möglich. Die Einsatzzeit von zwölf Stunden pro Tag darf nur bei Einhaltung der Ruhezeiten überschritten werden.

Nach spätestens 4,5 Stunden ist eine Lenkpause vorgeschrieben, welche in bis zu drei Abschnitten von jeweils mindestens 15 Minuten aufgeteilt werden kann. Eine Ruhepause ist spätestens nach sechs Stunden zu halten. Bei Tagesarbeitszeit zwischen sechs und neun Stunden mindestens 30 Minuten. Bei Tagesarbeitszeit von mehr als neun Stunden muss die Ruhepause mindestens 45 Minuten betragen. Die max. mögliche Arbeitszeit des LKW Fahrers (Arbeitszeitgesetz - AZG – BZBII. Nr. 461/1969) gibt meist auch die max. Einsatzzeit des LKW an, sofern kein zweiter Fahrer vorgesehen ist.

Die wöchentliche Lenkzeit darf somit 48 Stunden bzw. mit Kollektivvertrag 56 Stunden nicht überschreiten, wobei die Lenkzeit in zwei aufeinander folgenden Wochen 90 Stunden nicht überschreiten darf (Quelle: www.arbeitsinspektion.gv.at, 2006).

Die Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates über die Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr regelt insbesondere die zulässigen Lenk- und Ruhezeiten sowie das Mindestalter der Lenker/innen.

Die Verordnung (EWG) Nr. 3821/85 des Rates über die Tachoscheibe im Straßenverkehr regelt die Pflicht zum Einbau eines Kontrollgerätes und die Benutzung des Kontrollgerätes.

Fahrtenbuchverordnung (FahrtbVO), BGBl. 461/1975 (www.arbeitsinspektion.gv.at, 2006).

Zulässige Gewichte und Abmessungen von Wechselbehältern der Klasse C (EN 284:1992)

Die zulässigen Außenmaße, Abweichungen und Gesamtgewichte (R) der in der EN 284:1992 behandelten nicht-stapelbaren Wechselbehälter sind in Tabelle 2 und Abbildung 1 aufgezeigt. Kein Teil des Wechselbehälters darf über diese Außenmaße hinausragen.

Tabelle 2: Maße und Gesamtgewichte für Wechselbehälter (Maße in mm) (EN 284:1992)

Wechselbehälter-Bezeichnung	l1	l2	l3	h11)	b12)	b2	d1-d2 oder d2-d1	R3)
C 715	7150 0 -20	5853 ± 3	648,5 0 -3	2670	2500	2259 ± 3	13 max.	16 t max.
C 745	7450 0 -20		798,5 0 -3					
C 782	7820 0 -20		983,5 0 -3					

Mit der Behälterhöhe 2670 mm ist ein problemloser Transport auf den wichtigsten Eisenbahnstrecken in Kontinentaleuropa möglich. Bei größeren Höhen ist das Merkblatt des internationalen Eisenbahnverbandes, UIC 592-4 für die Streckenkodifizierung zu beachten. Im Vereinigten Königreich und in Irland beträgt die max. Höhe 2550 mm

Eine maximale Breite von 2600 mm ist für bestimmte Thermalaufbauten gemäß EG-Richtlinie 88/218/EWG zugelassen. Mit der Behälterbreite 2500 mm ist ein problemloser Transport auf den wichtigsten Eisenbahnstrecken in Kontinentaleuropa möglich. Für größere Breiten ist die nationale Straßenverkehrsgesetzgebung sowie das Merkblatt des internationalen Eisenbahnverbandes, UIC 596-6 zu beachten.

Geringere Gesamtgewichte können vereinbart werden.

Beim gegenwärtigen Stand der Straßenverkehrsgesetzgebung in einigen Ländern können zwei Wechselbehälter dieser Größe auf der Straße nur in Verbindung mit einer Kurzkupplung und/oder einem kurzen Führerhaus transportiert werden.

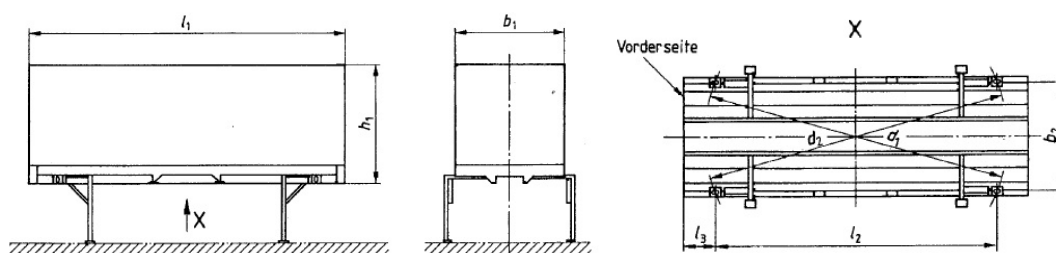
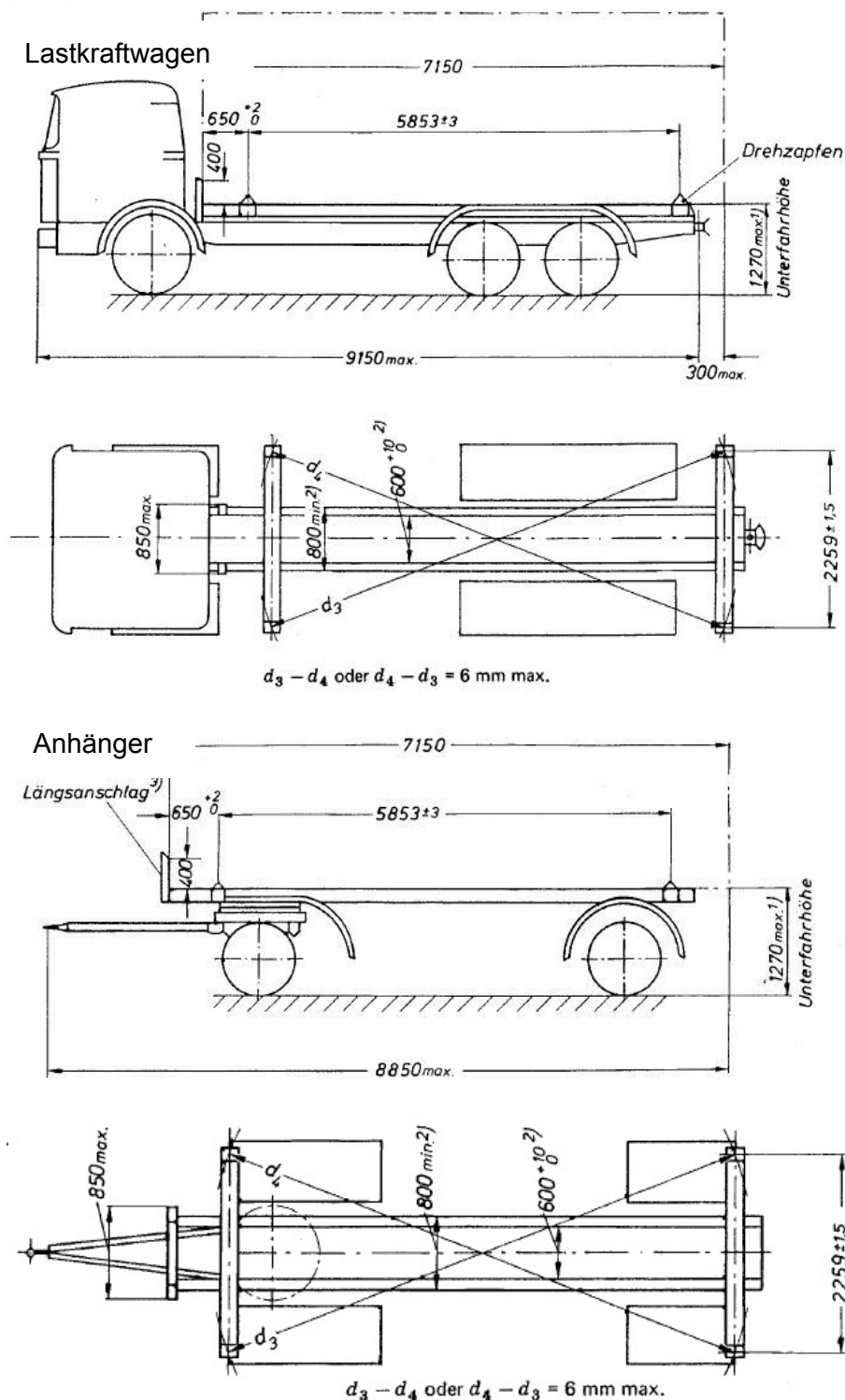


Abbildung 1: Hauptmaße für Wechselbehälter nach EN 284:1992 (EN 284:1992)

Stapelbare Wechselbehälter kombinieren die grundlegenden Abmessungen und Konstruktionsmerkmale nicht-stapelbarer Wechselbehälter nach EN 284 mit den Anforderungen und Prüfkriterien für ISO-Container nach ISO 1496-1. Zusätzlich zu den Bestimmungen in EN 284 sollen stapelbare Wechselbehälter mit oberen Eckbeschlägen ausgerüstet werden.



- 1) Hinweis: Bei Ausnutzung der maximalen Unterfahrhöhe müssen die Drehzapfen versenkbar sein.
- 2) Hinweis: Die Maße 600 mm und 800 mm für eine Mittenaufgabe müssen auf eine Länge von mindestens 1600 mm symmetrisch zwischen den Querträgern mit Drehzapfen eingehalten werden.
- 3) Der Längsanschlag am Anhänger kann fest, unverlierbar herausnehmbar oder klappbar sein: wenn er nicht fest angebracht ist, muss gewährleistet sein, dass im Fahrbetrieb keine unzulässigen Geräusche entstehen.

Abbildung 2: Abmessungen von Fahrzeug und Anhänger für den Transport von Wechselbehältern nach DIN 70014 (DIN 70014)

In Abbildung 2 sind die Abmessungen für Fahrzeug und Anhänger für den Transport von Wechselbehältern dargestellt, wobei die zulässigen Gesamtgewichte der Trägerfahrzeuge nicht überschritten werden dürfen.

Ladegutsicherung

Die Ladung muss nach dem Beladen so verstaut und gesichert werden, dass sie während der Fahrt weder ganz noch teilweise verrutschen, verrollen, umfallen oder herabfallen kann. Bei der Ladungssicherung sind Vollbremsungen, scharfe Ausweichmanöver und unvorhergesehene schlechte Fahrbahnzustände zu berücksichtigen. Die Sicherung des Ladeguts muss so ausgeführt sein, dass bergauf, beim Anfahren und Beschleunigen die Ladung auf der Ladefläche noch sicher gehalten wird (www.auva.at, 2006).

Die Ladung muss gegen die Fahrtrichtung und zu beiden Seiten mit einer Kraft, die mindestens dem halben Gewicht der Ladung entspricht gesichert werden (0,5 G).

Die Ladung soll nach Möglichkeit die Bordwand berühren oder an einem Hindernis anliegen, das sicher am Fahrgestell befestigt ist. Folgende Hilfsmittel werden im Rundholztransport verwendet. Rungen, Zurrpunkte in Verbindung mit Zurrmitteln, Ladegestelle, Netze und Planen.

Während der Fahrt muss wiederholt angehalten und geprüft werden, ob das Ladegut noch einwandfrei befestigt und gesichert ist. Die Zurrmittel müssen bei Bedarf nachgespannt werden. Beim Lösen der Hilfsmittel, z. B. Öffnen der Spannratschen, können für den Fahrer gefährliche Situationen entstehen (z. B. Zurückschnellen des Spannhebels, Herabfallen von Ladegut etc.). Es ist daher eine entsprechende Unterweisung vor dem erstmaligen Einsatz und in regelmäßigen Zeiträumen, mindestens jedoch einmal jährlich, notwendig.

Für die vorschriftsmäßige Verwahrung der Ladung sind sowohl der Transportunternehmer als auch der Lenker des Fahrzeugs verantwortlich. Die Verantwortung des Lenkers ist auch dann gegeben, wenn er das Fahrzeug nicht selbst beladen hat (§ 61 StVO). Der Lenker haftet – neben dem Zulassungsbesitzer für die Einhaltung des höchstzulässigen Gesamtgewichtes (www.auva.at, 2006).

2.2.1.2 Eisenbahntransport

Die Rahmenbedingungen im Eisenbahntransport werden durch das Bundesgesetz über das Eisenbahnwesen, das Eisenbahngesetz, das Strukturanpassungsgesetz, das Eisenbahnrechtsanpassungsgesetz, das Schienenverkehrsmarkt-Regulierungsgesetz, das Deregulierungsgesetz, die Eisenbahnverordnung sowie durch den Vertrag über die Bestellung und Erbringung gemeinwirtschaftlicher Leistungen gemäß Bundesbahnstrukturgesetz definiert.

Lastgrenzen

Unter Lastgrenze ist das zulässige Höchstgewicht in Tonnen zu verstehen, bis zu welchem der Wagen für die einzelnen Streckenklassen beladen werden darf. Die Strecken sind für bestimmte Meterlasten freigegeben. Die Lastgrenze aufgeteilt auf die Achsen darf die Meterlast des Streckenabschnitts nicht überschreiten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Streckenklassen, Radsatzlast und Meterlast (www.railcargo.at, 2006)

Streckenklasse	Radsatzlast	Meterlast
A	16 t	5,0 t/m
B1	18 t	5,0 t/m
B2	18 t	6,4 t/m
C2	20 t	6,4 t/m
C3	20 t	7,2 t/m
C4	20 t	8,0 t/m
D2	22,5 t	6,4 t/m

D3	22,5 t	7,2 t/m
D4	22,5 t	8,0 t/m

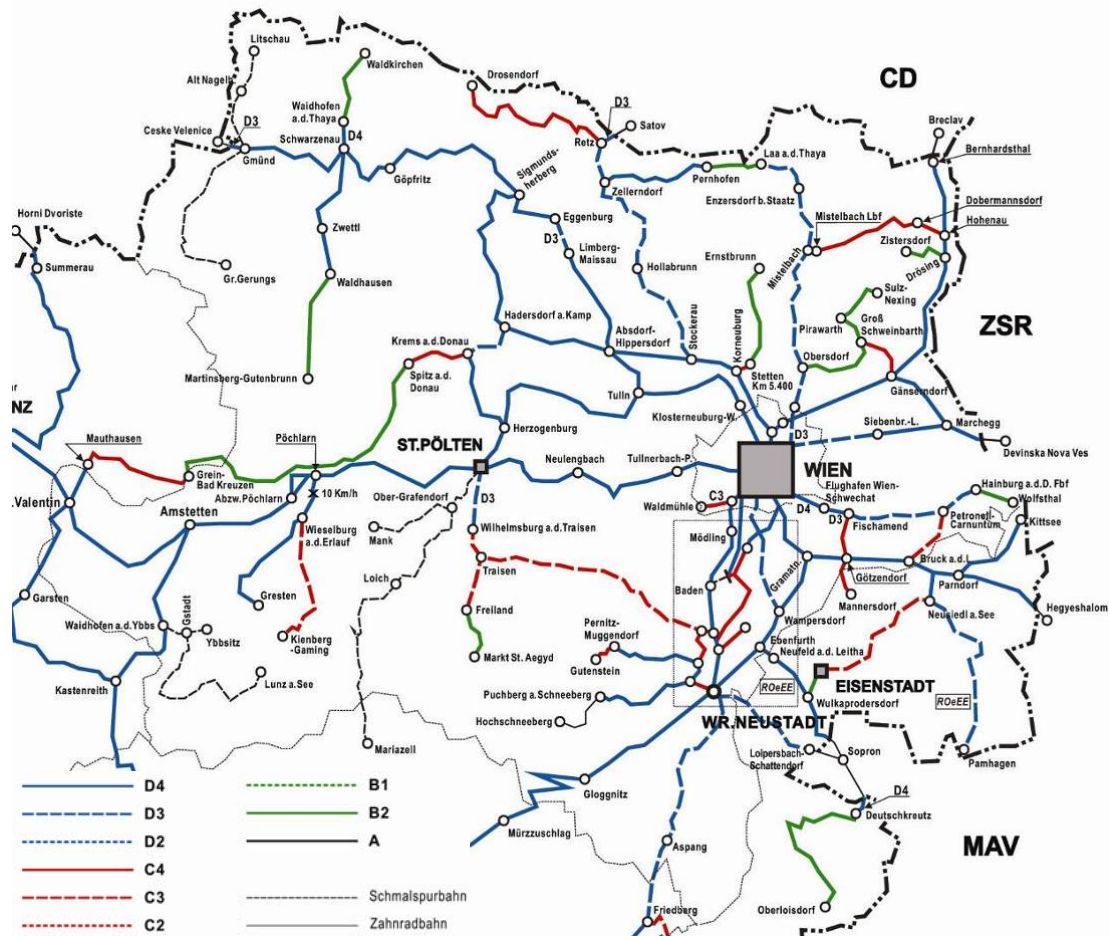


Abbildung 3: Streckenklassen in Niederösterreich (Rail Cargo Austria, 2006)

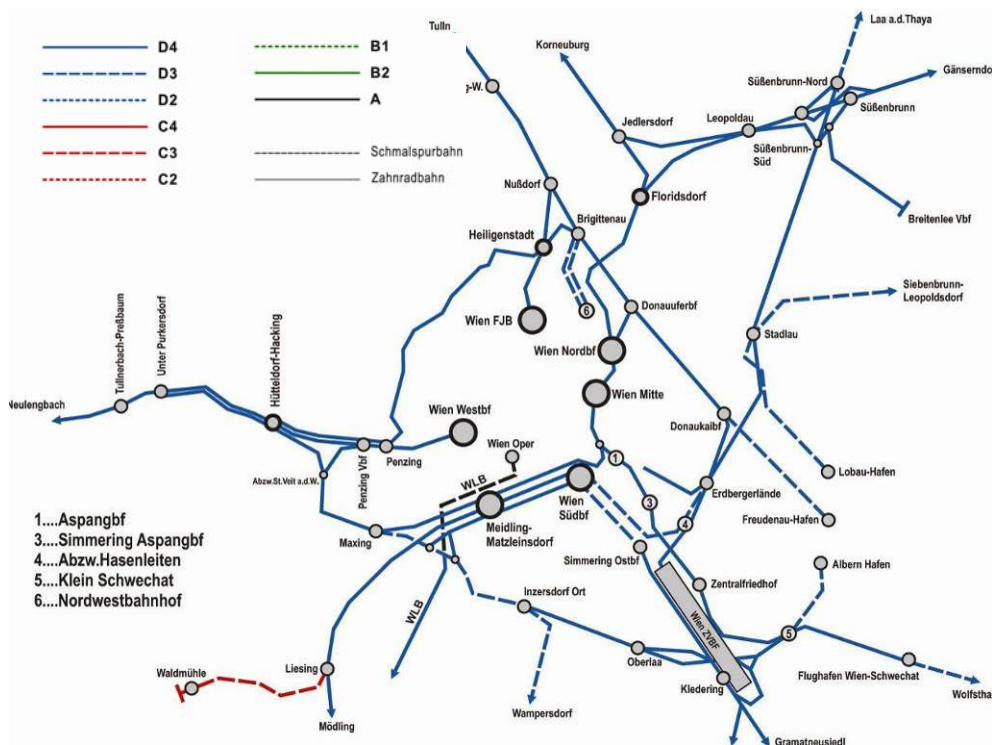


Abbildung 4: Streckenklassen in Wien (Rail Cargo Austria, 2006)

Unter Berücksichtigung der Streckenklasse (Abbildung 3 und Abbildung 4) – ausschlaggebend ist die niedrigste des gesamten Beförderungsweges – und des Lastengrenzrasters am Waggon darf das sich daraus ergebende Gesamtgewicht der Ladung keinesfalls überschritten werden. Überladungen stellen nicht zu tolerierende Betriebsgefahren dar und werden im internationalen Verkehr bei festgestellter Gewichtsüberschreitung an den Grenzen ausnahmslos verweigert (Rail Cargo Austria, 2006).

Lastverteilung, Lademaße, Ladegutsicherung

Die gültigen Verladebestimmungen sind genau einzuhalten. Fehlende oder fehlerhafte Ladegutsicherung führt zu so genannten Ladungsrichtern und erhöht die Unfallgefahr bei Entladungsarbeiten. Die häufigsten Fehler bei der Ladegutsicherung:

- Einseitige oder außermittige Verladung der Waggons
- Überschreitung des zuständigen Lademaßes
- Falsche Sattelung bei Rundholztransporten

Grundsätzlich ist bereits bei der Beladung auf eine möglichst mittige bzw. gleichmäßige Auslastung des Waggons zu achten. Der Ladungsschwerpunkt in Querrichtung darf sich maximal zehn cm aus der Waggonmitte befinden. Bei Überschreitung ist die Betriebssicherheit nicht mehr gegeben. In der Praxis kommt es häufig zu Überschreitungen des zulässigen Lademaßes.

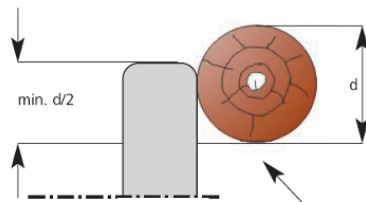
Beim Rundholztransport ist besonders auf die korrekte Sattelung zu achten:

- Die Bogenhöhe darf max. 1/3 der Ladebreite betragen
- Die Seitensicherung durch Borde und Wände muss mindestens den ½ Durchmesser der Stämme betragen
- In der Sattelung nur mehr die Stämme mit den kleineren Durchmessern auflegen
- Zwischenbindung oder Verkeilung bei Dreh- oder Steckungen ist zwingend vorgeschrieben

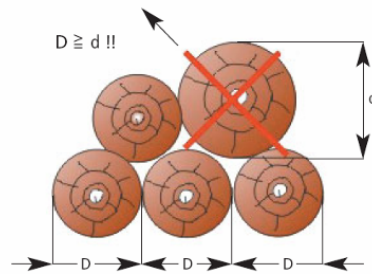
Die Länge von Stammholz, das an den Rungen anliegt, darf eine Mindestlänge von 2880 mm nicht unterschreiten, ausgenommen Anordnung Punkt 1 in Abbildung 24 mit einer Mindestlänge von 2700 mm Stammholz mit oder ohne Rinde, einzeln oder gebündelt. Diese Längenmaße gelten für Flachwagen mit hohen belastbaren und feststehenden Rungen sowie Niederbindeeinrichtungen, der Bauart Snps oder Rnooss-zu.

Die Verladung der Hölzer muss in Wagenlängsrichtung, auf den Ladeschwellen aufliegend, dicht bei dicht und über die gesamte Ladebreite passieren. Gesattelt dürfen die Bloche die Rungen höchstens mit ihrem halben Durchmesser. Kurzes Holz (siehe Mindestlänge) darf nur innen liegend angeordnet werden, wobei gleichzeitig an den Längsseiten oder von oben längeres Holz geladen werden darf. Dünnes oder kurzes Rundholz ohne Rinde muss gebündelt transportiert werden. Der Durchmesser oben liegender Bloche darf höchstens gleich groß den unteren Blochen sein.

Seitensicherung durch Borde



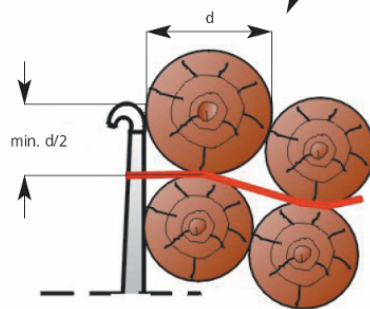
für alle Wagen (Borde, Rungen,...):
Durchmesser des gesattelten Holzes max.
gleich groß wie Durchmesser der den
Sattel bildenden Hölzer



NIEDERBINDUNG

wenn gesattelt je 2 x Bg
oder 1 x Sg

Seitensicherung durch Rungen



Wenn über halbe Rungenhöhe
verladen:

Zwischenbindungen bei
Steck- und Drehungen
bei Drehungen auch
Verkeilung möglich

weder Zwischenbindung noch Verkeilung bei Ros, Rnoos
(hohe, feste Rungen)

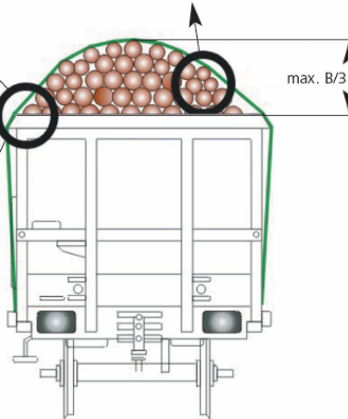


Abbildung 5: Ladegutsicherung beim Rundholztransport (www.railcargo.at, 2006)

Die Sicherung wird durch mindestens zwei Rungen und mindestens zwei Niederbindeeinrichtungen gewährleistet. Alle Niederbindeeinrichtungen müssen gespannt sein (Abbildung 5, Punkt 3 u. 4) (www.railcargo.at, 2006).

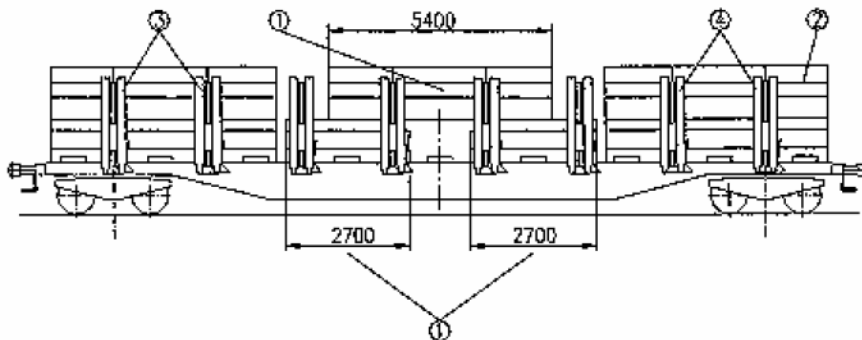


Abbildung 6: Abmessungen, Verladeart Sicherung (RailCargo Austria, 2006)

2.2.2 Straßentransport

Ziel der Literaturstudie war es, Transportmöglichkeiten für Wald-Energieholz zu erfassen und auf Stärken, Schwächen, Anwendbarkeit, Leistung und entstehende Kosten hin zu analysieren. Dazu wurden hauptsächlich folgende Quellen ausgewertet:

- Wissenschaftliche Studien (z. B. Zeitstudien),
- Populärwissenschaftliche Veröffentlichungen (z. B. Erfahrungsberichte),
- Informationen von Unternehmern (z. B. Anschaffungskosten, Ladevolumen von Transportmittel).

Das dichte Straßennetz Österreichs ermöglicht einen sehr flexiblen Transport, wobei bei kurzen und mittleren Entfernungen die hierzu erforderlichen Transportzeiten relativ niedrig sind (Schulte, 1999). Nachteilig wirken sich die Abhängigkeit von Witterung, von Verkehrsstörungen und das begrenzte Transportvolumen aus. Der Transport darf nur innerhalb der gesetzlich festgelegten maximalen Gesamtgewichte und Fahrzeugabmessungen durchgeführt werden (Schulte, 1999).

Der Transport auf der Straße kann im Gegensatz zu Bahn und Schiff viel leichter eingliedrig durchgeführt werden, das heißt, dass der Transport ohne Unterbrechung vom Wald bis ins Werk stattfindet. Der mehrgliedrige LKW-Transport wird in Vor- und Haupttransport unterteilt. Der Vortransport wird meist mit speziell für den Rundholztransport entwickelten Rungen-LKW durchgeführt. Der Haupttransport kann mit einem fernverkehrtauglichen LKW im gebrochenen Transport mit Rungensattelaufleger, im intramodalen oder intermodalen, kombinierten Transport mit Wechselbrücken oder Containern durchgeführt werden (Linko, 2006).

Die im Verkehrsträger Straße entwickelten Transportsysteme lassen sich grundsätzlich in LKW mit fixen Aufbauten und LKW mit Wechselaufbauten einteilen. Beide Konstruktionsarten verwenden LKW-Gliederzüge und Sattelzüge. Ein Gliederzug besteht aus einem LKW mit Aufbau und Anhänger. Der Sattelzug setzt sich aus Sattelzugmaschine und Sattelaufleger mit Aufbau oder Containertransportvorrichtung zusammen. LKW mit Wechselaufbauten verwenden entweder Wechselcontainer oder Wechselbrücken (Abbildung 7).

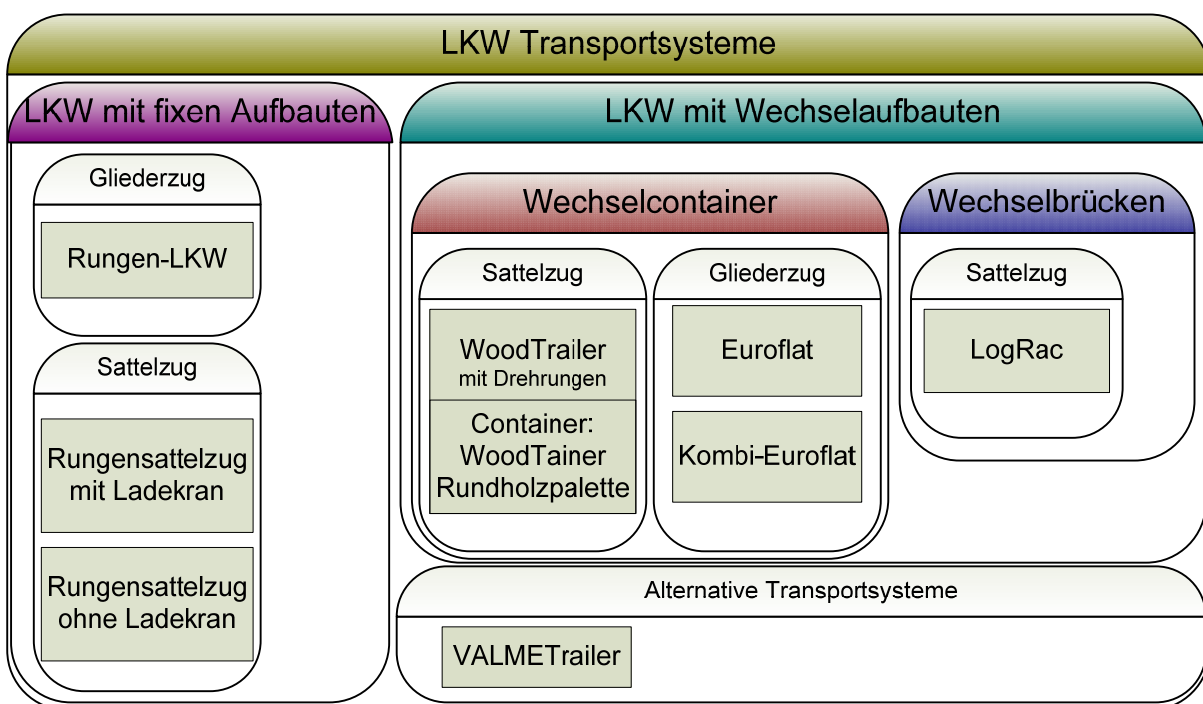


Abbildung 7: LKW-Rundholz-Transportsysteme (Linko, 2006)

2.2.2.1 Fixe Aufbauten

Fixe Aufbauten sind fest mit dem Trägerfahrzeug verbunden. Ein rascher Wechsel des Aufbaus bzw. des Trägerfahrzeugs ist nicht vorgesehen. Für den Transport von Energieholz sind vor allem Rungen- und Schüttgutaufbauten bedeutend.

Rungenaufbau

Rungenaufbauten können auf der Ladefläche eines LKW oder auf einem Sattelaufleger angebracht sein. Sie werden vor allem für den Transport von Rundholz verwendet. Zusätzlich zu den Rungen können Einsatzwände eingehängt werden, die sich vor allem für den Transport von losem Material (z. B. Wipfel) oder Bündeln eignen (Abbildung 8).



Abbildung 8: Links: Kurzholz-LKW mit Rungen (www.kraemer-fahrzeugbau.de), rechts: Kurzholz-LKW mit Rungenaufbau und Einsatzwänden (Institut für Forsttechnik)

Anhänger mit Rungenaufbau gibt es in fixer und in ausziehbarer Ausführung für landwirtschaftliche Fahrzeuge und LKW. Ausziehbare Rungenanhänger können je nach Ladung (z. B. 2 x 4 m Abschnitte, oder 4 m und 5 m Abschnitte) in der Länge verstellt werden (Abbildung 9).

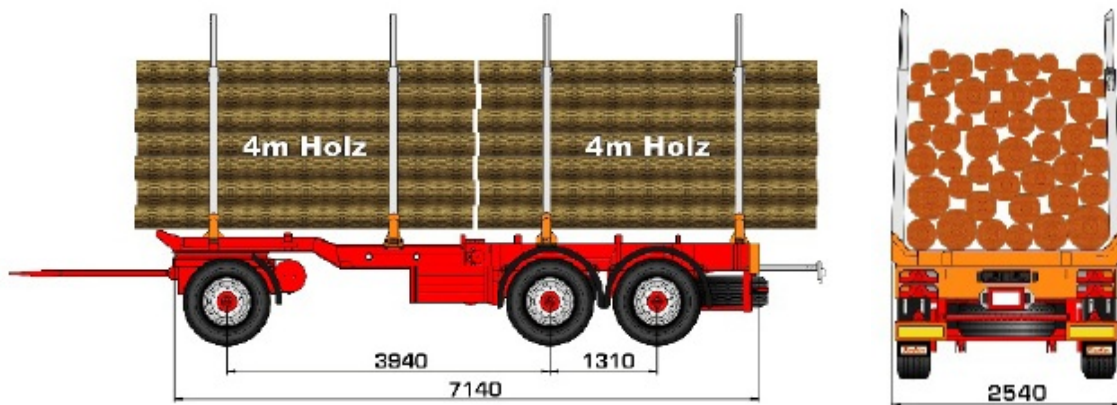


Abbildung 9: Schematische Zeichnung eines ausziehbaren Rungenanhängers mit ca. 5 t Eigengewicht und 27 t Höchstgewicht (Maße in mm) (www.riedler.com)

Das in Österreich am häufigsten genutzte Holztransportsystem, der Rungen-LKW mit Doppelachs- (6x4) oder Allradantrieb (6x6) zeichnet sich durch seine verstärkte Bauweise, den angebauten Ladekran und den zwei- bis dreiachsigen Anhänger aus. Diese Konstruktionsmerkmale unterstreichen die Spezialisierung als Rundholztransporter. Der Rungen-LKW hat einen kleinen Wendekreis, kann gegebenenfalls seinen Anhänger abstellen und ist mit dem Allradantrieb für das Befahren von Forststraßen mit Steigungen bis zu 18 Prozent besser geeignet als ein herkömmlicher LKW und zudem unabhängig von anderen Systemen (Odenthal-Kahabka, 2005).

Als Nachteile ergeben sich das durch Ladekran, Allradantrieb und Verstärkungen, höhere Fahrzeuggewicht, die höheren Anschaffungskosten und höhere Stundenkosten.



Abbildung 10: Rungensattelzug mit Ladekran

Der Rungensattelzug mit Ladekran besteht aus einer Sattelzugmaschine mit Ladekran, der das unabhängige Beladen des Rungensattelauflegers ermöglicht. Der Sattelaufleger ist mit acht Rungenstöcken ausgerüstet, die je nach Sortiment verschoben werden können. Die schwere Ausführung des Zugfahrzeugs mit 6x6- oder 6x4-Antrieb und Ladekran bewirkt eine geringere Zuladung und höhere Anschaffungskosten. Ein weiterer Nachteil des Sattelauflegers ist der größere Wendekreis, welcher nur Kurvenradien größer 18 Meter bewältigen kann (Odenthal- Kahabka, 2005).

Beim Rungensattelzug ohne Ladekran können durch eine besonders leichte Bauweise, und dem Wegfall des Ladekranes, Nutzlastgewinne von etwa sechs Tonnen erzielt werden. Die Beladung kann nicht selbständig durchgeführt werden. Es erschließen sich mehrere Vorteile: Höhere Zuladung, geringere Stundenkosten und geringere Anschaffungskosten (Fenz und Stampfer, 2005).



Abbildung 11: Rundholzsattelzug ohne Ladekran

Der Rungensattelzug kann im eingliedrigen Transport durch den Forwarder direkt oder im mehrgliedrigen Transport mit Vortransport durch einen Rungen-LKW am Umschlagplatz beladen werden.

Bei der optimalen Nutzung von zwei Sattelauflegern kann das gerückte und vom Forwarder auf den Rungensattelaufleger beladene Holz kontinuierlich aus dem Wald abgefahren werden. Die Forststraßen müssen für den Rungensattelzug befahrbar und so ausgebaut sein, dass zwei Sattelaufleger hintereinander Platz finden. Weiters müssen hinreichend große Flächen zum Wenden vorhanden sein und der Landeort sollte eine doppelte LKW Breite aufweisen. Der Sattelaufleger ist, um ein Einsinken zu verhindern, mit einem zusätzlichen Stützenbeinpaar ausgestattet (Odenthal-Kahabka, 2005).

Würde man nur einen Sattelaufleger verwenden, müsste die Zugmaschine bis zu drei Forwarder Fahren abwarten bis der Rungensattelaufleger vollständig beladen ist, was aufgrund der hohen Wartezeiten nicht wirtschaftlich sinnvoll ist (Odenthal-Kahabka, 2005).

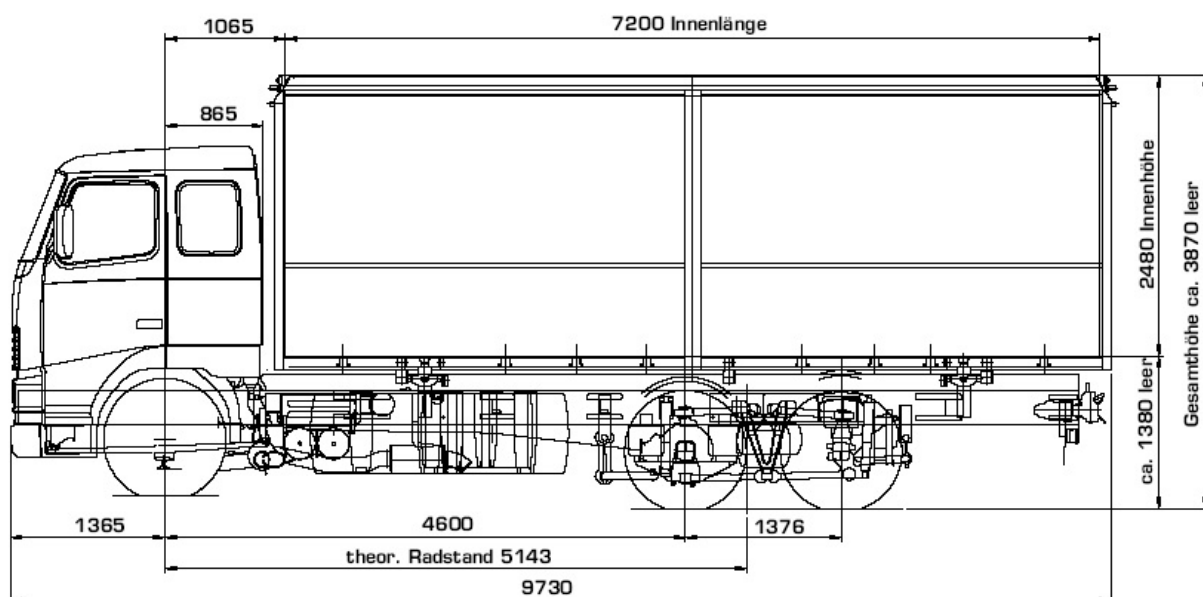
Da diese Voraussetzungen oft nicht gegeben sind, ist eine Direktbeladung nur selten möglich. Deshalb ist die Beladung der Sattelaufleger auf Umschlagplätzen außerhalb des Waldes mit der sogenannten Rendezvous-Methode üblich. Die Beladung erfolgt meist auf den bereits auf das Zugfahrzeug aufgesattelten Auflieger, was zu langen Wartezeiten führen kann und einen relativ hohen Organisationsaufwand nach sich zieht. Unter optimalen Umständen, würde der Auflieger leer am Umschlagplatz stehen, vom Rungen-LKW beladen werden und dann vom Sattelschlepper abgeholt werden (Odenthal-Kahabka, 2005).

Schüttgutaufbauten

Schüttgutaufbauten gibt es als LKW-Aufbauten, als Sattelaufleger und als Anhänger für LKW und landwirtschaftliche Zugmaschinen. Schüttgutaufbauten werden entweder durch Kippen oder durch eine Schubbodenvorrichtung entleert. Je nach Ausführung unterscheiden sie sich erheblich im Eigengewicht, Höchstgewicht, Ladevolumen und nicht zu letzt in den Anschaffungskosten (Abbildung 12 und Abbildung 13).



Abbildung 12: Links: Schüttgut-LKW (www.holzschneitzel.at), rechts: Landwirtschaftlicher Kippanhänger (www.kippanhaenger-scholten.de)



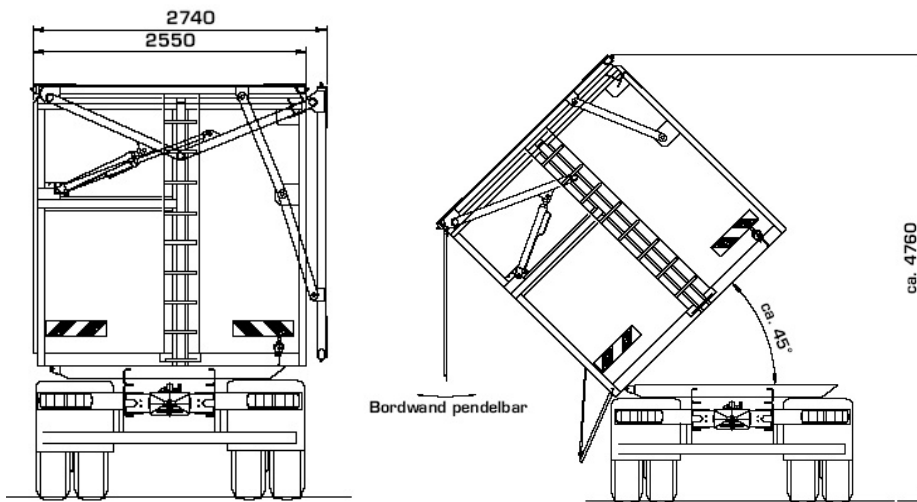


Abbildung 13: Schematische Zeichnungen und Abmaße eines 3-Achs 1-Seiten-Kipper-LKW mit einem Ladevolumen von 43,7 m³ (Maße in mm) (www.riedler.com)

2.2.2.2 Wechselaufbauten – Wechselcontainer

Wechselaufbauten sind Aufbauten, welche sehr schnell gegen andere ausgetauscht werden können. Sie sind standardisiert bzw. unterliegen einer Norm und können daher auf verschiedenen Fahrzeugen eingesetzt werden. Das Manipulieren der Aufbauten ist je nach System mit dem Trägerfahrzeug (z. B. einem Hakenlift) oder über ein fremdes Fahrzeug (z. B. einem Ladestapler) möglich.

Ein Container ist ein genormter Großbehälter, der aufgrund seiner Stabilität für eine wiederholte Verwendung geeignet ist. Mit ihm können gleichzeitig mehrere „Ladungseinheiten“ auf Straße, Eisenbahn und Schiff von der Packstelle bis zum endgültigen Bestimmungsort befördert werden, ohne dass jede einzelne „Ladungseinheit“ getrennt umgeschlagen werden muss (<http://www.containerhandbuch.de>). Es gibt viele verschiedene Arten von Wechselcontainern.

Diese werden hauptsächlich für Schüttgüter im Baugewerbe, im Entsorgungsbereich aber auch für die Energieholzbereitstellung eingesetzt. Die dazu notwendigen Container-Fahrzeuge besitzen eine hydraulische Hubeinrichtung zum Heben oder Senken des Containers mittels Seilabroll- oder Hakenliftsystem. Diese Systeme erhöhen das Fahrzeuggewicht. Das Fahrzeug kann sowohl Behälter oder Container als auch so genannte „Flats“ (Euroflat, Kombi-Euroflat), Rundholzpaletten oder kombinierbare Behälter am Lager oder Umschlagplatz ab- bzw. aufladen (www.kraemer-fahrzeugbau.de).

Die Normung der Behältersysteme (DIN 30722/1) ermöglicht den Wechsel auf verschiedene Verkehrsträger. Die speziellen Transportcontainer können fahrzeugunabhängig im Wald abgestellt werden und als variable Transporteinheiten einfache oder mehrfach untergliederte Transportketten durchlaufen (Odenthal-Kahabka, 2005).

Abrollcontainer

Abrollcontainer werden hauptsächlich für den Transport von Schüttgütern verwendet. Sie sind nach DIN 30722 genormt. An der Stirnwand des Containers befindet sich eine Öse, an der Heckunterseite sind Rollen angebracht (Abbildung 14). Transportiert werden die Abrollcontainer mit einem Abrollkipper (Container-Fahrzeug) der mit einem Hakenlift bestückt ist. Zum Aufnehmen des Containers wird der Hakenlift in die Öse am Container eingehakt und der Container an einer Seite angehoben, sodass sich das Zugfahrzeug unter den Container ziehen kann. Beim Absetzen wird zuerst das Heck des Containers auf dem Boden abgesetzt und der Container nach hinten abgerollt (Strunk, 2003).



Abbildung 14: Links: Abrollcontainer (www.bcs-container.de/abrollcontainer.html), rechts: Abrollkipper (Institut für Forsttechnik)

Die Längen von Fracht- und Großbehältern bauen auf einem Modulsystem auf. Ausgegangen wird von einem 40-Fuß (12.192 mm) langem Behälter. Die anderen Nenngroßen entstehen durch Teilung, wobei jeweils 3 Zoll abgezogen werden, damit die Behälter miteinander kombiniert werden können. Abbildung 15 zeigt einen Abrollcontainer in schematischer Darstellung.

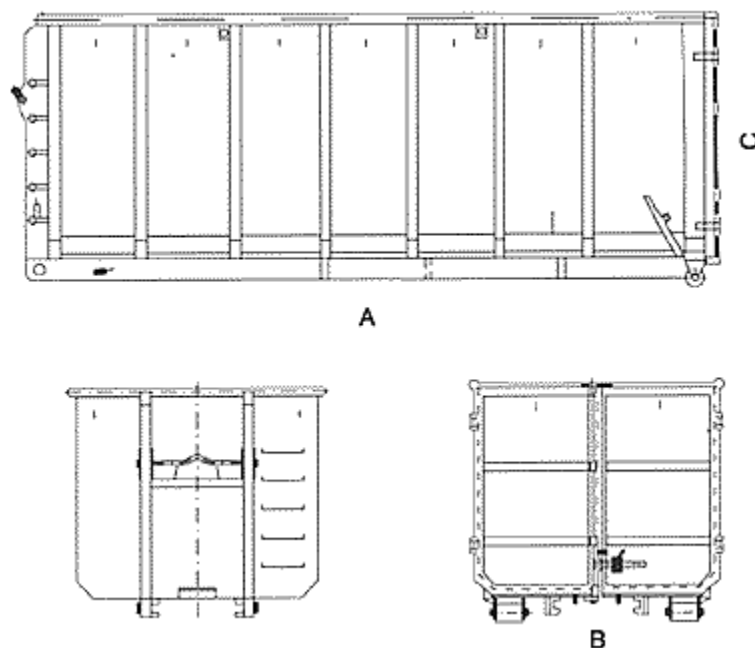


Abbildung 15: Schematische Zeichnung eines Abrollcontainers (http://www.rainbow-containers.de/Abroll/Detail_1.htm)

In Tabelle 4 sind die Längen und Höhen der am häufigsten verwendeten Container sowie die Leergewichte dargestellt (<http://www.export911.com/e911/ship/dimen.htm>). Die Leergewichte der Container sind abhängig von deren Bauweise und den Materialien. Die Normausführung der Container hat einen vier mm starken Boden und drei mm starke Seitenwände (www.containerhandbuch.de).

Tabelle 4: Abmessungen und Leergewichte der gebräuchlichsten Container

Länge in Fuß	Höhe in Fuß	Leergewicht in kg
20'	8.5'	1.800 – 2.400 kg
40'	8.5'	2.800 – 4.000 kg
40'	9.5'	3.900 – 4.200 kg

Im kombinierten Verkehr nimmt das Abrollcontainer-Transportsystem (ACTS) einen wichtigen Platz ein. Das System kombiniert den auf der Straße verbreiteten Abrollcontainertransport mit der Bahn. Es ermöglicht einen schnellen Umschlag von Abrollcontainern zwischen dem LKW und der Bahn. Es können Lasten mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht bis zu 17,8 t bewegt werden (www.werner-weber.com). Container die mit der Bahn transportiert werden können haben eine maximale Innenlänge von 5.665 mm (Tabelle 5).

Tabelle 5: Innenabmessungen von Containern im kombinierten Verkehr (www.werner-weber.com)

Bezeichnung	L x B x H [mm] Innenmaße	Inhalt [m ³]	Gewicht [kg]
ACTS 10	5665 2300 750	10	1.985
ACTS 13	5665 2300 1000	13	2.100
ACTS 16	5665 2300 1250	16	2.230
ACTS 20	5665 2300 1500	20	2.313
ACTS 23	5665 2300 1750	23	2.428
ACTS 26	5665 2300 2000	26	2.585
ACTS 29	5665 2300 2250	29	2.682
ACTS 32	5665 2420 2300	32	2.818

Die Investitionskosten für Container variieren je nach Ausführung (z. B. offener oder gedeckter Ausführung, mit Flügeltüren oder RID geprüfter, dichter Klappe) und Abmessungen zwischen 3.500-5.000 € ohne MwSt. Der Richtpreis für einen Abrollcontainer mit einem Inhalt von ca. 36 m³ und Stockwindendeckel kann mit 4.500 € ohne MwSt angegeben werden.

Abrollkipper sind mit einem Hakengerät ausgerüstet, welches für das Aufnehmen und Abstellen der Abrollcontainer notwendig ist. Hakengeräte stehen in unterschiedlichen technischen Ausführungen zur Verfügung:

a) Knick-Hakengerät

Das Knick-Hakengerät zeichnet sich durch ein geringes Eigengewicht und einen einfachen Aufbau aus. Da keine Gleitflächen vorhanden sind, ist auch der Verschleiß dieses Abrollkippers äußerst gering (Abbildung 16). Die Geräte der LHT-Serie eignen sich vor allem für den Transport von Containern mit gleicher Länge (http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html).

b) Schub-Hakengerät

Mit dem Schub-Hakengerät können Container unterschiedlichster Länge transportiert und bewegt werden. Ein Schub-Hakenarm kann auf schmierungsfreien Kunststoff-Gleitböcken ein- und ausgeschoben werden. Das Hakengerät LHS320 gibt es als Option auch auf Sattelaufleger. Weitere Vorteile des Schub-Abrollkippers sind (http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html):

- Erhöhte Ladekapazität,
- Hohe maximale Container-Länge von neun Metern,
- Zugfahrzeug ist anderweitig verwendbar – beispielsweise Verwendung anderer Sattelaufleger,
- Transport unterschiedlicher Container.

c) Schub-Knick-Hakengerät

Durch die Kombination von Schub- und Knick-Bewegung wird mit diesem Hakengerät eine sehr flache Aufnahmekurve erreicht. Ein Schub-Knick-Hakengerät wird für die ACTS-Verladung bei der Bahn benötigt. Das Schub-Knick-System ermöglicht es, Container verschiedenster Längen zu be-

wegen. Die Differenz zwischen längstem und kürzestem Container kann über drei Meter betragen (http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html).

Abbildung 16: Abrollkipper von links nach rechts Knick-Abrollkipper, Schub-Abrollkipper, Schub-Knick-Abrollkipper (http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html)

In Tabelle 6 sind exemplarisch für einige Abrollkipper die Gesamtgewichte, Leergewichte und Nutzlasten zusammengestellt. In Tabelle 7 sind diese Daten für Abrollkipper-Anhänger zusammengestellt. Hakengeräte haben je nach Ausführung in etwa ein Gewicht von 3.300-4.500 kg.

Tabelle 6: Gewichte für Abrollkipper (<http://www.LKW-renz.de/fahrzeuge/>)

Fahrzeugtyp	Gesamtgewicht	Leergewicht	Nutzlast
MAN 26.422 6x4 Abrollkipper	24.000 kg	11.240 kg	12.760 kg
Iveco 260 -34 6x4 Abrollkipper	25.000 kg	11.195 kg	13.805 kg
MAN 26.463 Abrollkipper	26.000 kg	11.130 kg	14.870 kg
Volvo FH 12 6x4 Abrollkipper	26.000 kg	11.600 kg	14.400 kg

Tabelle 7: Gewichte für Abrollkipper-Anhänger (<http://www.LKW-total.de/fabo>)

Fahrzeugtyp	Gesamtgewicht	Leergewicht	Nutzlast	Länge
Hilse 145, 2-Achser BPW	18.000 kg	4.250 kg	13.750 kg	7.000 mm
Jung Homburg KKA 18 HV Abrollkipper	18.000 kg		12.880 kg	
Hüffermann 18582, 2-Achser (Absetz- und Abrollcontainer)	18.000 kg	3.520 kg	14.480 kg	
Meusel Abroll Anhänger Abroller	18.000 kg	3.930 kg	14.070 kg	7.000 mm

Die Investitionskosten für Abrollkipper mit Hakengerät variieren je nach Ausführung und Ausstattung. Als Richtpreise wird angegeben (siehe Anhang – Angebot der Firma Kuhn – Ladetechnik)

- LKW Fahrzeug: ca. 75.000 €,
- Schub-Knick-Hakengerät ca. 25.000 €

Faltbox

Die Faltbox ist ein Gemeinschaftsprojekt der Firma InnoFreight Logistics, Papierholz-Austria, Kalmar Hebefahrzeuge sowie Lenhardt Fahrzeugbau. Die Entwicklung erfolgt gemeinsam mit der Firma New-Logistics in Kiel. Ziel ist es, einen neuen Faltcontainer für Hackgut und Biomasse zu entwickeln, der im kombinierten Verkehr eingesetzt werden kann (siehe Abbildung 17). Die Entladung erfolgt mittels Stapler durch Drehen des Behälters. Im entleerten Zustand wird der Behälter mit dem Stapler geklappt. Drei leere Behälter können für den Rücktransport gestapelt werden.

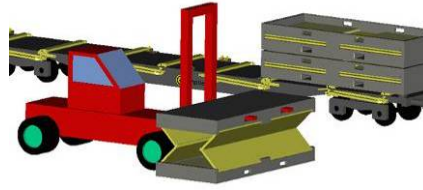


Abbildung 17: Links: Faltbox (Modell, verkleinert), rechts: Verdichten und Stapeln der Faltboxen (www.innofreight.com/_innofreight/2_produkte/Smartbox.php)

Rundholzpalette

Die Rundholzpalette zeichnet sich durch ihre kompakten Maße und ihr geringes Eigengewicht aus. Die Rundholzpalette lässt sich im leeren Zustand zusammen klappen, stapeln und ist mit sechs integrierten Bindeösen pro Einheit ausgestattet. Vorgeladen und zusätzlich mit Spanngurten gesichert, kann die Rundholzpalette mit einem handelsüblichen 16 t Schnittholzstapler sowohl auf WoodTrailer Sattelaufleger als auch auf WoodRailer Waggons verladen werden (Abbildung 18).



Abbildung 18: Rundholzpalette mit 16t Stapler, (Wanek-Pusset, 2005)

Zweck ist die Bereitstellung des Holzes sowohl für den LKW als auch für den Bahnverkehr. Wird die Beladung im Wald oder am Umschlagplatz noch herkömmlich mit dem Ladekran vorgenommen, kann der Umschlag auf die Bahn rascher durchgeführt werden. Dazu ist jedoch ein 16 t Stapler notwendig, der nicht überall verfügbar ist (www.innofreight.com, 2006).

Alternatives Transportsystem - VALMETrailer

Ziel des Systems VALMETrailer ist die Verbesserung der Direktbeladung und die kostengünstige eingliedrige Nutzung des Rungensattelzugs ohne Vortransport im Fernverkehr. Zum Einsatz kommt ein Forwarder der oberen Leistungsklasse, der mittels aufgesetzter LKW-Sattelplatte jeden Sattelaufleger transportieren und rangieren kann. Bei der Beladung wird das Rundholz direkt vom Forwarder auf den neben der Forststrasse abgestellten Trailer geladen und nicht mehr auf der Waldstrasse zwischengelagert. Dadurch entfallen teure Kosten für den Vortransport zum Umschlagplatz. Bei Forststrassen mit Kurvenradien > 18 m kann der beladene Trailer direkt von der Zugmaschine abgeholt werden. Ist es für die Sattelzugmaschine nicht möglich den Sattelaufleger

aus dem Wald zu fahren, kann der beladene Sattelaufleger mit dem Forwarder zu einem geeigneten Platz gezogen und im Idealfall ein leerer Trailer mitgenommen werden (Bodelschwingh, 2004).



Abbildung 19: VALMETrailer (www.forstundtechnik.de)

2.2.2.3 Wechselaufbauten - Wechselbrücken

Transportiert werden die Wechselbrücken mit Wechselbrückenfahrzeugen, die mit einem speziellen Rahmen für Wechselbrücken nach DIN 70014 ausgerüstet sind. Die Wechselbrücke wird durch Zapfen, die in entsprechende Aussparungen der Eckbeschläge der Wechselbrücke passen, auf dem Fahrzeug befestigt. Das Absetzen bzw. Aufnehmen der Wechselbrücken erfolgt durch Hochpumpen bzw. Ablassen des Fahrzeugs mittels Druckluft. Einige Wechselbrücken lassen sich stapeln. Bis zu acht Stück können dann zusammengelegt, gestapelt und transportiert werden (Strunk, 2003 und Wippermann, 2001). Sie können auf vier Stützen abgestellt werden, die während der Fahrt eingeklappt sind (Abbildung 20).

Die Vorteile gegenüber dem Wechselcontainer mit Abrolltechnik liegen im geringeren Fahrzeuggewicht, da kein Haken- oder Kettenliftaufbau notwendig ist. Dadurch verringern sich auch die Anschaffungskosten für ein Neufahrzeug, um ca. 23.000 €. Die Kosten für einen Wechselbrückenrahmen belasten die Anschaffungskosten mit ca. 2.600 € (Linko, 2006). Die Wechselbrücke wird hauptsächlich im Stückgutverkehr, sowie im kombinierten Verkehr mit der Bahn und dem Schiff verwendet. Innerhalb Europas sind die Aufbauten und Pritschen genormt (DIN EN 284) ebenso wie die Fahrzeugsysteme (DIN 70014/1) (Odenthal-Kahabka, 2005).



Abbildung 20: Links: Wechselbrückenfahrzeug mit Wechselbrücke (www.bruder-spielzeug.de/), rechts: Zusammengeklappte und gestapelte Wechselbrücken (Strunk, 2003)

Es gibt viele Sonderformen der Wechselbrücke. Einige davon kombinieren die Systeme Abrollbehälter und Wechselbrücke miteinander. Euroflat und Kombi Euroflat sind dem entsprechend zu-

sätzlich zum Abrollsystem mit klappbaren Stützbeinen und den entsprechenden normierten Verschlüssen für Wechselaufbauten ausgestattet.

Speziell für den Holztransport entwickelte Wechselsysteme sind wenig verbreitet bzw. noch im Prototypenstadium (LogRac) und im Vergleich zu herkömmlichen Abroll-Containern (€ 2.300,- bis 3.500,-) (Linko, 2006) teuer (LogRac 15.000,- €/Brücke).

Euroflat und Kombi-Euroflat

Beim Euroflat handelt es sich um einen Wechselcontainer in offener Rungenbauweise, das die Systeme Abrollbehälter und Wechselbrücke miteinander verbindet (Abbildung 21). Es sind sowohl klappbare Stützen als auch eine Abrollvorrichtung vorgesehen. Das System wurde von der Firma Georg Kraemer KG in Zusammenarbeit mit dem Forstunternehmen 3H Forst Dickel GmbH & KG speziell für den Transport von Rundholz entwickelt.

Der Einsatz von herkömmlichen Transport-LKW ohne Allradantrieb mit Abrollcontainertransportsystem ist hier möglich, Leerfahrten können vermieden werden. Die Beladung erfolgt direkt durch den Forwarder. Dieser kann den Wechselcontainer auch auf speziell entwickelte Stützbeine stellen, der dann im Fernverkehr von standardisierten Wechselbrückenfahrgeräten aufgenommen werden kann (www.kraemer-fahrzeugbau.de).

Bei der Weiterentwicklung des Euroflat zum Kombi-Euroflat befindet sich in der Mitte des Kombi-Euroflats eine Öffnung wodurch Rundholz effizienter be- und entladen werden kann. Für den Transport von Hackschnitzeln kann die Öffnung geschlossen und das Flat mit einer Plane abgedeckt werden. So entsteht aus dem Flat eine geschlossene Wechselbrücke (Strunk, 2003).

Das Kombi-Euroflat kann im beladenen Zustand von einem Abrollkipper auf speziell entwickelte Stützbeine gestellt werden. Dadurch kann es im Fernverkehr von den standardisierten Wechselcontainerfahrgeräten aufgenommen werden (www.kraemer-fahrzeugbau.de/kombi_euroflat.htm).



Abbildung 21: Von links nach rechts: Euroflat mit Rundholz beladen, Kombi-Euroflat mit Rundholz beladen (Strunk, 2003), geschlossener Kombi-Euroflat (www.kraemer-fahrzeugbau.de)

LogRac

Ursprünglich wurden LogRacs im Schiffsverkehr eingesetzt. Sie finden aber auch im Straßen- und Schienenverkehr Verwendung und wurden für den Rundholztransport mittels LKW weiterentwickelt. Das LogRac ist ein nach ISO-Norm für Container (ÖNORM EN 284, 1992) entwickelter, modifizierter Container mit Stützen und Rungen (Abbildung 22). Das LogRac stellt eine spezielle Variante der Wechselbrücken, deren Rungen, Stirn-, Rück- und Seitenwände eingeklappt werden und im flachen Zustand aufeinander gestapelt werden können, das. Bis zu sechs LogRac können als Paket, zum Einsatzort transportiert werden. Die LogRac sind zwar etwas länger als normale 40 Fuß (13 m) Container, können aber mit Standard Container Fahrzeugen (Sattelzugmaschine mit Sattelaufleger für Container) transportiert werden. Das Absetzen bzw. Aufnehmen des stehenden LogRac erfolgt durch Hochpumpen bzw. Ablassen des Fahrzeugs mittels Druckluftfederung oder durch die mechanische Höhenverstellung der Füße. Die Stützbeine sind hochschwenk- und teles-

kopierbar und können seitlich am Rahmen angelegt werden. Mittels eines Hilfsmotors und eines zwischenschaltbaren Getriebes können die Beine verlängert oder verkürzt werden (Eberhardinger und Bodelschwingh, 2005).

Nach Fenz und Stampfer (2005) ist der Einsatz dieses Systems nur auf längeren Entfernungen kostendeckend. Unter bestimmten betriebsspezifischen Gegebenheiten kann es, aufgrund der hohen logistischen Flexibilität, zu erkennbaren Kostenreduktionen kommen.



Abbildung 22: Von links nach rechts: Leerer LogRac, beladener LogRac, zusammengeklappte und gestapelte LogRacs (Institut für Forsttechnik)

2.2.2.4 Andere Transportmittel für Schüttgut

Big-Bag

Big-Bags sind flexible Verpackungen (Säcke), die für den Transport von Schüttgut auf LKWs oder per Schiff mit Containern geeignet sind. Ein Transport von Hackschnitzeln in Big-Bags ist denkbar.

Big-Bags gibt es in vielen verschiedenen Abmessungen und Ausführungen (Abbildung 23). Sie können in bis zu sieben Lagen aufeinander gestapelt werden.

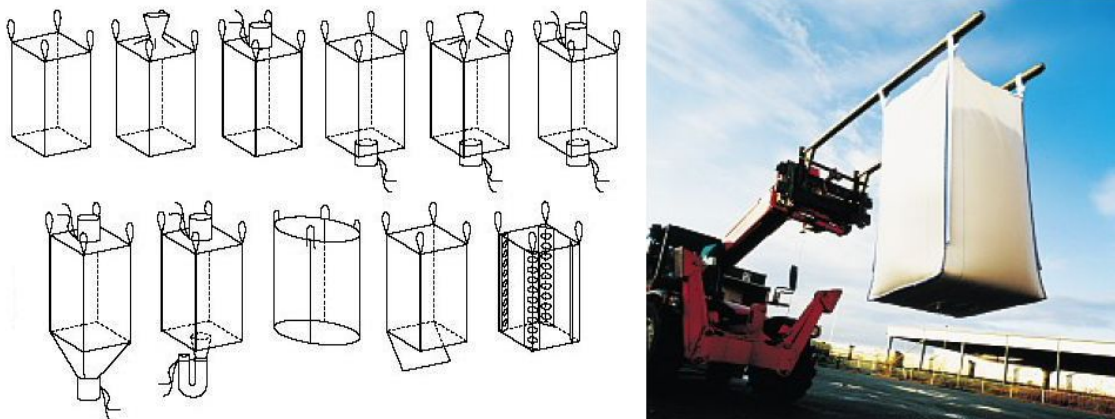


Abbildung 23: Links: Verschiedene Big-Bag-Ausführungen (www.boxon.com), rechts: Manipulation von Big-Bags (www.boxon.com/img/bags/big_bags_produkt_3.jpg)

Für das Be- und Entladen der Big-Bags ist in etwa mit einem Zeitbedarf von 1,3 min/Big-Bag (0,7 min/SRM) zu rechnen (Patzak, 1984a). Bei einem Stundensatz von 45 €/h für einen Rundholz-LKW sind das ca. 0,53 €/SRM. Die Transportkosten hängen vom verwendeten Transportfahrzeug, dessen Ladevolumen und der Transportentfernung ab. Weiters müssen noch die Anschaffungskosten der Big-Bags sowie die Manipulation durch den Hacker berücksichtigt werden. Aufgrund der erhöhten Kosten bei der Bereitstellung von Hackschnitzeln mittels Big-Bags wird von der Verwendung dieser bei größerem Masseanfall bzw. beim Einsatz leistungsstarker Hacker abgeraten. Vorstellbar ist die Nutzung von Big-Bags bei Kleinmengen von Hackschnitzeln, leistungsschwachen Hackern, lagerfähigem Hackgut und der Belieferung von Kleinabnehmern (Ganz et al. 2005).

Drehungensystem

Der WoodTrailer ist mit Drehungen ausgestattet, die händisch umgeklappt werden können (Abbildung 26). Durch die Ladelänge von 13,6 m ist eine Kompatibilität von Waggon- (WoodRailer) und Sattelaufleger gegeben. Der WoodTrailer besitzt ein zulässiges Gesamtgewicht von 38 t (keine 44 t Zulassung) und wurde in Zusammenarbeit mit Innofreight in Bruck, Stubenberger in Knittelfeld, Völkl in Krieglach und der schwedischen Firma ExTe in Färila konstruiert. Dieser Sattelauflegertyp eignet sich sowohl für Rundholz- als auch für Schnittholztransporte (Abbildung 24).



Abbildung 24: WoodTrailer Rundholztransport und Schnittholztransport, (www.innofreight.com, 2006)

Zum Transport von Schnittholz, Wechselcontainer oder anderen Produkten können die Rungen umgeklappt werden. So kann beim Haupttransport Schnittholz transportiert werden. Der Rücktransport erfolgt im optimalen Fall mit aufgeklappten Rungen ins holzverarbeitende Werk (Abbildung 25).



Abbildung 25: WoodTrailer mit um- und aufgeklappten Rungen (www.innofreight.at, 2006)

Gemeinsam mit der Rundholzpalette und dem WoodTainer für Schüttgüter bilden Sie das vierteilige intermodale Transportkonzept „WoodLogistic“ (Wannek-Pusset, 2005).

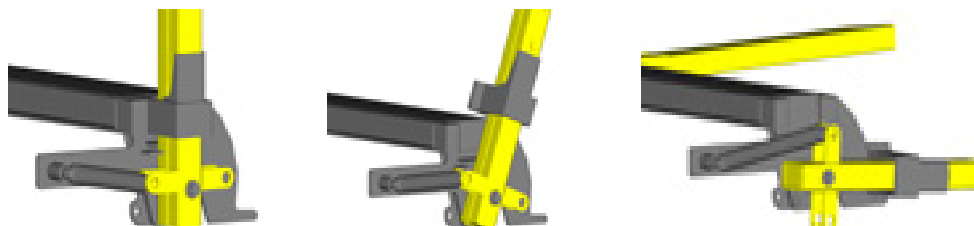


Abbildung 26: Klappbare Rungen (www.innofreight.com, 2006)

Neben Rundholz, Schnittholz und den von Innofreight entwickelten Containern (Rundholzpalette, WoodTainer) können auch herkömmliche Container und Paletten transportiert werden, wobei dafür ein Plateauboden montiert werden muss. Das ermöglicht eine größere Bandbreite an Transportmöglichkeiten. Jeder herkömmliche Sattelaufleger, als auch Hängerzug kann mit dem Drehungensystem ausgestattet werden (www.innofreight.com, 2006).

Wanek-Pusset (2005) sieht den Einsatzbereich des Systems Innofreight bei hohen Entfernungen und in großen Werken, in denen täglich mehr als 200 Behälter z. B. per Bahn eintreffen. Der Einsatz eines Staplers ermöglicht hier ein schnelles Manipulieren und Entleeren. Durch die hohe An-

zahl der zu manipulierenden Container werden Wartezeiten des Staplers vermieden. Einsatzbereiche sind also der Transport von Schüttgütern, z. B. Industriehackschnitzel über weite Entfernungen, im kombinierten Verkehr und der Belieferung großer Werke. Die Einsatztauglichkeit der Behälter im Wald wurde derzeit noch nicht getestet. Vorstellbar wäre der Transport von Wald-Hackschnitzeln ab großen, straßennahen Umschlagplätzen zum Verbraucher, wenn so große Mengen Hackschnitzel anfallen, dass sich ein Stapler rechnet (Ganz et al. 2005).



Abbildung 27: Wechselcontainer der Firma Inno freight auf Waggon und bei Entladung mit Stapler

2.2.2.5 Systemvergleich

Aus den Studien von Patzak (1984), Remler et al. (1998) und Stampfer et al. (1997) geht folgendes hervor:

- Die Transportkosten steigen in etwa linear mit zunehmender Transportentfernung an.
- Der Transport von Hackschnitzeln und Rundholz ist in der Regel kostengünstiger als der Transport von Bäumen oder Baumteilen. Nur die Varianten mit Schlepper und landwirtschaftlichen Kippanhängern sind ab einer Entfernung von ca. 25 km teurer.
- Am günstigsten schneiden die Varianten „Transport von Hackschnitzeln mit Schüttgut-LKW mit Anhänger“ und „Transport von Rundholz mit LKW“ ab. Beim Schüttgut-LKW ohne Anhänger sind die Kosten um ca. 50 % höher.
- Die Transportvariante „Transport von Hackschnitzeln mit LKW und zwei Wechselcontainern ist ebenfalls als günstig zu beurteilen. Wittkopf et al. (2003) geben für den Transport mit Container-LKW bis zu einer Transportentfernung von 50 km einen Wert von 2-3 €/SRM an.
- Der Einsatz von Schleppern ist nur bis zu einer Entfernung von etwa 10-15 km sinnvoll. Im Nahbereich bis 10 km Entfernung und bei kleineren Mengen stellt die Nutzung von Schlepper und Anhängern zu Maschinenringsätzen eine brauchbare Alternative dar.
- Auch bei den Untersuchungen von Plath (1992) zum Transport von Hackschnitzel, schnitt die Variante „Traktor und 2 Anhänger“ am schlechtesten und die Variante „großer LKW-Zug“ am besten ab.

2.2.3 Eisenbahntransport

Die Vorteile des Schienenverkehrs umfassen den Transport größerer Einzelladegewichte als beim LKW und die Unabhängigkeit vom jeweiligen Verkehrsaufkommen auf Straßen. Andererseits verringern Rangiermanöver und die Bindung an Fahrpläne die Transportgeschwindigkeit. Be- und Entlademöglichkeiten gibt es nur an speziellen Bahnhöfen. Für den Transport über das Schienennetz fallen meist höhere Distanzen an, da das Netz weniger ausgebaut ist als auf der Straße. Deshalb wird der Schienenverkehr in der Praxis besonders bei Langstreckentransporten genutzt (Schulte, 1999).

2.2.3.1 Transportsysteme

Rundholzwagen können zu Block- oder Ganzzügen zusammengeschlossen werden (Linko, 2006).

Blockzüge

Blockzüge sind Waggongruppen mit verschiedenen Ausgangs- und Zielorten. Sie werden für den gemeinsamen Teil der Strecke zu einem Zug verbunden. Hier kann erhöhter Zeitverlust auftreten, weil einzelne Waggons immer wieder aus dem Zug herausgenommen bzw. angehängt werden müssen (www.railcargo.at, 2006).

Ganzzüge

Ganzzüge sind regelmäßige Zugverbindungen mit fixen Fahrplänen, die immer auf derselben festgelegten Strecke Güter transportieren. In den letzten Jahren haben Ganzzüge immer mehr an Attraktivität gewonnen. Die Vorteile gegenüber konventionellen Einzelwaggontransporten (Blockzüge) sind vielfältig (Lippstreu, 2003):

- Kürzere Laufzeiten
- Kontrolle nur an Grenzstationen
- Verwendung aller Waggontypen möglich
- Einsatz von Privatwaggons möglich
- Keine Rangieraufenthalte in Bahnhöfen
- Integrierte Steuerung des Zulaufs von Einzelwaggons zu den Zugbildungspunkten
- Organisation von Umschlag und Nachlauf
- Keine Preisschwankungen bei Transportkosten

2.2.3.2 Wagenmaterial

Güterwaggone für den Rundholztransport werden grob in Flachwagen mit Rungen, Flachwagen für Containertransport und offene Güterwagen (Kastenwaggons) eingeteilt (Abbildung 28). Die Flachwagen für den Containertransport (Containertragwagen) haben keine Aufbauten und keinen durchgehenden Boden. Unterschieden wird in Regelbauarten und Sonderbauarten, welche mit der Wagenbezeichnung "R" für Regelbauart oder „S „für Sonderbauart gekennzeichnet sind. Die Waggons sind bis zu 21,60 m lang und können je nach Streckenklasse bis zu 70 t Rundholz transportieren.

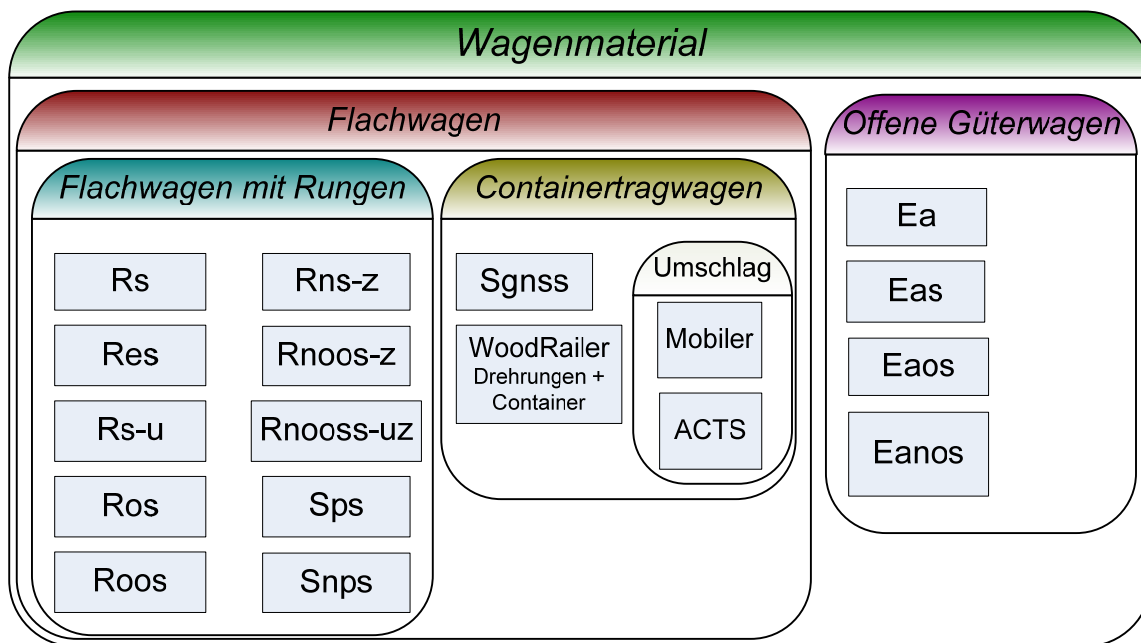


Abbildung 28: Wagenmaterial für Rundholztransport (Rail Cargo Austria, 2006)

Flachwagen mit Rungen

Flachwagen oder auch Plattformwagen sind zum Transport von nässeunempfindlichen Wirtschaftsgütern konzipiert. Hierbei handelt es sich um Wagen mit meist durchgehendem Boden (meist aus Kanthölzern), ohne oder mit nur sehr niedrigen Seiten- und Stirnwänden, sowie Steck- oder Drehungen. Dadurch wird das Be- und Entladen erleichtert. Durch das Fehlen der Wände ist der Ladegutsicherung vermehrte Aufmerksamkeit zu widmen (Linko, 2006).

Flachwagen mit den kombinierten Typenbezeichnungen R, oo und s bzw. Snps sind besonders für den Rundholztransport geeignet bzw. speziell dafür konstruiert. Die Wagen Rs, Res und Rs-u sind schwieriger zu beladen, das richtige Verkeilen der Rungen ist aufwendig und zeitraubend (www.waldwissen.de, 2006).

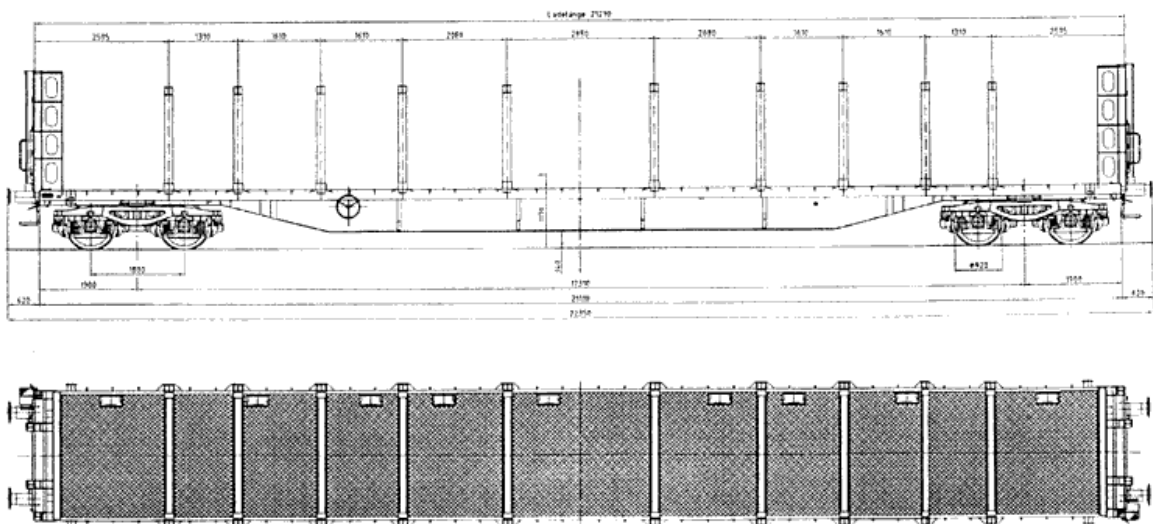


Abbildung 29: Flachwagen mit Drehgestellen und 10 hohen, festen Rungenpaaren – Rnooss-uz

Der Rnooss-uz („Rundholzbulle“) erleichtert den Entladevorgang durch seine optimale Rungenanordnung. Aufgrund der vorgezogenen Stirnwand, die gleichzeitig der Ladegutsicherung dient, ist die Beförderung von fünf Stößen mit je vier Meter Länge oder sechs Stöße mit je drei Metern Län-

ge möglich.. Zu den zehn Stück Rungenpaaren werden neun Stück langsam lösende Spanngurte im Blechfußboden angeordnet. Der Waggon hat eine Lastgrenze von 64 to und eine Ladelänge von 21,3 m (Abbildung 29.) (www.aae.ch, 2006).

Der Rungen-Flachwagen Snpss ist mit neun Rungenpaaren und integrierten Niederbindeeinrichtungen aus Ketten oder Gurten auch mit Stirnwänden lieferbar. Das Ladegut lässt sich schnell verladen und effizient sichern. Sein maximales Ladegewicht beträgt 63 to (Abbildung 30) (www.aae.ch, 2006).

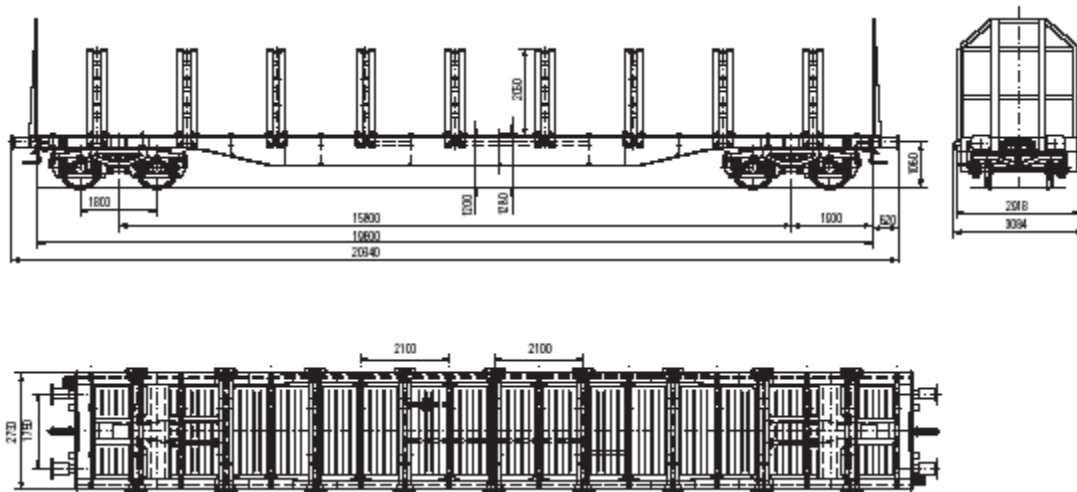


Abbildung 30: Flachwagen mit neun Rungenpaaren und integrierten Niederbindeeinrichtungen – Snpss (www.aae.ch, 2006)

Containertragwagen

Containertragwagen sind Flachwagen zum Transport von Wechselträgern. Dazu besitzen sie eigene Befestigungsvorrichtungen und meist keinen durchgehenden Boden. Die Containertragwagen sind für ISO-Norm standardisierte 20- bis 40-Fuß-Container ausgelegt (Linko, 2006).

Für den intermodalen Transport von Wechselcontainern und anderen Wechselträgern können diese Flachwagen mit speziell für den Umschlag vom LKW auf die Bahn konstruierten Rahmen ausgestattet werden. Diese Konstruktionen ermöglichen es herkömmliche Container (MOBILER) oder Abrollcontainer (ACTS-Drehgestelle) ohne besondere Anforderung an den Umschlagplatz zu verladen. Im intermodalen Transport werden zwei Typen von Containertragwagen verwendet.

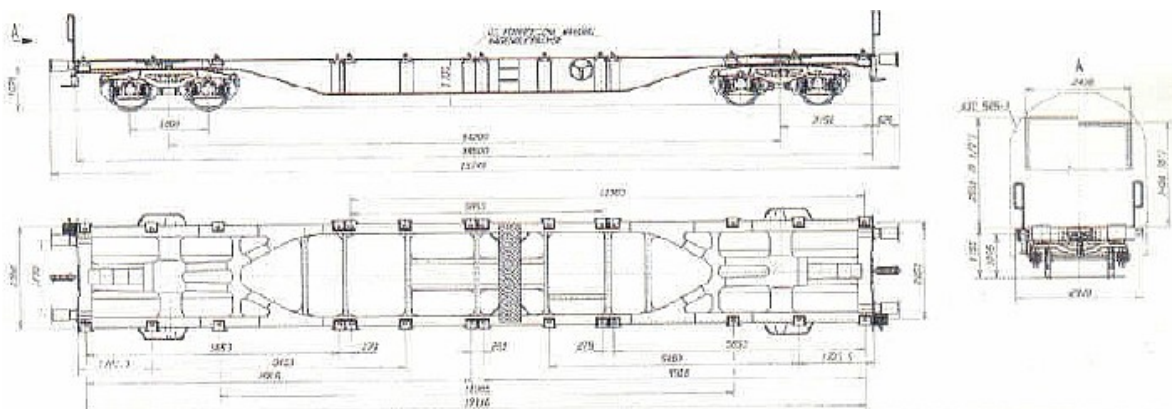


Abbildung 31: Containertragwagen Sgnss (www.interlok.info/SgnssPoln.htm, 2006)

Der Containertragwagen Sgnss ist der meistgenutzte Wagen für den kombinierten intermodalen Verkehr. Mit einem maximalen Ladegewicht von 70 Tonnen übertrifft er den Rungen Flachwagen Rnooss-uz (Abbildung 31) (www.aae.ch, 2006).

Der Rungen-Waggon „WoodRailer“ ist eine Entwicklung der Rail Cargo Austria und der Firma Innofreight. Dieser kann uneingeschränkt für Transporte von Rund- und Schnittholz sowie wie für Containertransporte eingesetzt werden. Er ist daher auch für den kombinierten Verkehr mit dem LKW geeignet (Abbildung 32) (Wannek-Pusset, 2005).

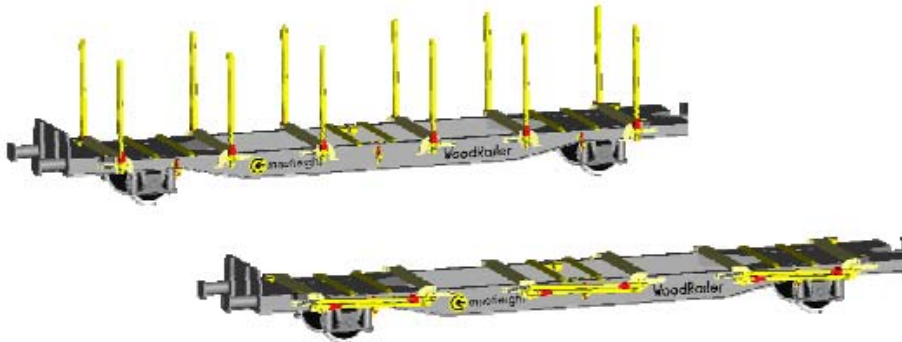


Abbildung 32: WoodRailer, Drehungen (www.innofreight.com, 2006)

Die Rungen sind händisch drehbar und halten hohen Belastungen stand (Abbildung 33). Damit kann in kurzer Zeit vom Rundholzwaggon zum Schnittholz- oder Container-Transport umgerüstet werden. Es ergibt sich eine größere Bandbreite an Verlademöglichkeiten. Die einfache Handhabung steigert die Flexibilität beim Be- und Entladen. Die damit mögliche Reduktion von Leerfahrten lässt Kostenvorteile erhoffen (RailCargo Austria, 2006).



Abbildung 33: Drehungensystem am Rungen-Waggon „WoodRailer“ mit umgeklappten Rungen im Vordergrund (www.innofreight.com, 2006)

Offene Güterwagen

Kastenwaggons oder offene Güterwagen sind zwei oder vierachsige Wagen. Ihre Kennzeichen sind der flache Boden und die festen hohen Seitenwände, mit zumindest einer oder zwei großen Türen pro Seite. Es gibt hierbei seitlich und stirnseitig kippbare Ausführungen. Zum Witterungsschutz können gegebenenfalls Planen oder Netze zur Ladegutsicherung (Hackgut) an vorgesehenen Ösen gespannt werden. Hauptladegut sind nässeunempfindliche Ladegüter (Rail Cargo Austria, 2006).

Die einzelnen Typen unterscheiden sich nach Ladevolumen, Lastgrenzen, Wagenpreise und Anzahl an Türen. Für den Holztransport werden die Typen Ea, Eas, Eaos und Eanos verwendet.

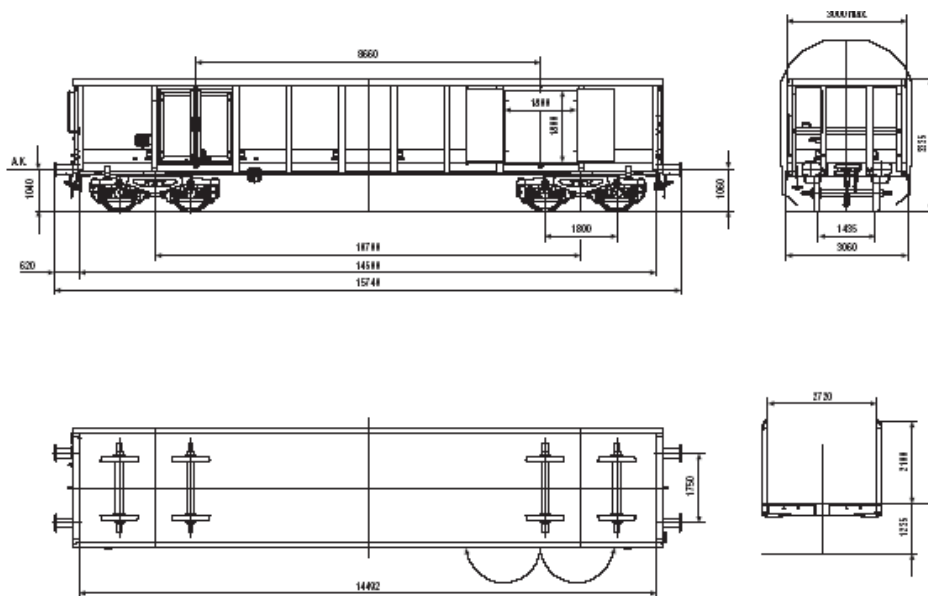


Abbildung 34: Offener Güterwagen mit vier Achsen und Drehgestellen – Eanos (www.aae.ch, 2006)

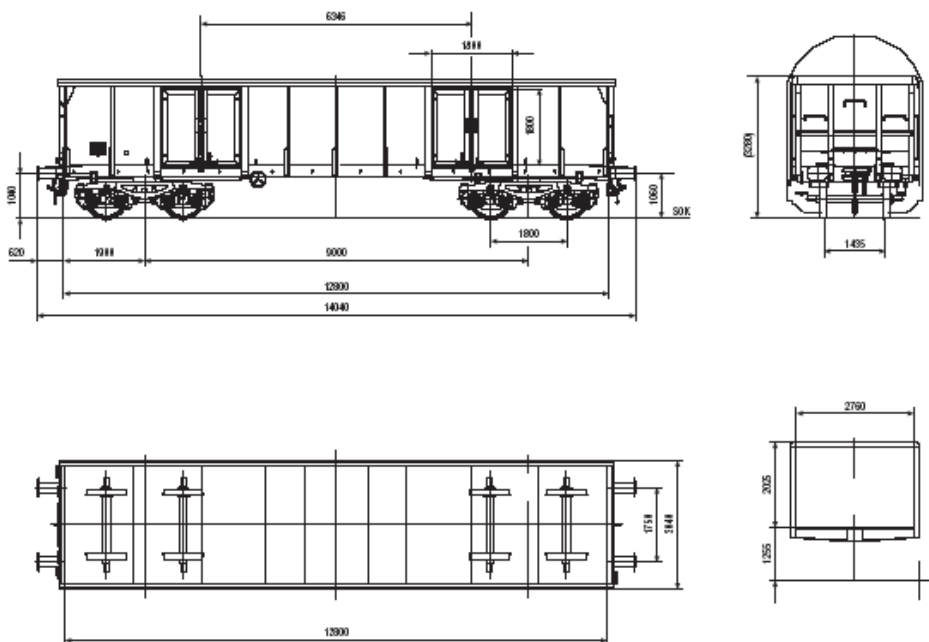


Abbildung 35: Offener Güterwagen mit vier Achsen und Drehgestellen – Eaos (www.aae.ch, 2006)

2.2.3.3 Kosten und Tarife

Die Rail Cargo Austria berechnet Ihre Tarife getrennt nach Wagentypen und unterscheidet beim Transport zwischen Laub- und Nadelholz (Tabelle 8).

Die Transportkosten pro Tonnen berechnen sich mit dem Wagenpreis/km dividiert durch das Ladevolumen in Tonnen für den jeweiligen Wagentyp. Abhängig von der Streckenklasse der Meterlast und der zulässigen Radsatzlast können die Wagen jedoch nicht immer voll beladen werden, dementsprechend können sich die Transportpreise pro Tonne bzw. Festmeter bei gleicher Distanz ändern (Abbildung 36).

Tabelle 8: Wagenpreise 2006, (www.railcargo.at, 2006)

Wagenpreise in EURO TARIF 0212.35					Wagenpreise in EURO TARIF 0212.34				
Laub-Rohholz INLAND					Nadel-Rohholz INLAND				
NHM 4403, 4401 01.01.2006-31.12.2006					NHM 4403 01.01.2006-31.12.2006				
km	Ea, Rs S (außer Sps u. Snps)	Eanos	Sps, Ros, Roos	Rns-z Rnoos-z Snps	km	Ea, Rs S (außer Sps u. Snps)	Eanos	Sps, Ros, Roos	Rns-z Rnoos-z Snps
bis 30	174	189	194	212	bis 30	144	158	166	182
31-40	197	214	217	238	31-40	164	179	185	208
41-50	218	238	243	264	41-50	181	198	207	230
51-60	240	261	267	291	51-60	201	219	227	253
61-70	261	286	292	317	61-70	219	239	249	277
71-80	285	310	318	346	71-80	237	259	271	299
81-90	304	330	338	368	81-90	253	277	288	319
91-100	322	351	360	391	91-100	269	294	306	341
101-110	345	375	383	417	101-110	287	314	327	363
111-120	363	395	405	440	111-120	303	331	345	383
121-130	382	416	425	464	121-130	319	349	364	403
131-140	401	437	448	487	131-140	334	366	381	423
141-150	420	458	467	509	141-150	351	384	399	442
151-160	439	478	490	532	151-160	365	401	418	464
161-170	459	499	509	555	161-170	382	417	434	484
171-180	477	520	532	577	171-180	397	435	454	503
181-190	493	536	548	599	181-190	411	450	468	520
191-200	511	557	571	622	191-200	427	466	487	539
201-220	543	592	605	659	201-220	453	496	516	572
221-240	578	630	643	701	221-240	482	528	549	610
241-260	609	664	678	740	241-260	508	556	579	643
261-280	641	698	714	778	261-280	535	584	609	676
281-300	670	729	746	812	281-300	559	611	636	706
301-320	699	760	777	847	301-320	582	638	664	737
321-340	728	791	809	882	321-340	606	663	690	767
341-360	751	819	838	912	341-360	627	686	714	793
361-380	781	849	870	946	361-380	650	712	742	822
381-400	806	877	897	978	381-400	671	735	766	851
401-450	865	943	964	1.050	401-450	720	790	823	913
451-500	925	1.008	1.030	1.124	451-500	771	844	880	977
501-550	983	1.069	1.094	1.192	501-550	818	897	933	1.036
551-600	1.036	1.128	1.154	1.257	551-600	863	945	985	1.092
601-650	1.090	1.186	1.213	1.322	601-650	908	993	1.036	1.150
651-700	1.144	1.245	1.274	1.388	651-700	953	1.044	1.087	1.206
701-750	1.197	1.303	1.334	1.452	701-750	999	1.092	1.138	1.264
751-800	1.255	1.365	1.396	1.522	751-800	1.045	1.144	1.193	1.322
801-850	1.311	1.427	1.460	1.590	801-850	1.093	1.197	1.247	1.384
851-1000	1.375	1.496	1.530	1.667	851-1000	1.145	1.254	1.306	1.449

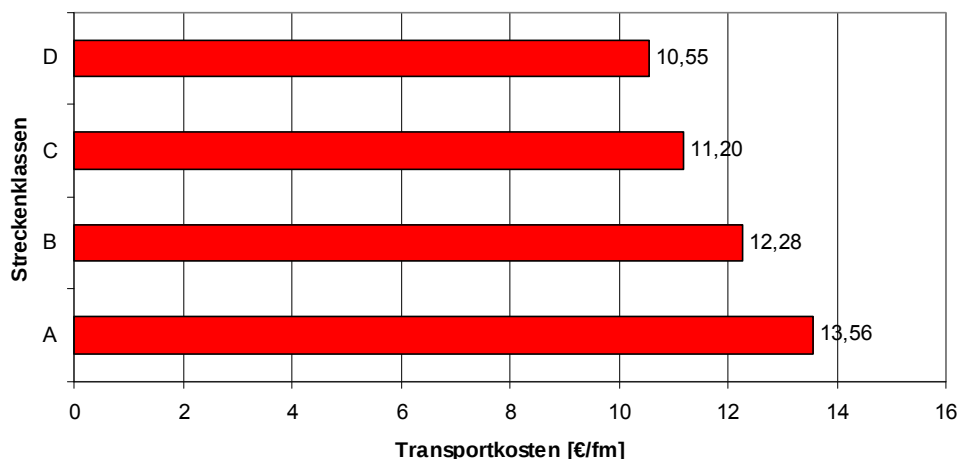


Abbildung 36: Kosten für den Transport von Nadelholz mit Rnoos-uz bei 125 km inkl. 15 km Vor-transport mit Rungen-LKW (Linko, 2006)

2.2.4 Schiffstransport

Die Binnenschifffahrt wird schwerpunktmäßig für die Beförderung von Massengütern eingesetzt, die in der Regel nicht eilbedürftig sind. Dem Vorteil der hohen Massenleistungsfähigkeit und günstiger Beförderungskosten stehen als Nachteil das vor allem in Österreich stark eingeschränkte Streckennetz und das Fehlen von Lade- und Entladestellen gegenüber (Schulte, 1999).

2.2.4.1 Fahrzeiten

Die Fahrzeiten sind von der Fließgeschwindigkeit, der Fließrichtung und der Anzahl der Schleusen abhängig. Die Fließgeschwindigkeiten wirken sich im Transport flussabwärts positiv auf die Fahrzeit und Kraftstoffverbrauch, im Transport flussaufwärts negativ aus. Die Anzahl der Schleusen ist abhängig von der Wegstrecke und dem jeweiligen Zielhafen. In Tabelle 9 sind die Fahrzeiten zu den einzelnen Häfen innerhalb Österreichs dokumentiert.

Tabelle 9: Fahrzeiten Binnenschifffahrt Österreich (www.donauschifffahrt.info, 2006)

Fahrzeit in h flussabwärts				Österreich			Fahrzeit in h flussaufwärts			
4er Verband	2er Verband	MGS 2000 t	MGS 1350 t	Entfernung/km	Hafen	Schleusen	MGS 1350 t	MGS 2000 t	2er Verband	4er Verband
				0	Linz	0				
2	2	2	2	19	Enns	1	4	2	4	4
8	7	7	7	73	Ybbs	3	12	10	12	13
10	12	12	12	133	Krems	4	20	17	20	23
14	20	20	20	211	Wien	7	32	26	32	36

Für eine Strecke, zwischen Wien und Linz, die ein LKW durchschnittlich in 2,4 Stunden zurücklegt, braucht ein Viererverband, der allerdings 280 LKW-Fuhren transportieren kann, gegen den Strom 36 Stunden plus jeweils zwei Tage für Be- und Entladung (DDSG Cargo, 2006). Fährt man die gleiche Menge mit einem LKW braucht der bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 65 km/h 739 Stunden. Dies entspricht fast 82 Arbeitstage bei einem 9-Stunden Tag.

2.2.4.2 Schiffstypen

Man unterscheidet die Schiffstypen Trockengüterschiff, Schubboot, Containerschiff und Leichter. Alle Schiffstypen können zu einem Verband zusammengeschlossen werden (Abbildung 37).

Ein Schubverband besteht aus einem Trocken-, Motorgüter- oder Containerschiff (Schiff mit eigenem Laderaum) bzw. aus einem Schubboot und einem oder mehreren antriebslosen Leichtern (engl. Barges), die mit dem Motorgüterschiff oder Schubboot starr verbunden sind. Auf der Donau herrscht die Verbandsform vor. Etwa 90% aller Transporte werden in dieser Form und nur 10 % durch einzeln fahrende Motorgüterschiffe durchgeführt.

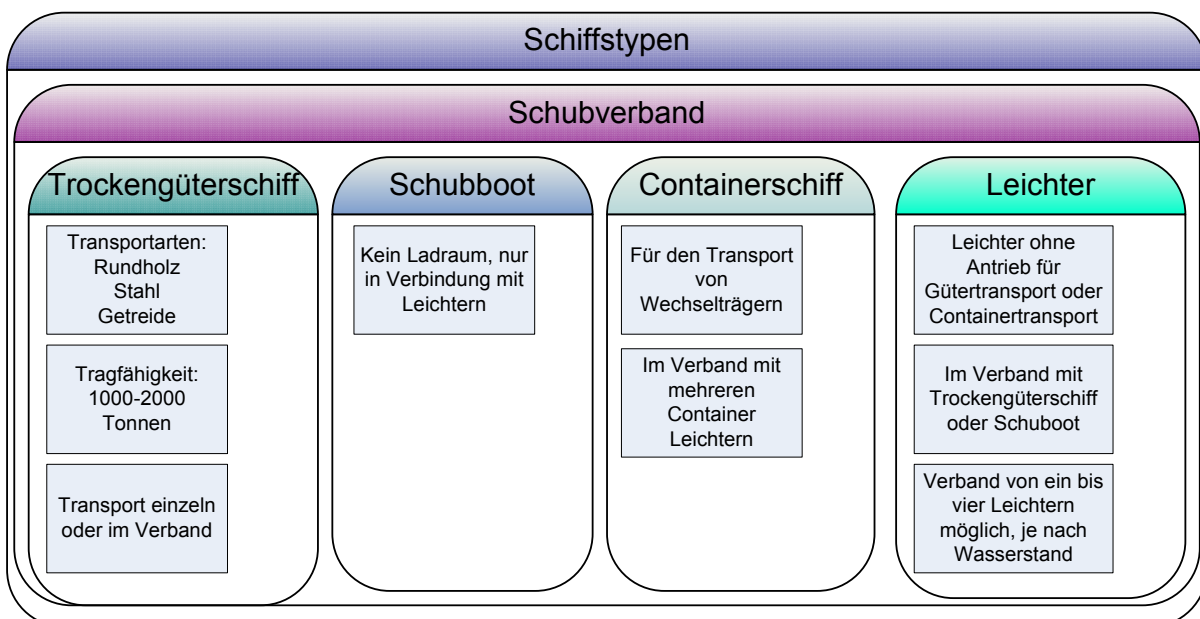


Abbildung 37: Schiffstypen der Binnenschifffahrt auf der Donau

Trockengüterschiff

Trockengüterschiffe werden universell für die Beförderung von Gütern, wie z.B. Rundholz, Stahlrollen, Getreide und Erze benutzt. Durch ihren flexiblen Einsatz wird die Zahl der Leerfahrten reduziert. Im Donaauraum gibt es etwa 100 Güterschiffe, die im internationalen Verkehr fahren. Diese Kategorie hat eine Tragfähigkeit von 1.000 – 3.000 t und wird fast ausschließlich in Schub- bzw. Koppelverbänden verwendet.

Schubboot

Als Schubboot bezeichnet man in der Binnenschifffahrt ein Schiff, welches selbst keine Ladung befördert und ein oder mehrere Schubleichter schiebt. Die großen Schubboote, die bis zu sechs Leichter befördern, sind meistens mit drei Dieselmotoren mit einer Gesamtleistung von 6.400 PS ausgerüstet.

Containerschiff

Ein Containerschiff ist für den Transport von Containern ausgelegt und so konstruiert, dass bei der Beladung mit Containern der Raum optimal genutzt wird. Die Frachtkapazität von Containerschiffen wird in TEUs (Twenty-Foot Equivalent Units) angegeben, was der Anzahl von 20-Fuß-Containern, die geladen werden können, entspricht. Containerschiffe verfügen ab einer bestimmten Größe nicht über eigenes Ladegeschirr. Der Ladevorgang kann daher nur in Häfen mit entsprechenden Containerbrücken an Containerterminals erfolgen. Als künftig ideale Kombination werden im Donaauraum Containerschubverbände mit vier Schubleichtern angesehen, die insgesamt über eine Stellplatzkapazität bis zu 576 TEU verfügen. (www.donauschifffahrt.info, 2006).

Leichter

Ein Leichter ist schwimmender Ladungsbehälter, der im Schubverband bewegt wird. Er ist ein besatzungsloses Fahrzeug und besitzt keinen echten eigenen Antrieb.

2.2.4.3 Tarife

Beim Donautransport gibt es keine fix definierten Preise pro Distanzeinheit. Die Berechnung von Durchschnittsgeschwindigkeit, Fixkosten und variablen Kosten ist aufgrund der Internationalität des Donauverkehrs schwierig. Preise werden bei der DDSG Cargo GmbH – Speditionsabteilung nur auf Anfrage berechnet.

Eine so genannte Preisindikation für den Transport von Rundholz von Wien nach Enns bzw. von Enns nach Wien, als repräsentative Streckenführung (211 km) für den Inlandverkehr, ergab flussabwärts Transportkosten in der Höhe von 14,40 € pro to und flussaufwärts 15,10 € pro to, jeweils ohne Vortransport (Tabelle 10).

Tabelle 10: Preisindikation (www.donauschifffahrt.info, 2006)

Warenart:	Rundholz für offenen Transport geeignet
Menge:	ca. 2600 to/Verladung – (Koppel- oder Schubschiffverband) wasserstandsgemäß
Relation Wien → Enns Relation Enns → Wien	€ 15,10 / t foist € 14,40 / t foist
Laden/Löschen:	jeweils 600 to / Tag
Liegegeld:	€ 2.800,- / Tag / Verband

Die Transportkosten werden aus den in der Preisindiaktion angegebenen Werten von to in FM umgerechnet. Beim Nadelholztransport ergeben sich unter Berücksichtigung des Ladevolumens unterschiedliche Transportkosten (Abbildung 38).

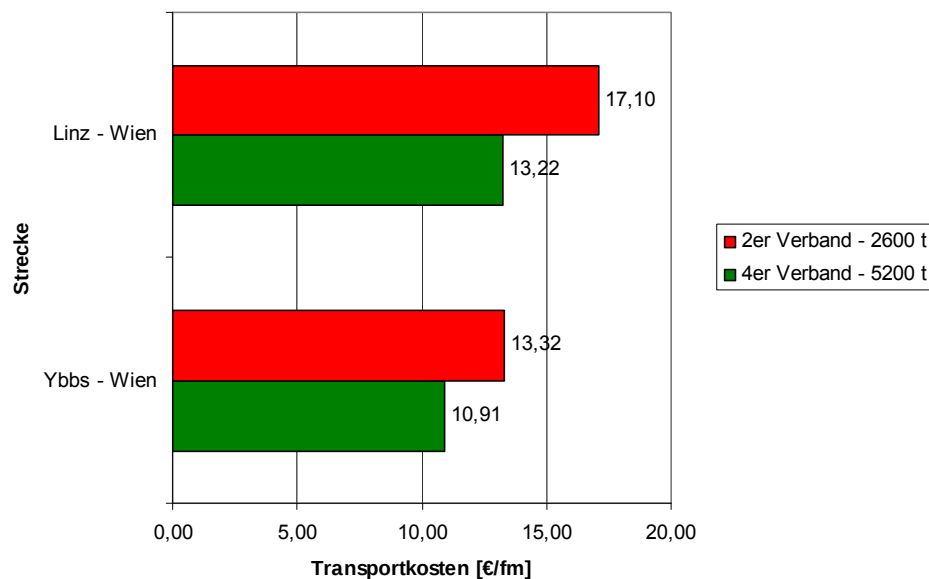


Abbildung 38: Transportkosten nach Höhe des Ladevolumens

Je höher das Ladevolumen, desto günstiger sind die Transportkosten. Für den Transport im 2er Verband von Ybbs nach Wien inklusive 15 Kilometer Vortransport ergeben sich Transportkosten in der Höhe von 13,32 € pro FM. Von Krems nach Wien betragen die Kosten 10,62 € pro FM (Abbildung 39).

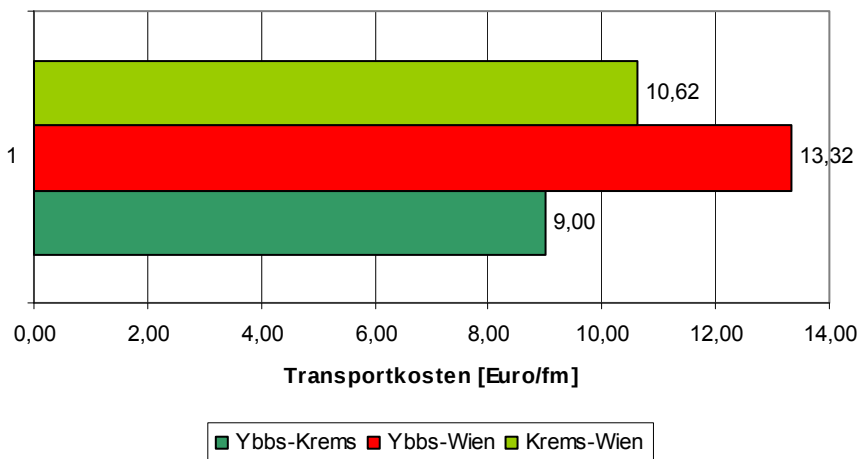


Abbildung 39: Transportkosten Ybbs – Krems – Wien inkl. Vortransport

Vergleicht man die Transportkosten von Donautransport inkl. 15 km Vortransport mit dem Rungen-LKW lassen sich beim Transport zwischen Wien und Ybbs Kostenvorteile für den Donautransport erkennen (Abbildung 40). Für den Rungen-LKW entstehen auf einer Distanz von 130 km (Ybbs – Hafen Wien) Transportkosten von 14,16 Euro pro Festmeter. Das sind 84 Cent mehr als für den vergleichbaren Transport per Schiff. Die Kosten von Krems nach Wien unterscheiden sich nicht mehr relevant. Das Schiff kann seine Vorteile also erst ab größeren Distanzen oder größeren Ladevolumina ausspielen.

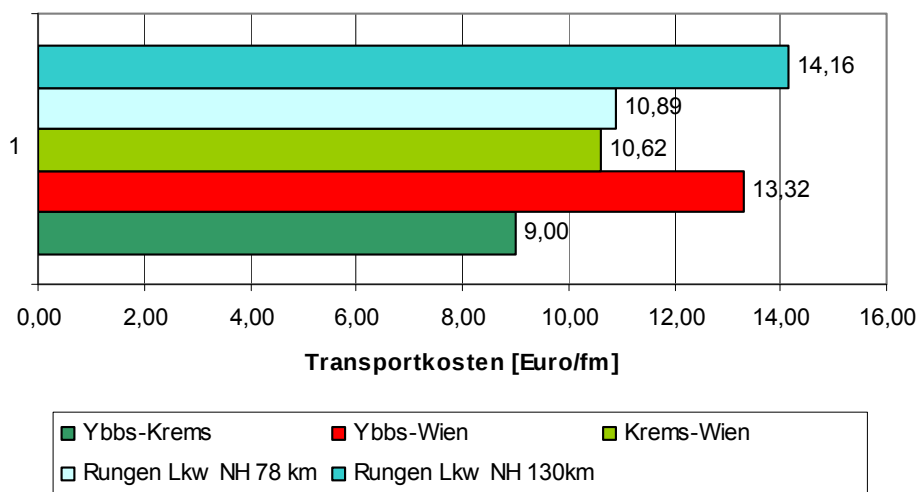


Abbildung 40 Transportkosten Schiff inkl. Vortransport und Rungen-LKW

2.2.5 Intermodaler Transport

Intermodaler Verkehr bezeichnet die Abwicklung eines Transportvorgangs mithilfe mindestens zweier unterschiedlicher Verkehrsträger. Im begleiteten intermodalen Verkehr werden beispielsweise Lastwagen inklusive Ladung mithilfe von Zügen transportiert. Im nicht begleiteten intermodalen Verkehr werden die Transporteinheiten ohne oder nur mit Behältnissen ohne Motorfahrzeuge verladen (<http://www.bmvbs.de>). Im Folgenden wird der nicht begleitende intermodale Transport mit LKW und Eisenbahn diskutiert.

Im intermodalen Transport sind schnelle und einfache Umschlagsmöglichkeiten entscheidend. Dazu ist es wichtig, dass die verwendeten Transportmittel sowohl für den Transport auf der Straße als auch auf der Schiene geeignet sind. Als Umschlagplätze sind Verladebahnhöfe oder Anschlussgleise geeignet. Der Ladevorgang variiert in Abhängigkeit von Ladevorschriften und Wagentypen.

Beim intermodalen Transport von Rundholz sind Rungen-LKW und Rungen-Wagen besonders geeignet. Beim Transport von Schüttgut können das MOBILER- und ACTS-Verfahren eingesetzt werden. Sollte sowohl Quell- als auch am Zielort ein Anschlussgleis vorhanden sein, kann auch auf spezielle, offene Wagons zurückgegriffen werden.

2.2.5.1 Umschlagstellen

Da der direkte Eisenbahntransport von Energieholz vom Erzeugungs- bis zum Verwertungsort meist nicht möglich ist, sind für die Anbindung des Vor- und Nachtransports Umschlagstellen notwendig. Als Umschlagstelle zwischen LKW- und Bahntransport fungieren private Bahnanschlussstellen oder die von den ÖBB betriebenen Bahnhöfe. Insgesamt befinden sich 216 Verladebahnhöfe im Untersuchungsraum. Der Umschlag von Rundholz ist jedoch nur an den 67 speziell ausgestatteten Holzverladebahnhöfen durchführbar. Der Umschlag von Schüttgut in MOBILER-Containern ist zusätzlich an Verladebahnhöfen möglich (Abbildung 41).

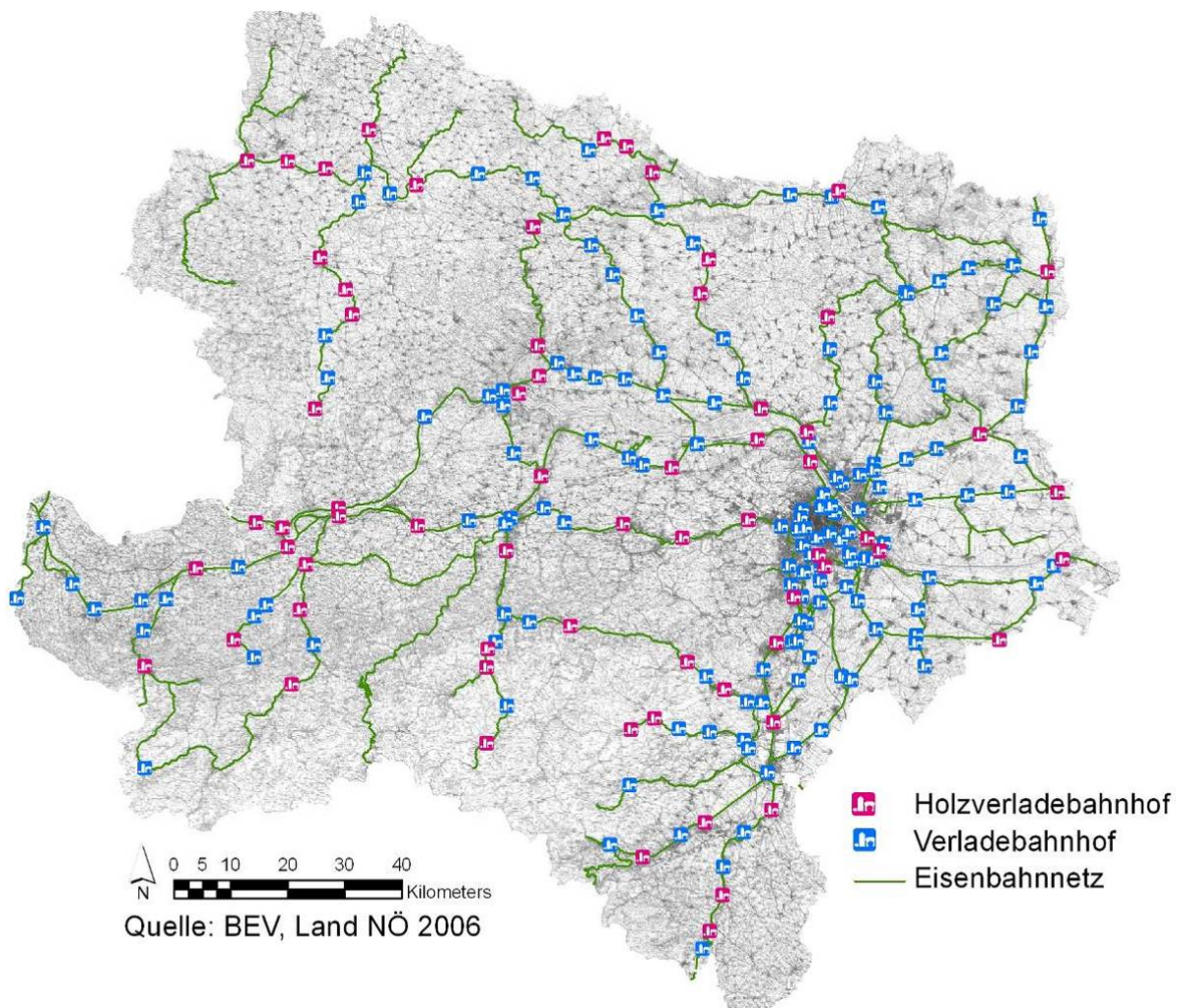


Abbildung 41: Verlade- und Holzverladebahnhöfe der Rail Cargo Austria in Wien und Niederösterreich

2.2.5.2 Transportsysteme

Abrollcontainer-Transportsystem (ACTS)

Das Abrollcontainer-Transportsystem (ACTS) kombiniert den Transport von Abrollcontainern auf Straße und Bahn. Das System ermöglicht einen schnellen Umschlag zwischen LKW und Bahn durch eine Person an jedem Lade- oder Anschlussgleis. Die Voraussetzungen für ACTS werden von fast jedem modernen LKW mit Kettengerät oder geprüftem Hakengerät erfüllt. Die Güterwagen müssen mit einem speziellen Drehrahmen ausgestattet sein (Abbildung 42). Es können Lasten bis zu einem Gesamtgewicht von 17,8 t bewegt werden.

Beim Umschlag vom LKW auf den Wagon wird der Abrollcontainer mit dem Wechselgerät vom Lastwagen auf den Drehrahmen geschoben. Der Fahrer befestigt das am Fahrgestell eingehakte Seil am Hebelarm des Drehrahmens und schwenkt den Drehrahmen mitsamt dem Abrollcontainer ein.

Beim Umschlag vom Wagon auf den LKW fährt der Fahrer rückwärts in Richtung Befestigungshaken am Drehrahmen. Dann wird das Zugseil am Befestigungshaken und am Wechselgerät eingehängt. Mit dem Zugseil und dem Wechselgerät wird der Drehrahmen samt Abrollcontainer nach außen gezogen (Abbildung 42).

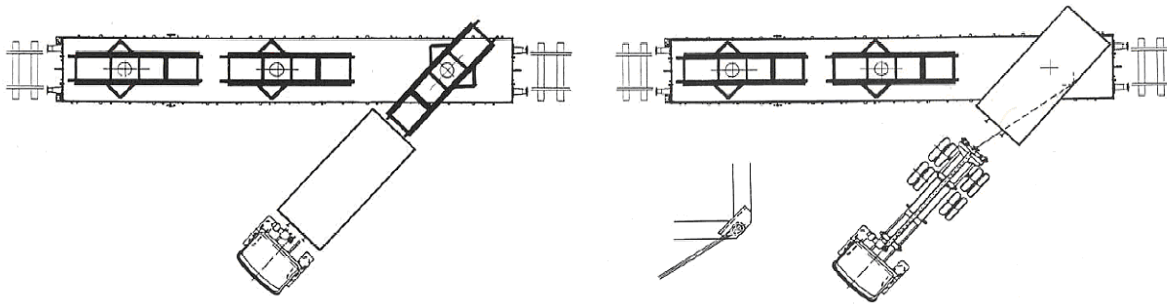


Abbildung 42: Umschlag mit dem ACT-System (<http://www.actsag.ch/ge/material/system.pdf>)

MOBILER-Technologie

Der MOBILER bietet eine dezentrale und bimodale Transporttechnologie, die den Wechsel von Containern und Wechselbrücken von LKW auf Schiene vereinfacht. Mit Hilfe einer ferngesteuerten hydraulischen Hub- und Verschiebeinrichtung kann eine Person den Umschlag bewerkstelligen (Abbildung 43). Es wird kein spezieller Verladebahnhof benötigt, lediglich eine seitliche Zufahrtsmöglichkeit, wie sie auch an einfachen Anschlussgleisen vorzufinden sind. Containertransporte sind ohne ausgewiesenen Terminal möglich. Bei kurzfristigem Bedarf kann die Kapazität der Anschlussbahn erhöht werden (Rail Cargo Austria, 2006 & Linko, 2006).

Ein MOBILER-Container hat eine Ladekapazität von 50 m³ und ein maximales Ladegewicht von 25 Tonnen. Vier Container finden auf einem achtsachsigem Waggon (z.B. Sggmrrss) Platz, was auch der Mindestmenge entspricht die im Rahmen dieses Verfahrens umgesetzt werden muss (Litschauer, 2006).



Abbildung 43: Mobiler-Technologie (www.railcargo.at)

2.2.5.3 Kostenvergleich

Beim Bahntransport werden die Kosten maßgeblich von der maximal erlaubten Lastgrenze der jeweiligen Streckenklasse beeinflusst. Ein Vergleich der Transportkosten für Rnooss-uz inkl. 15 km LKW-Vortransport zeigt, dass der Bahntransport ab einer Distanz von 50 (D), 60 (C), 90 (B) bzw. 140 (A) km billiger als der Transport mit einem Rungen-LKW wird. Je niedriger die Streckenklasse und je geringer die Zuladung, desto später rentiert sich der Umschlag auf die Bahn (Abbildung 44 - Linko, 2006).

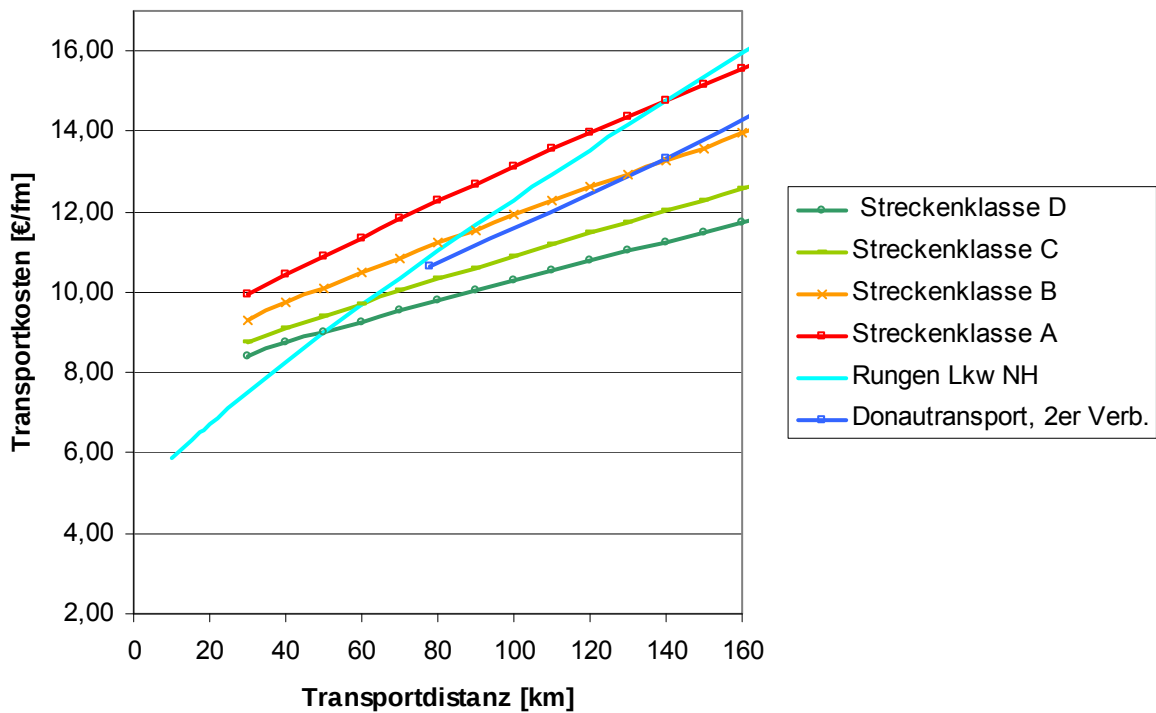


Abbildung 44: Kostenvergleich unterschiedlicher Transportsysteme

2.2.6 Transportkostenberechnungsmodell

Linko (2006) entwickelte ein vereinfachtes Transportkostenberechnungsmodell (TKBM), welches sich aus drei Teilen zusammensetzt. Der erste Teil berechnet die Stundenkosten und die Kosten pro Einheit für den LKW-Transport. Die Kalkulation der Stundenkosten im Straßenverkehr, kann an die jeweilige Situation des Frächters angepasst werden. Das heißt Fixkosten, Jahreskilometerleistung, Einsatzzeit in Stunden pro Jahr, variable Kosten wie Reparaturkosten, Reifenkosten usw. und Verbrauch, und Treibstoffpreise lassen sich individuell einsetzen. Die Stundenkosten werden automatisch zur Berechnung der Transportkosten pro Festmeter herangezogen (Abbildung 45).

Im zweiten Teil werden die Kosten pro Festmeter für den Eisenbahntransport berechnet. Das Modell berücksichtigt die ausgewählte Waggonart, das spezifische Gewicht des Holzes, die Wagenpreise für Laub- oder Nadelholz, die gewünschte Distanz, die Streckenklasse. Die niedrigste Streckenklasse der zu befahrenden Bahnstrecke gibt die erlaubte Radsatzlast bzw. das maximale Ladevolumen an. Im Programm kann die jeweilige minimale Streckenklasse eingegeben werden. Daraus resultiert das maximale Ladevolumen für den ausgewählten Waggon. Das Ladevolumen multipliziert mit dem spezifischen Gewicht der transportierten Baumart ergibt die maximale Ladevolumen in Festmeter. Dividiert man die von der Railcargo Austria angegebenen Wagenpreise durch das Ladevolumen, erhält man die Transportkosten pro Festmeter. Unter Einbezug des ersten Teils kann der Vortransport per LKW zu den Bahnkosten addiert werden. Dadurch ist es möglich die Kosten kombinierte Transportsysteme darzustellen (Abbildung 46).

Der dritte Teil behandelt die Kosten für den Donautransport. Nach Auswahl eines Vortransportoption (LKW oder Bahn), kann man aus vier verschiedenen Schiffstypen oder Verbänden mit unterschiedlichen Ladevolumina auszuwählen. Die aus der Preisindikation der DDSG Cargo und den Fahrzeiten berechneten Stundenkosten für den Donautransport werden mit den Fahrzeiten multipliziert und durch das jeweilige Ladevolumen dividiert. Addiert man den gewählten Vortransport erhält man die Transportkosten für die Binnenschifffahrt (Abbildung 47).

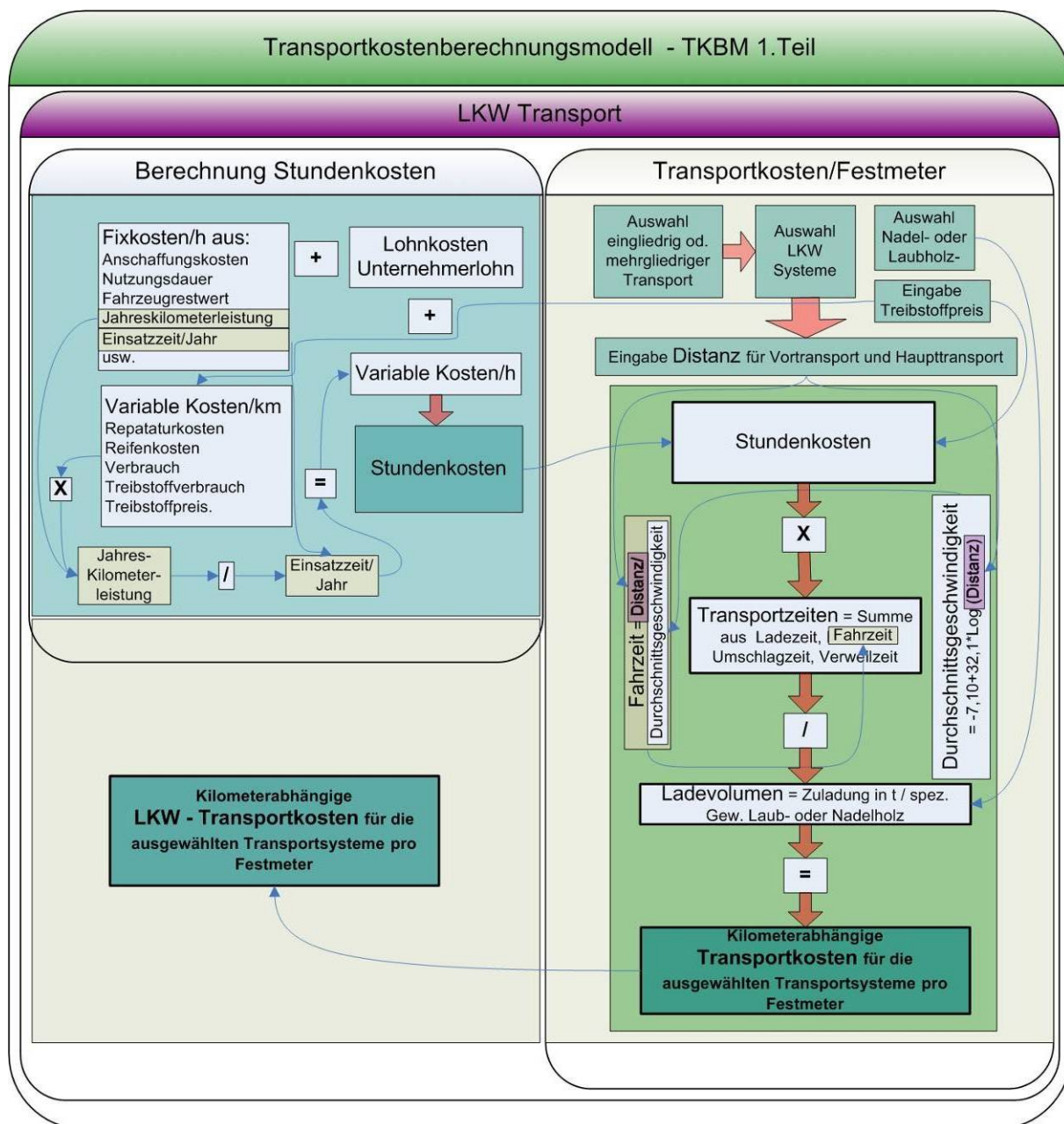


Abbildung 45: Transportkostenberechnungsmodell für den LKW-Transport (Linko, 2006)

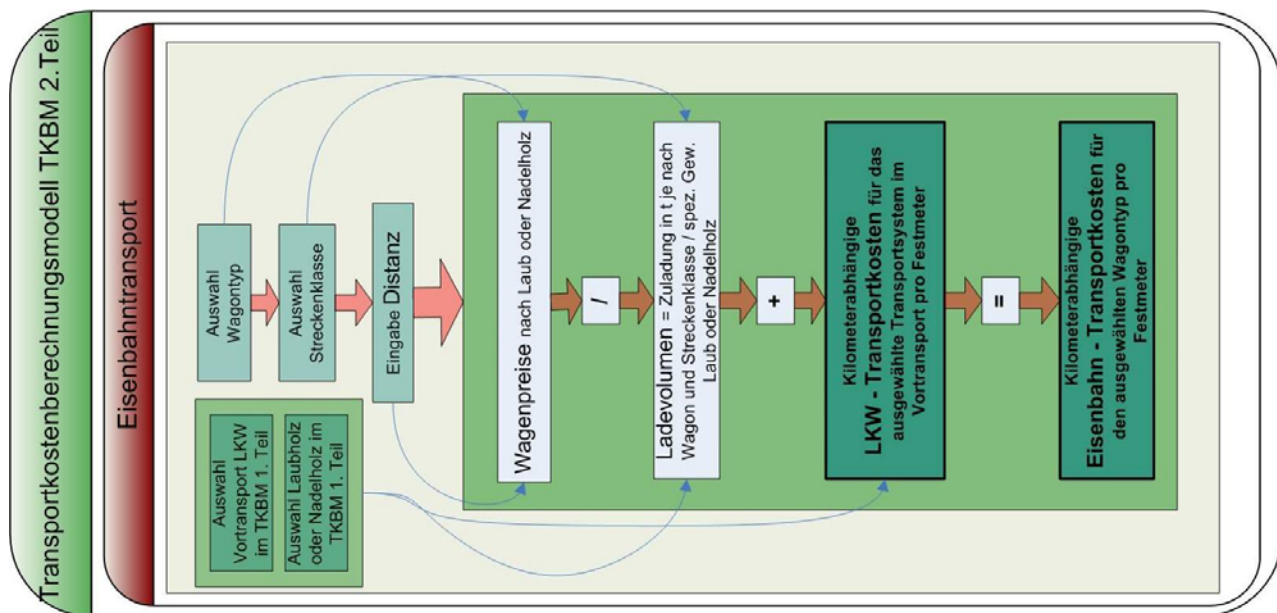


Abbildung 46: Transportkostenberechnungsmodell für den Eisenbahntransport (Linko, 2006)

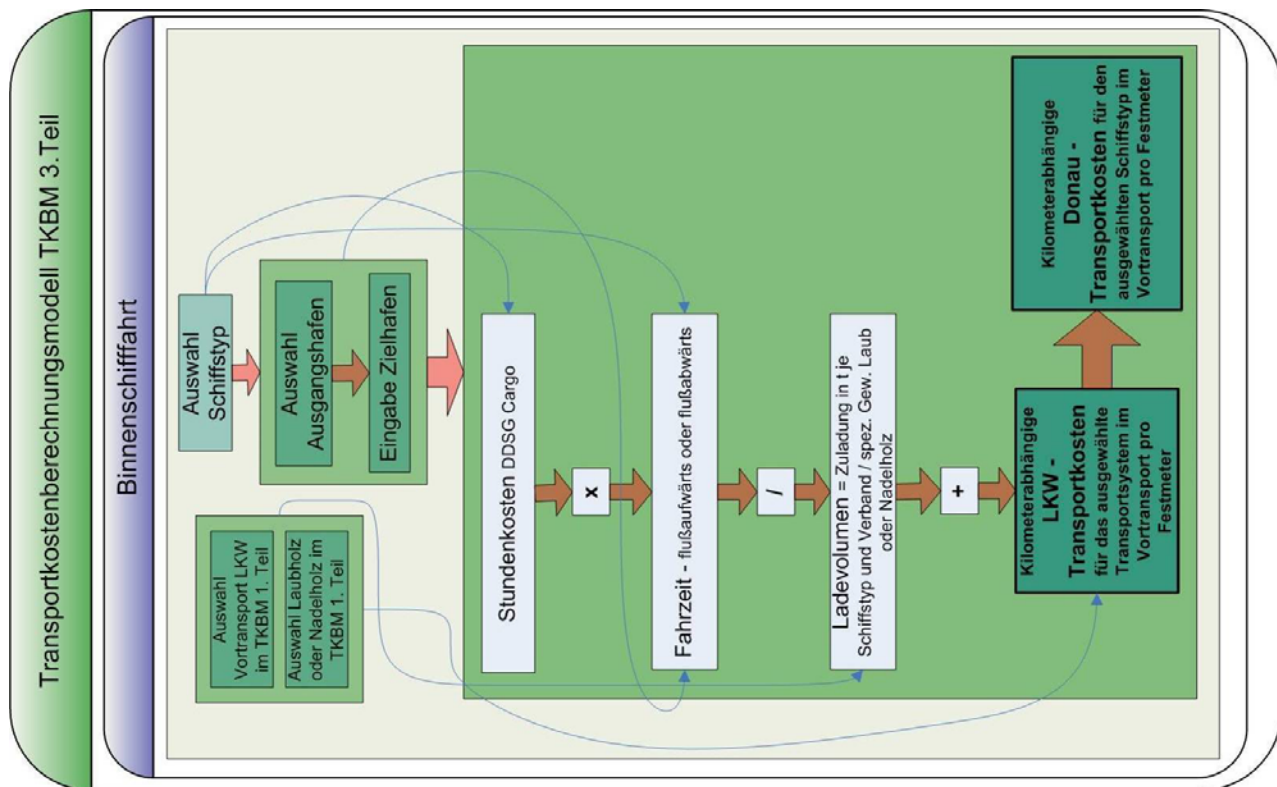


Abbildung 47: Transportkostenberechnungsmodell für den Binnenschifffahrtstransport (Linko, 2006)

2.2.6.1 Transportkosten LKW

Die Ergebnisse des Transportkostenberechnungsmodells werden am Beispiel eines LKW mit Abrollsystem, Anhänger und Wechselbrücken-Container (Euroflat) beschrieben. Unterstellt wird eine durchschnittliche Jahreslaufleistung von 85.000 km (Pretterhofer, 2006).

Zur Berechnung der Abschreibung pro Jahr, wird der nach der gewünschten Nutzungsdauer erwartete Restwert vom Anschaffungswert abgezogen und durch die Nutzungsdauer dividiert. Die Fixkosten/Jahr ergeben sich aus der Summe von Abschreibungen, Fremdkapitalzinsen, Kasko/Haftpflicht-Versicherung pro Jahr und sonstiger Kosten. Die Fixkosten je Einsatzstunde errechnen sich aus der Summe der Fixkosten/Jahr dividiert durch die Einsatzstunden pro Jahr. Die Treibstoffkosten pro Kilometer ergeben sich aus dem Produkt von Treibstoffverbrauch pro 100 km und Treibstoffkosten pro Liter dividiert durch 100.

Dividiert man die Reparaturkosten pro Jahr durch die Jahreskilometerleistung erhält man die Reparaturkosten pro Kilometer. Die Reifenkosten ergeben sich aus den Reifengarniturkosten dividiert durch die Reifenlaufleistung. Die Summe aus den Kosten pro Kilometer ergeben die variablen Kosten pro Kilometer. Die variablen Kosten pro Stunde errechnen sich aus den Variablen Kosten pro km mal der Jahreskilometerleistung durch die Einsatzzeit pro Jahr.

Tabelle 11: Kostenkalkulation LKW und Euroflat (Transportkostenberechnungsmodell)

Kostenkalkulation				
Lkw und Euroflat				
Alle Beträge ohne MWSt				
		Lkw	Anhänger	Container
Fixkosten (zeitabhängige Kosten)				
Fahrzeuganschaffungswert	€	106000,00	21000,00	12000,00
Nutzungsdauer in Jahren	a	6	8	8
Fahrzeugrestwert	€	25000,00	5000,00	200,00
Jahres. Km-Leistung	km	85000,00	85000,00	85000,00
Abschreibung pro Jahr - AfA	€	13500,00	2000,00	1475,00
Fremdkapitalzinsen 7%	€	618,33	91,88	52,50
Kasko/Haftpflicht-Vers. Pro Jahr	€	6200,00	700,00	0,00
Kfz-Steuer/Vignette	€	13220,00	0,00	0,00
Sonstige Kosten	€			
Summe Fixkosten pro Jahr	€	33538,33	2791,88	1527,50
Einsatzzeit in Stunden pro Jahr	h	2256,00	2256,00	2256,00
Fixkosten je Einsatzstunde	€/h	14,87	1,24	0,68
Variable Kosten (kilometerabhängige Kosten)				
Reparaturkosten pro Jahr	€	8400,00	1020,00	600,00
Reifengarniturkosten	€	3500,00	1000,00	
Reifenlaufleistung	km	70000,00	140000,00	
Verbrauch pro 100 km	l/100 km	38,00		
Treibstoffpreis pro Liter	€/l	1,00		
Treibstoffkosten pro km	€/km	0,38	0,00	
Reparaturkosten pro km	€/km	0,10	0,01	
Reifenkosten	€/km	0,05	0,01	
Summe variabler Kosten je km	€/km	0,53	0,02	
Variable Kosten pro Einsatzstunde	€/h	19,92	0,72	0,27
Unternehmerlohn	€/h	7,00		
Fahrerkosten pro Std. (inkl. Lohnnebenkosten)	€/h	19,49	1,96	0,94
		61,28		
Summe	€/h		65,13	

Tabelle 12: Kosten pro Einsatzstunde (Transportkostenberechnungsmodell)

Kosten pro Einsatzstunde/Lkw	
Fixkosten	14,87 €/h
variable Kosten	19,92 €/h
Fahrerkosten	19,49 €/h
Netto-Selbstkosten	54,28 €/h
Kosten pro Einsatzstunde/Anhänger	
Fixkosten	1,24 €/h
variable Kosten	0,72 €/h
Netto-Selbstkosten	1,96 €/h
Kosten pro Einsatzstunde/Container	
Fixkosten	0,68 €/h
variable Kosten	0,27 €/h
Netto-Selbstkosten	0,94 €/h
Kosten pro Einsatzstunde/Transportsystem	
Kosten Lkw	54,28 €/h
Kosten Anhänger	1,96 €/h
Kosten 2 Container	1,89 €/h
Netto-Selbstkosten	58,13 €/h
Unternehmerlohn	7,00 €/h
Summe	65,13 €/h

Die Stundenkosten variieren mit der Höhe der Fixkosten (Anschaffungskosten, Abschreibung/Jahr, Fremdkapitalzinsen, Versicherungsbeiträge), sowie der Jahreskilometerleistung, der Summe der Betriebsstunden/Jahr, der geplanten Nutzungsdauer und mit der Höhe der variablen Kosten, wie Reifen-, Reparatur und Treibstoffkosten. Die Kosten für den Fahrer betragen ca. 37 % der Stundenkosten, der Unternehmerlohn wird mit ca. 10 % kalkuliert. Die Betriebsstunden pro Jahr errechnen sich aus der gesetzlich vorgeschriebenen Lenkzeit mit grundsätzlich acht Stunden. Durch Kollektivvertrag oder Betriebsvereinbarung ist aber eine Ausdehnung auf neun Stunden, und zweimal wöchentlich bis auf zehn Stunden unter Einhaltung der vorgeschriebenen Zeitgrenzen möglich. Daraus ergeben sich 2.256 Betriebsstunden pro LKW und Jahr.

Zur Ermittlung der Anschaffungskosten wurden Kostenvoranschläge der Firmen MAN Nutzfahrzeuge Österreich, Riedler Anhänger, Hangler Fahrzeugbau, Kuhn Gruppe (Palfinger Ladekran), Kraemer Fahrzeugbau (Deutschland), Innofreight, Ahrenkiel (Schweiz) eingeholt. Als Standardmotorisierung wird beim Rungen-LKW ein MAN TGA 33.480 6x6 BB, mit drei angetriebenen Achsen, 33 to höchst zulässiges Gesamtgewicht und 480 PS, bei einem Nettopreis von 90.700 € angenommen. Die unterstellte fernverkehrtaugliche Zugmaschine beim Sattel LKW, beim Lograc und beim WoodTrailer, ist ein zweiachsiger MAN TGA 18.480 4x2 BLS mit nur einer Antriebsachse, 18 to höchstzulässiges Gesamtgewicht und ebenfalls 480 PS und kostet 78.500 €.

Für den Container Transport beim Euroflat und Kombi-Euroflat stellt die Firma Kraemer ein Gesamtangebot für den vollständigen Zug zur Verfügung. Als Standard-LKW wird ebenfalls ein MAN LKW verwendet jedoch ohne herkömmlichen Allradantrieb aber mit Hydradrive der Type TGA 26.430 6x2-2 mit 26 to höchstzulässigem Gesamtgewicht und 430 PS für ca. 80.000 €. Beim Log-Rac sind zudem die Anschaffungskosten für sechs Wechselbrücken (15.000,- €/Stk.) zu berücksichtigen.

Tabelle 13 beschreibt die Systemkosten sechs verschiedener Fahrzeugsysteme in €/h. Die Kosten variieren mit Ausnahme des Rungen-LKW zwischen 60 und 68 €/h. Der Rungen-LKW weist Kosten in der Höhe von knapp 78 €/h auf, was hauptsächlich auf den hohen Treibstoffverbrauch zurückzuführen ist.

Tabelle 13: Stundenkosten von Fahrzeugsystemen

	Rungen-LKW	Rungen-sattelzug	Sattelzug und WoodTrailer	Sattelzug und LogRac	LKW und Euroflat	LKW und Kombi-Euroflat
Fahrzeug-Anschaffungswert [€]	196.000	118.400	119.000	208.900	151.000	175.000
Jahres. Km-Leistung [km/a]	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000	85.000
Einsatzzeit [h/a]	2.256	2.256	2.256	2.256	2.256	2.256
Verbrauch [l/100km]	62	36	36	36	38	38
Stundenkosten [€/h]	77,64	60,70	60,98	68,45	65,13	66,67

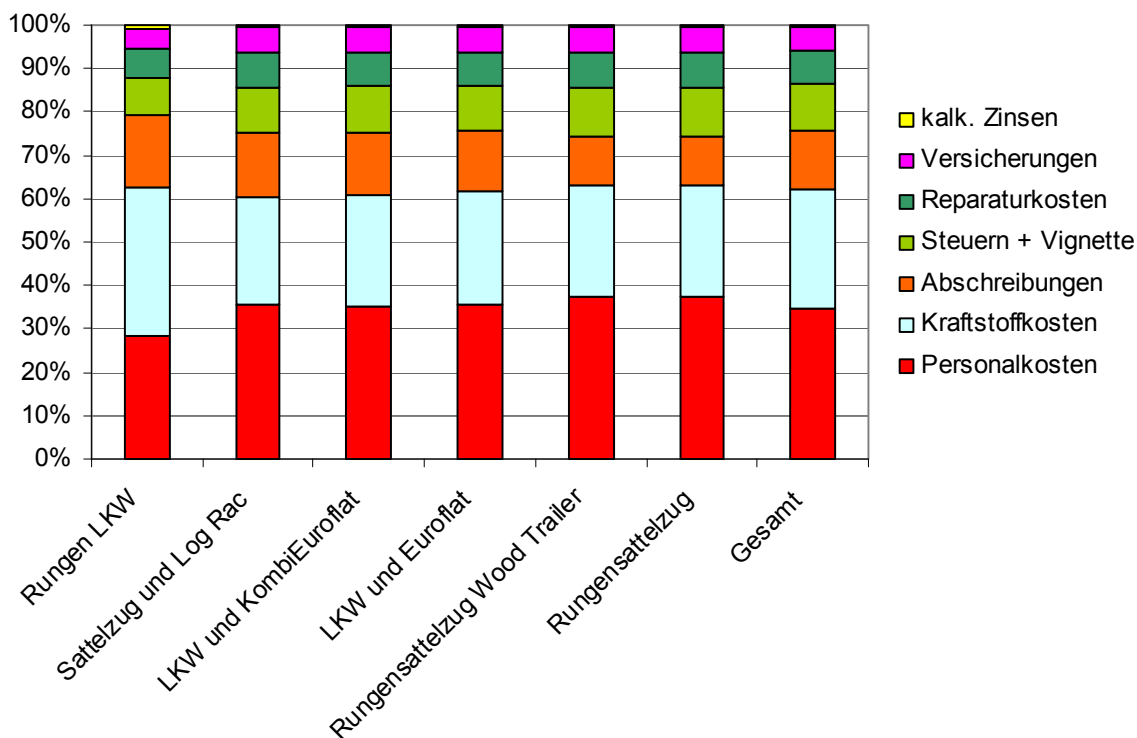


Abbildung 48: Kostenanteile je Transportsystem

Der Anteil der Treibstoffkosten für den Rungen-LKW ist deshalb höher, weil dieser mehr auf den Forststraßen unterwegs ist. Auf Forststraßen ist die Durchschnittsgeschwindigkeit geringer und der Anteil an Steigungen höher. Zusätzlich wirken sich das Allradssystem und die schwere Ausführung negativ auf den Verbrauch aus (Pretterhofer, 2006) (Abbildung 48).

2.2.6.2 Kostenvergleich

Um die einzelnen Systeme im LKW-, Bahn- und Schifffahrtssektor miteinander vergleichen zu können, werden die Kosten in Euro/to bzw. Euro/FM in Abhängigkeit von der Wegstrecke dargestellt. Nadel- und Laubholztransporte werden aufgrund Ihrer unterschiedlichen Dichten und daher unterschiedlicher Ladevolumina unterschieden.

Zur Schätzung der Durchschnittsgeschwindigkeit und damit der Fahrzeiten wird das von Friedl et al. (2004) in Anlehnung an das von Asikainen (1995) entwickelte Modell zur Vorhersage der mittleren Fahrgeschwindigkeit von Rungen-LKW in Abhängigkeit der Transportdistanz verwendet.

$$(1) v = -7,10 + 32,1 * \log(TD_{ww})$$

vDurchschnittsgeschwindigkeit Wald – Werk [km/h]

TD_{ww}Transportdistanz Wald – Werk [km]

Über die Durchschnittsgeschwindigkeit lässt sich die Fahrzeit vom Wald zum Werk (Lastfahrt) berechnen.

$$(2) \text{Transportkosten} / FM = \frac{\text{Transportzeit} * \text{Stundensatz}}{\text{Ladevolumen}}$$

Die Transportzeit ist die Summe der Lade- und Verweilzeiten im Wald, am Umschlagplatz und im Werk plus die Fahrzeit aus Lastfahrt und Leerfahrt. Bei den Lade-, Umschlag- und Verweilzeiten wurde auf Zeitstudien von Friedl et al. (2004) zurückgegriffen.

Die Fahrzeit ergibt sich aus der zurückgelegten Strecke dividiert durch die dafür ermittelte Durchschnittsgeschwindigkeit. Friedl et al. (2004) gehen auf den Unterschied in den Durchschnittsgeschwindigkeiten bei Leerfahrt zu den Durchschnittsgeschwindigkeiten bei Lastfahrt nicht ein. Für die Berechnung bzw. zur Minimierung der Transportkosten könnte dieser Unterschied wichtig sein.

Die Fahrzeit für die Rückfahrt wurde deshalb nach der von Asikainen (1995) aufgestellten Funktion für leere Rückfahrten, deren Durchschnittsgeschwindigkeiten in seinen Studien signifikant höher waren, ermittelt.

Dazu wurde angenommen, dass die Unterschiede zwischen Leerfahrt und Lastfahrt bei Friedl et al. (2004) der gleichen Differenz unterliegen wie bei Asikainen (1995). Die prozentuellen Differenzen der beiden Modelle von Asikainen (1995) wurden berechnet. Diese zeitlichen Differenzen wurden von den nach Friedl et al. (2004) berechneten Fahrzeiten für Lastfahrten abgezogen, und ergeben damit die Fahrzeiten bei Leerfahrt.

Beim LogRac wurde die Fahrzeit anders kalkuliert, da fünf leere Rückfahrten entfallen, weil gleich sechs LogRac mit einer Fuhre zum Lagerplatz transportiert werden können. Dadurch besteht für den Sattelzug die Möglichkeit am Rückweg andere Transporte durchzuführen. Die Fahrzeit für die „leere“ Fahrt (mit sechs Brücken) wurde daher durch sechs geteilt und zur Wald – Werk Fahrzeit addiert. Die Kosten für den Vortransport bis zum Umschlagplatz ergeben sich aus den Transportkosten für den Rungen-LKW mit der einzusetzenden Distanz zum Umschlagplatz. Diese distanzabhängigen Kosten für den Vortransport werden zu den Transportkosten all jener Systeme addiert, die zusätzlich ein forststraßentaugliches Fahrzeug benötigen.

Für die Aufenthaltsdauer im Wald wird das Ergebnis von Friedl et al. (2004) von durchschnittlich 1h und 14 min herangezogen. Die mittlere Verweilzeit im Werk wurde nach Friedl et al. (2004) mit durchschnittlich 28 min angenommen. Warten allerdings fünf LKW im Werk auf die Annahme steigt die Verweilzeit um das Doppelte an. Zum Umladen am Umschlagplatz wird beim herkömmlichen Umschlag mit Rungen-LKW der gleiche Zeitaufwand wie im Werk veranschlagt.

Die Ladezeiten für Wechselbrücken und Abrollcontainer bis der LKW Zug abfahrbereit ist, variieren nur gering zur herkömmlichen Beladung mit dem Ladekran und werden ebenfalls mit durchschnittlich 28 min angenommen (Fenz und Stampfer, 2005).

Um die einzelnen Varianten nach Ihren Transportkosten beurteilen zu können wird das bei uns häufigste System, der Rundholz LKW als Referenz herangezogen und die Schnittstellen mit den

wichtigsten Transportsystemen berechnet. Die Kosten werden aus Gründen der Vergleichbarkeit für Nadelholztransport mit einer Dichte für Fichte waldfrisch von 0,75 to/m³ kalkuliert.

Rungen-LKW und Rungensattelzug

Die Transportkostenkurve des Rungen-LKW ist aufgrund seiner niedrigeren Zuladung, der höheren Anschaffungskosten und der höheren variablen Kosten steiler als die des Rungensattelzugs. Durch den nötigen Vortransport sind die Kosten des Sattelzugs um mehr als zwei Euro höher als die des Rungen-LKW. Erst bei einer Transportdistanz von 160 km schneiden sich beide Kurven und die Vorteile des Rungensattelzugs kommen zur Wirkung (Abbildung 49).

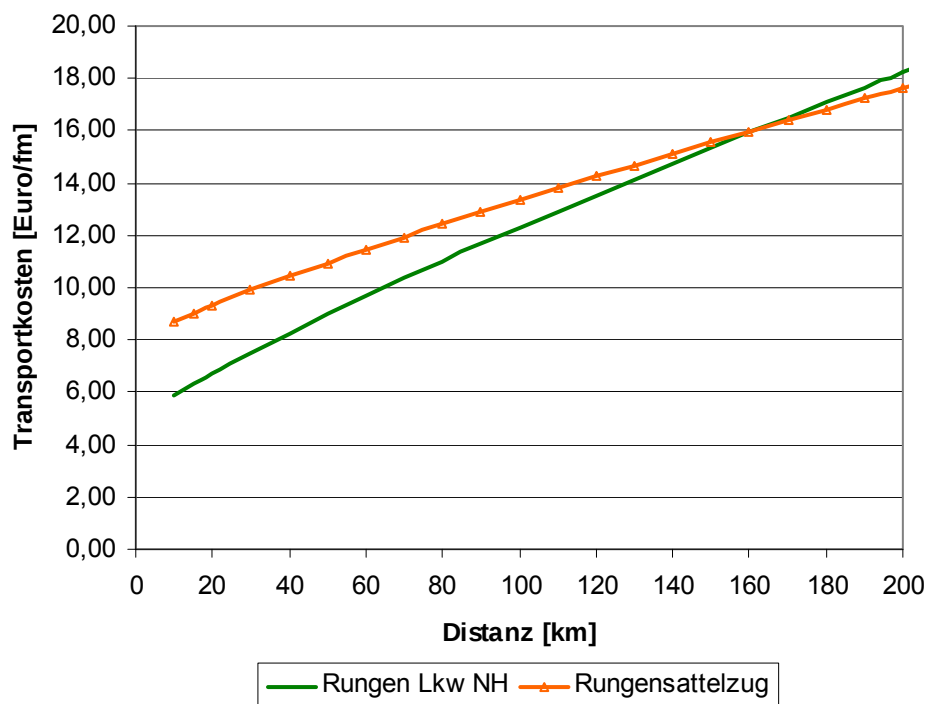


Abbildung 49: Transportkostenvergleich von Rungen-LKW und Rungensattelzug

Rungen-LKW, Wood Trailer und Rungensattelzug

Unter idealen Verhältnissen kann die Leerfahrt beim System der Firma Innofreight vermieden werden, da dieses mit klappbaren Rungen arbeitet. Zurzeit ist dieses System nicht für den Transport von 44 Tonnen zugelassen bzw. ist eine den gesetzlichen Vorschriften entsprechende technische Lösung nicht lieferbar. Die Schnittpunkt der Transportkosten von Rungen-LKW und WoodTrailer liegt bei einer Distanz von circa 120 km. Der WoodTrailer ist zwar anfangs, aufgrund seiner geringeren Zuladung teurer als der Rungensattelzug, kann diesen Nachteil aber ab einer Distanz von 60 km, wegen der Möglichkeit der Vermeidung von Leerfahrten kompensieren (Abbildung 50).

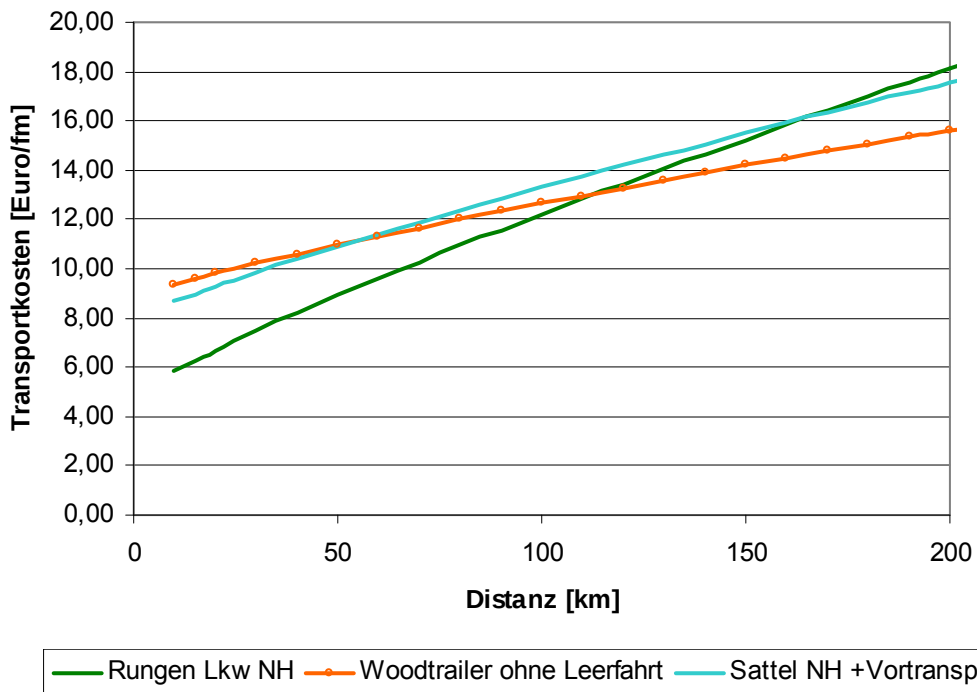


Abbildung 50: Transportkosten Rungen-LKW – WoodTrailer - Rungensattelzug

Rungen-LKW, LogRac, Euroflat und KombiEuroflat

In diesem Fall werden die optimalsten Einsatzbedingungen des jeweiligen Transportsystems angenommen. Auffällig ist hier der sehr günstige Transport mit dem Kombi-Euroflat und Euroflat. Hier bestehen die Möglichkeit der Direktbeladung, und dadurch die Vermeidung der Vortransportkosten und der Kosten für die Leerfahrt. Bei gleichzeitigem, im Vergleich zum Rungen-LKW, geringeren Anschaffungskosten und einer höheren Zuladung, ist das System Kombi-Euroflat die günstigste Transportmöglichkeit (Abbildung 51).

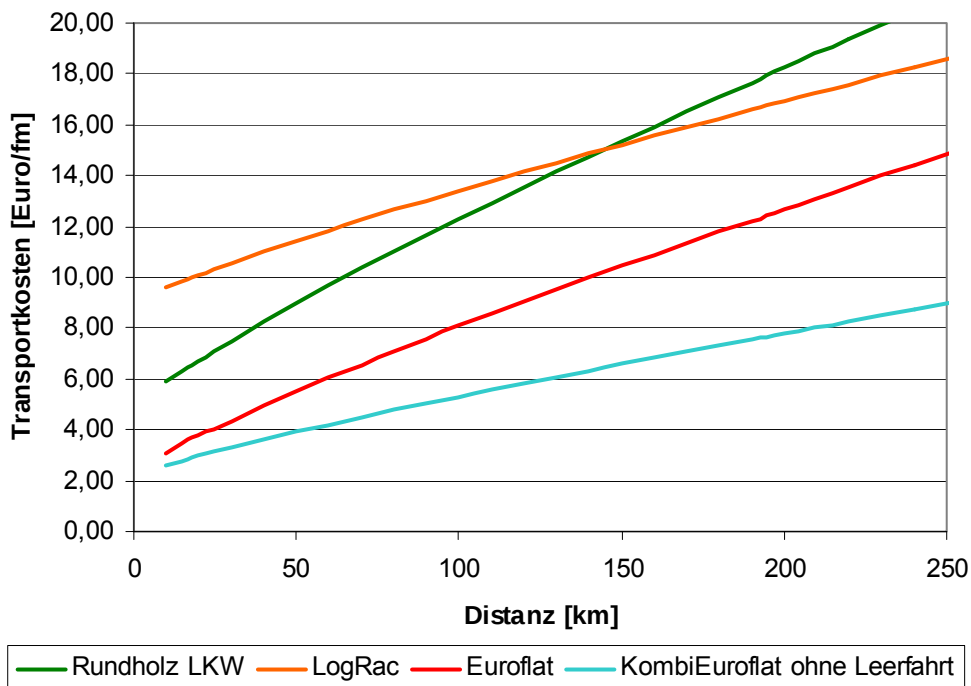


Abbildung 51: Transportkosten Rungen-LKW – LogRac- Euroflat – Kombi-Euroflat

Der Rungen-LKW hat die steilste Transportkostenkurve und ist bis Kilometer 120 nach dem Kombi-Euroflat und Euroflat mit Direktbeladung die günstigste Variante des Rundholztransports. Bei

einer Distanz von 150 km schneidet auch das LogRac die Rungen-LKW Kurve, noch vor dem Rungensattelaufleger (160 km).

Der Rungen-LKW ist neben dem Euroflat und Kombi-Euroflat bei Direktbeladung, trotz der nicht vermeidbaren Leerfahrten, der geringeren Zuladung und der höheren Fix- und variablen Kosten bis zu einer Distanz von 120 km das günstigste Transportsystem im Straßenverkehr. Grund ist der Wegfall des Vortransports, der die Kosten- und die Systemvorteile der anderen Modelle schnell relativiert und erst ab einer Distanz von 120-150 km zum Tragen kommen lässt. Dem eingliedrigen Transport muss daher der Vorzug gegeben werden.

2.3 Zwischenlagerung

Die Bereitstellung von Waldhackgut zum Zwecke der energetischen Nutzung in Heizkraftwerken wird erst seit wenigen Jahren durchgeführt. Dementsprechend wenige Erfahrungen gibt es in diesem Bereich. Eine Zwischenlagerung von Waldhackgut wurde bisher aus Gründen der fehlenden technischen Voraussetzungen und der zu erwartenden Mehrkosten bei Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes nicht durchgeführt.

Durch eine Optimierung des Ablaufes der Bereitstellung, der Nutzung von Synergieeffekten und eine steigende Nachfrage, haben sich in letzter Zeit die Rahmenbedingungen für die Zwischenlagerung von Energieholz verbessert. So wurden in den letzten beiden Jahren in Österreich zahlreiche Standorte zur Zwischenlagerung von Energieholz, wie zum Beispiel in Waldstein, Scheiblingkirchen, Weer, Dornbirn, Grosses Walsertal, Fürstenfeld, Deutschfeistritz errichtet.

2006 wurde der „Biomassehof Schneebergland“ in Scheiblingkirchen/Witzelsberg im Pittental mit Unterstützung des Landes Niederösterreich gebaut. Dieser Biomassehof fasst rund 2.000 Schütt-raummeter Waldhackgut und ist als Reservelager sowie für den freien Markt als Abhollager vorgesehen (www.hackgutboerse.at). Der derzeit größte Lagerplatz für Energieholz wird von den Österreichischen Bundesforsten betrieben und befindet sich am Albernern Hafen. Der Hackplatz dient der Versorgung des Biomasse-Kraftwerkes Wien Simmering.

Im Mai 2007 wurde in Dornbirn eine Hackgutlagerhalle der „Biomasseerzeugung Dornbirn GmbH“, ausgelegt auf einen Jahresumschlag von 10.000 SRM, eingeweiht. Das Hallenkonzept bzw. die Hallenförderung des Landes Vorarlberg hat zum Ziel, eine landesweite Versorgung mit hochwertigen Hackschnitzeln aufzubauen. Damit soll der ständig steigende Bedarf an Hackschnitzeln durch eine entsprechende Infrastruktur gedeckt werden. Durch die gemeinschaftliche Nutzung und der Begrenzung der Anzahl der Hallen pro Region werden größere und damit konkurrenzfähigere Einheiten geschaffen. Die Halle in Dornbirn soll einen größtmöglichen Umschlag und Flexibilität bei geringstem Flächenverbrauch und günstigen Baukosten erbringen (Ölz, 2007).

2.3.1 Rechtliche Bestimmungen

Für die Errichtung und den Betrieb eines Energieholzlagerplatzes sind vor allem folgende rechtliche Bestimmungen zu beachten:

2.3.1.1 Gewerbeordnung

Laut Gewerbeordnung 1994 (BGBl. Nr. 194/1994) dürfen gewerbliche Betriebsanlagen nur mit einer Genehmigung der Behörde errichtet und betrieben werden, wenn sie wegen ihrer Betriebsweise, wegen ihrer Ausstattung oder sonst geeignet sind, unter anderem

- das Leben oder die Gesundheit von Menschen, Eigentum oder sonstige dingliche Rechte von Nachbarn zu gefährden
- die Nachbarn durch Geruch, Lärm, Rauch, Staub, Erschütterung oder in anderer Weise zu belästigen
- eine nachteilige Einwirkung auf die Beschaffenheit von Gewässern herbeizuführen.

2.3.1.2 Baurecht

Bei der Errichtung von gewerblich zu nutzenden Gebäuden prüft die Baubehörde (Bürgermeister bzw. gemäß der NÖ Bau-Übertragungsverordnung, LGBl. Nr. 1090/2, die Bezirkshauptmannschaft) die Zulässigkeit des Vorhabens in baurechtlicher Hinsicht und im Hinblick auf die im Flächenwidmungsplan festgelegte Widmung.

2.3.1.3 Wasserrecht

Werden Gewässer (Grundwasser, Vorfluter) oder Kanalisationsanlagen in ihrer Beschaffenheit bzw. in ihrer Funktionsfähigkeit wesentlich beeinträchtigt, z.B. durch Wasserentnahme, Einleitung von Abwässern, Ablagerung von Abfällen, so ist um gesonderte wasserrechtliche Bewilligung bei der Wasserrechtsbehörde (Bezirkshauptmannschaft/Magistrat oder Amt der Landesregierung) anzusuchen. Einige Bewilligungen (abhängig von Art und Menge des einzuleitenden Abwassers) werden nach der Gewerbeordnung von der Gewerberechtsbehörde im Rahmen des Betriebsanlagengenehmigungsverfahrens erteilt.

Bei der Lagerung von Rundholz mit Rinde ist mit keinem nennenswerten organischen Austrag bzw. Abschwemmungen zu rechnen, eine besondere Gefährdung des Grundwassers ist daher auszuschließen. Nachfolgende Maßnahmen sollten beachtet werden (Konheisner, 2006):

- Bei der Lagerung auf asphaltierter Fläche sollte eine großflächige Versickerung der Regenwässer in humusierten Mulden oder humusierten Bodenfilteranlagen erfolgen. Bei einer Einleitung in einen Vorfluter ist auf einen gesicherten Rückhalt der Feststoffe zu achten. Bei Einleitungen in kleine Vorfluter wären zusätzlich Bodenfilteranlagen notwendig.
- Bei einer Lagerung auf z.B. stabilisierten Tragschichten findet eine Versickerung großflächig statt. Aufgrund der geringen Belastung sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich. Ausgenommen davon sind Lagerungen in Grundwasserschon- und -schutzgebieten. In diesen Gebieten darf eine Lagerung nicht auf solchen Flächen stattfinden. Eine Lagerung auf humusierten Flächen bzw. dem natürlichen Waldboden ist in diesem Fall (oder auch außerhalb solcher Schutzgebiete) möglich.

Bei Hackgut ist grundsätzlich mit einem größeren Austrag an organischem Material zu rechnen, das bei einer Versickerung das Grundwasser bzw. bei einer Einleitung in einen Vorfluter diesen belastet. Eine unkontrollierte Versickerung dieser Regenwässer ist somit nicht möglich, eine Lagerung auf befestigter Fläche ist daher erforderlich. Eine Ableitung der Regenwässer von diesen Flächen ist daher über eine Reinigungsanlage (Bodenfilterkörper) erforderlich. Nach dieser Reinigung ist anschließend eine großflächige Versickerung oder Einleitung in einen Vorfluter möglich.

2.3.1.4 Naturschutzrecht

Laut § 7 des Niederösterreichischen Naturschutzgesetzes (LGBl. Nr. 5500) bedürfen alle Lagerplätze außerhalb von Siedlungsgebieten einer naturschutzrechtlichen Bewilligung. Diese ist bei der Bezirksverwaltungsbehörde oder fallweise beim Amt der Landesregierung einzuholen.

2.3.1.5 Forstrecht

Bei der Rodung von Waldflächen ist die erforderliche forstrechtliche Bewilligung bei der Bezirkshauptmannschaft bzw. beim Magistrat einzuholen (§ 17, Forstgesetz 1975; BGBl. Nr. 440/1975). Ein Befall des lagernden Holzes mit Forstschädlingen ist zu verhindern. Befallenes Holz, das bekämpfungstechnisch nicht behandelt wurde, ist unverzüglich außerhalb des Waldes zu bringen. Am Lagerplatz ist befallenes Holz derart zu behandeln, dass eine gefahrdrohende Vermehrung oder Verbreitung der Forstschädlinge ausgeschlossen ist (§ 4, Forstschutzverordnung, BGBl. II Nr. 19/2003).

2.3.1.6 Verkehrs- und Straßenrecht

vgl. www.help.gv.at, 2006

Bei möglichen Gefährdungen oder Behinderungen im Straßenverkehr sind zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Eine Zufahrt kann nur bewilligt werden, wenn der geplante Standort der Betriebsanlage nicht in einer Schutzzone der Straße liegt.

2.3.1.7 Eisenbahnrecht

vgl. www.help.gv.at, 2006

Im Anschluss an Bahnlinien befindet sich ebenfalls ein geschützter Bereich. Wird ein Gleisanschluss geplant, sollte vor Beginn Kontakt mit der Eisenbahnbehörde aufgenommen werden.

2.3.2 Lagerungsvarianten (nach Golser et al., 2005)

Biomasse kann als Baum, als Rundholz oder als Waldhackgut gelagert werden. Welche Variante bevorzugt wird, hängt vor allem von den standörtlichen Gegebenheiten sowie der entstehenden Kosten ab. Bei allen Varianten können im Laufe der Lagerung Trockensubstanzverluste durch Abbauprozesse und gesundheitliche Gefährdungen durch Schimmelpilze entstehen, welche je nach Art der Lagerung in unterschiedlichen Intensitäten auftreten.

Infolge von Pilzwachstum und der Aktivität von Mikroorganismen kommt es zu einer Erwärmung und Abbau der Biomasse, das heißt zu Verlusten an brennbarer organischer Substanz. Eine Minimierung solcher Verluste durch biologische Aktivität ist durch Senkung des Wassergehaltes, Vermeidung von Nadeln und Blättern, kurze Lagerdauer, Niederschlagsschutz, gute Durchlüftung, optimale Schütthöhe, grobe Materialstruktur und aktive Trocknung möglich. Als Trocknungsverluste sind Werte gemäß Tabelle 14 einzukalkulieren (Golser et al., 2005):

Tabelle 14: Jährliche Trockenmassenverluste bei der Holzlagerung in Haufen im Freien

Material/Lagerart	Verlust (% TM/a)
feines Waldhackgut, frisch, unabgedeckt	20 bis >35
feines Waldhackgut, getrocknet, abgedeckt	2 bis 4
grobstückiges Waldhackgut (7 bis 15 cm), frisch, abgedeckt	4
Rinde, frisch, unabgedeckt	15 bis 22
Holzstangen (Fichte, Kiefer), frisch, unabgedeckt	1 bis 3
junge Bäume (Pappel, Weiden), frisch, unabgedeckt	6 bis 15

Das Trocknungsverhalten hängt von Jahreszeit ab. Dies kann auf die unterschiedlichen Wassergehalte im Holz zwischen der Saft- und der Ruhezeit sowie auf jahreszeitlich stark unterschiedliche Wassersättigungsraten der Luft zurückgeführt werden.

2.3.2.1 Freilandlagerung von Bäumen

Bei der Freilandlagerung kann innerhalb weniger Monate eine Reduktion des Wassergehaltes von bis zu 30 % erreicht werden. Ein Problem ist die phytosanitäre Gefahr, die durch die Lagerung von Nadelbäumen im Wald entsteht. Zur Bekämpfung des Buchdrückers sollte wintergeschlägertes Holz bis spätestens Mitte Mai aus dem Wald entfernt werden (Schwertfeger, 1981). Ungehackte Bäume haben das dreifache Volumen des gehackten Materials. Gegenüber gepoltertem Rundholz besteht für Bäume etwa drei- bis fünffacher Platzbedarf. Bei großen Haufen, vor allem bei Nadelholz und Astmaterial, stellt die Durchlüftung ein Problem dar. Blätter und Nadeln nehmen bei Regen sehr viel Wasser auf. Das Hacken von Bäumen führt, aufgrund stärkerer Verunreinigung, zu einem höheren Maschinenverschleiß.



Abbildung 52: Freilandlagerung von Bäumen

2.3.2.2 Freilandlagerung von Rundholz in Poltern

Die Lagerung von Rundholz kann unter günstigen Wetterbedingungen und bei Einbau von Querlagen sehr gute Trocknungsergebnisse liefern. Wassergehalte von unter 25 % können innerhalb einer Sommersaison erzielt werden. Bodenfreiheit ist sehr wichtig für einen günstigen Trocknungserfolg. Ein geeigneter Standort (windige und sonnige Lage) stellt eine wichtige Voraussetzung für eine Trocknung dar. Gute Ergebnisse wurden mit Fichten und Pappeln erzielt. Bei der Lagerung von Nadelholz sollte die phytosanitäre Gefahr berücksichtigt werden. Eine Trocknung des Materials vor dem Hacken sollte bevorzugt werden.



Abbildung 53: Freilandlagerung von Rundholz in Poltern

2.3.2.3 Freilandlagerung von Waldhackgut

Bei der Lagerung von Waldhackgut im Freien nützt neben der durch die Sonne hervorgerufenen Konvektion auch die Selbsterwärmung durch Mikroorganismen um eine Trocknung des Gutes herbeizuführen. Die biologischen Abbauprozesse, welche zur Selbsterwärmung führen, resultieren natürlich in Substanzverlusten. Die Trocknungserfolge sind schwer vorhersehbar. Der Wassergehalt von frischem Holz kann innerhalb von drei Monaten auf 25 % sinken, unter ungünstigen Bedingungen kann der Wassergehalt auch steigen. Neben starker Verpilzung bilden sich meist auch Zonen mit sehr unterschiedlichen Wassergehalten, hervorgerufen durch Kondensationsprozesse während der Lagerung. Pilzsporen können gesundheitliche Belastungen hervorrufen. Sehr hohe verdichtete Haufen können sich durch die Wärmeentwicklung selber entzünden.



Abbildung 54: Hackgutlagerung im Freien

2.3.2.4 Überdachte Lagerung von Waldhackgut

In überdachten, dreiseitig geschlossenen Lagerhallen mit einer allseits guten Durchlüftung kann frisches Hackgut in circa zwei Monaten auf einen Wassergehalt von unter 25 % getrocknet werden. Bereits vorgetrocknetes Holz ist vor den Gefahren einer Wiederbefeuchtung geschützt.



Abbildung 55: Überdachte Lagerung von Waldhackgut

2.3.2.5 Variantenvergleich

Kleinere Mengen an Energieholz werden als Bäume oder Rundholz gelagert, gehackt und zum Heizwerk geliefert oder als Waldhackgut im Freien gelagert und nach Bedarf entnommen.

Bei der Umsetzung größerer Mengen ist eine Lagerung in Form von Rundholz in Poltern und als Waldhackgut (Sicherheitsbestand) in überdachten Hallen empfehlenswert.

Bei geringem Gesamtumschlag ist die erste Variante gegenüber der zweiten zu bevorzugen. Ob und ab welchen Mengen und Transportentfernungen die zweite Variante Vorteile aufweist wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels bewertet. Tabelle 15 vergleicht die beiden beschriebenen Lagerungsvarianten.

Tabelle 15: Vergleich von Lagerungsvarianten (nach Golser et al., 2005 & v. Webenau et al., 2000)

Baum/Rundholz - Waldhackgut im Freien	Rundholz - Waldhackgut in Halle
Geringe Lagerungskosten	Hohe Lagerungskosten
Geringer administrativer Aufwand	Hoher administrativer Aufwand

Baum/Rundholz - Waldhackgut im Freien	Rundholz - Waldhackgut in Halle
Schlechtere Auslastung von Transportkapazitäten (Holzdichte)	Bessere Auslastung von Transportkapazitäten (Holzdichte)
Holzeinkauf nach Bedarf	Berücksichtigung günstigerer Einkaufspreise
Kontinuierlicher Bedarf an Maschinen	Optimale Auslastung von Maschinen (Vorausplanung)
Phytophytäre Risiken bei Lagerung im Wald	Keine phytophytären Risiken
Kein Sicherheitsbestand	Sicherheitsbestand (Pufferfunktion)
Witterungsabhängige Produktion	Ganzjährige Produktion möglich
Höhere Substanzverluste bei Lagerung im Freien	Geringe Substanzverluste durch Lagerung in Halle
Höheres Auftreten von Pilzsporen (Gesundheitsrisiko)	Geringeres Auftreten von Pilzsporen
Gefahr der Selbstentzündung	Geringe Gefahr der Selbstentzündung

2.4 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 56). **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 Verhältnis zur anfallenden Rundholzmenge variiert stark. Kanzian et al. (2006a) 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).

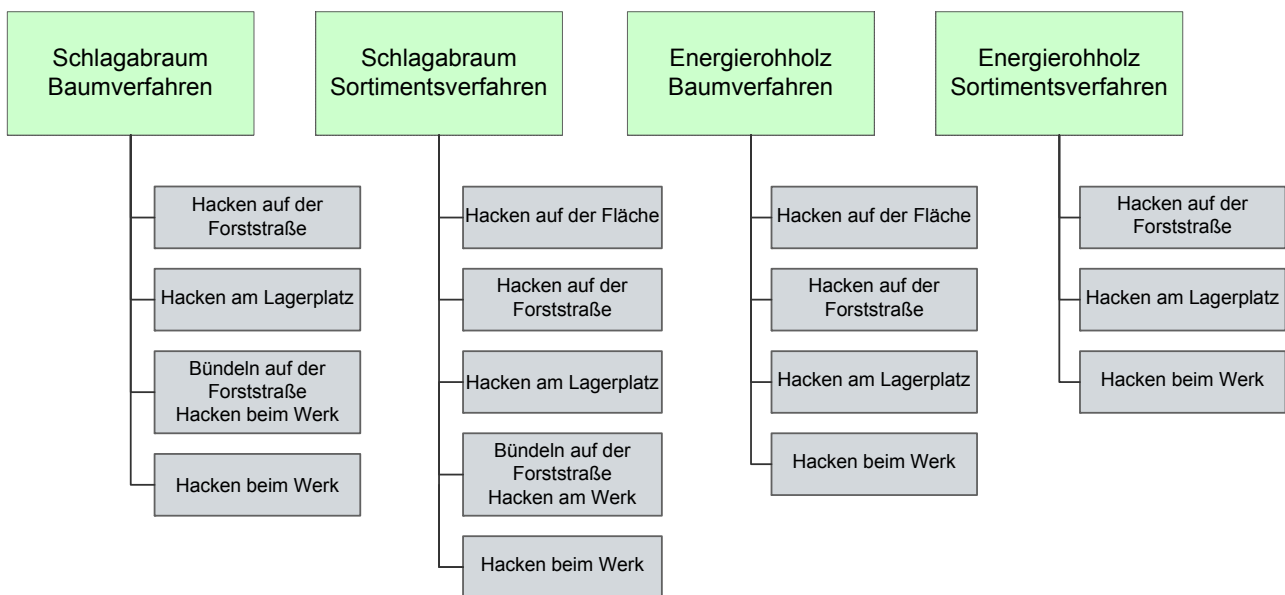


Abbildung 56: Systematisierung der Waldhackgutbereitstellungssysteme nach Ausgangsmaterial und Ort des Hackens

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 und Suadicani, 2005). 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 walddnahen 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 und Vartiamaäki, 2006; Ranta und 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/PSH₁₅ ist allerdings auf einen unerfahrenen Maschinisten und unsach-

gemäße Vorbereitung des Schlagabraums (z.B. Verunreinigungen des Materials, Lagerung des Schlagabraumshaufen) zurückzuführen. Skandinavische Untersuchungen erreichen mit 13-26 Bündeln/PSH₁₅ durchwegs höhere Produktivitäten (Johansson et al., 2006; Kärhä und Vartiamäki, 2006). Wesentliche Unterschied zwischen Skandinavien und Mitteleuropa bestehen hinsichtlich der unterstellten Stundensätze, die teilweise nur 40-50% des mitteleuropäischen Niveaus betragen (Johansson et al., 2006; Kärhä und Vartiamäki, 2006; Ranta und Rinne, 2006; Kanzian, 2005; Cuchet et al., 2004). Gründe dafür sind eine höhere Maschinenauslastungen, geringere Überstelltdistanzen 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.

2.4.1 Schlagabraum BAUM – Hacken auf der Forststraße

Die Fällung im Bestand erfolgt mit der Motorsäge. Die anschließende Rückung und Aufarbeitung wird im Baumverfahren mit dem Seilgerät kombiniert mit einem Prozessor durchgeführt. Der Schlagabraum (Äste, Kronenteile, sonstiges Holz) wird neben der Forststraße zwischengelagert. Nach einer Trocknungsphase wird der Schlagabraum mit einem Großhacker an der Forststraße direkt in bereitgestellte Container-LKW gehackt (Abbildung 58). Im Vergleich zum Transport von Schlagabraum kann die Ladedichte damit erhöht werden. Der Transport ins Werk erfolgt durch Container-LKW in Wechselfahrweise (Abbildung 57). Bei der Nutzung von Schlagabraum im Baumverfahren ist dies das am häufigsten angewandte Verfahren.

Durch das Hacken direkt in Container vor Ort entsteht kein zusätzlicher Manipulationsaufwand für das Beladen. Die notwendige Abstimmung zwischen Hackerleistung und Transportkapazität der Container-LKW erfordert einen hohen Organisationsaufwand. Während des Hackens kann es zu ablaufbedingten Wartezeiten des Hackers oder LKW kommen (geschlossene Arbeitskette). Die Unterschiede zur unterbrochenen Arbeitskette mit Zwischenlagerung des Hackgutes an der Forststraße und Selbstbeladung durch den LKW werden im Rahmen einer Fallstudie im Kapitel 4.4.3 angeführt.

Dieses Verfahren wurde in Kramsach im Rahmen einer Fichten-Endnutzung im starken Baumholz untersucht. Dabei wurden durchschnittliche Gesamtkosten in der Höhe von 8,10 €/SRM erzielt. Die Prozesse Fällen, Rücken und Entasten wurden nicht in die Kalkulation miteinbezogen, sondern im Rahmen der Nutzung von Sägerund- und Industrieholz berücksichtigt (Rohrmoser & Stampfer, 2003).

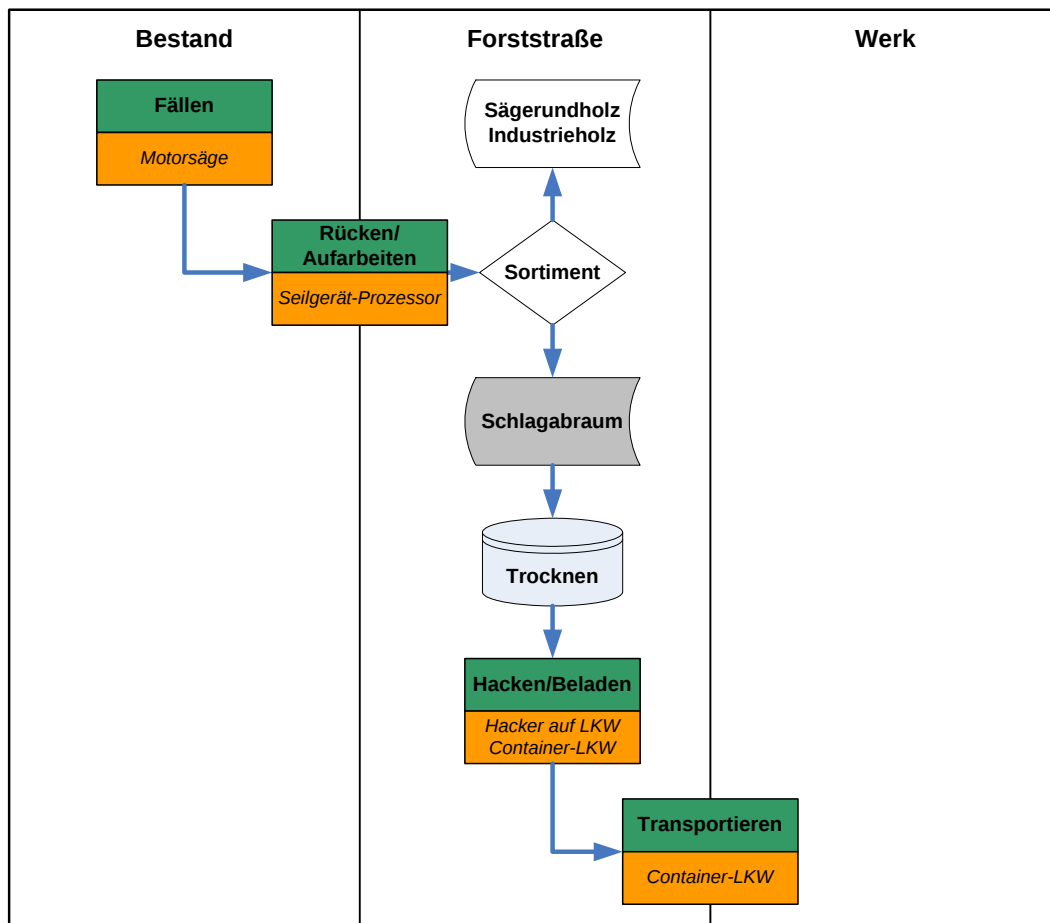


Abbildung 57: Ernte mit Seilgerät/Prozessor – Hacken – Transport mit Container-LKW



Abbildung 58: Hacken von Schlagabraum mit Direktbeladung in Container-LKW

2.4.2 Schlagabraum SORT - Hacken auf der Forststraße

Nach Fällung und Aufarbeitung mittels Harvester werden das Sägerund- und Industrieholz, sowie in einem eigenen Arbeitsgang auch der verbleibende Schlagabraum mittels Forwarder zur Forststraße transportiert und dort getrennt voneinander gelagert. Der Schlagabraum mit einem mobilen Großhackern direkt in bereitgestellte LKW gehackt (Abbildung 59 und Abbildung 60).

Die Steuerung der Transport-LKW muss auf die Produktivität des Großhackers abgestimmt sein. Stehen zu wenige LKW für den jeweiligen Einsatz zur Verfügung, kommt es zu Wartezeiten des Hackers. Werden zu viele LKW eingesetzt, müssen diese warten. Die Lagerung des Schlagabraums an der Forststraße erfordert hohen Platzbedarf.

Das beschriebene Verfahren wurde im Rahmen dieses Projektes in Mautern und im Kobernauffer Wald untersucht. In beiden Einsätzen wurden 80- bis 100jährige Nadelholz-Bestände, welche stark durch den Borkenkäfer befallen waren, flächig genutzt. Ein Viertel der Bäume war darüber hinaus infolge Schneebruchs mehrwipfelig. Als Maschinen wurden ein Ponsse Ergo Harvester, ein Valmet 890.3 Forwarder und ein Eschlböck Biber 80 Hacker verwendet. Zur Beurteilung der Leistung des Hackers wurden im Rahmen dieser Studie 1.000 SRM aufgezeichnet. Die Arbeitszeitverteilung betrug 62% Hacken und 38% ablaufbedingtes Warten. Der Wartezeitanteil ist mit mehr als einem Drittel der gesamten Arbeitszeit sehr hoch. Die erhobene Produktivität beträgt 87,8 SRM/PSH₁₅.

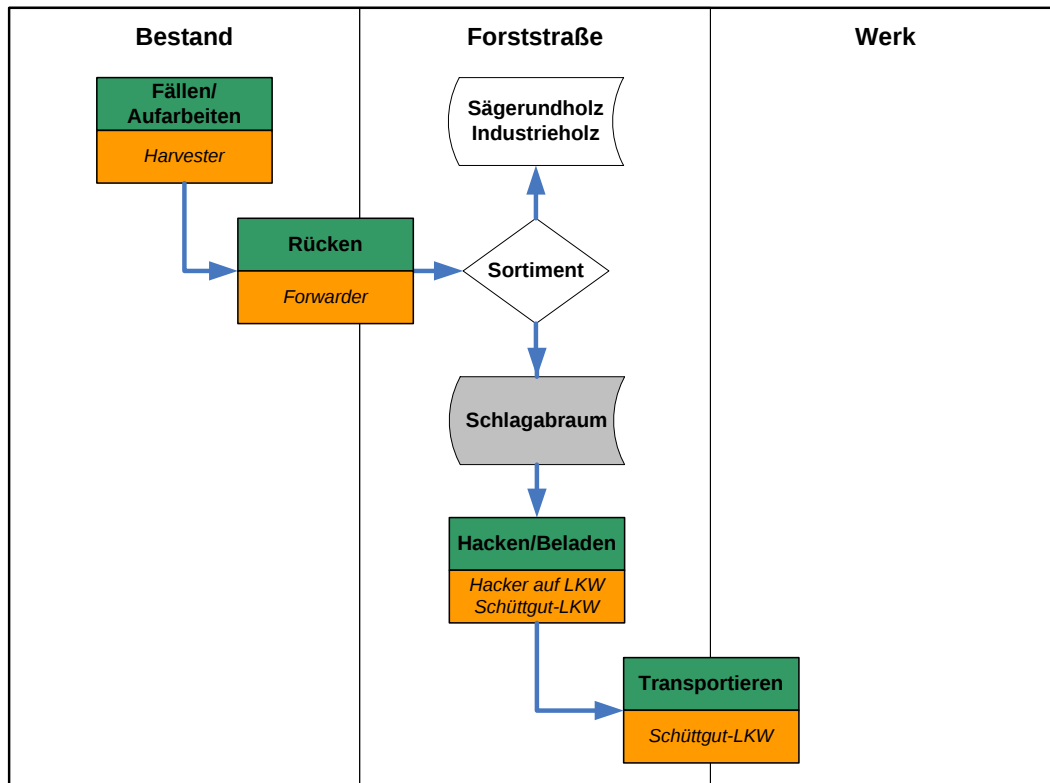


Abbildung 59: Ernte mit Harvester/Forwarder - Hacken - Transport mit Schüttgut-LKW



Abbildung 60: Lagerung von Schlagabraum an der Forststraße und Hacken in bereitgestellte Schüttgut-LKW

Dieses Verfahren wurde auch im Laubholz in einer Durchforstungs- und zwei Kahlschlagflächen untersucht. Das Hackholz lagerte zwischen 6 und 12 Monaten neben der Forststraße. Das Hacken wird auf der Forststraße direkt in einen Container-LKW durchgeführt. Abschließend wird das Material zum Heizwerk transportiert. Insgesamt wurden 439 SRM Waldhackgut bei Bereitstellungskosten in der Höhe von 12,50 €/SRM gewonnen (Kanzian et al. 2006a) (Abbildung 61).



Abbildung 61: Hacker Starchl 1200-800 auf LKW und LKW-Zug mit Abrollcontainern zu je 36 SRM Fassungsvermögen

2.4.3 Schlagabraum – Vorkonzentration – Hacken am Lagerplatz

Nach Ernte, Rücken und Aufarbeiten befindet sich der Schlagabraum an der Forststraße und wird anschließend zu einem nahe gelegenen Lagerplatz transportiert (Vorkonzentrieren). Als Transportfahrzeuge werden meist ein Rungen-LKW ohne Bordwände, ein Rungen-LKW mit Stahlgitterkasten oder ein Rungen-LKW mit Bordwänden verwendet (Abbildung 62). Durch die Vorkonzentration steht mehr Hackmaterial an einer Stelle zur Verfügung und somit wird die Auslastung des Hackers verbessert. Am Lagerplatz wird das Material in bereitgestellte Schüttgut-LKW gehackt und ins Heizwerk transportiert (Abbildung 63).



Abbildung 62: Rungen-LKW ohne Bordwände, mit Stahlgitterkasten und mit Bordwänden

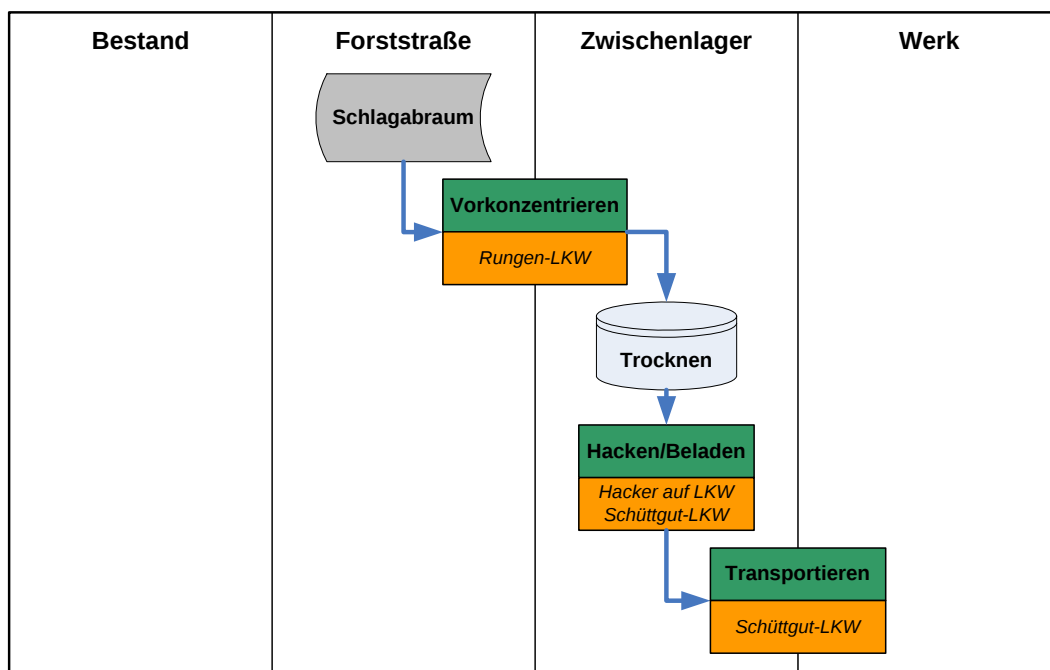


Abbildung 63: Vorkonzentration von Schlagabraum – Hacken - Transport mit Schüttgut-LKW

Bei der Untersuchung dieses Systems im Baumverfahren wurden Bereitstellungskosten in der Höhe von 10,50 bis 12,00 €/SRM frei Werk ermittelt werden. Die geringeren Kosten sind auf Frachtdistanzen vom Lagerplatz bis zum Heizwerk von 35 km zurückzuführen. Den höheren Kosten hinterliegen Frachtdistanzen von 117 km. Für den Vortransport wurden Kosten in der Höhe von 2,00 bis 4,50 €/SRM ermittelt (Hochrainer & Stampfer 2006).

Kanzian et al. (2006a) geben für dieses Verfahren bei einer Transportdistanz von 10 km Bereitstellungskosten in der Höhe von 8,20 €/SRM an. Bei einer Distanz von 100 km erhöhen sich die Kosten auf 10,20 €/SRM. Für den Vortransport wurden Kosten in der Höhe von 2,50 €/SRM ermittelt.

In einem anderen Beispiel wird das Hackgut am Lagerplatz zwischengelagert und je nach Bedarf mit einem Radlader in einen Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau verladen und ins Heizwerk transportiert, was zu Kosten in der Höhe von 13,30 €/SRM führt. Für den Vortransport wurden Kosten in der Höhe von 3,50 bis 5,00 €/SRM und für das Verladen des Hackgutes 0,50 €/SRM ermittelt. Bei der Untersuchung dieses Systems durch die ÖBf AG wurden modifizierte Rundholz-LKW mit Einsatzwänden aus Lärchenpfosten verwendet (Hochrainer & Stampfer 2006).

Bei der Untersuchung dieses Systems im Sortimentsverfahren wurden im Kobernaußer Wald 7.500 SRM Waldhackgut genutzt. Als Ausformungsrichtlinie wurde hier die Verwertung von Schneedruckschäden ab der Bruchstelle zu Biomasse vorgegeben. Es wurden somit die Zwiesel alle abgezopft, vom Harvesterfahrer vorgelagert und mit dem Forwarder ausgeführt und verhackt. Die Frachtdistanz vom Lagerplatz bis zum Heizwerk betrug ca. 70 km. Insgesamt sind Kosten in der Höhe von 12,80 €/SRM frei Werk entstanden. Die Kosten für den Vortransport betragen 2,00 bis 5,00 €/SRM. Entscheidend wirkte sich die Anzahl der Lagerplätze pro Revier aus. Je kürzer der Vortransport, desto geringer sind die anfallenden Kosten. Bei ausreichender Lagerkapazität an der Forststraße ist der Vortransport so weit als möglich zu minimieren (Hochrainer & Stampfer 2006).

2.4.4 Schlagabraum - Bündeln - Hacken beim Werk

Das Bündelverfahren wurde in Skandinavien entwickelt und wird derzeit vor allem in Finnland erfolgreich eingesetzt. Nach dem Rücken und Aufarbeiten befindet sich der Schlagabraum an der Forststraße. Dort wird er mit einer Maschine zu kompakten zylindrischen Bündeln gepresst. Die Bündel wiegen bei einem Durchmesser von 70 cm und einer Länge von 3 m rund 500 kg. Die Bündellänge kann variabel gewählt werden. In der Praxis zeigt sich, dass die Länge nach oben hin aufgrund von Stabilitätsüberlegungen begrenzt ist. Der Transport zum Heizwerk erfolgt mit einem Rungen-LKW. Nach einer Trocknungsphase im Wald oder beim Werk erfolgt das Hacken der Bündel beim Werk (Abbildung 64 und Abbildung 65).

Dieses Systems wurde im Baumverfahren untersucht. Die Fällung wurde mit der Motorsäge durchgeführt. Die Rückung erfolgt mit einem Seilgerät bis zur Forststraße mit anschließender Aufarbeitung durch einen Prozessor. Sägerund- und Industrieholz sowie Schlagabraum werden getrennt ausgeformt. Der Schlagabraum wird an der Forststraße zwischengelagert und anschließend gebündelt. Die Bündel werden mit einem Rungen-LKW zu einem Lagerplatz direkt am Heizwerk transportiert und dort getrocknet. Abschließend erfolgt das Hacken mit einem mobilen Hacker.

Die Produktivität der Bündelmaschine lag im Erstversuch bei 9 bis 13 Bündel pro PSH₁₅ (Kanzian, 2005). Probleme bereitet vielfach die Verschmutzung des Schlagabraums mit Steinen und Erde, wodurch die Sägekette der Kappsäge einem hohen Verschleiß ausgesetzt ist. Die Verunreinigung der Bündel macht den Einsatz von Schreddern zur Zerkleinerung notwendig, wobei im Versuch Produktivitäten von 60 bis 80 SRM pro PSH₁₅ ermittelt wurden. Beim Transport der Bündel bereiteten sich lösende Holzteile Probleme, weshalb ein gesicherter bzw. geschlossener Transport der Bündel empfohlen wird. Die Lagerung der Bündel in abgedecktem Zustand brachte eine wesentliche Steigerung des Trockengehaltes mit sich. Die anfallenden Mengen an Hackgut belaufen sich

nach Schätzungen auf Basis des Versuchs auf 20 bis 35 SRM pro 100 FM Rundholz (Kanzian, 2005).

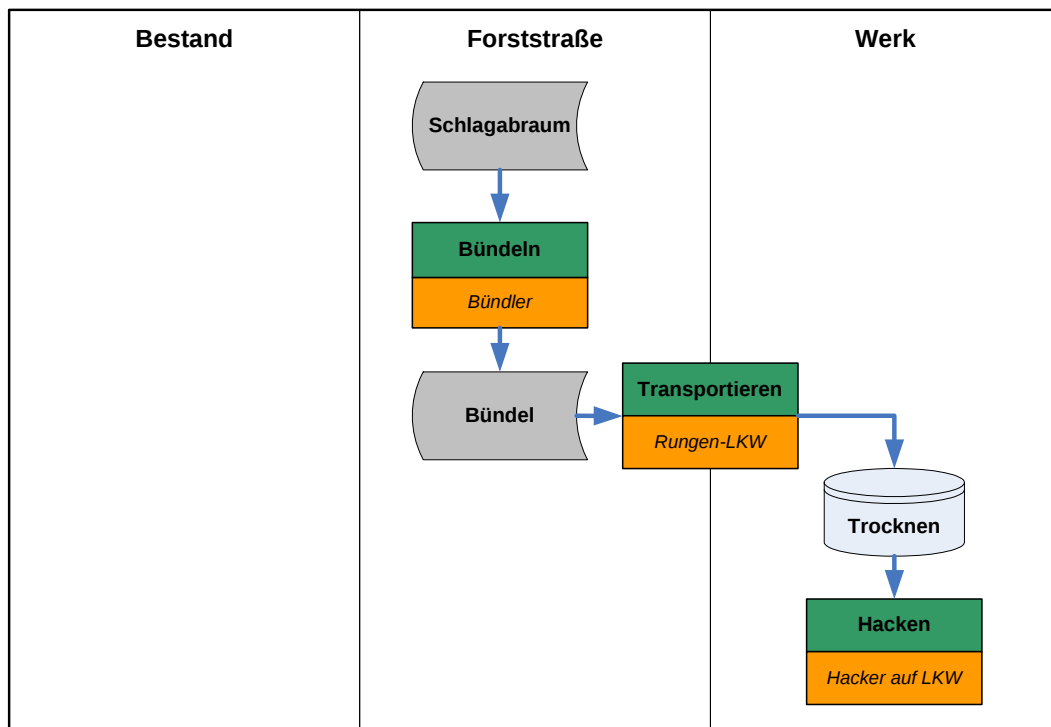


Abbildung 64: Bündeln von Schlagabraum – Transport mit Rungen-LKW – Hacken beim Werk



Abbildung 65: Bündeln von Schlagabraum

2.4.5 Schlagabraum - Hacken beim Werk

Schlagabraum kann auch direkt vom Waldort bis zum Heizwerk, z. B. mit einem Container-LKW, transportiert werden. Nach einer Trocknungsphase erfolgt das Hacken des Schlagabraums beim Werk (Abbildung 66). Im Steilgelände ist an Straßenböschungen Vorsorge gegen das Abrutschen der Biomasse zu treffen. Um das Ladevolumen der Container optimal zu nutzen ist es erforderlich, das geladene Material schichtenweise mit dem Ladekran zu verdichten. Ein kurzer Stammholzabschnitt in der Ladezange dient als Hilfsmittel und sorgt durch das zusätzliche Gewicht für eine gute Verdichtung (Abbildung 67). Für das Wechseln der Container sowie dem An- und Abhängen des Anhängers erweist sich ein großer Platz an der Forststraße als vorteilhaft. Das Hacken am Werks-gelände mit mobilem Hacker sollte erst ab einem Mengenanfall von 1.000 bis 1.500 RM erfolgen, um eine gute Auslastung des Hackers zu erreichen.

Das beschriebene System wurde im Baumverfahren getestet. Die Fällung erfolgt mit der Motorsäge. die Rückung per Seilgerät und die Aufarbeitung an der Forstraße durch einen Prozessor. Der Schlagabraum, welcher nach der Seilnutzung anfällt, wird mit dem Ladekran eines Rungen-LKW in Abrollcontainer verladen. Der Rungen-LKW kann ebenfalls Schlagabraum transportieren, da die Ladefläche des Rungen-LKW mit Bordwänden ausgerüstet ist. Der Rungen-Lkw als auch der Hakenlift-LKW führen außerdem einen Anhänger für Abrollcontainer mit. Die Anhänger mit den Containern werden an geeigneter Stelle abgestellt. Der Hakenlift-LKW bringt einen leeren Container zum Beladeort und wartet während der Beladung durch den Rungen-LKW. Im Anschluss daran wird der befüllte Container zu den Hängern gebracht und gegen einen leeren getauscht. In der Zwischenzeit kann sich der Rungen-LKW selbst beladen. Sind alle Container sowie die Ladefläche des Rungen-LKW voll, werden die Anhänger an die Zugfahrzeuge angehängt und der Lagerplatz beim jeweiligen Heizwerk angefahren. Nach dem Transport zum Werk wird das Material ungehackt gelagert und getrocknet. Die Beschickung des Hackers erfolgt mit Bagger, Holzkran oder Lader. Bei einer Basismenge von 5.200 SRM konnten Bereitstellungskosten von 8,26 €/SRM und ein Deckungsbeitrag von 4,07 €/SRM erzielt werden.

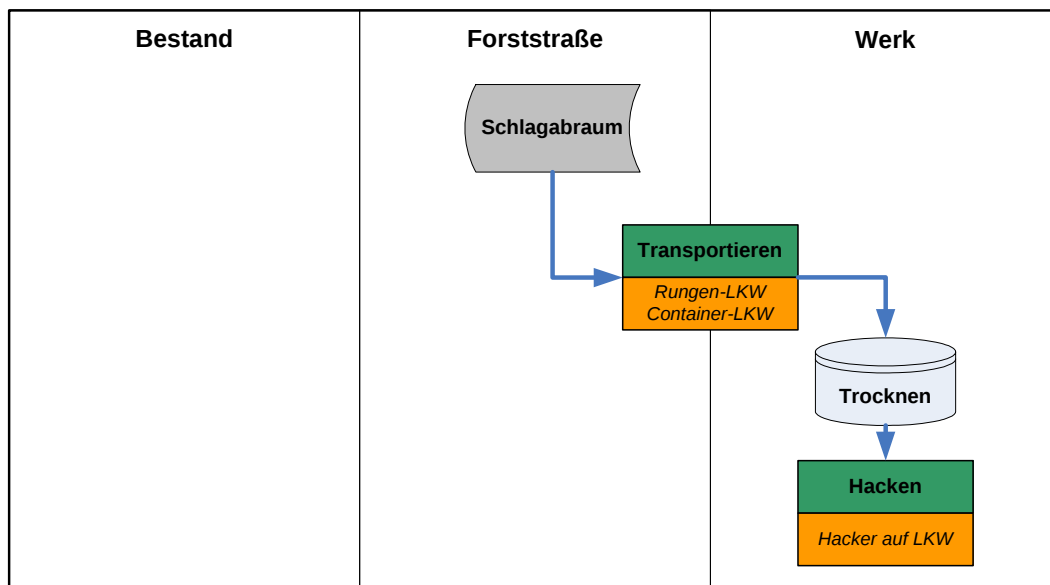


Abbildung 66: Transport von Schlagabraum mit Container-/Rungen-LKW – Hacken beim Werk



Abbildung 67: Verdichten des Schlagabraumes mittels Stammholzabschnitt und Entladen des Abrollcontainers am Werk

2.4.6 Schlagabraum/Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße

Da bei der Ernte von Schlagabraum meist nur sehr wenig Material zur energetischen Nutzung anfällt, können zusätzliche Mengen durch früheres Abzopfen oder durch Nutzung von Faser- und Sekundaholz gefördert werden. Dadurch können sowohl eine bessere Auslastung des Hackers sowie insgesamt höhere Wirtschaftlichkeit bei der Bereitstellung erreicht werden.

In einem Verfahrenbeispiel im Laubholz wurden zusätzlich zum Schlagabraum noch Energierohholz aus schwächeren Dimensionen sowie aus „sonstigen Holzarten“ zur energetischen Verwertung genutzt. In diesem Verfahren werden zwei Forstarbeiter für die Ernte eingesetzt. Einer fällt, entastet und formt gegebenenfalls Sortimente aus, während der andere gleichzeitig mittels Traktor mit Frontlader und Rückezange das anfallende Holz (getrennt nach Sägerund- und Energierohholz) an die Forststraße rückt und dort poltert. Das Energierohholz wird mehrere Monate gelagert, um dann durch einen auf einem LKW aufgebauten Großhacker verarbeitet zu werden (Abbildung 69). Bereitstehende Schüttgut-LKW werden dabei direkt beladen und transportieren das Hackgut zum Abnehmer (Abbildung 68). Bei dieser Nutzung konnten Bereitstellungskosten in der Höhe von 10,75 bis 11,40 €/SRM ermittelt werden. Grundsätzlich ist die praktische Anwendung des beschriebenen Arbeitsverfahrens bei gleichzeitiger Erzeugung von Rund- und Energierohholz unter Ausnutzung von vorhandenem Maschinen- und Arbeitskräftepotenzial sinnvoll (Fenz & Stampfer, 2007).

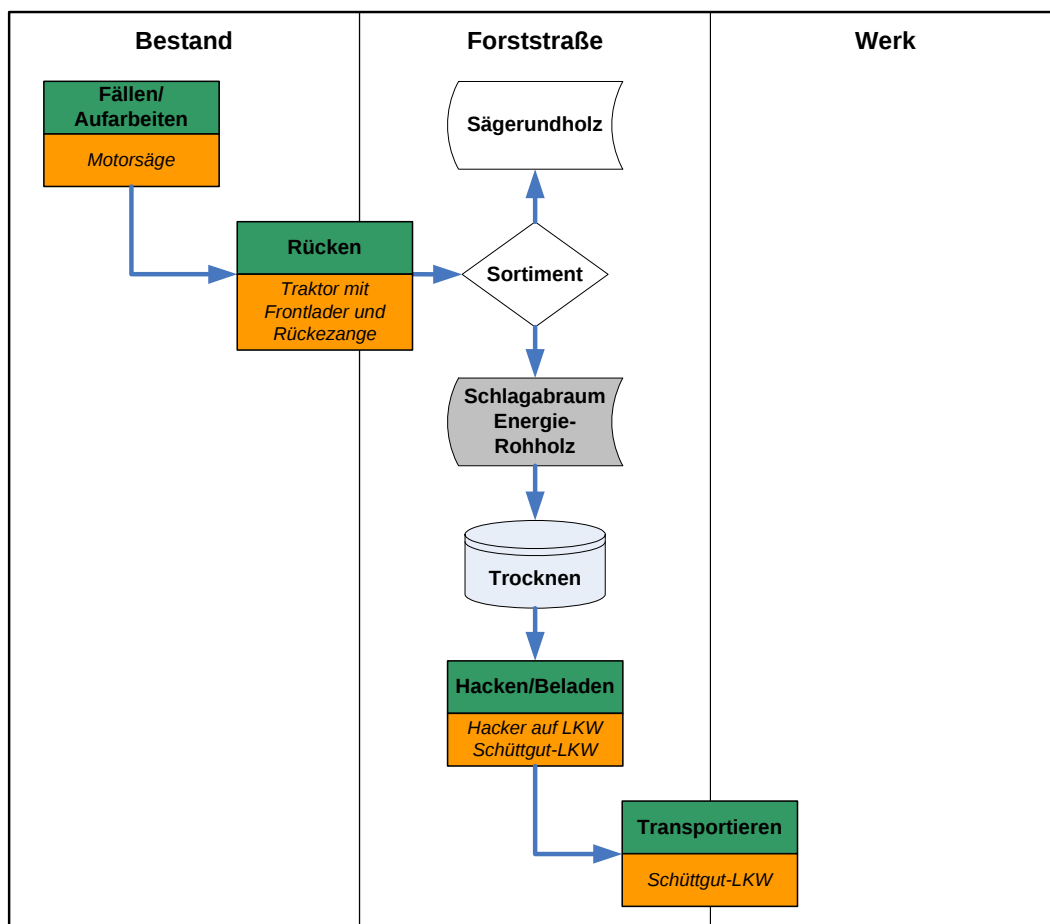


Abbildung 68: Ernte mit Motorsäge und Traktor/Frontlader/Rückezange – Hacken – Transport mit Schüttgut-LKW



Abbildung 69: Traktor mit Frontlader und Rückezange (links); Hacker Eschlböck Biber 80 (rechts)

2.4.7 Energierohholz BAUM – Hacken auf der Fläche

Die Fällung erfolgt durch eine Maschine mit Mehrfachfällkopf, wobei die Bäume an bzw. in der Rückegasse abgelegt werden. Der mobile Hacker nimmt anschließend die in der Rückegasse liegenden Bäume auf und hackt diese direkt in den aufgebauten Container. Ein Forwarder mit Hochkipp-Container rückt das Hackgut vom Bestand bis zur Forststraße. Der mobile Hacker kippt den Inhalt seines Containers in den Container des Forwarders, dieser fährt zum Abrollcontainer auf der Forststraße und kippt seinen Inhalt in einen Abrollcontainer (Abbildung 71). Nach Erreichen der Ladekapazität des Containers fährt der LKW damit ins Heizwerk und lädt dort das Material ab (Abbildung 70). Es hat sich als zweckmäßig erwiesen zuerst die Rückegasse anzulegen, wobei die Fällung motormanuell durchgeführt wird. Der Bestand kann zu einem späteren Zeitpunkt durchforstet werden, wobei die Fällung dann mechanisiert erfolgt und die Bäume ebenfalls an bzw. in der Rückegasse abgelegt werden. Bei einem Versuch dieses Verfahrens konnten Bereitstellungskosten von 8 bis 10 €/SRM frei Forststraße erzielt werden.

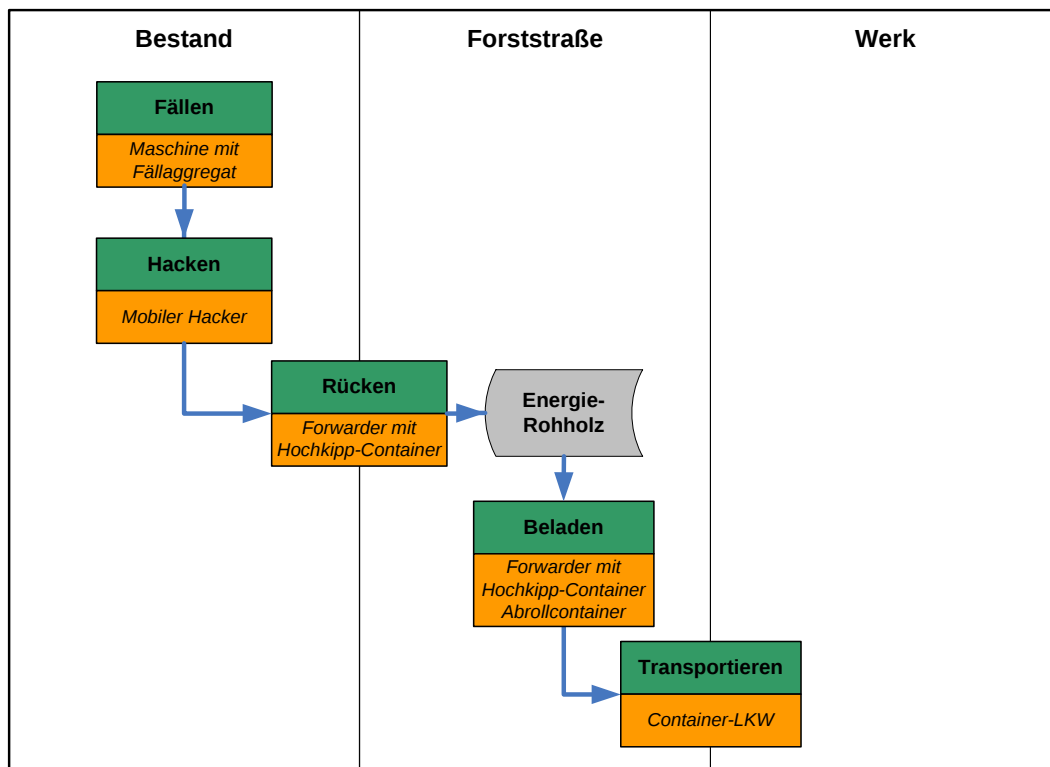


Abbildung 70: Ernte und Hacken mit Hackschnitzelharvester und Forwarder mit Hochkipp-Container – Transport mit Abrollcontainer-LKW



Abbildung 71: Mobiler Hacker, Forwarder mit Hochkippl-Container, Abrollcontainer

Das Fällen, Hacken und Rücken kann auch mit einer Maschine, einem Hackschnitzelharvester, ausgeführt werden (Abbildung 72). Ein Nachteil dieser Kombimaschine ist die geringe Auslastung des Hackaggregates.



Abbildung 72: Hackschnitzelharvester der Firma Valmet

2.4.8 Energierohholz BAUM – Hacken auf der Forststraße

Fällen, Laden und Rücken erfolgen in einer geschlossenen Arbeitskette. Mit dem Krananhänger wird zuerst die Gasse frei geschnitten (ca. 10 bis 15 lfm). Beim Fällvorgang umschließen drei Greifzangen und zwei Klauenzangen den Stammfuß. Von der Aggregatseite ausgehend drücken zwei Hydraulikzylinder die Fallbeilklinge gegen den Stamm. Der Baum wird somit abgesichert (Abbildung 74). Nach dem Fällen der Bäume in der Gasse werden die Baumbündel auf den Krananhänger geladen. Bei der Rückfahrt wird der Bestand entlang der Gasse bearbeitet. Durchschnittlich werden drei bis vier Bäume auf ein Bündel zusammengelegt und je nach Baumlänge 1 bis 2-mal zum Einkürzen durchgezwickelt und geladen. Nach dem Beladen des Anhängers wird das Material zur Forststraße transportiert und abgeladen. Das Energieholz wird mehrere Monate gelagert und dann durch einen, auf einem LKW aufgebauten Großhacker, verarbeitet. Bereitstehende LKW-Züge mit Abrollcontainer werden direkt beladen und transportieren das Hackgut zum Werk, wo durch Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung die Menge ermittelt wird (Abbildung 73).

In einem 30jährigen Erstdurchforstungsbestand in Lockenhaus im Burgenland wurden Bereitstellungskosten in der Höhe von 21,20 €/SRM ermittelt. Die Kombination Traktor und Krananhänger mit Fällaggregat kostet 64 €/PSH₁₅ und erreichte in dieser Fallstudie bei einem durchschnittlich entnommenen Baumvolumen von 0,045 m³ eine Produktivität von 1,33 m³/PSH₁₅. Damit liegt man im Vergleich zu anderen Studien deutlich zurück (Affenzeller & Stampfer, 2007).

Laitila und Asikainen (2006) untersuchten die Kombination Forwarder mit einem umgebauten Moipu 400 E Fällaggregat, das mit Fallbeilklinge und Sammelfunktion ausgestattet war. Dieses System erreichte bei vergleichbarem Baumvolumen 3,6 m³/PSH₀ frei Energieholzpolter.

Hochrainer & Stampfer (2006) untersuchten ein ähnliches Verfahren mit einem Fällaggregat, das auf einem Kettenbagger aufgebaut war. Dabei wurden Bereitstellungskosten in der Höhe von 14,68 €/SRM erzielt.

Eberhardinger (2007) untersuchte ebenfalls eine Traktorkombination, jedoch wurde zuerst gefällt und in einem zweiten Arbeitsgang geladen und gerückt. Als Fällaggregat diente das Naarva Grip 1500-25e, das im Gegensatz zum Modell 1500-25 eine Sammelfunktion aufweist und Mehrfachfällen ermöglicht. Die Produktivität für Fällen und Vorkonzentrieren betrug bei vergleichbarer Baumdimension 3,9 m³/PSH₁₅. Die Rückeproduktivität ergab trotz einer Rückeentfernung von 250 bis 500 m einen beachtlichen Wert von 10,2 m³/PSH₁₅. Die Gesamtproduktivität übersteigt bei nur geringfügig höheren Systemkosten mit 2,82 m³/PSH₁₅ somit die Werte der Studie von Affenzeller & Stampfer (2007) um mehr als das Doppelte.

Die Produktivität der Fällkombinationen wird maßgeblich durch das entnommene Baumvolumen beeinflusst. Die Entnahme von Bäumen kleiner Dimension sollte daher unterbleiben. Kärhä (2006) beschreibt eine Produktivitätssteigerung um 20 % beim Verzicht von Bäumen kleiner gleich 6 cm BHD. Die Verwendung von Fällaggregaten mit Sammelfunktion verringert die Fällzeit gegenüber Fällköpfen ohne Sammelfunktion. Die Produktivität für das Fällen liegt bei der Studie von Eberhardinger (2007) mit Mehrfachfällkopf bei vergleichbarem Material um ca. 50 % höher. Die Grenze für das Mehrfachfällen des Naarva Grip 1500-25e ist bei 15 cm BHD erreicht. Das Ladevolumen wirkt sich besonders stark auf die Rückekosten aus und sollte besonders bei langen Rückedistanzen maximiert werden (Kärhä, 2006).

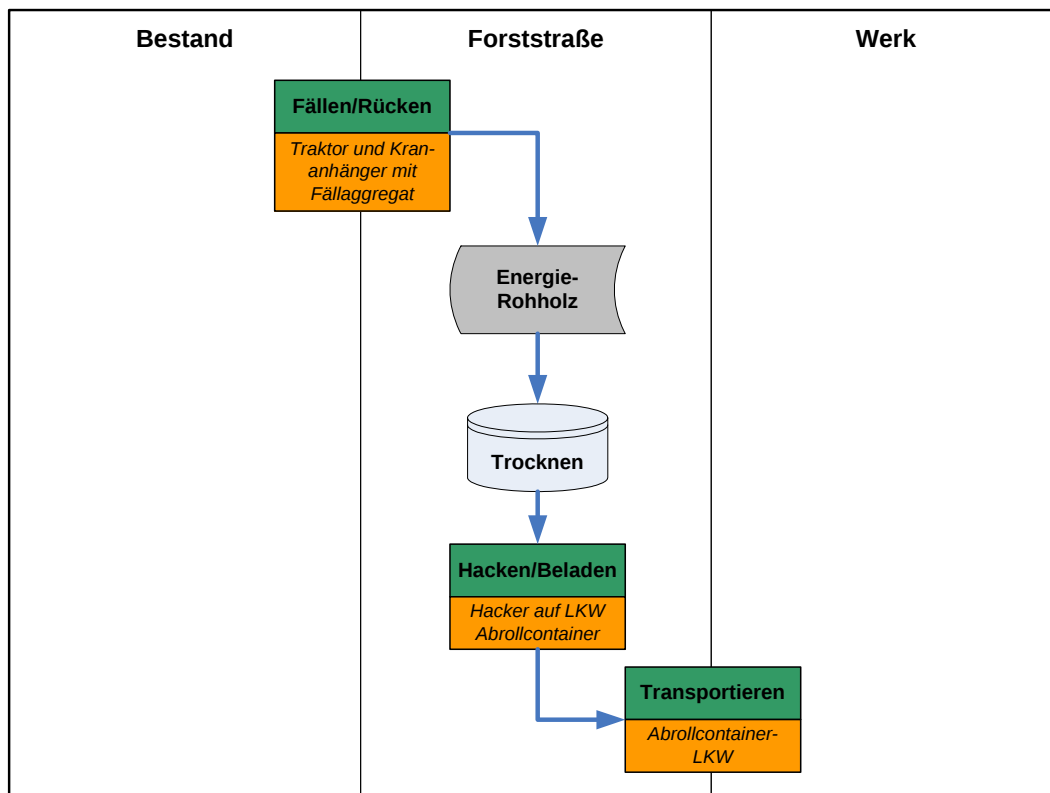


Abbildung 73: Ernte mit Traktor und Krananhänger mit Fällaggregat – Hacken – Transport mit Abrollcontainer-LKW



Abbildung 74: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25, Valmet Traktor und Krananhänger

2.4.9 Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße

In einem weiteren Verfahren fällt ein Harvester die Bäume und formt sie aus. Das Energierohholz wird mit einem Forwarder zur Forststraße gerückt. Nach einer Trocknungsphase wird das Material in Container-LKW verhackt und zum Heizwerk transportiert (Abbildung 75).

Dieses Verfahren wurde bei einer Durchforstung nach Schneebrüchen in einem 1,2 ha großen Kiefern-Reinbestand in Mauerbach-Hirschengarten getestet. Neben dem Energierohholz wurden zudem die Wipfelstücke mit dem Forwarder zur Forststraße gerückt und verwertet. Nach einer Trocknungsphase von einem Monat wurde das Material durch einen traktorgetriebenen Hacker zerkleinert und zum Hackplatz nach Wien Simmering transportiert. Insgesamt wurden 144 atro to Waldhackgut verarbeitet. Dabei wurden Bereitstellungskosten in der Höhe von 18,25 €/SRM ermittelt (Abbildung 76).

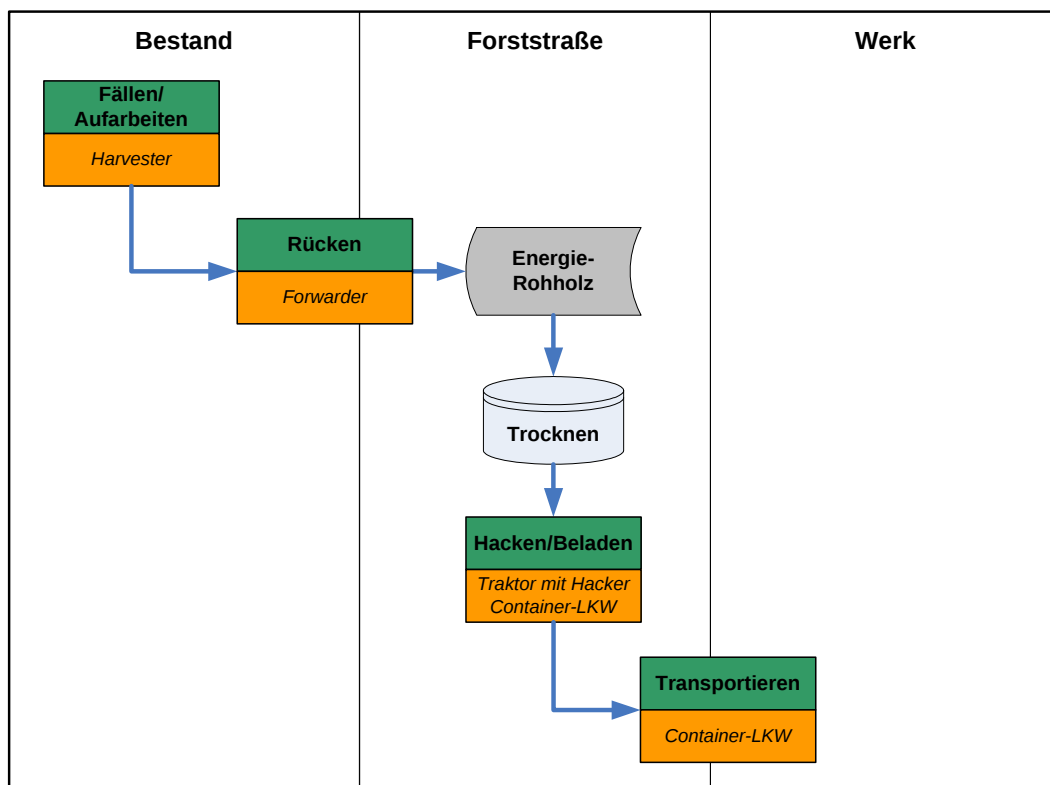


Abbildung 75: Ernte mit Harvester/Forwarder – Hacken – Transport mit Container-LKW



Abbildung 76: Ausfuhr von Energierohholz und Wipfel sowie Hacken in Container-LKW

2.5 Steuerung der Waldhackgutbereitstellung

Die Sicherstellung einer kostengünstigen und kontinuierlichen Versorgung der Biomasseheizkraftwerke mit dem Rohstoff Waldhackgut wird die Akteure in der Bereitstellungskette in Zukunft vor eine große Herausforderung stellen. In diesem Zusammenhang fällt häufig das Schlagwort „Logistik“. Die Literatur stellt für die Definition des Begriffes Logistik zahlreiche Erklärungen in unterschiedlichem Umfang zur Verfügung.

Pfohl (1972) fasst in einer allgemeingültigen Definition alle Tätigkeiten, durch die Bewegungs- und Speichervorgänge in einem Netzwerk gestaltet, gesteuert und kontrolliert werden, zusammen. Hintergrund ist das Zusammenspiel dieser Tätigkeiten, welches einen Strom von Objekten durch dieses Netzwerk in Gang setzt, so dass Raum und Zeit möglichst effektiv überbrückt werden. Pfohl (2004) greift zur Charakterisierung der Anforderungen an die Logistik, zur den vier *r*. Nach dieser Erklärung soll Logistik dafür sorgen, dass ein Empfangspunkt gemäß seines Bedarfs von einem Lieferpunkt mit dem *richtigen* Produkt, im *richtigen* Zustand, zur *richtigen* Zeit, am *richtigen* Ort zu den dafür minimalen Kosten versorgt wird. Neben den verschiedenen Ansätzen zur Definition gibt es auch unterschiedliche Ausprägungen der Logistik-Konzeption. Grundsätzlich lässt sich der Güterstrom in vier Phasen gliedern, wobei jeder dieser vier Phasen ein bestimmtes Netzwerk entspricht (Pfohl, 1972). Für die Forstwirtschaft hebt sich deutlich die erste dieser Phasen hervor, nämlich der Strom der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe vom Lieferanten zum Beschaffungslager der Unternehmung.

2.5.1 Logistiksoftware in der Forstwirtschaft

Auf dem Gebiet der Logistiksoftware für die Forstwirtschaft ist ein zunehmendes Angebot verschiedenster Anbieter zu beobachten. Unterschiedliche Lösungen versprechen die Optimierung der Geschäftsprozesse mit verschiedenen Ansätzen und versuchen somit eine Verringerung der Durchlaufzeit von Rundholz bzw. auch von Waldhackgut zu erreichen.

Vorrangig galt es den langen Lagerzeiten am Straßenrand und somit den hohen Kapitalkosten und Qualitätseinbußen durch Verblauung entgegenzuwirken. Zusätzlich wurde der geerntete Rohstoff nicht immer der entsprechenden Verarbeitung zugeführt. Im Transportbereich gab es geringe Auslastungen und einen hohen Anteil an Leerfahrten. Vor Ort wurde zuviel Zeit für das Einweisen des Fahrzeuglenkers bei der Aufsuche der Holzpolter verwendet. Nicht zuletzt galt es auch den Informationsfluss im Unternehmen zu verbessern.

Savola & Jokinen (1995) beschreiben wie man sich gegen Ende der 80er Jahre beim finnischen Betrieb ENSO den vermehrten Problemen in der Bereitstellung vom Rohstoff Holz bewusst wurde, und versuchte diese zu lösen. Das finnische „ENSO-Gutzeit-Holzbeschaffungs-Lenkungssystem“ EPO beinhaltet die Verwaltung der Holzeinschlagsmengen inklusive des Transportwesens mit seinen Materialströmen und deren Planung und Optimierung. Derzeit wird auf Basis einer neuen Version die gesamte Rundholzbereitstellung abgewickelt (Asikainen, 2007).

2.5.2 Soft- und Hardware zur Unterstützung der Rundholzbereitstellung

Hug (2004) belegt die Steigerung der Effizienz und somit die Verkürzung der Durchlaufzeit im Forstbetrieb in Deutschland durch den Einsatz von mobilen Datenmanagementsystemen. Einerseits wird eine Veränderung der Durchlaufzeit in qualitativer Hinsicht erzielt, andererseits auch die Quantität dieser verbessert. Roscher et. al (2004) zeigt eine Verbesserung beim Rundholztransport in Schweden durch den Einsatz von PDA. Eine Steigerung in der Anzahl der angefahrenen Lagerplätzen und Abnehmern im Untersuchungszeitraum resultiert in höherer Produktivität. Sikanen et al. (2005) weist darauf hin, dass 90 % der Rundholzbereitstellung in Finnland von großen Kooperationen mithilfe eigener und selbst entwickelter Software abgewickelt wird.

Weiters wird die Anwendung der RFID-Technologie in der Holzerntekette als mögliche Abhilfe diskutiert (Korten et. al 2005. Durch aktuelle Statusmeldungen soll eine dynamische Steuerung des Warenflusses möglich sein. Somit soll gleichzeitig die Transparenz und in Folge die DLZ in der gesamten Holzerntekette verbessert werden. Die benötigten RFID-Tags werden mittels eigener Applikation am Harvesterkopf automatisch bei der Holzernte angebracht.

Die Prozesse Hacken und der anschließende Transport über große Distanzen haben sehr starken Einfluss auf den jeweils anderen Prozess und werden in der Logistik als „Hot Chain“ beschrieben (Sikanen et al., 2005). Die Aufsicht über die Abläufe unterliegt dem Transportmanager. Die Aufgabenbeschreibung eines Transportmanagers sieht folgendermaßen aus:

- Einholen von Informationen bezüglich erfolgter Holzernteeinsätze
- Überprüfen der potenziellen Lagern vor Ort
- Konzentrieren und errichten von Zwischenlagern die eine Hackerauslastung von mindestens einer Woche garantieren
- Anfertigen von Kartenmaterial mit Detailansichten und Überblick inklusive Anweisungen
- Übermitteln der Instruktionen und des Kartenmaterials an die beteiligten Hack- und Transportunternehmer

2.5.2.1 Arbonaut Fleetmanager

Eine der wenigen für die Bereitstellung von Waldhackgut entwickelte und abgestimmte Logistiksoftware stellt der Arbonaut Fleetmanager dar. Er wird zur Unterstützung bei der Waldhackgutbereitstellung und der Koordination der beteiligten Akteure verwendet. In einem ersten Schritt werden der Einsatzort und der Umfang abgeklärt, sowie die hierfür nötigen Informationen in das Management System eingegeben. Die beteiligten Akteure in der Kette erhalten die Einsatzdaten über mobile Terminals. Das Aufsuchen der Einsatzorte geschieht mittels GPS-Unterstützung. Nach Beendigung eines Auftrages werden vom Hacker- und Transportunternehmer Berichte an das Informationssystem geleitet. Das System ist zurzeit nur als Prototyp vorhanden und nicht im praktischen Einsatz.

2.5.2.2 Watt specialist

Watt specialist stellt ähnlich dem Arbonaut Fleetmanager eine Anwendung für die Auftragsverwaltung bei der Bereitstellung von Waldhackgut dar. Das Produkt ist neu und wird noch um Komponenten erweitert. Grundsätzlich wird auch bei diesem System die Möglichkeit geboten, Einsatzorte zu verwalten, welche in weiterer Abfolge von einer zentralen Verwaltungsstelle aus koordiniert werden. Ziel ist es, den Verwaltungsaufwand zu verringern und die Auslastung des Hackers zu steigern. Hinzu kommt die Möglichkeit einer Navigation zum Einsatzort inklusive Information über den Straßenzustand und die Befahrbarkeit.

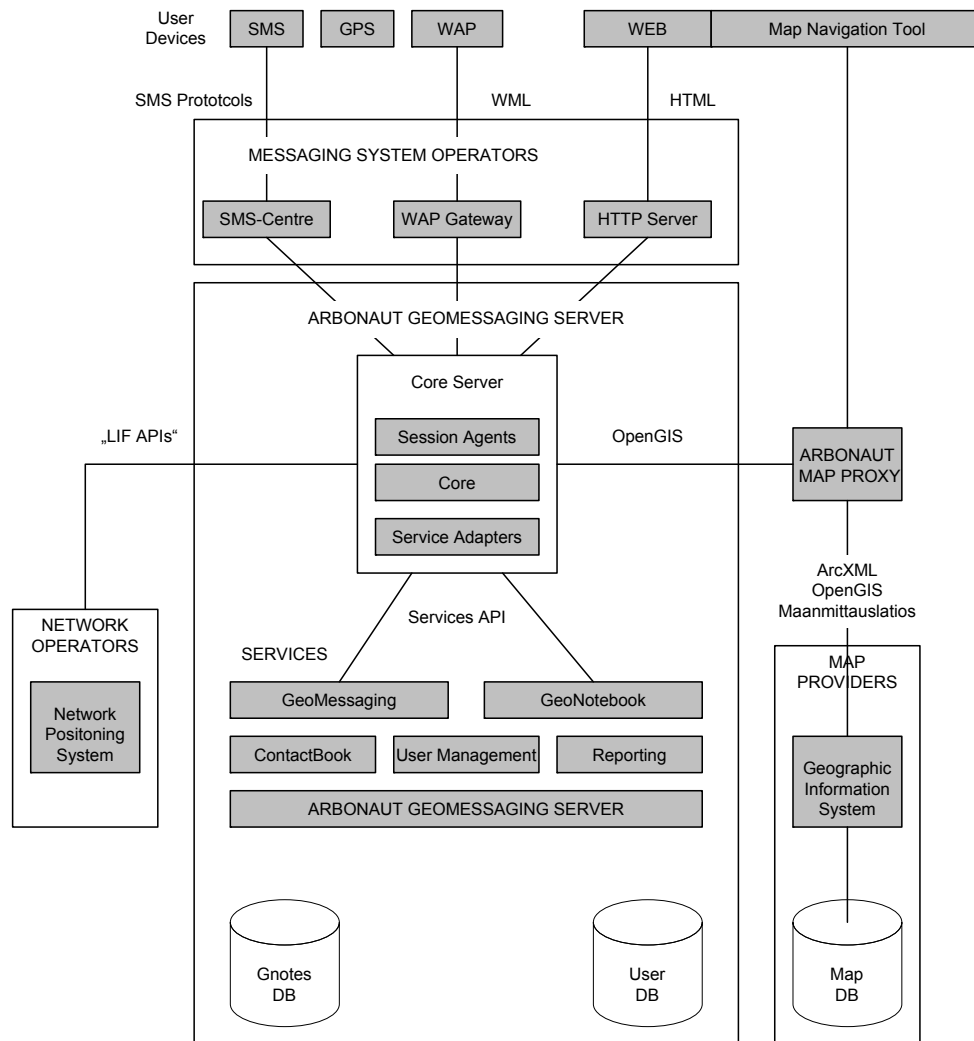


Abbildung 77: Aufbauschema des Arbonaut Fleetmanager (Sikanen et al., 2005)

2.5.3 Dateiformat zum Austausch von Daten in der Forstwirtschaft

Neben der verwendeten Software wird häufig der Datenstandard zum Austausch von Informationen diskutiert. Grundsätzlich werden zurzeit Formate bevorzugt, die den Austausch sämtlicher mit der Holzernte verbundenen Daten zwischen Forstbetrieb, Ernteunternehmer und Abnehmer vorsehen.

Ein Standard stellt ELDAT dar, welcher vom Deutschen Forstwirtschaftsrat und dem Deutschen Holzwirtschaftsrat entwickelt wurde. Als Sendeformat sind sowohl CSV (Character Separated Values) als auch XML (Extensible Markup Language) erlaubt. Zusätzlich wurde eine Option zur Konvertierung in JAVA Versanddaten integriert (<http://eldat.infoholz.de>). Beachtet werden sollte jedoch der Dateiumfang. Bodelschwingh (2005) beziffert den Speicherverbrauch einer ELDAT-Datei mit dem Inhalt von rund 1.500 FM mit 10 bis 15 MB. Diese können komprimiert werden, sind aber dennoch verhältnismäßig groß.

Mit XML kann die Bedeutung von Daten, Informationen und Texten definiert werden. XML-Dateien eignen sich als softwareunabhängiges Austausch-Format zwischen verschiedenen Programmen und Rechnern. Das Format ist allgemein verwendbar, einheitlich und von Herstellern unabhängig (Partl, 2000).

Sorsa (2002) beschreibt den in Schweden bereits 1987 entwickelten Standard StanForD zur Kommunikation zwischen Forst und Abnehmern. Die aktuelle Version beruht auf dem Dateiformat XML. Die Vorteile der Integration von XML liegen vor allem in der Lesbarkeit. Die hierarchische

Struktur ermöglicht auch eine übersichtliche Darstellung der Variablen und deren Beziehung zueinander. Nähere Informationen sind bei SKOGFORSK selbst zu erhalten. Auch der Source-Code in C++ steht frei zur Verfügung.

2.5.4 Übersicht angebotener Softwarelösungen

Die Ziele der zur Verfügung stehenden Lösungen sind vom Aufbau ausgehend grundsätzlich gleich einzustufen. Oberste Priorität besitzt die Verwaltung und Information der Holzmengen vom Wald zum Werk. Zusätzlich werden noch erweiterte Verwaltungswerkzeuge für den Forstbetrieb angeboten.

Die Produkte lassen sich aufgrund des beschriebenen Leistungsumfangs nur bedingt vergleichen. Grundsätzlich kann eine Gruppierung anhand von ausgewählten Funktionen vorgenommen werden (Abbildung 78). Zum Großteil beinhalten diese Lösungen eine integrierte Navigationssoftware und die Möglichkeit den Lagerstand von ausgewiesenen Holzpoltern zu kontrollieren. Über eine Routenoptimierung für den Transport verfügen nur wenige Produkte.

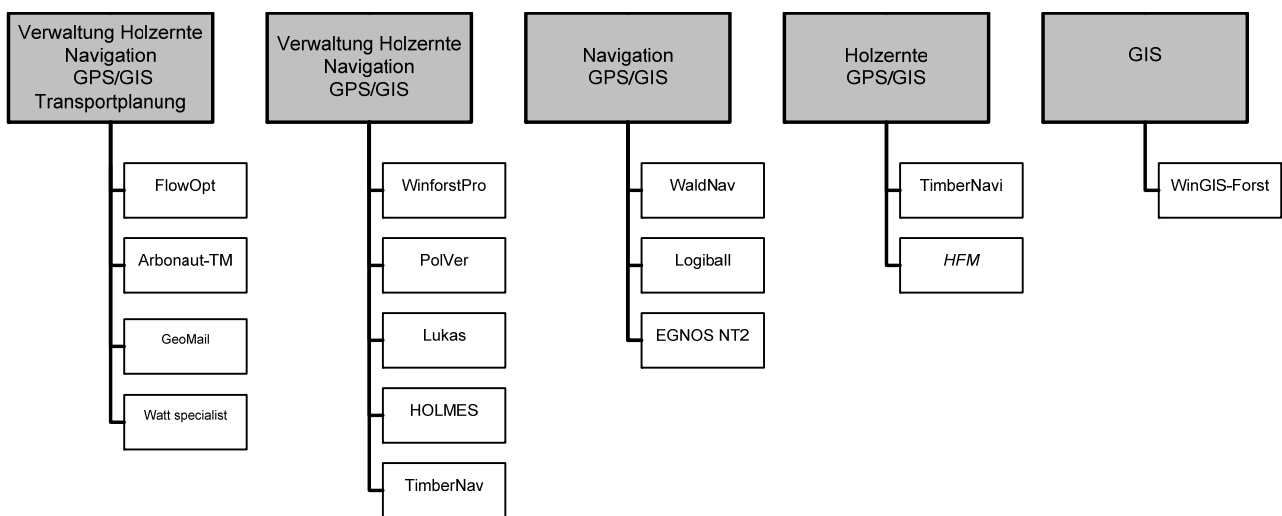


Abbildung 78: Übersicht angebotener Software zur Abwicklung der Rundholzbeschaffungslogistik

Navigation mittels GPS und Navigationssoftware

Als Grundausstattung werden vermehrt PDA mit handelsüblicher GPS-Antenne inklusive Kartenmaterial und Navigationssoftware verwendet. Mit Hilfe dieser soll das Aufsuchen der Holzpolter im Wald erleichtert und zugleich Zeit eingespart werden.

Auftragsverwaltung

Das Verwalten der einzelnen Einsatzorte und deren Fortschritt werden bereits in verschiedenen Lösungen angeboten. Die beteiligten Akteure melden den Status der Holzlager und markieren diesen, soweit technisch möglich auch in einer digitalen Karte.

2.5.4.1 POLVER

Die Abkürzung POLVER steht für Polterverwaltung, mit dessen Hilfe Planung und Steuerung des Materialflusses vom Polter zum Werk unterstützt werden sollen. Gearbeitet wird mit einer zentralen Datenbank und einer WEBGIS-Anwendung zur Visualisierung. Der bereitliegende Holzpolter wird mittels GSM/GPS-Mobiltelefon erfasst und verwaltet. Die berechtigten Personen können die weiteren Schritte auf Basis der Holzpolterdaten veranlassen (Abbildung 79).

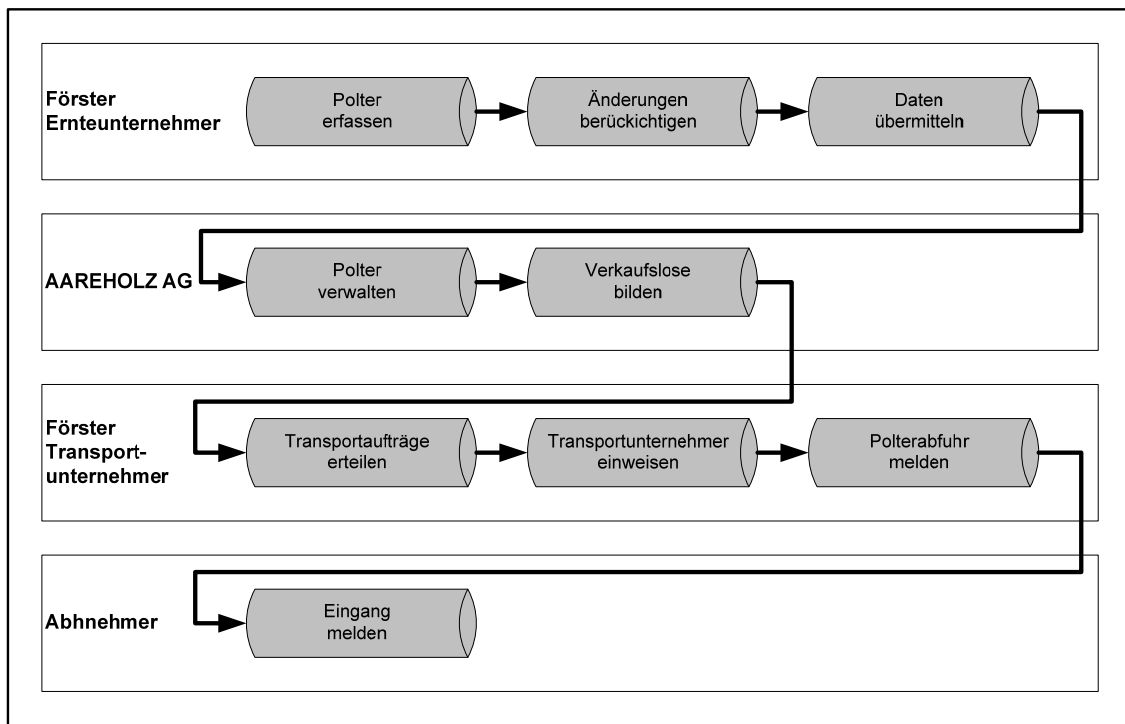


Abbildung 79: Ablaufschema POLVER, (AAREHOLZ AG).

Die Hardware besteht aus einem WEB-Client (PC, Notebook, PDA), einem GSM-Handy und einem GPS-Handy zur Erfassung der Polter. Die Daten werden auf einem zentralen WEB-Server abgespeichert und aufbereitet. Das System umfasst vier Grundfunktionen. Die erste dient zum Erfassen neuer Polter mittels GPS-Handy. Mit der zweiten können jederzeit Zustandsänderungen eines Polters erhoben werden. Mit der dritten Funktion können berechtigte Nutzer die angelegten Polterdaten abfragen. Die vierte Funktion beinhaltet das Mutieren des Polters in Abhängigkeit der Berechtigung des jeweiligen Benutzers. Zusatzinformationen können ebenfalls angehängt werden. Diese werden in Form eines Logbuches als History mitgeschrieben. Auch eine Anbindung an ERP/SCM-Systeme ist bereits angedacht, jedoch noch in Form eines Blueprints und ohne Umsetzung.

Belser (2005) beschreibt bereits den erfolgreichen Einsatz der dynamischen Polterverwaltung mittels POLVER bei der AAREHOLZ AG in der Schweiz. Laut Angaben der AAREHOLZ AG hat sich der Verwaltungsaufwand von Rundholz drastisch verringert. Die jährlichen Einsparungen durch den Einsatz von POLVER bei einer Verkaufsmenge von 45.000 m³ (ca. 750 Polter) belaufen sich auf 2,05 CHF/m³. Der unterstellte Stundensatz eines Arbeiters fließt mit 75,00 CHF/Std. in die Kalkulation ein.

2.5.4.2 FlowOpt

Am schwedischen Institut für Forstwirtschaft Skogforsk wurde zur Unterstützung der Rundholzbeschaffung, insbesondere des Transportes die Software FlowOpt entwickelt. FlowOpt soll als Decision Support Tool für die strategische und taktische Planung des Transportes in der Forstwirtschaft dienen. Im Zentrum steht die Minimierung der Transportkosten unter Berücksichtigung von Einschränkungen in der Bereitstellungskette.

Einerseits arbeitet die Anwendung mit der Optimierung des Transportes durch die bestmögliche Kombination des Transportmittels, andererseits wird die Information bezüglich Rückfrachten, potenzielle Einzugsgebiete bzw. Versorgungsgebiete verarbeitet. Die hierfür notwendigen Daten stammen vom schwedische Straßendatensatz, welche basierend auf GIS zusammen mit integrierten Modellen zur Optimierung verwendet werden (Forsberg et al. 2005)

Die Möglichkeit, aufgrund der generierten Datensätze, qualitativ hochwertiges Kartenmaterial zu erstellen, ist noch in Vorbereitung. Zusätzlich wird bei dieser Anwendung die Fahrtroute aufgrund der vorhandenen Straßeninformationen optimiert (Abbildung 80).

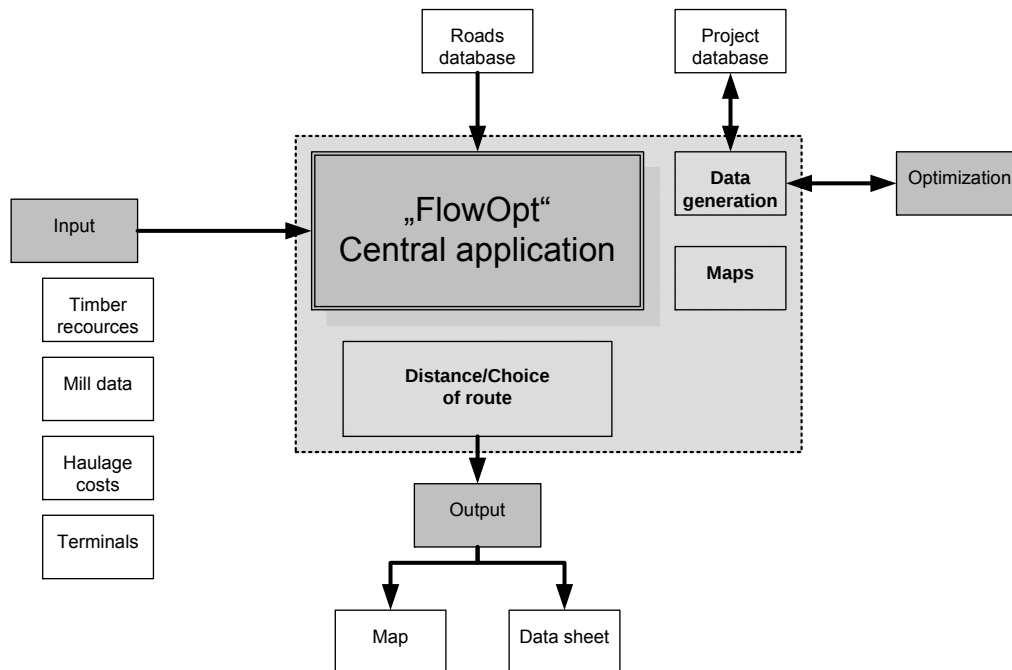


Abbildung 80: Aufbau und Funktionen der Logistiksoftware FlowOpt (SKOGFORSK)

2.5.4.3 LUKAS

LUKAS steht für Logistik- und Kommunikationsplattform zur Arbeitsprozesssteuerung. Als Plattform für den Austausch von Informationen und Daten dient eine internetbasierte Lösung. Im Mittelpunkt steht die reibungslose Abfuhr der Rundholzmengen. Dem Nutzer werden entsprechend seiner Rechte die nötigen Daten zur Verfügung gestellt. In der Literatur sind nur sehr spärliche Hinweise über Funktion und Ablauf zu dieser angebotenen Lösung vorhanden. Die Anwendung befindet sich laut Auskunft noch in der Testphase.

2.5.4.4 Holzflussmanagement (HFM)

Das von der Österreichischen Bundesforste AG im Einsatz befindliche Holzflussmanagement (HFM) dient zur Verwaltung von Erntemaßnahmen und der Holzabfuhr. Neben der Information über die geerntete Menge fehlt hier die Ortsangabe zu den Polter. Ausgehend von einer jährlichen, monatlichen und wöchentlichen Planung der Ernteeinsätze, werden hier die geschätzten Mengen mittels vordefinierter SMS-Masken von den Akteuren an den Forstbetrieb gesendet. Die Information unterstützt den Forstbetrieb bei der laufenden Einsatzplanung und der Holzabfuhr. Die eingehenden Meldungen werden mittels Datenbank verwaltet. Die Zu- und Aufteilung von aggregierten Mengenmeldungen zu den betreffenden Flächen innerhalb der Ernteplanung ist nur bedingt nachvollziehbar. Tagesaktuelle Erfassungen des Einschlages, Rückung und Abtransportes sind nur annähernd umsetzbar.

2.5.4.5 GeoMail

GeoMail nutzt E-Mails zum Austausch der Informationen über den Verlauf der Holzernte zwischen den Beteiligten. Die Polter können somit online und offline verwaltet werden. Bodelschwingh et al. (2003) untersuchte im Zuge eines Praxistests das Softwarepaket auf dessen Tauglichkeit. Je nach Anforderung stehen verschiedene Module zur Verfügung. Neben dem übergreifenden Koordinatormodul gibt es die Standardmodule mit eingeschränkter Funktion für die Maschinenführer. Es

werden täglich Statusmeldungen über den Fortschritt der Auftragsabarbeitung abgegeben, wobei jeder Akteur den Zugang zur gleichen Information besitzt. Neben der Information zum Arbeitsfortschritt erleichtert diese Lösung auch die Planung von Folgeeinsätzen aufgrund des eingesetzten Kartenmaterials (Überstellungen). Die Kosten für dieses Produkt belaufen sich auf ca. 1,00 €/FM für Hard- und Software bei einer Jahresmenge von 23.000 FM. Im Gegensatz dazu wird das Rationalisierungspotenzial auf 5 €/FM geschätzt.

Insgesamt wurde im Zeitraum Oktober bis Dezember 2002 mit Hilfe dieser Software die Bereitstellung von rund 3.000 FM unterstützend abgewickelt. Innerhalb des Zeitraumes verlief der Einsatz zum Großteil problemlos. Nur die lückenhafte Netzabdeckung der Mobilfunktelefone ist zu beachten. Grundvoraussetzung ist ein ausreichend detailliertes Kartenmaterial. Daxner (2002) beschreibt die Vorteile der zeitgenauen Detailerfassung und eine Zeiteinsparung durch die bessere Orientierung aufgrund des eingesetzten Kartenmaterials. Auch eine Einbindung in bereits bestehende Software eines Unternehmens ist problemlos möglich.

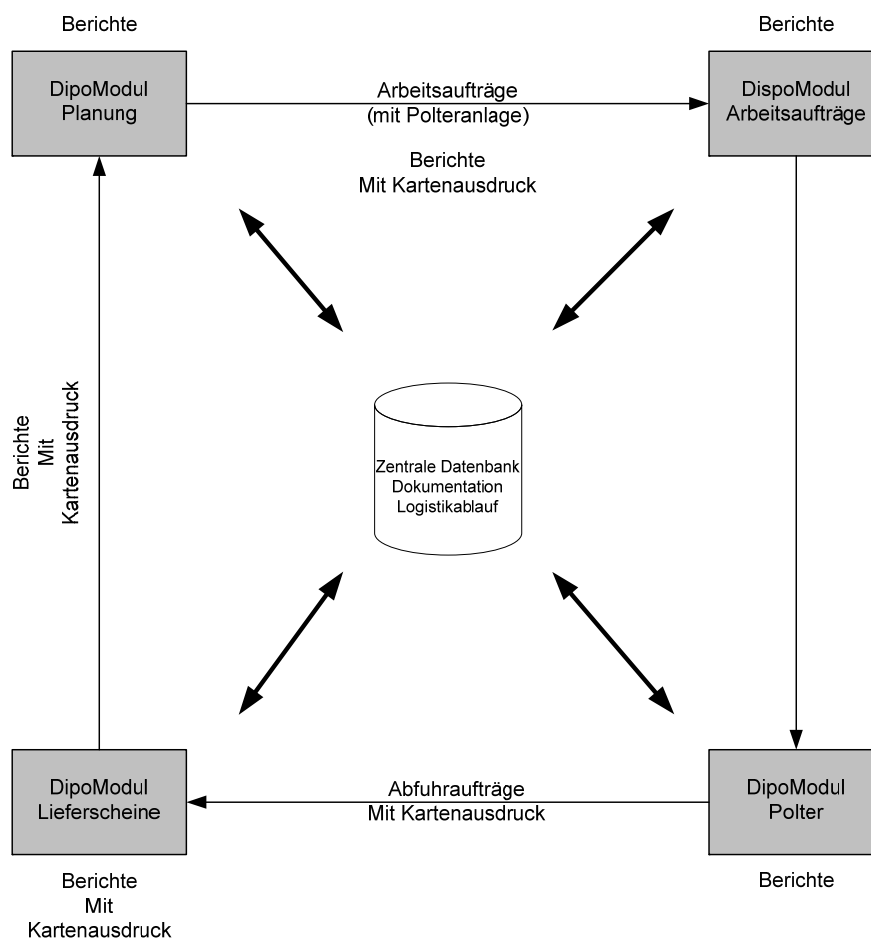


Abbildung 81: Funktion und Ablauf bei GeoMail (FORSTWARE)

2.6 Versorgungsoptimierung

2.6.1 Versorgungsnetzwerk

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 82).

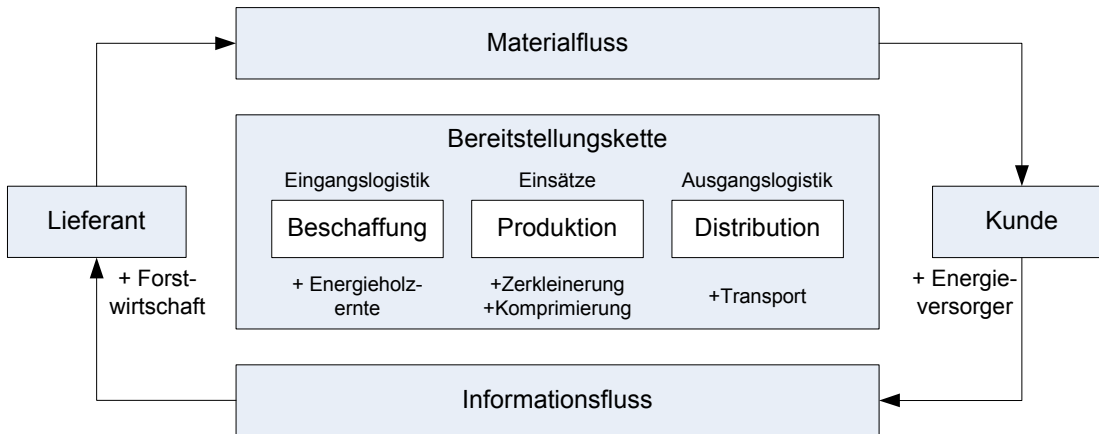


Abbildung 82: Vereinfachtes, logistisches System für die Waldhackgutbereitstellung (Ranta, 2002)

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).

Die Produktion von Waldhackgut stellt einen Teil- bzw. Spezialbereich der Holzproduktion dar. Das heißt, dass sich die Wertschöpfungskette (Supply Chain) Waldhackgut unter denselben Rahmenbedingungen wie die gesamte Holzproduktion bewegt. Diese ist geprägt von einer sehr heterogenen Besitzerstruktur mit unterschiedlichen Interessen und einem ausgeprägten Traditionsbewusstsein (Friedl et al., 2004). Dass die Wertschöpfungskette Holz in Österreich mit unterschiedlichen Problemen v. a. an den Schnittstellen zu kämpfen hat, zeigen z. B. die Studien von Daxner et al. (2004) und Friedl et al. (2004). Beide messen dem Begriff „Supply Chain Management“ (SCM) eine hohe Bedeutung bei und sehen in den damit verbundenen Ansätzen aus der Wirtschaft auch in der Forstwirtschaft den Schlüssel zum Erfolg. Der Begriff SCM gilt als facettenreich, weshalb es schwierig ist, eine geeignete Definition zu finden (Stadtler, 2005). Aus den existierenden Vorschlägen versucht Stadtler (2005) das Wesentliche zu extrahieren und führt folgende Definition ein: „Supply Chain Management hat die Aufgabe der Integration von Organisationseinheiten entlang der Wertschöpfungskette und der Steuerung des Material-, Informations- und Geldflusses, ausgerichtet auf die Kundenwünsche, mit dem Ziel die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Wertschöpf-

fungskette zu verbessern.“ Diese Definition lässt sich gut mit dem SCM-Haus visualisieren (Abbildung 83).

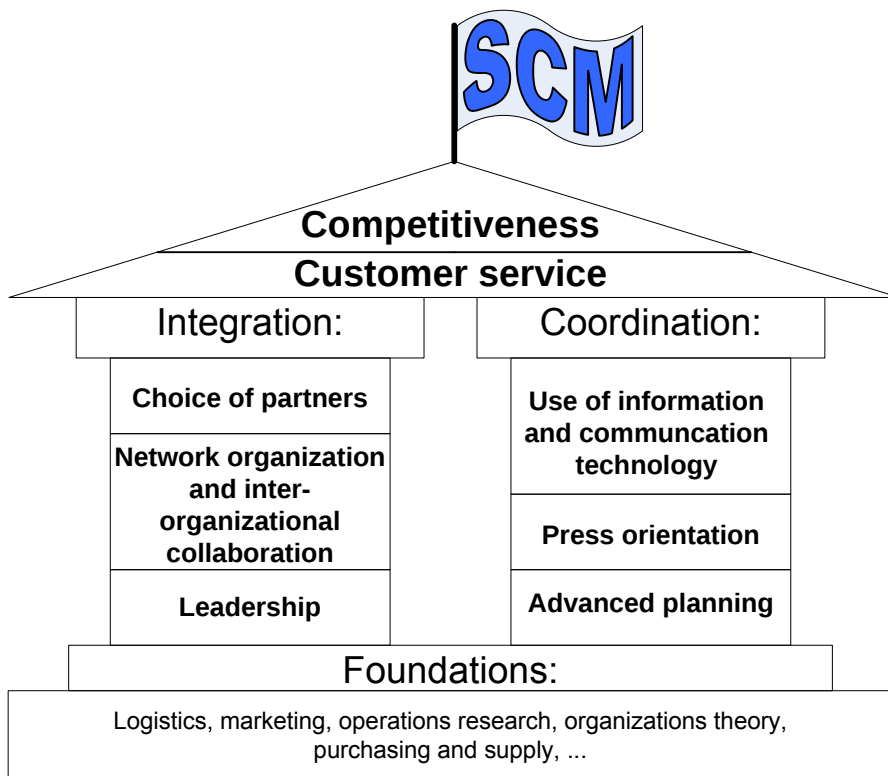


Abbildung 83: Supply Chain Management House (Stadtler, 2005)

Im Hinblick auf die Optimierung von Wertschöpfungsketten erweist sich der Baustein „Advanced planning“ von Bedeutung. Gemeint sind damit Werkzeuge, welche auf den Prinzipien der hierarchischen Planung basieren und intensiven Gebrauch von mathematischer Programmierung und Meta-Heuristiken machen. Die Werkzeuge beruhen auf einer einheitlichen Architektur mit Fokus auf den bekannten Geschäftsprozessen Beschaffung, Produktion, Distribution und Verkauf liegt (x-Achse in Abbildung 84). Nimmt man die zeitliche Komponente hinzu entsteht eine Planungsmatrix, welche sich in kurz-, mittel- und langfristige Teilbereiche aufgliedert (y-Achse in Abbildung 84).



Abbildung 84: Planungsmatrix einer Wertschöpfungskette als Basis für die Entwicklung von Softwaremodulen (Stadtler, 2005)

Eine zentrale Rolle spielt die Nachfrage- bzw. Bedarfsplanung, da das SCM per Definition daran ausgerichtet ist. Umgelegt auf die Wertschöpfungskette Waldhackgut sind die Organisation und die Abwicklung von Einsätzen der kurzfristigen Planung zuzuordnen. Verbesserungen bei den Bereitstellungsketten oder der Einsatz von Logistiksoftwaresystemen haben mittelfristige Bedeutung und

Auswirkungen. Beim Entwurf der Struktur einer Wertschöpfungskette, können Planungsintervalle von mehreren Jahren angenommen werden. Die langfristige Netzwerkplanung beinhaltet die Wahl der Standorte von Terminals, sowie der geografischen Versorgungsbereiche der Abnehmer. Im Zuge dieser Planung muss auch über die Kapazitäten der Einrichtungen und die verwendeten Transportmittel (Schiff, Bahn, LKW,...) entschieden werden.

Eine Einschränkung der Übertragbarkeit des SCM auf die Wertschöpfungskette Holz und Waldhackgut im Hinblick auf die Verfügbarkeit des Rohstoffes darf nicht übersehen werden. SCM handelt kundenorientiert. Die Frage, ob das gewünschte Produkt (Rundholz, Waldhackgut) bzw. der Rohstoff beschafft werden kann, rückt in den Hintergrund. Der Rohstoff Holz stellt ein knappes Gut dar, das zusätzlich noch mit einer geringen Dichte über eine große Fläche verteilt ist und im Verhältnis zum Volumen bzw. zur Masse einen geringen Wert besitzt. Holz als Massengut gilt als transportkostenintensiv, das heißt, das Verhältnis Transportkosten zum Warenwert ist im Vergleich zu anderen Gütern sehr hoch (Kienzler et al., 2000). Noch problematischer gestaltet sich dieses Bild in der Kette Waldhackgut, wo die geringen Ladedichten des Energieholzes (v. a. bei Schlagabraum) die Kosten erhöhen (Patzak, 1984a; Andersson et al., 2002; Hakkila, 2004). Dem Transport kommt damit eine zentrale Bedeutung zu, wie auch Eriksson und Björheden (1989) anmerken: „Optimierung der Energieholzproduktion bedeutet im Wesentlichen die Minimierung der Transportkosten“.

Von strategischer Bedeutung für die Planung und Optimierung des Holzflusses ist auch die Entwicklung des Angebotes an Holz (Carlsson & Rönnqvist, 2005) bzw. des Energieholzpotenzials, weil natürlich Investitionen in Anlagen und Maschinen nur bei entsprechender Verfügbarkeit sinnvoll sind.

Entlang der Wertschöpfungskette treten viele Planungsprobleme auf, welche sich auch über verschiedene Zeiträume erstrecken. Zur Entscheidungsunterstützung und zur Steuerung des Holzflusses setzen Carlsson & Rönnqvist (2005) am Beispiel von Södra Cell AB Methoden, wie lineare und gemischt ganzzahlige lineare Optimierung aus dem Bereich des „Operation Research“ ein. Södra Cell AB ist eine Tochtergesellschaft von Södra – einer schwedischen Waldbesitzervereinigung mit 34.000 Mitgliedern – welche im Jahr an fünf Standorten zwei Millionen Tonnen Zellstoff produziert und dafür neun Millionen Festmeter Holz benötigt. Für die **strategische Planung** (Einsatz von Terminals, Aufteilung des Holzflusses auf verschiedene Abnehmer, Schwerpunktregion für den Verkauf, usw.) gehen sie von einem fünfjährigen Zeithorizont aus. Die **taktische Planung** basiert auf der jährliche Budgetierung und einer vierteljährlichen Revision, wobei hier konkrete Einkaufs- und Verkaufsmengen festgelegt werden. Der gesamte Bedarf an verschiedenen Sortimenten wird auf die zur Verfügung stehenden Ressourcen (Regionen Schwedens, Importe) aufgeteilt. Monatlich erfolgt die **operative Planung**, die direkten Einfluss auf Teilbereiche der Wertschöpfungskette hat. So wird hier zum Beispiel ein Optimierungsmodell zur Bestimmung der optimalen Einzugsgebiete für jedes Werk eingesetzt, um die Anforderungen der einzelnen Werke bei minimalen Transportkosten zu bestimmen. Eine Möglichkeit von Södra, um Kosteneinsparungen zu realisieren, stellt der Tausch von Holz mit anderen Firmen dar. Södra veräußert Holz an fremde Werke, welche geographisch entsprechend näher liegen und erhält dafür im Austausch an den eigenen Werken nahegelegenes Holz (Carlsson & Rönnqvist, 2005).

2.6.2 Design und Optimierung des Versorgungsnetzwerks Energieholz

Ganz allgemein sind betriebliche Standortplanungsprobleme dadurch gekennzeichnet, dass sowohl Transportkosten, als auch die Kosten für die Errichtung von Produktionsstätten oder Auslieferungslagern eine entscheidende Rolle spielen. Um die Vertriebskosten zu senken kann die Errichtung von Auslieferungslagern – oder im engeren Sinn Terminals – in Erwägung gezogen werden.

Aufgrund von Einschränkungen ergibt sich eine Reihe von potenziellen Standorten, welche sich durch unterschiedliche Kosten für Errichtung, Transport, usw. unterscheiden. Ziel der Planung kann es sein die Summe aus fixen Standortskosten und den variablen Transportkosten zu minimieren. Derartige Probleme werden in der Literatur als Warehouse-Location-Problem (WLP) bezeichnet. Normative Ansätze und exakte sowie heuristische Lösungsverfahren für unterschiedliche WLP werden bei Domschke & Drexl (1996) diskutiert, für deren Umsetzung allerdings teilweise mit hohem Programmieraufwand zu rechnen ist.

Typische Standortanalysen für Heizwerke gelten als komplex und sind meist sehr datenintensiv. Die Komplexität ergibt sich aus der Anzahl an bestehenden Standorten multipliziert mit potenziellen Standorten multipliziert mit den Versorgungsstrategien für jeden Standort. Die Auswahl von Standorten für Heizwerke verlangt nach Methoden, welche Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Daten beschreiben, um räumliche Unterschiede differenzieren zu können (Ranta, 2005).

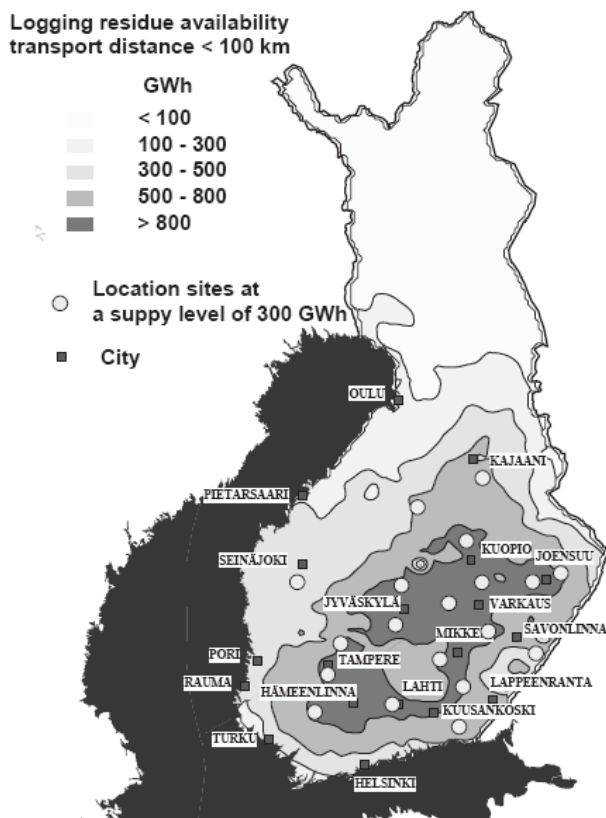


Abbildung 85: Potenzial an Schlagabraum als Funktion von Distanz und optimierten Werksstandorten bei einem Bedarfsniveau von 300 GWh (Ranta, 2005)

Das Problem eines optimalen Versorgungsnetzwerkes kann auch als Problem der optimalen Verteilung von Ressourcen gesehen werden. So verfolgt Ranta (2002, 2005) das Ziel, das Potenzial an Schlagabraum für die thermische Verwertung und die Versorgungskosten für bestehende Heizwerke und die Regionen Finnlands zu evaluieren. Ausgehend von der Annahme, dass sowohl das Potenzial als auch die Kosten eng mit den Bedingungen am jeweiligen Waldstandort bzw. den Regionen verknüpft sind, entwickelt er ein GIS-Modell zur Berechnung des Potenzials und der entstehenden Kosten für jedes Werk. Die Mengen an Schlagabraum, welche bei der Nutzung anfallen könnten, werden über die finnische Bestandesdatenbank geschätzt. Über ein mathematisches Modell (LP/MIP-Modell), welches als Ziel die Minimierung der gesamten Transportkosten hat, wird das Potenzial jedes Waldstandortes einem Werk zugewiesen. Somit kann die Verteilung bei überlappenden Einzugsgebieten von Werken dargestellt werden. Ein Ergebnis der Studie sind Karten, die das Angebot an Schlagabraum bei einer maximalen Transportdistanz von 100 km und den

Einfluss der geographischen Lage auf das verfügbare Potenzial zeigen. So sind zum Beispiel die Regionen im Inneren bevorzugt, weil dieselbe Menge an Schlagabraum in einem viel kleineren Einzugsgebiet beschafft werden könnte (Abbildung 85). Das größte Potenzial wurde in Zentral- und Ost-Finnland lokalisiert. Die Erreichbarkeit bzw. die Distanz zu den Waldstandorten wird über Koeffizienten (Kurvigkeit), welche einen Bereich von 1,20 und 1,49 aufweisen, berechnet.

Das ökonomisch nutzbare Potenzial an Energieholz leiten Nord-Larsen & Talbot (2004) über die Berechnung von Durchschnitts- und Grenzkosten ab. Sie schätzen das Energieholzpotenzial für Waldbestände größer 0,5 ha über Daten der Forstinventur, wobei sie bei der Ernte drei Szenarien unterstellen:

- (1) Ernte von Ganzbäumen in Erstdurchforstungen, wo der Grundflächenzentralstamm einen kritischen Durchmesser von 12 -16 cm noch nicht erreicht hat
- (2) zusätzlich Nutzung von Ästen und Wipfeln bei Endnutzungen über dem Zopfdurchmesser von 10 cm
- (3) Nutzung von Waldhackgut aus Durchforstungen in Form von Schlagabraum

Die Einschätzung des Potenzials wurde für alle Gemeinden Dänemarks durchgeführt. Jede dieser Gemeinden bildet für die spätere Allokation einen Bezugspunkt. Die hohe Anzahl soll eine ausreichende räumliche Auflösung für die Berechnung der Grenzkosten gewährleisten. Für den Bedarf der 67 Heizwerke wurde ein mittlerer Verbrauch der Werke als Mittelwert über einen Beobachtungszeitraum von acht Jahren gebildet (Szenario 1). Der maximale jährliche Bedarf, berechnet aus der Summe der jeweiligen Maxima aus den acht Jahren wird durch Szenario 2 beschrieben. Daten über Potenzial, Bedarf und Transportkosten(-matrix) fließen in eine Transportoptimierung ein. Die verfügbaren Ressourcen werden mit dem Ziel die gesamten Transportkosten zu minimieren auf die Werke verteilt. Die Herleitung der Grenzkostenkurven für die Belieferung basiert auf den Ergebnissen der Optimierung für die Szenarien (Abbildung 86). Zur Interpretation und Einschätzung, welche Mengen aus ökonomischer Sicht nutzbar sind, wurden Substitutionskosten von 1200 €/TJ festgelegt. Dieser Betrag entspricht einem Einzugsgebiet von 100 km Radius und annähernd den praktischen Erfahrungen. Je nach Szenario wären dann zwischen 3.500 und knapp 6.000 TJ an Energieholz ökonomisch verwertbar. Das Potenzial an Energieholz reicht je nach Szenario aus um 70 bis 150% des Bedarfs zu decken. Aus ökonomischer Sicht können nur 57 bis 100% des Bedarfs erfüllt werden.

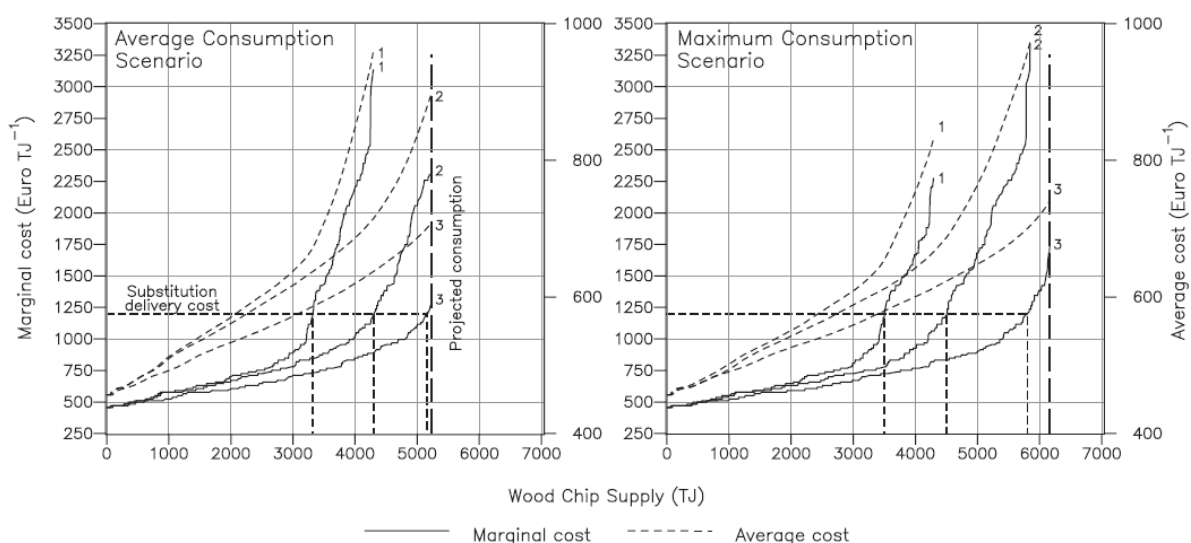


Abbildung 86: Durchschnitts- und Grenzkosten für die Bereitstellung von Energieholz in Dänemark

Die Abbildung zeigt drei Potenzial- und zwei Bedarfsszenarien. Der prognostizierte Bedarf wird durch die vertikale Linie gezeigt. Die Substitutionskosten für Energieholz werden bei 1.200 € angesetzt, woraus sich verschiedene ökonomisch verfügbare Mengen ergeben (Nord-Larsen & Talbot, 2004).

Gemäß dem zuvor erwähnten Versorgungsnetzwerk Energieholz definieren Eriksson & Björheden (1989) fünf verschiedene theoretisch verfügbare Produktionswege, welche sie mit der Linearen Programmierung evaluieren. Die fünf alternativen Produktionswege werden in Abbildung 87 dargestellt.

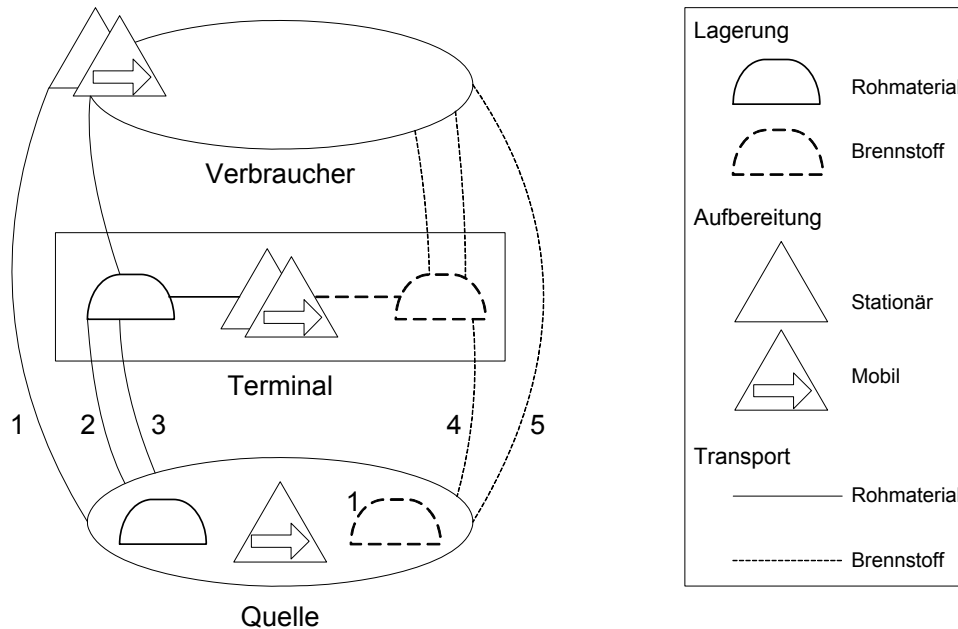


Abbildung 87: Fünf alternative Produktionswege von der Rohstoffquelle zum Verbraucher zur Studie der Transport- und Aufbereitungssysteme für ein Heizwerk (Eriksson & Björheden, 1989)

- (1) Direkter Transport des Rohmaterials von der Quelle (Nutzungsfläche) zum Verbraucher und Aufbereitung beim Heizwerk.
- (2) Transport von Rohmaterial über einen Terminal zum Verbraucher und Aufbereitung beim Heizwerk.
- (3) Rohmaterialtransport via Terminal, ausgestattet mit Aufbereitungs- und Lagermöglichkeiten. Transport des aufbereiteten Materials (Brennstoff) zum Heizwerk.
- (4) Aufbereitung des Rohmaterials an der Quelle und Transport via Terminal zum Heizwerk.
- (5) Aufbereitung des Rohmaterials an der Quelle und direkter Transport zum Heizwerk.

Die genannten Prozessketten weisen verschiedene logistische Charakteristika auf:

- Kein Umladen (1 und 5)
- Optimierte Transportdistanz (1 und 5)
- Minimale Lagerkosten (5)
- Möglichkeiten zum Einsatz von kosteneffizienten, (quasi-)stationären Aufbereitungseinheiten (1,2 und 3)
- Chance der Pufferung durch Lager für eine verbesserte Verfügbarkeit, usw. (2, 3 und 4)
- Potenzial zur Optimierung der Brennstoffqualität (3 und 4)

Basierend auf den getroffenen Annahmen in Bezug auf die eingesetzten Maschinen, Kosten usw. stellten sich die direkten Lösungen als die wirtschaftlichsten heraus (Prozessketten 1 und 5). Die

Möglichkeit einer Verbesserung der Brennstoffqualität durch Lagerung und Mischung, sowie der Einsatz von Großhackern konnte die Profitabilität nicht ausreichend erhöhen. Über kurze Transportdistanzen stellt der direkte Transport unter skandinavischen Verhältnissen die günstige Alternative dar. Die Ergebnisse dieser Studie mit durchschnittlichen Transportdistanzen von 55 km, wurden in einer weiteren Studie von Andersson et al. (2002) bestätigt.

Um das Entscheidungsproblem, wann und wo Schlagabraum bzw. Energieholz zu Waldhackgut verarbeitet und wie das Material transportiert und gelagert wird, zu lösen, formulieren Gunnarsson et al. (2004) ein gemischt ganzzahliges lineares Programmierungsmodell (Mix Integer Programming Model – MIP). Das Modell berücksichtigt zusätzlich den Materialfluss von Sägewerken sowie den Import und stellt die Frage, welche Terminals verwendet werden sollen. Planungshorizont des Modells ist ein Jahr, welches allerdings auf Monate heruntergebrochen wird. Das Modell berücksichtigt eine Vielzahl von möglichen Stoffflüssen, wie z.B. von unterschiedlichen Nutzungsflächen entweder via Terminal oder im direkten Transport zum Heizwerk oder durch Import über einen Hafen zum Terminal usw., transportiert werden soll (Abbildung 88).

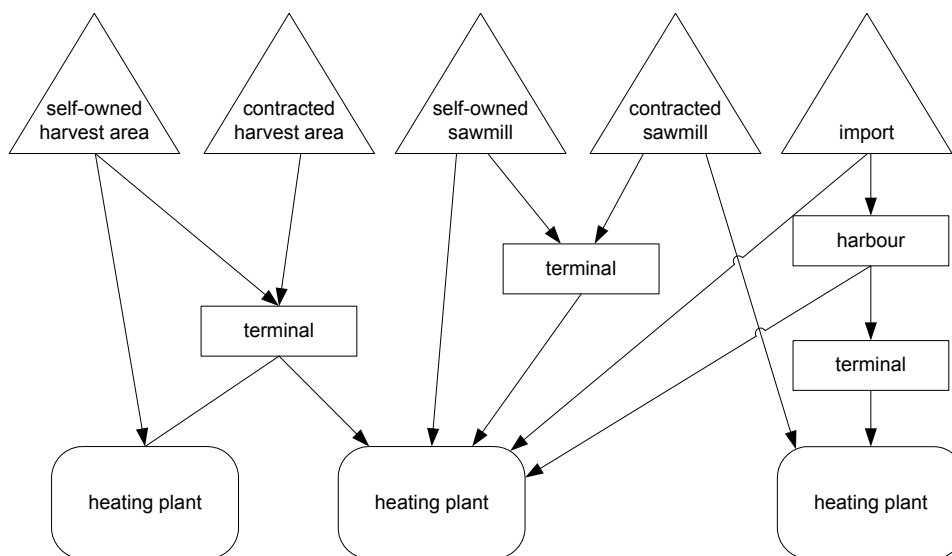


Abbildung 88: Eine Darstellung der möglichen Transportströme im gemischt Ganzzahligen Linearen Programmierungsmodell von Gunnarsson et al. (2004)

Der Test erfolgte mit Daten eines schwedischen Unternehmers und beinhaltet 426 Nutzungsflächen, drei Sägewerke, vier Terminals, sieben Heizwerke und zwölf Zeitperioden. Aus dieser Kombination entsteht ein sehr großes MIP-Problem mit ca. 500.000 Variablen, 10.000 binären Variablen und 63.000 Nebenbedingungen, wodurch je nach Setzen der Eingangsparameter lange Rechenzeiten von 2,5 bis 6,6 Stunden notwendig sind. Mit Hilfe des Modells können verschiedene strategische Überlegungen evaluiert bzw. berechnet werden. In Abhängigkeit der Eingangsgrößen schlägt das Modell kostenoptimierte Wege und Mengenflüsse für die Versorgung vor.

Ein explizites Ziel zur Durchführung einer Standortsplanung für Zwischenlager bzw. Terminals, verfolgen die erwähnten Arbeiten nicht. Mit Ausnahme von Gunnarsson et al. (2004) beschäftigen sich die meisten Autoren mit den Prozesskosten der Bereitstellung von Energieholz bzw. der Versorgung von einzelnen Werken (Eriksson & Björheden, 1989; Asikainen et al., 2001; Van Belle et al. 2003). Gronalt & Rauch (2007) versuchen über einen einfachen heuristischen Ansatz ein lokales Versorgungsnetz zu entwerfen. Sie berechnen ISO-Kostenkurven für regionale und zentrale Terminals, um Einzugsgebiete festzulegen. Nimmt man zum Beispiel an, dass die Kosten maximal 5 €/SRM betragen sollen, kann bei einer Distanz von 40 km bis zum Werk ein regionaler Terminal mit einem Einzugsgebiet von knapp 30 km Radius vorgeschlagen werden. Bei einem zentralen Terminal (höhere Ausstattung) würde der Radius 55 km betragen (Abbildung 89). Durch den Ein-

satz von regionalen Terminals erwarten Gronalt & Rauch (2007) bei den Versorgungskosten Einsparungen von 11 bis 30%. Für ein annähernd optimales Versorgungsnetzwerk müssten allerdings die gesamten Systemkosten inklusive des Transportes zum Terminal, die Terminalkosten und die Transportkosten zu den Werken berücksichtigt werden. Ein auf Parametern basierendes distanzabhängiges Modell, welches auch die Auswirkungen beim Bau eines Terminals auf das Einzugsgebiet zeigt, wird in Aussicht gestellt (Gronalt & Rauch, 2007).

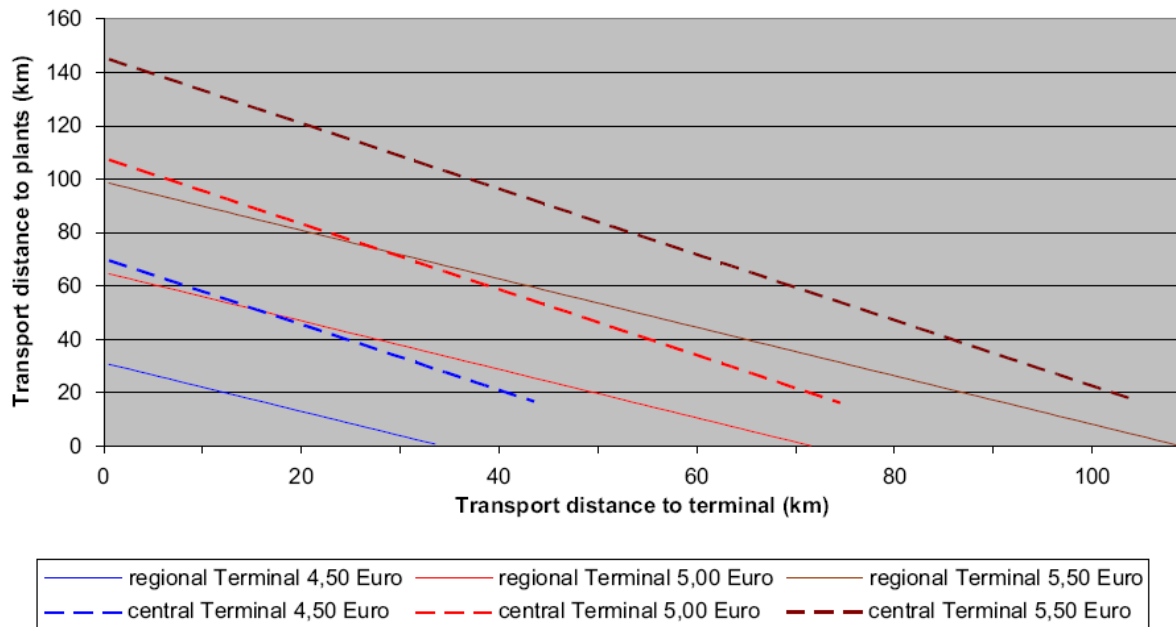


Abbildung 89: System ISO-Kostenkurven für regionale und zentrale Terminals

Um den Effekt eines kooperativen, mittels LP optimierten Versorgungsnetzwerkes aufzuzeigen, ist eine realitätsnahe Bestimmung des tatsächlichen Einzugsgebietes erforderlich. Da das Abfragen von Lieferverhältnissen schwierig bzw. die Lieferdaten vertraulich sind, bilden Gronalt & Rauch (2006) die Entscheidungsfindung beim Einkauf mittels dreier Heuristiken nach. Zur Nachbildung der realen Versorgungssituation werden diese Entscheidungslogiken verwendet:

- a) Minimum der Gesamtkosten
- b) Marktmacht
- c) Attraktivität einer Region

Die Heuristik (a) teilt die Lieferungen von den Quellen, entsprechend den Gesamtkosten, beginnend mit der Lieferanten-Abnehmerkombination mit den geringsten Gesamtkosten, den Abnehmern zu. Logik (b) hingegen unterstellt, dass sich zuerst der größte Abnehmer kostengünstig versorgt und dann der jeweils Nächstgrößere. Die Attraktivität (c) einer Region wird über einen Quotienten aus Angebotsmenge und Distanz zum Abnehmer berechnet. Mit der attraktivsten Kombination beginnend wird in absteigender Reihenfolge die Versorgung festgelegt (Gronalt und Rauch, 2006). Im Vergleich zur mittels LP bestimmten optimalen Versorgung weist die Strategie (a) um 20% höhere Werte auf. Die Heuristik „Marktmacht“ liefert sogar um 45% schlechtere Werte. Die dritte Logik unter Berücksichtigung von Mengen und Distanzen erreicht nahezu mit nur 5% Mehrkosten das Ergebnis der LP-Variante.

3 Material und Methodik

3.1 Bedarfserhebung von Energieholz zur Verwertung in Biomasseheizwerken

Die Erhebung des Brennstoffbedarfs von Biomasseheizwerken erfolgte durch Kombination der Daten der Geschäftsstelle für Energiewirtschaft des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung, der Österreichischen Energieagentur sowie eigenen Erhebungen.

Alle Anlagen, welche bis Ende 2006 in Betrieb gegangen sind, wurden von der Geschäftsstelle für Energiewirtschaft in georeferenzierter Form zur Verfügung gestellt. Weitere KWK-Anlagen welche sich in Bau oder Planung befinden, wurden von der Österreichischen Energieagentur und dem Institut für Forsttechnik recherchiert. Wesentliche Komponenten zur Analyse des Brennstoffbedarfs waren die örtlichen Lage, die Brennstoffwärmeleistung, der Verbrauch an Energieholz sowie deren Betriebsstatus. Als verwertbarer Brennstoff für Biomassekraftwerke werden Waldhackgut und Sägenebenprodukte (Gesamtheit von Schwarten, Spreißel, Kappholz, Sägehackgut, Sägespäne und Hobelspäne) und in sehr geringem Ausmaß auch Stroh oder ähnliche landwirtschaftliche Produkte eingesetzt.

Für den Brennstoffverbrauch von Heizwerken, welche erst nach 01.01.2007 in Betrieb gehen, liegen Prognosen für KWK-Anlagen vor, welche aus Daten von der Österreichischen Energieagentur, von E-Control sowie nach persönlicher Rücksprache mit den Heizwerkbetreibern ermittelt wurden. Von der Brennstoffwärmeleistung eines Heizwerks in kW kann annäherungsweise auf deren Bedarf an Energieholz in SRM im Verhältnis 1:9 hochgerechnet werden (Nemestothy 2006a).

Bis zum Ende des Jahres 2006 befanden sich 333 Biomassekraftwerke im Planungsgebiet. Weitere neun KWK-Anlagen befinden sich in Bau und elf in der Planungsphase (Abbildung 90). Mit Ausnahme des Heizwerkes Wien Simmering stehen alle Werke in Niederösterreich. Eine Agglomeration von Standorten ist sowohl entlang der Siedlungsgebiete an der West- als auch an der Südgrenze zu beobachten.

Zusammenhänge zwischen der räumlichen Verteilung der Heizwerke und dem Brennstoffmix lassen sich teilweise erkennen (Abbildung 91). Heizwerke mit höherem Waldhackgutbedarf sind eher in Ballungsräumen und Werke mit höherem Sägenebenproduktenbedarf sind eher in ländlichen, waldreichen Gebieten zu finden. Dies lässt sich wahrscheinlich auf eine höhere Sägewerksdichte in diesen Gebieten zurückführen.

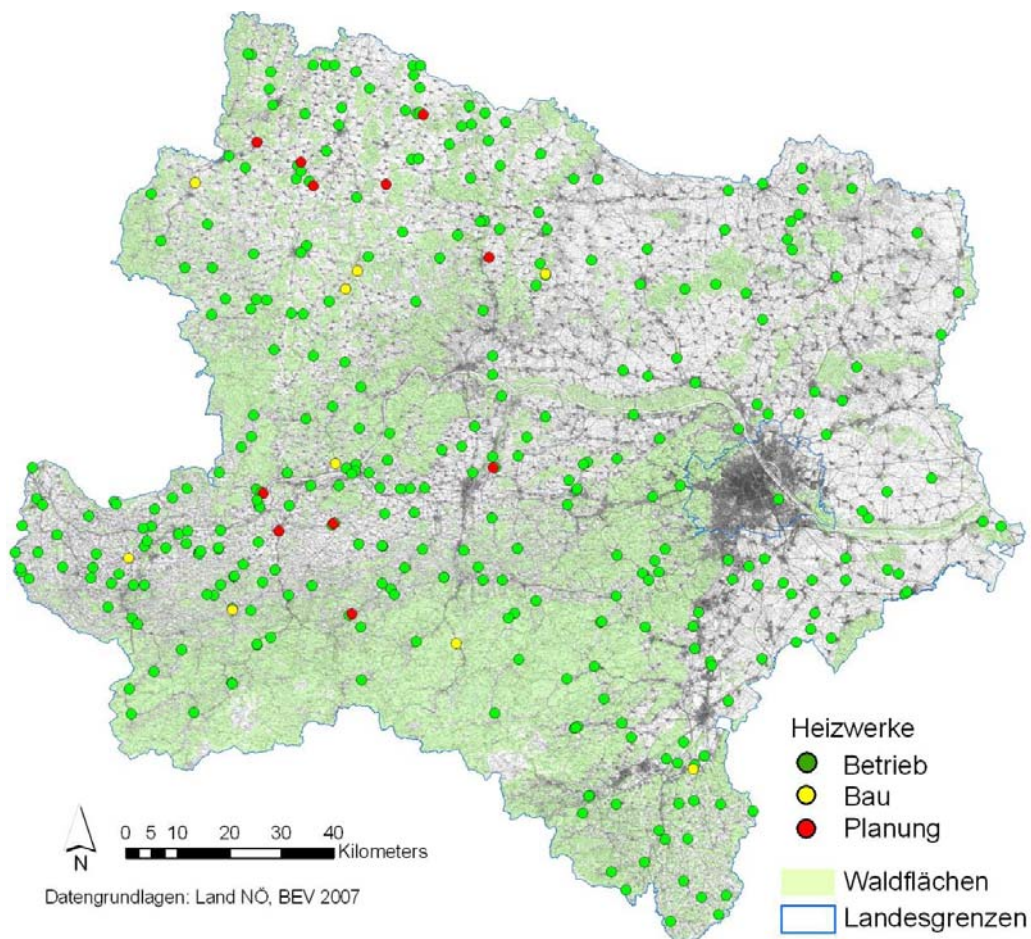


Abbildung 90: Verteilung von Biomasseheizwerken im Planungsgebiet und deren Status

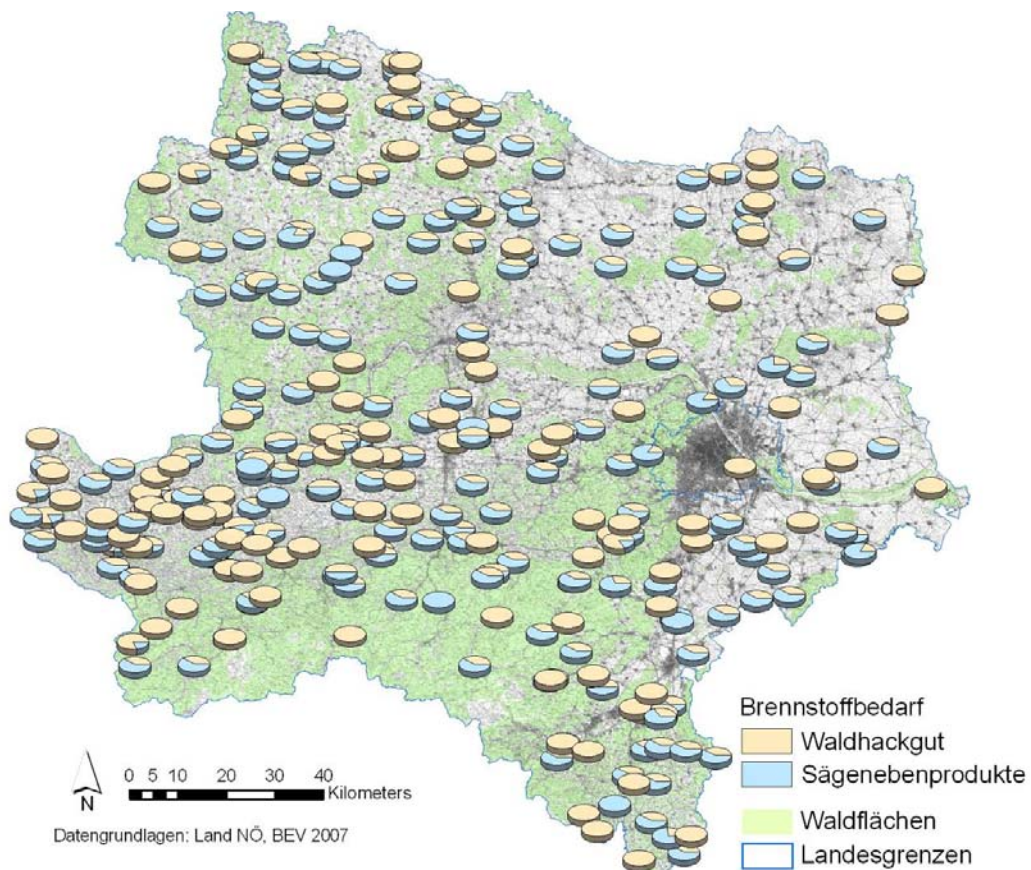


Abbildung 91: Verteilung der Biomasseheizwerke und deren relative Brennstoffbedarf

3.2 Transport von Energieholz

3.2.1 Vortransport von Schlagabraum

Unter dem Begriff Vortransport versteht man den Transport von Material (in diesem Fall Schlagabraum) von einem Lagerplatz an einer Forststraße bis zu einem zentralen Lagerplatz in der näheren Umgebung. Beim Schlagabraum „handelt es sich um alle, nach herkömmlicher Holzernte im Wald verbleibenden losen Reststoffe der geernteten Bäume“ (Patzak, 1981).

Im Frühjahr sowie Sommer 2006 wurden drei Fallstudien zum Vortransport von Schlagabraum durchgeführt.

3.2.1.1 Datenerhebung

Die Studien wurden in zwei Revieren der Österreichischen Bundesforste (ÖBf AG) durchgeführt. Zwei Studien fanden im Revier Neuberg in der Steiermark und eine weitere im Revier Droß in Niederösterreich statt. Die Datenerhebung erfolgte nach Zyklen. Ein Zyklus setzte sich aus den Teilprozessen: Leerfahrt, Laden, Lastfahrt und Entladen zusammen (Abbildung 92).

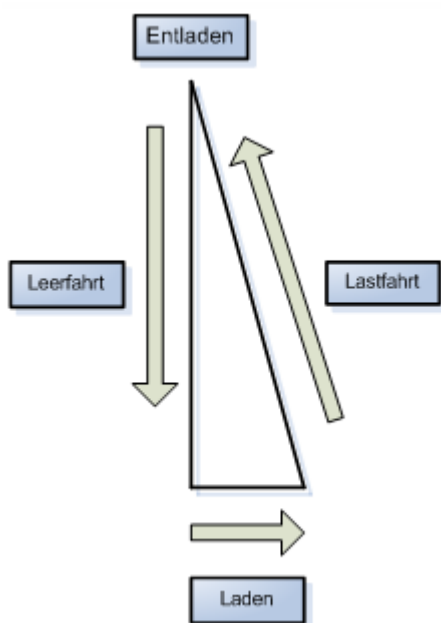


Abbildung 92: Zeitstudienzyklus mit Arbeitsschritten

Für die jeweiligen Prozesse wurden die Zeit bzw. die Distanz gemessen. Der Schlagabraum wurde mit einem modifizierten Rungen-LKW mit Einsatzwänden aus Lärchenpfosten und Anhänger vortransportiert, welcher ein Ladeflächenabmaß gemäß Tabelle 16 (Fenz & Pircher, 2006) aufweist.

Tabelle 16: Ladeflächenabmaß

Fahrzeug	Abmessung [m]			Volumen [m ³]
	Länge	Breite	Höhe	
LKW	5,25	2,25	2,25	26,6
Hänger	5	2,25	2,25	25,3
gesamt				51,9

Trotz der seitlichen Bordwände konnten nur 40 anstatt 52 m³ Ladevolumen ausgeschöpft werden (Abbildung 93). Fenz & Pircher (2006) begründen dies mit den fehlenden Bordwänden an den Rückseiten der Ladeflächen sowie beim Anhänger an der Vorderseite der Ladefläche.



Abbildung 93: Rundholz-LKW mit Anhänger, ausgestattet mit Bordwänden aus Holz

Die Abgrenzung der Zyklen erfolgte selbständig durch den LKW-Fahrer. Jeder Fahrer wurde mit einem PDA mit GPS-Funktion ausgerüstet. Als Software diente das Programm LogRac, mit welchem die Zeit und die zurückgelegte Distanz aufgezeichnet werden konnte.

3.2.1.2 Datenaufbereitung

Von insgesamt 33 aufgezeichneten Fahrten konnten nur 16 Fahrten ausgewertet werden. Neben einer explorativen Datenanalyse wurden Produktivitäten sowie Kosten je SRM und je Tonne in Abhängigkeit von der Transportdistanz errechnet. In die Kostensimulation wurden folgende Daten miteinbezogen:

- Transportvolumen
- Systemkosten in €/h
- Mittlere Lade- und Entladedauer
- Dauer der Leer- und Lastfahrt
- Fahrdistanzen

Da bei den Erhebungen das Transportvolumen nicht erfasst werden konnte, entnahm man das Ladevolumen aus Literaturquellen bzw. aus mündlichen Mitteilungen (ÖBf AG, 2006). Bei den österreichischen Bundesforsten nimmt man ca. 25 SRM Schlagabraum pro Rungen-LKW und Anhänger (Ladeflächenabmaß von ca. 45 m³) an (Hochrainer & Stampfer, 2006). Ein Ladevolumen von 40 m³ ergibt somit umgerechnet 22,22 SRM. Die ÖBf AG errechnete ein Transportvolumen von 24 SRM pro Fuhre bei Schlagabraum sowie von 34 SRM pro Fuhre bei Wipfelmaterial.

Als Systemkosten für den LKW wurden 78 €/h eingesetzt (Linko, 2006). Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit errechnete sich aus der Dauer der Leer- und Lastfahrten und den Fahrdistanzen. Für die Kostensimulation wurde folgende Formel verwendet:

$$(1) \text{ Euro/ Schüttraummeter} = \frac{[\text{Zeit(Laden+ Entladen)} + \frac{\text{Distanz} * 2}{\text{Geschwindigkeit}}] * \text{Stundensatz}}{\text{Fuhrenvolumen}}$$

3.2.2 Intermodaler Transport von Energieholz mit LKW und Eisenbahn

Beim intermodalen Transport erfolgen der Vor- und Nachtransport per LKW und der Haupttransport per Eisenbahn. Der Transportvorgang setzt sich gemäß den in Abbildung 94 angeführten Teilprozessen zusammen.

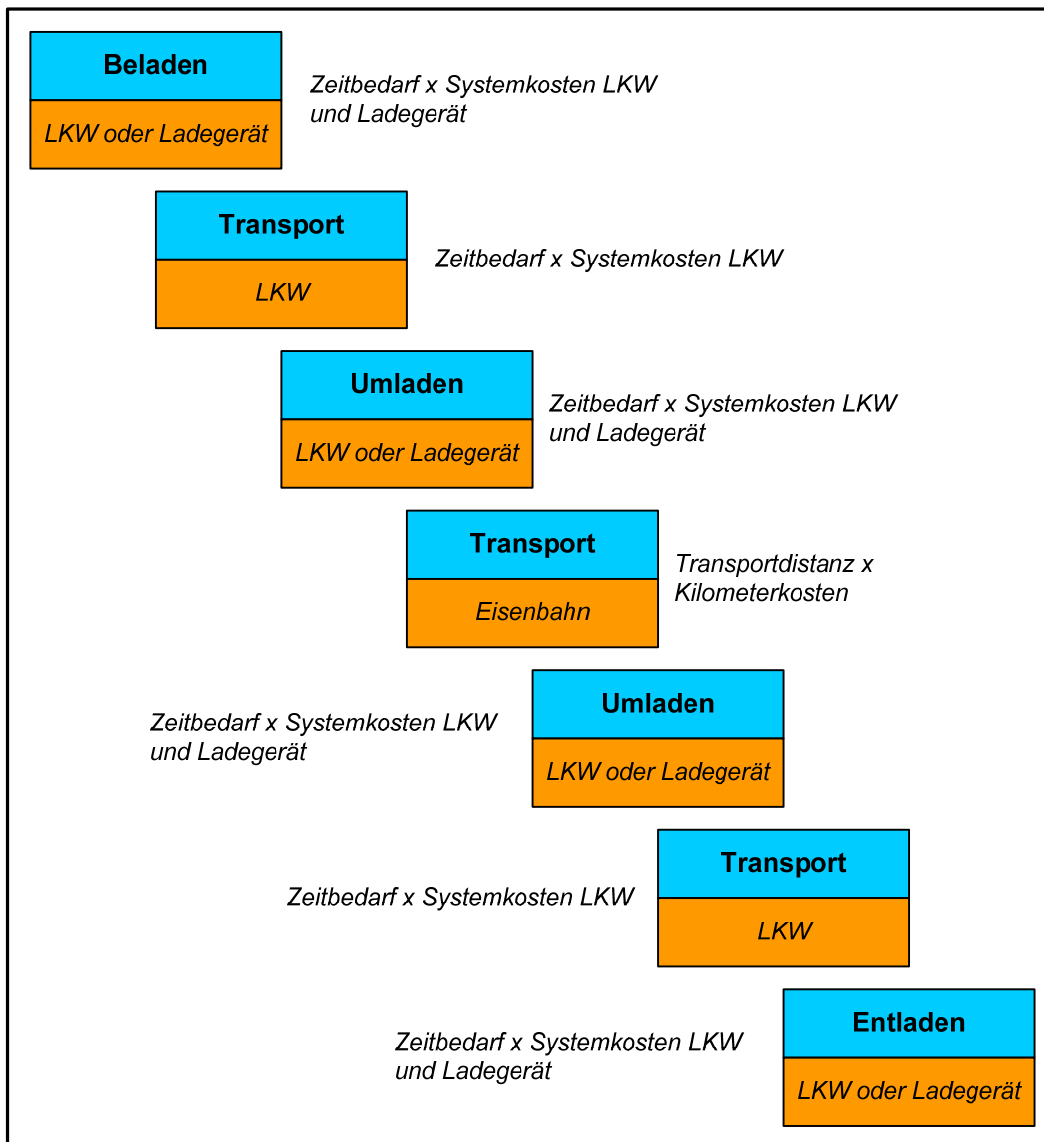


Abbildung 94: Teilprozesse und Kostenermittlung für den intermodalen Transport

3.2.2.1 Eingangsgrößen

Die Produktivität des Systems wird durch die transportierte Holzmenge innerhalb einer Zeitspanne definiert. Die Holzmenge wird durch das Ladevolumen und das maximale Ladegewicht definiert. Die Zeit ergibt sich aus den Tätigkeiten Be-, Entladen und dem Fahren sowie möglichen Wartezeiten. Als Eingangsgrößen für die Berechnung der Transportkosten dienen die in Tabelle 17 dargestellten Faktoren.

Tabelle 17: Eingangsgrößen zur Berechnung der Transportkosten

Faktor	Einheit	Wertebereich	Quelle
Transportgeschwindigkeit LKW	km/h	12 - 72	Ganz et al. (2005)
Transportdistanz LKW und Bahn	km	variabel	Tele Atlas (2007)
Straßenkategorie	-	0 - 8	Tele Atlas (2007)
Systemkosten Rundholz-LKW	€/h	77,64	Linko (2006)
Systemkosten MOBILER-LKW	€/h	60,00	Litschauer (2006)
LKW-Maut	€/km	0,155 – 0,3255	www.asfinag.at (2007)
Verladezeiten	h	variabel	Friedl et al. (2004), Litschauer (2006)
Kosten Radlader	€/SRM	0,48	Kapitel 3.3.3
Systemkosten Eisenbahn	€/km	182 – 1.667	www.railcargo.at (2007)
Transportkubatur	SRM	variabel	Ganz et al. (2005) und www.railcargo.at (2007)

Die Transportgeschwindigkeit wurde von Ganz et al. (2005) durch eine fortlaufende Aufzeichnung der Position eines LKW mittels GPS bestimmt. Durch Verschneiden der Positionen mit einer digitalen Straßenkarte, kann jeder aufgezeichneten Position die aktuelle Straßenkategorie zugewiesen sowie Dauer und Fahrzeit für den aktuellen Abschnitt ermittelt werden. Daraus konnte für jede Straßenkategorie eine mittlere Geschwindigkeit errechnet werden (Abbildung 95).

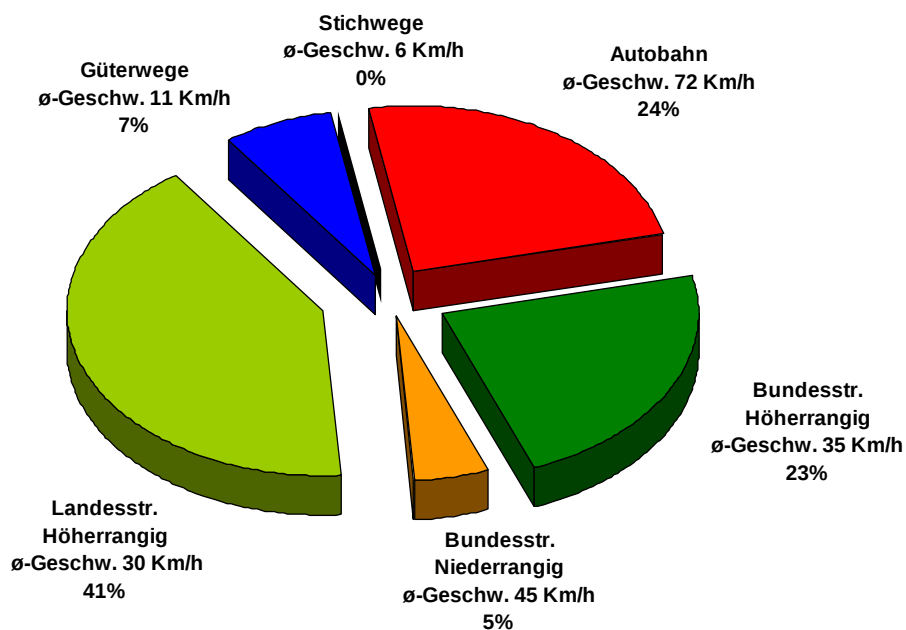


Abbildung 95: Analyse der Straßenkategorien (Ganz et al. 2005)

Für den Rundholz-LKW wurden von Linko (2006) Systemkosten in der Höhe von 77,64 €/h berechnet. Litschauer (2006) gibt für den MOBILER-LKW Systemkosten in der Höhe von 60,00 €/h an.

Für die Kostenberechnung sind auf Autobahnen und Schnellstrassen außerdem Mautgebühren zu berücksichtigen, die in Abhängigkeit von der Achsenanzahl variieren (Tabelle 18) (www.asfinag.at, 2007).

Tabelle 18: Gebühren für LKW-Maut

Achsenanzahl	LKW-Maut in € pro km
2	0,155 €
3	0,217 €
≥ 4	0,3255 €

Der durchschnittliche Zeitbedarf für Verladetätigkeiten am Rundholz-LKW wurde von Friedl et al. (2004) erhoben. 34 bis 68 Minuten dauert der Verladevorgang je LKW, was Kosten von 0,52 bis 1,04 €/SRM bei einer Transportkubatur von 85 SRM entspricht (Tabelle 19). Die Kosten für die Manipulation mit einem Radlader werden von der Größe der Maschine, den Anschaffungskosten und der Auslastung bestimmt. Bei einer Umschlagsmenge von 100.000 SRM pro Jahr wurden Kosten in der Höhe von circa 0,48 €/SRM ermittelt (siehe auch Kapitel 3.3.3).

Tabelle 19: Verladezeiten beim Rundholztransport

Ladequelle	Ladeziel	Ladegerät	Ø Zeitbedarf in Minuten pro 85 SRM	Kosten pro SRM
Waldort	LKW	Ladekran am Rungen-LKW	68	1,04 €
LKW	Waggon	Ladekran am Rungen-LKW	34	0,52 €
Waggon	LKW	Ladekran am Rungen-LKW	34	0,52 €
LKW	Lagerplatz	Ladekran am Rungen-LKW	46	0,70 €
Lagerplatz	LKW	Ladekran am Rungen-LKW	40	0,61 €
LKW	Heizwerk	Ladekran am Rungen-LKW	46	0,70 €
Lagerplatz	Waggon	Lader	-	0,48 €
Waggon	Heizwerk	Lader	-	0,48 €

Als Aufwand zum Umschlag von Hackgut beim Transport mit MOBILER-LKW und Eisenbahn wurden von Litschauer (2006) die in Tabelle 20 abgebildeten Verladezeiten angegeben. Die Zeiten beziehen sich jeweils auf einen MOBILER-Behälter, was einer umgeschlagenen Menge von 50 SRM entspricht. Die Kosten für das direkte Be- und Entladen eines Eisenbahnwaggons mit einem Radlader orientieren sich an den Kosten für den Rundholztransport.

Tabelle 20: Verladezeiten beim MOBILER-Transport

Ladequelle	Ladeziel	Ø Zeitbedarf in Minuten	Kosten pro SRM
Lagerplatz	MOBILER-LKW	20	0,40 €
MOBILER-LKW	Waggon	10	0,20 €
Waggon	MOBILER-LKW	10	0,20 €
MOBILER-LKW	Heizwerk	10	0,20 €
		50	1,00 €

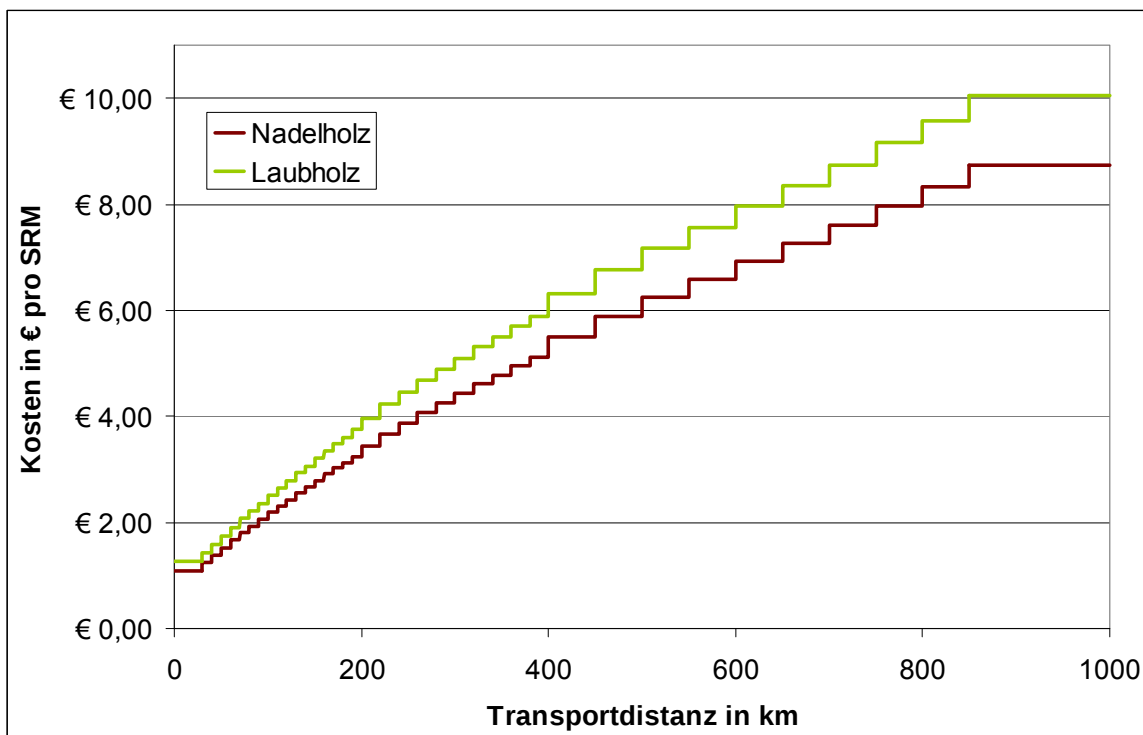


Abbildung 96: Kosten für den Bahntransport von Rundholz, umgerechnet in €/SRM

Die Rail Cargo Austria bietet unterschiedliche Tarife für den Transport von Laub- und Nadelholz an. Der Transport von Laubholz kostet um circa 15 % mehr. Die Preise sind pro Wagen und in Tarifschritten angegeben. Eine Auflistung und ein Vergleich der Wagenpreise sind in Tabelle 8 in Kapitel 2.2.3 einsehbar. Abbildung 96 zeigt die Kosten für den Rundholztransport mit dem Wagen Rnooss bei voller Auslastung des Transportvolumens in Abhängigkeit von der Transportdistanz.

Die Transportkubatur orientiert sich an der maximalen Ladekapazität des Transportfahrzeuges, den gesetzlich vorgeschriebenen maximalen Fahrzeuggewichten. Ein höherer Wassergehalt des Ladegutes bewirkt meist eine Verminderung des Transportvolumens. Das maximale Ladegewicht eines Rundholz-LKW beträgt 16 bis 20 to. Beim Transport von Rundholz mit einem Gewicht von circa 600 kg/FM können maximal 33 FM (umgerechnet 85 SRM) transportiert werden. Beim Transport von waldfischem Holz (ca. 900 kg/FM) reduziert sich die Menge um ein Drittel. Der MOBILER-LKW weist ein maximales Ladegewicht von 25 to auf. Um eine volle Auslastung des 50 m³ großen Containers zu erreichen, ist eine Schüttdichte von maximal 500 kg/SRM einzuhalten. Der Eisenbahnwaggon Rnooss hat ein Ladevolumen von 114 m³, was umgerechnet 80 fm bzw. 200 SRM entspricht (www.railcargo.at, 2006). Bis zu einem Gewicht von circa 800 kg/FM (Lastgrenze 64 to) kann das Ladevolumen zur Gänze ausgenutzt werden.

3.2.2.2 Zusammenhang zwischen Eingangsgrößen und Transportkosten

Die Berechnung der Kosten berücksichtigt immer die Fahrt von der Quelle bis zum Ziel und retour (Rundlauf), wobei die Rückfahrt in ungeladenem Zustand erfolgt. Der Zeitaufwand bei der Transporttätigkeit des LKW (Transportdauer) errechnet sich aus der Durchschnittsgeschwindigkeit und der Transportdistanz je Straßenabschnitt. Um die Transportkosten (TK_{LKW}) für den LKW je Transporteinheit zu berechnen, werden für jeden Straßenabschnitt die Transportdauer berechnet, mit den Systemkosten multipliziert, falls vorhanden die LKW-Maut addiert und das ermittelte Ergebnis durch die Transportmenge dividiert. Um die Transportkosten von fiktiven Punkten A zu B zu berechnen, wird in einem GIS automatisch aus den vorhandenen Straßenabschnitten der kostengünstigste Streckenverlauf berechnet.

$$(1) TK_{LKW} = \sum_{1-n} \left(\frac{\text{Transportdauer} * \text{Systemkosten} + \text{Maut}}{\text{Transportkubatur}} \right) * 2$$

Die Kosten für den Eisenbahntransport von Rundholz werden anhand der von Rail Cargo Austria (2007) angegebenen Tarife je Waggon und km, der Transportdistanz und dem Ladevolumen berechnet. Die Berechnung der Transportkosten von einem fiktiven Punkt A zu Punkt B erfolgt wiederum durch eine Netzwerkanalyse in einem GIS. Die Streckenabschnitte für den kürzesten Transportweg werden im GIS aufsummiert und gemäß folgender Formel die Kosten für den Eisenbahntransport (TK_{Bahn}) berechnet:

$$(2) TK_{\text{Bahn}} = \frac{\text{Waggonkosten} _ \text{laut} _ \text{Tarif}}{\text{Transportkubatur}}$$

Die Kosten für den Bahntransport bei der MOBILER-Technologie werden aus Transportdistanz und Umschlagsmenge errechnet. Durch die Analyse von vier unterschiedlichen Transportbeispielen (Litschauer, 2006) konnte jedoch ein vereinfachter Zusammenhang zwischen Transportdistanz (km) und Kosten (TK_{MOBILER}) ermittelt werden:

$$(3) TK_{\text{MOBILER}} = \frac{1,6886 * km + 646,7}{\text{Transportkubatur}}$$

3.2.2.3 Berechnung der Transportkosten mit der Netzwerkanalyse von ArcGIS

Da es sich um einen intermodalen Transport handelt muss der Transport durch LKW und Bahn kombiniert betrachtet werden. Zur Ermittlung der Transportkosten für ein Untersuchungsgebiet zu einem konkreten Standort sind folgende Schritte notwendig:

- Definition des Untersuchungsraumes, der Transportquellen und -ziele
- Ermittlung des nächstgelegenen Holzverladebahnhofes am Zielort
- Berechnen und Summieren der Transportkosten des LKW für Vor- und Nachtransport
- Berechnen und Summieren der Transportkosten für Eisenbahn
- Ermittlung der Manipulationskosten
- Summieren der Transport- und Manipulationskosten

Der erste Schritt erfolgt manuell, die weiteren beiden werden mit Hilfe der Netzwerkanalyse in ArcGIS durchgeführt. Die Vorgangsweise gestaltet sich wie folgt:

- a) Hinzufügen neuer Spalten im Straßen-Datensatz von Tele Atlas und Einfügen der jeweiligen Werte für LKW-Geschwindigkeiten und LKW-Maut.
- b) Hinzufügen neuer Spalten und Berechnung der Transportkosten für jeden Straßenabschnitt für Rundholz-LKW und MOBILER-LKW bei unterschiedlichen Transportkubaturen gemäß den im vorherigen Kapitel angegebenen Formel (1).
- c) Erstellen eines multimodalen Netzes aus den Straßendaten von Tele Atlas im ArcCatalog. Bei der Erstellung werden die Kostenfelder gemäß Absatz b) berücksichtigt.
- d) Import der Geodaten (Grenzen des Untersuchungsraumes, Transportziel, Umschlagplätze, Straßennetzwerk) in ArcMap.
- e) Für die Kostenberechnung des Vortransportes werden mit Hilfe des Straßennetzes für alle Punkte im Untersuchungsgebiet der nächstgelegene Verladebahnhof sowie die Transportkosten ermittelt. Dies erfolgt mit der Funktion „New Service Area“ der Netzwerkanalyse in ArcMap. Alle Verladebahnhöfe werden als „locations“ markiert. Als Widerstandsfaktoren werden jeweils

die in Absatz b) generierten Daten verwendet. Die Berechnung der Kosten erfolgt gemäß den im vorherigen Kapitel abgebildeten Formeln. In Abbildung 97 werden um die Verladebahnhöfe die Kosten für den Vortransport als Polygone mit einem Intervall von 0,1 €/SRM abgebildet. Dieser Schritt wird für alle Transportvarianten wiederholt. Ergebnis sind Kostenoberflächen für den LKW-Transport.

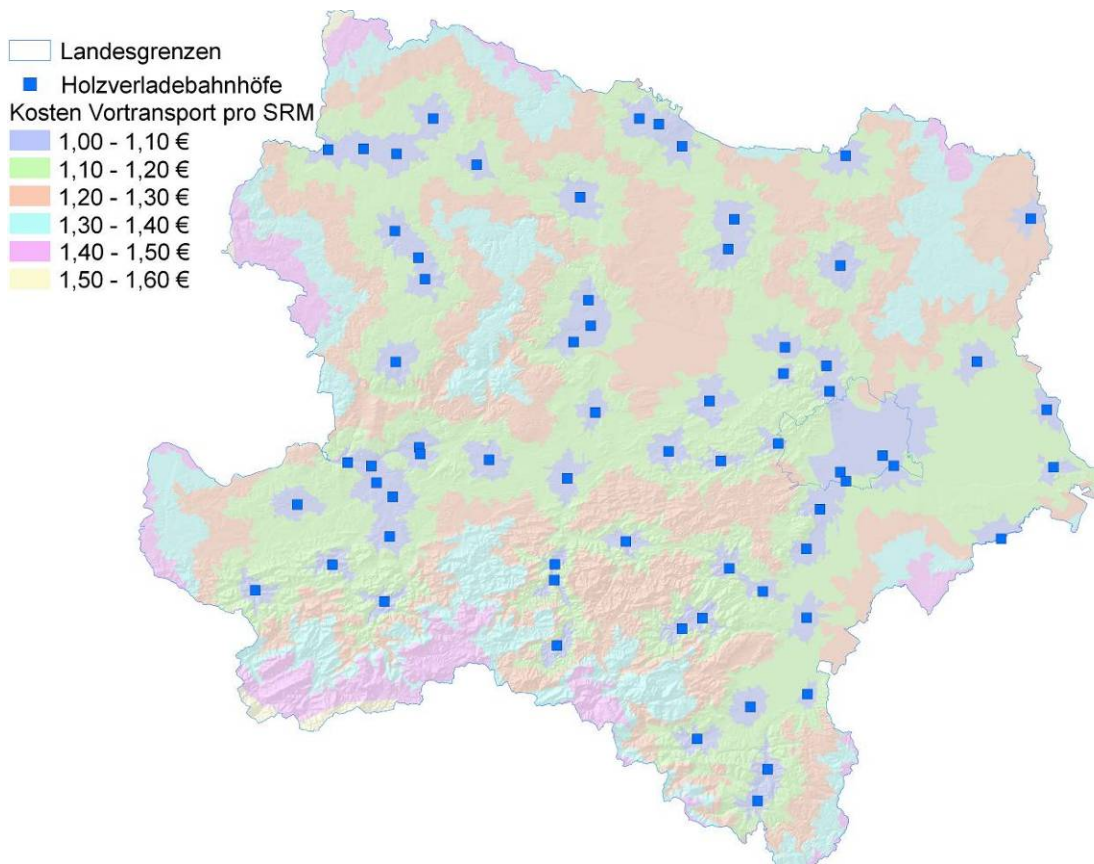


Abbildung 97: Kostenflächen für den Transport von Rundholz bis zum Verladebahnhof

- f) Die Kosten für den Nachtransport können auch durch Analyse des nächstgelegenen Holzverladebahnhofes vom Transportziel mittels der Funktion „New OD Matrix“ in ArcMap ermittelt werden. Als Widerstandsfaktoren werden jeweils die in Absatz b) generierten Daten verwendet. Als Ergebnis erhält man den Standort des nächstgelegenen Verladebahnhofes sowie in einer neuen Tabelle die Kosten für den Nachtransport in €/SRM.
- g) Erstellen eines multimodalen Netzes aus den Bahndaten von Tele Atlas im ArcCatalog. Die Erstellung erfolgt auf Basis der Transportdistanz.
- h) Import der Geodaten (Grenzen des Untersuchungsraumes, Transportziel, Umschlagplätze, Eisenbahnnetzwerk) in ArcMap.
- i) Beim Eisenbahntransport werden ebenfalls „Service Areas“ generiert. Als Widerstandsfaktoren wird allerdings die Transportdistanz eingesetzt. Um den in f) ermittelten Zielbahnhof werden Polygone als Distanzoberflächen gebildet. Als Intervalle werden die von www.railcargo.at (2007) angegebenen Tarifstufen verwendet.
- j) In den neu generierten Tabellen werden die Kosten pro SRM innerhalb der Distanzoberflächen durch Verwendung der im vorherigen Kapitel angegebenen Formel (2) ermittelt und somit ebenfalls Kostenoberflächen generiert. Ergebnis sind Transportkosten für den Bahntransport von Energierohholz.

-
- k) Die Berechnung der Kosten für den Bahntransport von Hackgut je Bahnabschnitt erfolgt durch Hinzufügen einer Spalte in der Attributtabelle und Berechnung gemäß Formel (3) in vorherigem Kapitel.
 - l) Anschließend wird für die Bahnabschnitte ein multimodales Netzwerk generiert. Bei der Erstellung wird das Kostenfeld gemäß Absatz k) berücksichtigt.
 - m) Für die Berechnung der Kosten für den Bahntransport von Hackgut werden mit Hilfe des Bahnnetzes für alle Punkte im Untersuchungsgebiet die minimalen Transportkosten bis zum Transportziel (entspricht nächstgelegenen Verladebahnhof beim Heizwerk) ermittelt. Dies erfolgt mittels der Netzwerkanalyse und der Funktion „New Service Area“ in ArcMap. Als „location“ wird das definierte Transportziel markiert. Als Widerstandsfaktoren werden jeweils die in Absatz k) generierten Daten verwendet. Ergebnis sind Kostenoberflächen für den Bahntransport von Hackgut.
 - n) Die generierten Kostenoberflächen für den Straßen und Bahntransport werden miteinander verschnitten.
 - o) In der Tabelle des neu generierten Datensatz werden Spalten für die Gesamtkosten der intermodalen Transportsysteme hinzugefügt. Die Berechnung der Kosten erfolgt durch Addition der Teilprozesse sowie allfälliger Manipulationskosten. Im vorliegenden Projekt wurden die Kosten für den intermodalen Rundholz-Transport bei unterschiedlichen Holzfeuchten sowie für den Schüttgut-Transport durch Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau sowie MOBILER berechnet.

Das beschriebene Modell ist in Abbildung 98 dargestellt. Die Ergebnisse der Netzwerkanalyse sind in graphischer Form in Kapitel 4.2.3 abgebildet.

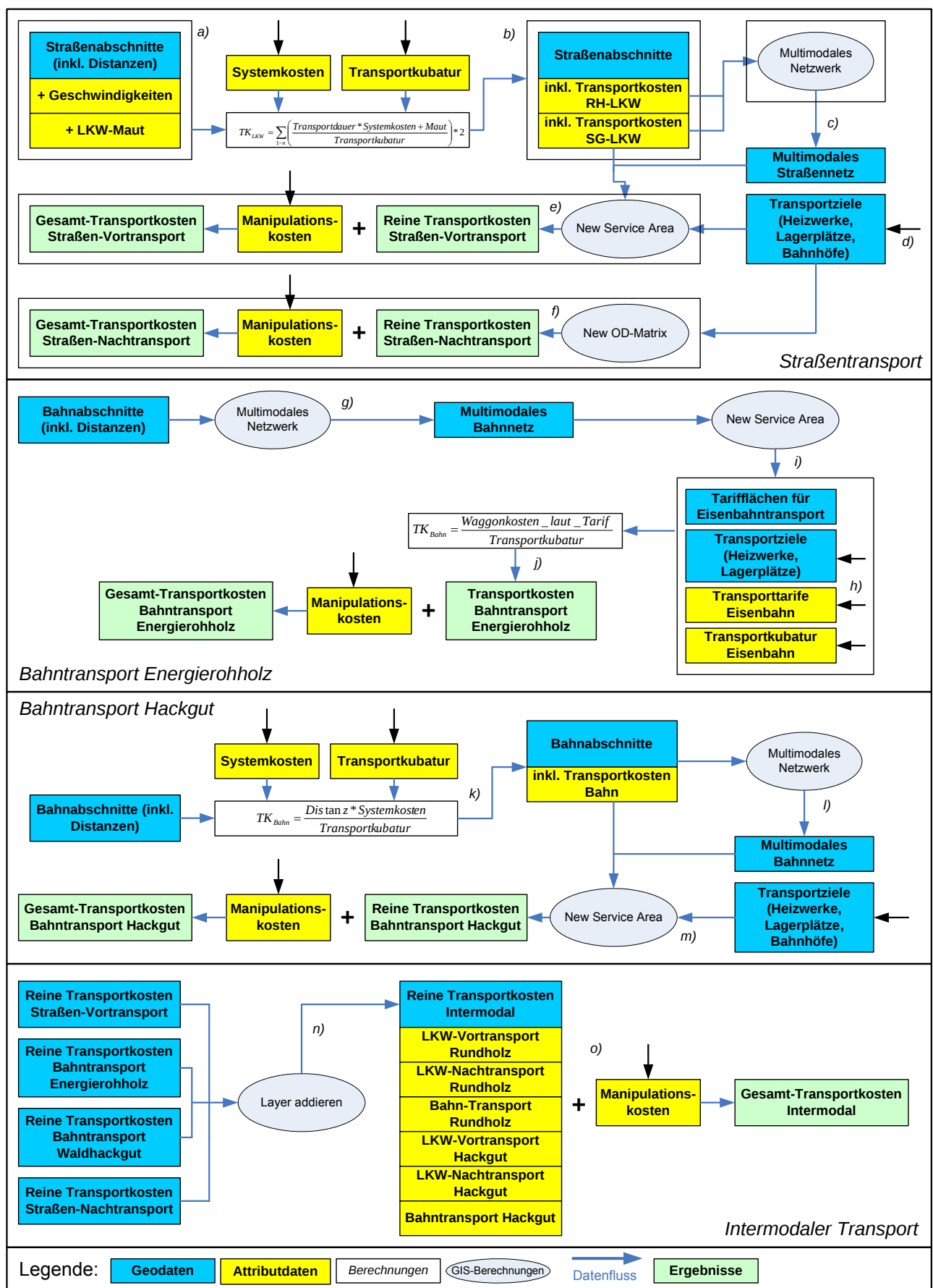


Abbildung 98: Modell zur Berechnung der Kosten für den intermodalen Transport in ArcGIS

3.3 Zwischenlagerung von Energieholz

3.3.1 Standortplanung

Die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens hängt ganz entscheidend von einer Reihe von Einflüssen ab, die in unmittelbarem Zusammenhang mit den Standorten seiner Betriebe und den innerbetrieblichen Standorten stehen. So zeichnen sich manche Standorte gegenüber anderen durch günstige Beschaffung-, Produktions- oder Absatzbedingungen aus. Ein in diesem Sinne günstiger Standort sichert unter sonst gleichen Bedingungen eine Bequemlichkeitsrente, die wirtschaftlichen Erfolg erleichtert. Im Gegensatz dazu verlangen die Nachteile eines ungünstigen Standortes besondere Anstrengungen zur Kompensation standortbedingter Wettbewerbsvorteile der Konkurrenz (Domschke et al., 1996).

Aus der Bedeutung des Standortes eines Unternehmens für dessen Überlebensfähigkeit und der geringen kurzfristigen Flexibilität hinsichtlich Möglichkeiten zur Veränderung der Standorte folgt zwangsläufig die Notwendigkeit einer in Zukunft gerichteten Standortplanung und damit Einbeziehung von Standortüberlegungen in die strategische Unternehmensplanung (Domschke et al., 1996).

Die Planung von Lagerplätzen für die Zwischenlagerung von Energieholz fällt in die betriebliche Standortplanung. Als Standortanforderungen werden jene Kriterien definiert, die ein Betrieb an den Standort stellt, um den Leistungsprozess durchführen zu können. Standortfaktoren sind jene Gegebenheiten eines Platzes, die von bestimmten Betrieben im Zeitablauf bei der Erfüllung ihrer wirtschaftlichen Aufgaben genutzt werden können. Aufgabe der Standortplanung ist es, aus einer Menge potenzieller Standorte einen bzw. mehrere so auszuwählen, dass eine weitestgehende Übereinstimmung zwischen Standortanforderungen und Standortfaktoren mit dem Ziel der wirtschaftlichen Maximierung des wirtschaftlichen Erfolges gewährleistet sind.

Im folgenden Modell werden Standortfaktoren als Ausschluss- und Bewertungskriterien definiert, welche mit den Standortanforderungen möglicher Lagerplatz- bzw. Heizwerkbetreiber (z. B. geringe Transportkosten, geringe Lagerkosten, kontinuierliche Versorgung, Einhaltung rechtliche Bestimmungen, usw.) übereinstimmen sollen.

3.3.2 Modellierung der Standortbewertung

Die Auswahl des Standortes für die Errichtung und den Betrieb eines Lagerplatzes ist an gewisse Kriterien gebunden. Manche Kriterien stellen einen Ausschlussgrund für die Errichtung eines Lagerplatzes dar. Andere sind, je nach Ausprägung, bedingt als potenzieller Lagerplatzstandort geeignet. Durch die Kombination der Ausschluss- mit den bedingten Kriterien wird die Eignung des jeweiligen Standortes als potenzieller Lagerplatz berechnet.

Die Eignungsbewertung wird flächendeckend für das gesamte Planungsgebiet durchgeführt und stellt eine Entscheidungsgrundlage für die konkrete Standortsauswahl dar. Die Eignung eines Standortes für die Errichtung und den Betrieb eines Holzlagerplatzes wird mittels GIS berechnet. Für die Standortsbewertung benötigte Daten werden in das GIS importiert, dort werden gegebenenfalls Buffer-, Distanz- und Kostenoberflächen berechnet. Die für die Ausweisung der Ausschlussfläche benötigten Datensätze werden kombiniert und die verbleibende Fläche wird gemäß hinterlegten Algorithmen einer flächendeckenden Standortsbewertung unterzogen.

Die Bewertungskriterien werden mit Hilfe der Theorie der unscharfen Mengen (Fuzzy Logik) erzeugt. Somit kann die kontinuierliche Zu- oder Abnahme der Eignung eines Standortfaktors gesteuert werden. Jedem Standortfaktor ist eine Funktion hinterlegt, welche als Ergebnis nur Werte zwischen 0 und 1 liefert (Riedl et al., 1999).

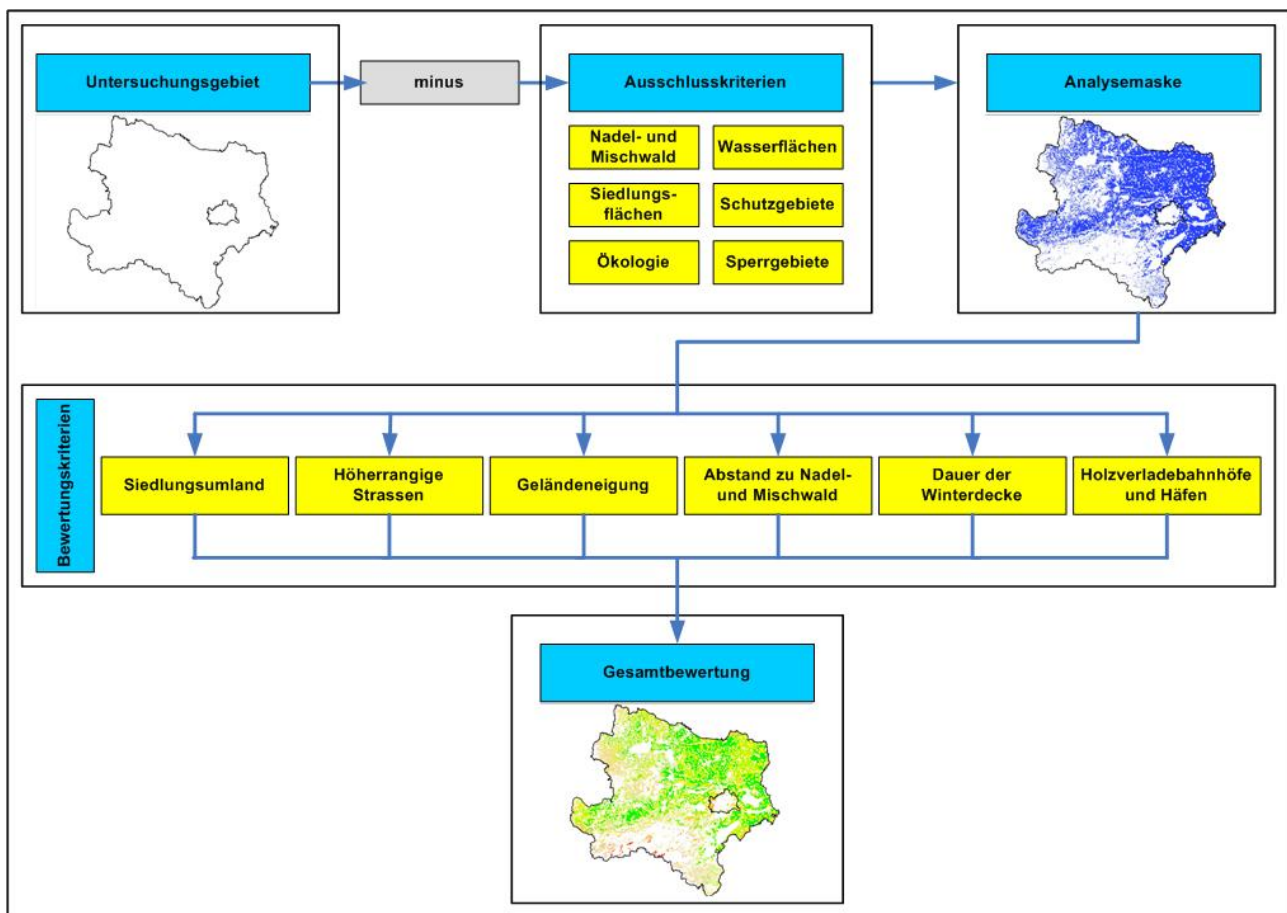


Abbildung 99: Gesamtmodell zur Standortbewertung

Abbildung 99 zeigt die Eingangsgrößen und die Abfolge der Berechnung der Gesamtbewertung. Es werden jeweils sechs Ausschluss- und Bewertungskriterien eingesetzt.

3.3.2.1 Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien bezeichnen jene Standortsbedingungen, bei denen keine Lagerung von Biomasse möglich ist.

Nadel- und Mischwald

Aufgrund forsthygienischer Gesichtspunkte ist die Lagerung von Nadelholz während der Sommermonate in Nadel- und Mischwäldern ohne aufwändige Schutzmechanismen nicht möglich. Da größere Lagerplätze ganzjährig betrieben werden, ist eine Errichtung in entsprechender Entfernung von Nadel- und Mischwäldern erforderlich. Zusätzlich ist ein Pufferbereich von mindestens 50 Metern ebenfalls von der Errichtung eines Lagerplatzes ausgeschlossen.

Die Eingangsdaten stammen aus der Satellitenbildklassifikation der Landnutzungserhebung gemäß Corine Landcover (Quelle: Umweltbundesamt) sowie aus digitalisierten Waldflächen der ÖK 50 (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung).

Siedlungsflächen

Gemäß den Bestimmungen der Gewerbeordnung 1994 (vgl. Kapitel 2.3.1.1) sind unter anderem Belastungen der Bevölkerung durch Lärm, Rauch, Staub und Erschütterungen zu vermeiden. Da beim Betrieb eines Lagerplatzes mit solchen Umweltbelastungen zu rechnen ist, sind Siedlungsgebiete nicht als dauerhafte Lagerflächen geeignet. Als Siedlungsgebiet wird eine Ansammlung von mehreren Häusern verstanden. Sowohl einzelne Höfe und Weiler, als auch Gewerbe- und Industriegebiete wurden nicht von der Bewertung ausgeschlossen. Durch die Weitenwirkung der

Belastungen ist auch ein entsprechender Pufferbereich um die Siedlungsgebiete auszuschließen. Gemäß den Annahmen werden Flächen innerhalb eines Pufferbereiches von circa 150 m um Siedlungen von der Planung ausgenommen.

Die Eingangsdaten stammen aus der Satellitenbildklassifikation der Landnutzungserhebung gemäß Corine Landcover (Quelle: Umweltbundesamt) sowie eigener Datenerhebung durch Digitalisierung der ÖK 50 (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).

Ökologisch sensible Standorte und Wasserflächen

Da in ökologisch sensiblen Gebieten eine Bewilligung gemäß Naturschutzgesetz sehr unwahrscheinlich ist, werden diese Gebiete als potenzielle Lagerplätze ausgeschieden. Als ökologisch sensible Gebiete werden Moore, Heiden, Vernässungen, Sümpfe und Felsflächen gezählt. Wasserflächen scheiden ebenfalls aus.

Die Eingangsdaten stammen aus der Satellitenbildklassifikation der Landnutzungserhebung gemäß Corine Landcover (Quelle: Umweltbundesamt) sowie der digitalen geologischen Karte (Quelle: Geologische Bundesanstalt).

Rechtliche Festlegungen

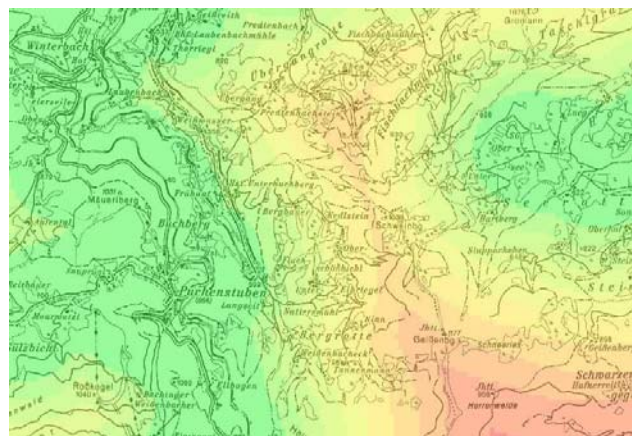
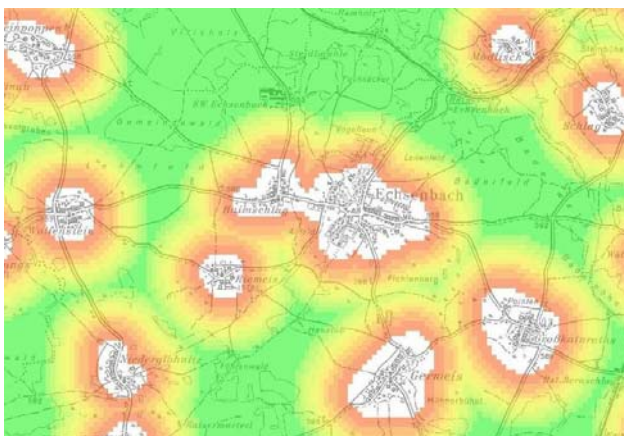
Gemäß § 11 (4) NÖ Naturschutzgesetz und § 23 Wiener Naturschutzgesetz ist in Naturschutzgebieten jeder Eingriff in das Pflanzenkleid oder Tierleben und jede Änderung bestehender Boden- oder Felsbildungen verboten. Gemäß § 5 NÖ Nationalparkgesetz und § 6 Wiener Nationalparkgesetz ist in Naturzonen jeder Eingriff in die Natur und in den Naturhaushalt sowie jede Beeinträchtigung des Landschaftsbildes verboten.

Laut § 1 Sperrgebietsgesetz 2002 kann ein Gebiet, das dem Bundesheer ständig als militärisches Übungsgelände (Truppenübungsplatz) zur Verfügung steht, nach Maßgabe militärischer Erfordernisse durch Verordnung zum Sperrgebiet erklärt werden. In Niederösterreich ist der Truppenübungsplatz Allentsteig von jeglicher Nutzung ausgeschlossen.

Die Eingangsdaten stammen aus den Festlegungen diverser Bundes- und Landesgesetze (Quelle: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung) bzw. wurden durch Digitalisierung aus der ÖK 50 (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) erhoben.

3.3.2.2 Bewertungskriterien

Für die weitere Bewertung werden nur mehr die als geeignet ausgewiesenen Flächen verwendet. Je nach Ausprägung wird den berücksichtigten Kriterien ein Wert zwischen 0 (nicht geeignet) und 1 (geeignet) zugeordnet. Die Berechnung des Wertes erfolgt über ein GIS. Die zugrunde liegenden Funktionen der Bewertungskriterien ist in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.



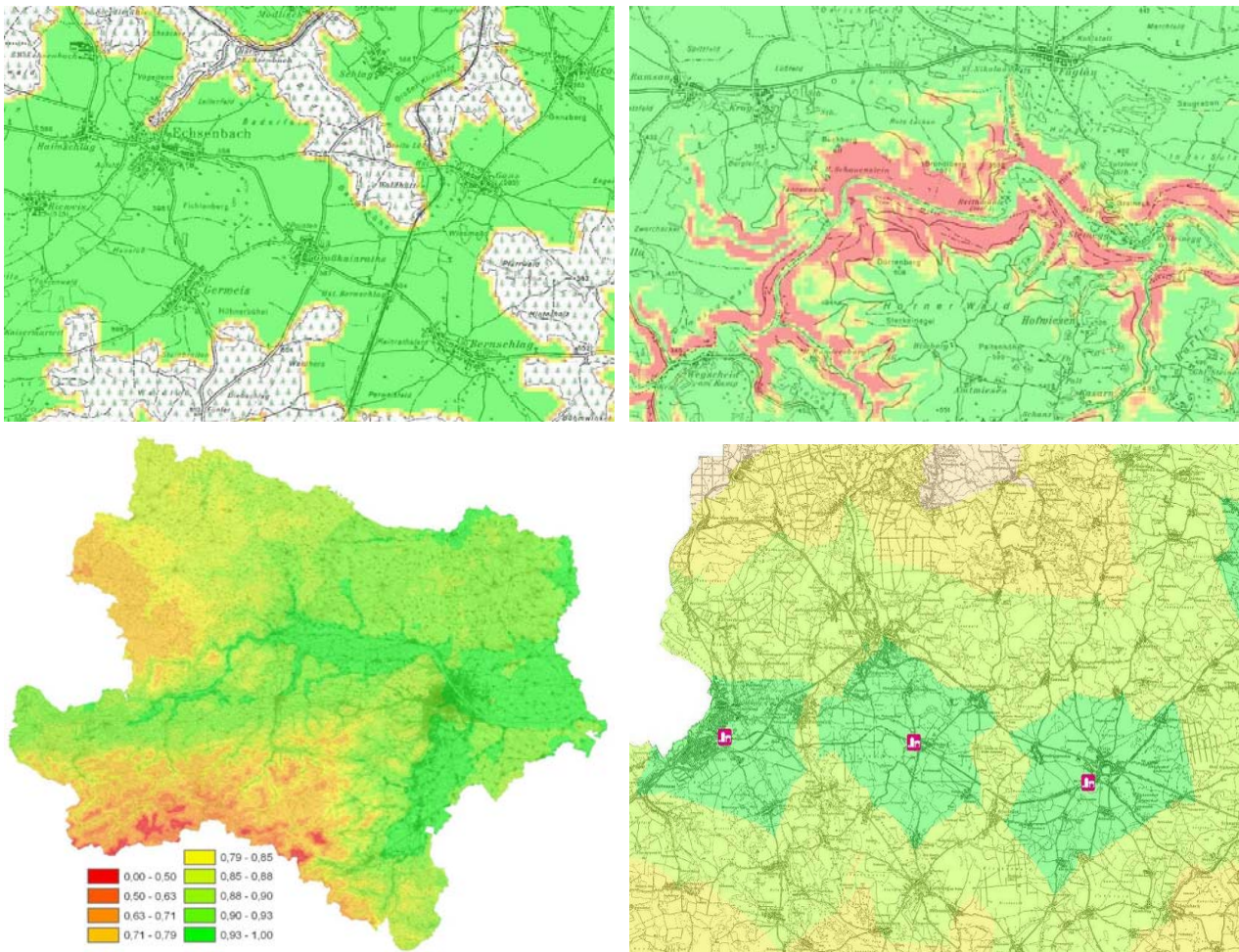


Abbildung 100: Mögliche Ausprägung von Bewertungskriterien für die Standortplanung

Reihenfolge von links oben nach rechts unten: Siedlungsumland, Straßennetz, Abstand zu Waldflächen, Geländeneigung, Winterdecke, Verladestellen (grüne Flächen sind geeignet, rote Flächen ungeeignet)

Siedlungsumland

Belastungen durch Lärm, Rauch, Staub und Erschütterungen, welche durch den Betrieb eines Lagerplatzes hervorgerufen werden, nehmen mit zunehmender Entfernung von der Entstehungsquelle ab. Belastungen mit der größten störenden Ausbreitung sind in vor allem durch den Lärm zu erwarten. In Tabelle 21 werden Immissionsrichtwerte für unterschiedliche Gebiete angegeben (Maute, 2006):

Tabelle 21: Immissionsrichtwerte während des Tageszeitraumes

Gebiet	IRW in dB (A)
Industriegebiet	70
Gewerbegebiet	65
Kern-, Dorf-, Mischgebiet	60
Allgemeines Wohngebiet	55
Reines Wohngebiet	50
Kurgebiet, Krankenhäuser	45

Lagerplätze sind in solchen Entfernungen von Siedlungsgebieten zu errichten, dass der Immissionsrichtwert für die jeweilige Widmungskategorie nicht überschritten wird. Da die Widmungskate-

gorie im Planungsgebiet nicht für sämtliche Gebiete bekannt ist wird ein Übergangsbereich von 50 bis 65 dB (A) angenommen. Für die konkrete Standortauswahl kann die Widmung des Gebietes angepasst werden.

Da sich die Lärmquelle für gewöhnlich auf einem festen, reflektierenden Boden befindet, breitet sich der Schall nicht kugelförmig nach allen Seiten aus, sondern einseitig in Richtung einer Halbkugel. In diesem Fall beträgt die Pegelabnahme drei dB pro Abstandsverdoppelung (Maute, 2006). Die Pegelminderung beträgt:

$$(1) \quad \Delta L = 20 * \lg (d/d_0) + 8 \text{ dB}$$

ΔL = Pegelminderung

d/d_0 = Abstandsmaß (Abstand von der Schallquelle)

Um den Wert für den Schalldruckpegel in einem bestimmten Abstand zur Schallquelle zu bestimmen, muss die errechnete Pegelminderung subtrahiert werden.

$$(2) \quad L_A = L_{W,A} - \Delta L$$

L_A = Schalldruckpegel

$L_{W,A}$ = Schalleistungspegel

ΔL = Pegelminderung

Wird ein Schalleistungspegel von 115 dB am Lagerplatz angenommen, ergibt sich die in Abbildung 101 dargestellte Schalldruckabnahme. Der Immissionsrichtwert für Gewerbegebiete wird nach 125 m unterschritten, für reine Wohngebiete nach 700 m.

Bei einem Abstand der Siedlungsflächen von 125 bis 700 Metern erfolgt somit eine Zunahme der Eignung aufgrund der Abnahme des Immissionswertes (nach Maute, 2006):

$$(3) \quad Eignung_{Siedlung} = \frac{20 \times \log(D) - 42}{15}$$

$Eignung_{Siedlung}$ Eignungswert Siedlungsumland (0 bis 1)

D Distanz (Abstand) in Metern von Siedlungsgebiet

Je weiter der potenzielle Standort von einer Siedlung entfernt liegt (grüne Bereiche), desto besser ist er geeignet (Abbildung 100).

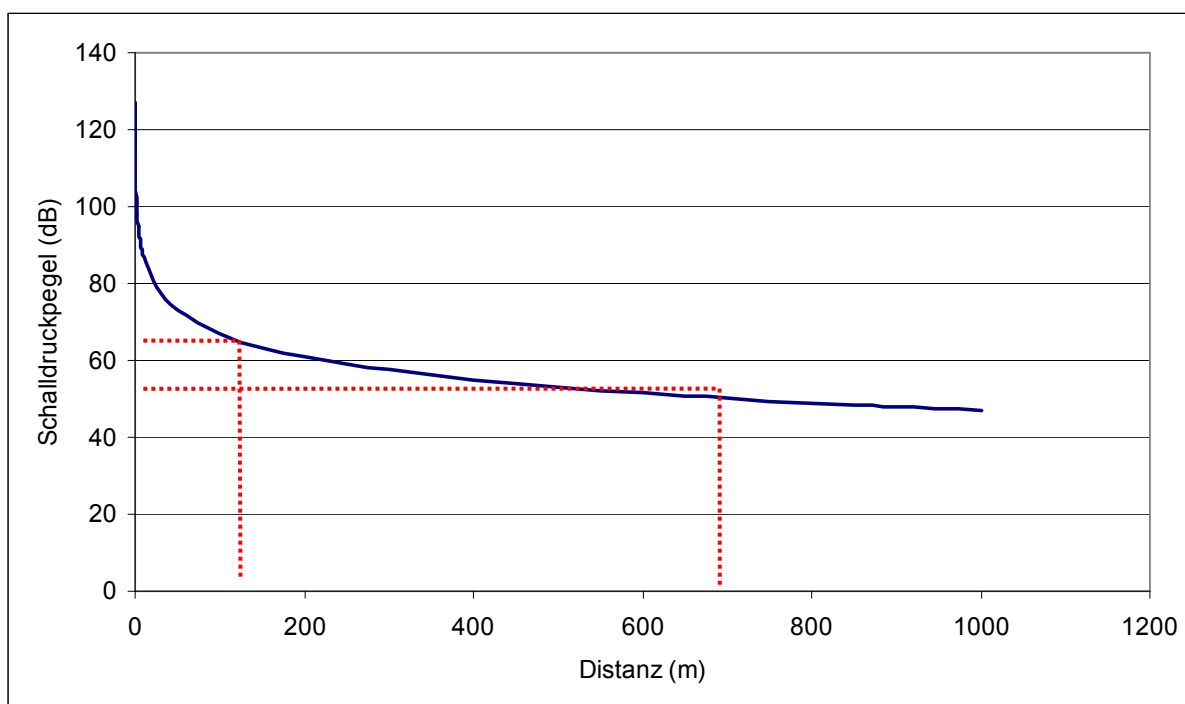


Abbildung 101: Abnahme des Schalldruckpegels in Abnahme von der Schallquelle

Höherrangige Strassen

Lagerplätze für Biomasse sind durch ständigen An- und Abtransport von Rundholz und Hackgut gekennzeichnet. Da der Transport in erster Linie per LKW erfolgt ist eine Straßenanbindung erforderlich.

Gemäß § 4 Abs. 7a des Kraftfahrzeuggesetzes (KFG 1967) beträgt das höchstzulässige Gesamtgewicht von Kraftfahrzeugen und Anhänger, Sattelanhänger, Container und Wechselaufbauten maximal 42 Tonnen. Die Länge von Kraftwagen mit Anhängern darf 18,75 m, von Sattelkraftfahrzeugen 16,5 m nicht überschreiten (Ganz et al., 2005). Dementsprechend sind stabil gebaute Verkehrswege mit nicht zu engen Kurvenradien notwendig.

Für die Modellierung der Standortsbewertung wurden nur höherrangige Strassen verwendet. Die Datensätze und Straßenkategorien wurden von Tele Atlas™ 2005 übernommen (Tabelle 22).

Tabelle 22: Straßenkategorien nach Tele Atlas MultiNet™ Shapefile 4.3 Format Specifications

Functional Road Class	Attribut original	Attribut deutsch
0	Motorways	Autobahnen und Schnellstrassen
1	Main Roads	Bundesstrassen
2	Major Roads	Hauptstrassen
3	Secondary Roads	Nebenstrassen
4	Local Connecting Roads	Lokale Verbindungsstrassen
5	Local Roads of High Importance	Wichtige Landstrassen
6	Local Roads	Landstrassen

Bei höherrangigen Strassen wird bis zu einem Abstand von 500 Metern eine Eignung des Standortes als Lagerplatz ohne Einschränkungen angenommen. Ab 3000 Metern wird eine Eignung des Standortes ausgeschlossen. Dazwischen erfolgt eine lineare Abstufung (Abbildung 100).

Abstand zu Nadelwald

Der Schutz des Waldes vor Forstschädlingen ist im Österreichischen Forstgesetz 1975 unter den § 43-45 geregelt. Der Transport oder die Lagerung von gefälltem Holz, das von Forstschädlingen befallen ist oder als deren Brutstätte dienen kann, ist auch außerhalb des Waldes nur gestattet, wenn sie bestimmten chemischen oder mechanischen Behandlungsweisen, wie Besprühung oder Entrindung, unterworfen sind.

Lagerplätze in Waldnähe sollten während der Vegetationsperiode ständig überwacht werden. Um der phytosanitären Gefahr zu entgehen, wird empfohlen das Holz außerhalb des Waldes zu lagern. Über den einzuhaltenden Mindestabstand zu Nadelbeständen gibt es unterschiedliche Auffassungen. Laut Golser et al. (2005) werden Mindestabstände von 50 bis 500 m empfohlen.

Mit zunehmender Entfernung von Nadelwäldern erfolgt eine Aufwertung der Eignung des Umlandes als potenzieller Holzlagerplatz, welche innerhalb eines Abstandsbereiches von 50 bis 150 Metern als lineare steigend unterstellt wird (Abbildung 100).

Geländeneigung

Die Lagerung der Biomasse sollte auf trockenem, ebenem Boden erfolgen. Um den Aufwand (Erdbewegungen, Sprengungen) bei der Errichtung des Platzes möglichst gering zu halten, sollten möglichst ebene Flächen ausgewählt werden.

Die Eingangsdaten wurden aus dem Digitalen Höhenmodell (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) generiert. Bis zu einer Geländeneigung von 20 % erfolgt keine Abwertung des Standortes als potenzieller Lagerplatz für Energieholz. Zwischen 20 und 40 % Neigung erfolgt eine kontinuierliche Abwertung und ab einer Neigung von 40 % wird eine Eignung ausgeschlossen (Abbildung 100).

Dauer der Winterdecke

Geringe Schneehöhen und kurze Zeiten der Schneebedeckung garantieren einen ganzjährigen Betrieb des Lagerplatzes. Gebiete in großen Seehöhen scheiden für eine Lagerplatzerrichtung aus. Prädestiniert sind tiefe Lagen im pannonischen Raum.

Die Eingangsdaten stammen aus dem Hydrologischen Atlas Österreichs (BMLFUW, 2003). Standorte mit einer langen Dauer der Winterdecke werden schlechter bewertet als über längere Zeiträume schneefreie Standorte. Ganzjährig schneefreie Standorte werden somit mit 1 bewertet, während ganzjährig Schneebedeckte Standorte mit 0 bewertet werden. Dazwischen erfolgt eine lineare Abstufung (Abbildung 100).

Holzverladebahnhöfe und Häfen

Um die Möglichkeit alternativer Transportmittel zu gewährleisten werden Flächen in der Nähe von Bahnhöfen und Häfen höher bewertet. Als Maß für die Eignung eines Standortes als Holzlagerplatz wird die Transportdauer mit einem LKW bis zu einem Verladebahnhof verwendet. Je kürzer die Dauer, desto besser ist eine Region für den Einsatz von intermodalem Transport geeignet. Eine Transportdauer ab 30 Minuten wird mit dem Faktor 0,7 bewertet. Darunter erfolgt eine lineare Zunahme der Eignung bis zum Faktor 1, was in der Abbildung 100 den grünen Bereichen entspricht. Die Eingangsdaten stammen von Rail Cargo Austria und aus eigener Datenerhebung durch Digitalisierung der ÖK 50 (Quelle: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen).

3.3.2.3 Analyse

Eine Kombination der sechs bedingten Eignungskriterien (Siedlung, Strassen, Bahnhöfe, Wald, Neigung, Winterdecke) zu gleichen Teilen ermöglicht eine flächendeckende Bewertung des Unter-

suchungsraumes für die Eignung als Standort für einen Holzlagerplatz. Dabei werden die errechneten Werte (0 bis 1) aufsummiert und durch deren Anzahl dividiert. Abbildung 102 zeigt die Bewertung einer Beispielsregion in Niederösterreich. Siedlungs- und Waldflächen sowie deren Umland sind nicht geeignet. Entlang von Strassen und in Grünlandbereichen sind besonders geeignete Gebiete anzutreffen.

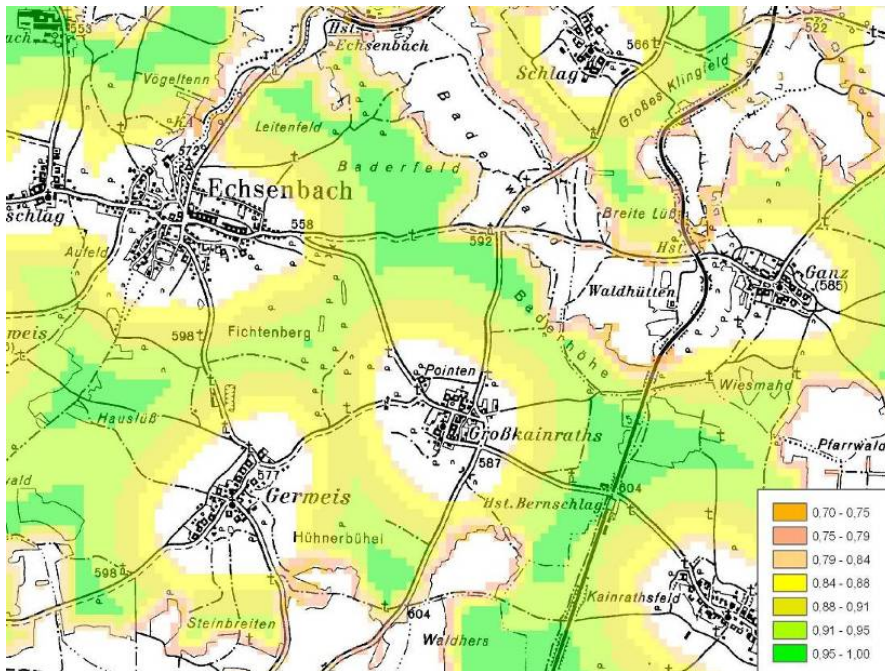


Abbildung 102: Flächendeckende Eignungsbewertung für die Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes

3.3.3 Kostenbewertung

Die anfallenden Kosten für einen Lagerplatz werden in Errichtungs- und Betriebskosten unterteilt. Errichtungskosten fallen beim Bau- und bei der Erstausrüstung des Lagerplatzes an. Sie sind unabhängig vom laufenden Betrieb und von der umgeschlagenen Menge an Energieholz. Betriebskosten entstehen während der Verarbeitung des Energieholzes am Lagerplatz. Sie steigen mit zunehmender Produktion. Um die Gesamtlagerkosten zu erhalten, werden je nach Ausstattung die jeweiligen Kostenpositionen addiert.

3.3.3.1 Errichtungskosten

Für die Ermittlung der Errichtungskosten wird die Methode des Annuitätendarlehens verwendet. Ein Annuitätendarlehen ist ein Darlehen mit konstanten Rückzahlungsbeträgen (Raten). Im Gegensatz zum Tilgungsdarlehen bleibt die Höhe der zu zahlenden Rate über die gesamte Laufzeit gleich. Die Annuitätenrate oder kurz Annuität setzt sich aus einem Zins- und einem Tilgungsanteil zusammen. Da mit jeder Rate ein Teil der Restschuld getilgt wird, verringert sich der Zinsanteil zugunsten des Tilgungsanteils. Am Ende der Laufzeit ist die Kreditschuld vollständig getilgt.

Der Zinssatz wird bei Abschluss eines Annuitätendarlehens über einen vertraglich vereinbarten Zeitraum festgeschrieben. Dieser Zeitraum kann sich auch über die komplette Kreditlaufzeit erstrecken. Tabelle 23 zeigt für eine mögliche Lagerplatzinfrastruktur die unterschiedlichen Durchrechnungszeiträume, welche der Kreditlaufzeit entspricht.

Die Annuität a ist das Produkt aus Kapitalwert C_0 und Annuitätenfaktor $ANF_{n,i}$. Die Höhe a der Annuität eines Kredites mit der Kreditsumme C_0 bei einem Zinssatz von i (z.B. 4 Prozent, $i=0,04$) und einer Laufzeit von n Jahren lässt sich mit der folgenden Formel berechnen:

$$(1) \quad a = C_0 \cdot ANF_{n,i}$$

$$(2) \quad ANF_{n,i} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Tabelle 23: Durchschnittliche Durchrechnungszeiträume für Lagerplatzinfrastruktur

Position	Durchrechnung
Aufschließung	25 Jahre
Befestigung (Schotter)	20 Jahre
Befestigung (Asphalt & Entwässerung)	20 Jahre
Lagerhalle	25 Jahre
Brückenwaage	20 Jahre
Feuchtemesser	6 Jahre
Gebäude	8 Jahre

Aufschließung

Bei der Aufschließung einer neu zu errichtenden Lagerfläche sind folgende einmalig zu entrichtenden Gebühren zu berücksichtigen:

- Aufschließungsabgabe
- Wasseranschlussabgabe
- Kanaleinmündungsabgabe
- Stromanschluss

Die Höhe der zu entrichtenden Gebühr unterscheidet sich je nach Gemeinde. Sie steht aber in jedem Fall in Relation zur genutzten Grundstücksfläche. Überbaute Flächen werden höher bewertet. Für geschotterte Flächen ohne weitere Infrastruktur sind keine Gebühren zu entrichten. Unter Berücksichtigung der Angaben mehrerer niederösterreichischer Gemeinden wurde folgende Relation zwischen Lagerfläche und Kommunalgebühren hergestellt:

$$(3) \quad K_A = LF \cdot 0,4275 + 4200$$

K_A = einmalige Kosten für die Aufschließung der Lagerfläche in € je m²

LF = Lagerfläche in m²

Befestigung

Bei der Befestigung der Lagerfläche sind je nach Aufbau und Schichtung unterschiedliche Kostensätze zu berücksichtigen. Tabelle 24 zeigt die durchschnittlichen Kosten je m² sowohl für die einzelnen Schichten als auch für kombinierte Befestigungsvarianten. Für eine geschotterte Fläche sind Kosten von circa 25 € pro m², für geschotterte Flächen mit Entwässerung circa 31 € pro m² und für asphaltierte Flächen mit Entwässerung circa 58 € pro m² zu erwarten. Diese Durchschnittswerte beziehen sich auf Flächen größer als 0,5 ha. Bei kleineren Flächen sind die Baustellengemeinkosten höher zu gewichten, was höhere Preise je m² ergibt.

Tabelle 24: Durchschnittskosten bei der Befestigung eines Lagerplatzes

	Kosten je m ² exkl. Steuer	Kosten je m ² inkl. Steuer
Oberboden abtragen und zwischenlagern	2,05 €	2,46 €
Unterbauplanum	0,98 €	1,18 €
Frostschuttschichte	12,81 €	15,37 €
Tragschichte	4,73 €	5,68 €
Bituminöse Deckschicht	16,55 €	19,86 €
Walzasphalt	6,28 €	7,54 €
Entwässerung	4,95 €	5,93 €
Fläche geschottert	20,57 €	24,69 €
Fläche geschottert & entwässert	25,52 €	30,62 €
Fläche asphaltiert & entwässert	48,35 €	58,02 €

Lagerhalle

Nach Rückfrage bei diversen Hallenkonstruktionsfirmen ergibt sich eine Aufteilung der Errichtungskosten gemäß den in Abbildung 103 angegebenen Relationen.

Unter Berücksichtigung der Baustellengemeinkosten ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen Hallengrundfläche und Kosten je m²:

$$(4) \quad K_H = 188,19 - HF * 0,0035 + HF^2 * 0,00000004$$

K_H = Errichtungskosten für eine Lagerhalle für Hackgut € je m² Grundfläche

HF = Hallengrundfläche in m²

Diese Korrelation bezieht sich auf Lagerhallen mit einer Grundfläche von 1.000 m² bis 15.000 m². Geringe Mengen an Hackgut werden beim Hacken meist direkt verladen und sofort ins Werk geliefert oder nur sehr kurzzeitig im Freien zwischengelagert.

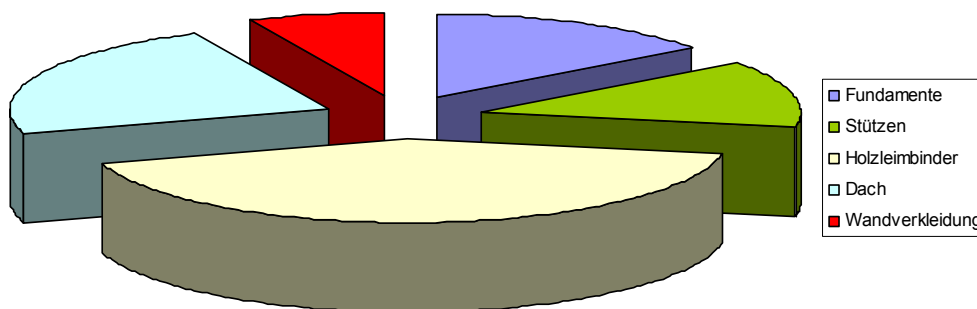


Abbildung 103: Kostenaufteilung bei der Errichtung einer Lagerhalle für Hackgut

Gewichtsbestimmung

Je nach Ausstattung, Zubehör und Wiegegenauigkeit kostet die Anschaffung und Montage einer Brückenwaage bis zu einem Wiegegewicht von 60 t circa 15.000 bis 35.000 €. Weiters ist alle zwei Jahre eine amtliche Eichung bei einer Eichgebühr von 650 € durchzuführen.

Wird keine Waage am Lagerplatz installiert, kann alternativ eine öffentliche Waage angefahren werden. Je nach Betreiber beträgt die Wiegegebühr drei bis sieben Euro (Durchschnitt 5 €). Bei einem angenommen zusätzlichen Zeitaufwand von circa 10 Minuten ergeben sich aufgrund der Fahr- und Wartezeit von LKW und Fahrer pro Wiegung zusätzliche Kosten

Bestimmung des Wassergehaltes

Je nach Messprinzip kostet die Anschaffung eines Messgerätes zwischen 2.000 und 15.000 €. Für die Bestimmung des Wassergehaltes für Waldhackgut genügen meist auch weniger hochwertige Geräten mit Anschaffungskosten zwischen 2.000 und 10.000 €.

Gebäude

Ein Bürocontainer mit 15 m² Grundfläche und ein Sanitärcontainer kosten bei der Anschaffung circa 13.000 €. Für je 15 m² mehr an Grundfläche erhöhen sich die Kosten um 4.000 €.

3.3.3.2 Betriebskosten

Betriebskosten sind variable Kosten. Diese verändern sich entsprechend der Veränderung des Umschlages der entsprechenden Bezugsgröße, in diesem Fall meist die Menge an Waldhackgut. Die Betriebskosten lassen sich verursachungsgerecht auf die Produkteinheiten verteilen und somit die Stückkosten ermitteln. Tabelle 25 gibt die durchschnittlich anfallenden Kosten beim Betrieb eines Energieholzlagerplatzes an.

Tabelle 25: Durchschnittliche Kosten für den Betrieb eines Energieholzlagerplatzes

Position	Kosten
Pacht	0,35 bis 0,50 € pro m ²
Abfall, Wasser, Kanal, Strom	500 bis 1.500 € pro Jahr
Personal Qualitätsbestimmung	25 €/h
Personal Administration	30 €/h
Innerbetrieblicher Transport	0,20 bis 2,70 €/SRM
Hacken	2,00 bis 2,85 €/SRM
Instandhaltung	1,00 bis 1,41 % des Neuwertes pro Jahr
Lagerung Holzvorrat	3,12 bis 3,62 % des Wertes pro Jahr
Trockensubstanzverlust	0,11 bis 2,37 % des Wertes pro Monat

Pacht

Für landwirtschaftlichen Flächen in Niederösterreich werden, je nach Grundstücksgröße und Region, durchschnittliche Pachtkosten von circa 2.500 bis 5.200 € je Hektar und Jahr angegeben.

Abfall, Kanal, Wasser, Strom

Die jährlich zu entrichtenden Kosten für Abfall, Wasser, Kanal und Strom hängen von der Größe des Platzes, der Befestigung, der Art der Abwässerreinigung sowie vom individuellen Nutzungsverhalten ab. Sie werden mit einem Betrag von circa 2.000 € pro Jahr in die Berechnung miteinbezogen. Der Stromverbrauch bezieht sich in diesem Fall auf die Nutzung von Brückenwaage, Feuchtemesser, Büroinventar und Allgemeines, nicht jedoch auf den Betrieb von „schweren Maschinen“.

Personal Qualitätsbestimmung

Für die Qualitätsbestimmung wird ein zeitlicher Aufwand von circa drei Minuten für Probenentnahme und Auswertung bei jedem An- und Abtransport angenommen. Die Personalkosten werden mit 25 €/h bewertet. Bei einer Jahresumschlagsmenge von 50.000 SRM werden 1.250 Probenent-

nahmen durchgeführt, was einem Zeitaufwand von 62 Stunden entspricht. Wird auch beim Heizwerk eine Beprobung durchgeführt, halbieren sich die Kosten auf dem Lagerplatz.

Personal Administration

Personalkosten sind grundsätzlich bereits in der Berechnung der einzelnen Arbeitsschritte enthalten. Es sind jedoch noch pauschale Kosten für die Administration, Geschäftsleitung, Rechnungs- und Personalwesen zu berücksichtigen. Die Annahme bezieht sich dabei auf die Anzahl der Einsatztage von Hacker bzw. LKW, da der organisatorische Aufwand stark an diese Prozesse gegliedert ist. Pro Einsatztage werden drei Stunden zusätzlicher Organisationsaufwand angenommen. Die Personalkosten werden mit 30 €/h verrechnet.

Innerbetrieblicher Transport

Der innerbetriebliche Transport bezieht sich auf den Transport von Hackgut. Wird eine gewisse Menge des Hackgutes als Sicherheitsbestand gelagert, sind Transportbewegungen bei der Einlagerung und beim Beladen der Transportfahrzeuge notwendig. Erfolgt keine Hackgutlagerung entfällt der innerbetriebliche Transport. Das Holz wird dann direkt am Polter in bereitgestellte LKWs oder Container gehackt.

Für den Transport von Hackgut wurden Radlader näher untersucht, da diese das Schüttgut sowohl horizontal als auch vertikal bewegen können. Am besten eignen sich dafür Radlader mit Leichtgutschaufel. Je nach Anordnung von Hackplatz und Lagerhalle ergeben sich unterschiedliche Distanzen und Transportzeiten. Für die Lieferung einer Schaufel Hackgut vom Hackplatz bis zur Halle wird ein durchschnittlicher Zeitaufwand von einer Minute, für die Beladung der LKWs je 0,5 Minuten angenommen. Das ergibt eine Gesamtmanipulationszeit von 2,5 Minuten je Schaufelinhalt. Über diese beiden Kriterien kann die Gesamtnutzungsdauer ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Produktivitäten und Kosten wurden vier verschiedene Größenkategorien von Radladern untersucht. Neben den Anschaffungskosten wurden noch Personal-, Treibstoff- sowie Instandhaltungskosten berücksichtigt. Überschreitet die ermittelte Nutzungsdauer die maximale Jahresauslastung des Laders müssen die Kosten für einen weiteren Lader addiert werden. Eine detaillierte Auflistung der Kostenstrukturen ist im Anhang ab Tabelle 89 ersichtlich.

Hacken*

**Anmerkung: Der Prozess Hacken zählt nicht primär zu den Tätigkeiten eines Holzlagerplatzes, da das Hacken auch im Wald oder am Heizwerk durchgeführt werden könnte.*

Beim Hacken am Lagerplatz werden generell höhere Produktivitäten erzielt als beim Hacken am Waldort, da das Versetzen des Hackers nicht oder nur in sehr geringem Ausmaß erfolgt. Je nach Ausgangsmaterial, Anordnung und Hackergröße werden Leistungen von 100 bis 200 SRM pro Stunde erzielt. Pro Arbeitsstunde werden von Hackunternehmern Preise von circa 200 bis 300 €/h verrechnet, was circa 1,75 €/SRM ergibt. Als Zufahrtspauschale wurden von Hackunternehmern bis zu einer Entfernung von 80 km 30 bis 70 € angegeben.

Aufgrund der oben getroffenen Annahmen wird eine Tagesleistung von 1.000 bis 2.000 SRM angenommen. Werden nur geringe Mengen umgeschlagen, kann die maximale Tagesleistung nicht erreicht werden und dadurch sind mehr Anfahrten einzukalkulieren. Beim Hacken großer Jahresmengen wird keine Anfahrtspauschale mehr verrechnet, da der Hacker mehrere Tage hintereinander eingesetzt werden kann.

Instandhaltung

Berechnungsgrundlage für Instandsetzungsaufwendungen bildet der Wiederbeschaffungswert. Bei stationären Einrichtungen gelten folgende Richtwerte (§ 4 Abs.4 Rahmenvertrag zu § 78f SGB VIII):

- 1. Jahr: 0,50 % des Wiederbeschaffungswertes
- 2. Jahr: 0,75 % des Wiederbeschaffungswertes
- 3. Jahr: 1,00 % des Wiederbeschaffungswertes
- ab dem 4. Jahr: 1,50 % des Wiederbeschaffungswertes

Bei mobilen Einrichtungen werden für die Instandhaltung in den ersten zehn Jahren 1,00 % des Wiederbeschaffungswertes und ab dem 11. Jahr 1,50 % des Wiederbeschaffungswertes angesetzt. Tabelle 26 gibt den Aufwand für die Instandhaltung wieder.

Tabelle 26: Jährliche Instandhaltungsaufwendungen

Position	Mobilität	Nutzungsdauer in Jahren	Instandhaltungsaufwendung in % des Anschaffungswertes pro Jahr
Befestigung	stationär	20	1,39 %
Lagerhalle	stationär	25	1,41 %
Brückenwaage	stationär	20	1,39 %
Feuchtemesser	mobil	6	1,00 %
Radlader	mobil	8	1,00 %
Gebäude	mobil	8	1,00 %

Holzvorrat

Die gebundenen Kosten durch den lagernden Holzvorrat werden auf Basis von EURIBOR (www.oenb.at, 2007) ermittelt. Der EURIBOR ist ein für Termingelder in Euro ermittelter Zwischenbanken-Zinssatz. Die Quotierung dieses Zinssatzes erfolgt durch repräsentative Banken (EURIBOR Panel-Banken; das Panel wird derzeit aus 57 Banken gebildet, darunter 47 aus der Eurozone, vier aus sonstigen EU-Ländern und sechs aus Banken außerhalb der EU), die sich durch aktive Teilnahme am Euro-Geldmarkt auszeichnen. Dabei werden die jeweils höchsten und tiefsten Werte eliminiert (je 15 Prozent). Für die unterschiedlichen Fristigkeiten gibt es unterschiedliche Zinssätze, welche im Anhang in Tabelle 93 angeführt sind. Die Bewertung des Holzvorrates basiert auf dem aktuellen Sekundapreis für Nadelholz, welcher im Jänner 2007 auf einer Höhe von 13,60 €/SRM liegt (www.landwirtschaftskammer.at, 2007). Die finanzielle Bewertung von Schlagabraum ist schwieriger, da keine Bezugsgröße vorhanden ist. Aus Erfahrungen von anderen Studien ist eine Größenordnung von 8,00 €/SRM realistisch (Golser et al., 2005).

Trockensubstanzverluste (nach Golser et al., 2005)

Während der Lagerung der Biomasse finden durch Mikroorganismen Abbauprozesse statt. Durch den Abbau kommt es zu einem Verlust an Trockensubstanz und damit zu einem Verlust an thermisch nutzbarer Energie (Tabelle 27).

Tabelle 27: Substanzabbau bei der Lagerung von Energieholz

Lagerungsart	Substanzverlust in % pro Monat	Median
Rundholz	0,06 – 0,16 %	0,11 %
Hackgut in Halle	0,50 – 2,80 %	1,23 %
Hackgut im Freien	1,30 – 4,00 %	2,37 %
Schlagabraum unter Dach	-	1,40 %
Schlagabraum im Freien	-	1,85 %

Für die finanzielle Bewertung des Substanzverlustes werden für Energie-Rohholz wiederum 13,60 €/SRM und für Schlagabraum 8,00 €/SRM herangezogen.

Die Lagerung des Energieholzes als Rundholz erweist sich als eindeutig beste Variante. Aufgrund der geringen Angriffsfläche, werden nur die äußersten Schichten abgebaut und der innere Teil bleibt erhalten. Im Vergleich zum höchsten Wert, der Lagerung als Hackgut im Freien, erreicht der Wertverlust bei Rundholzlagerung nur 1/20. Bei der Schlagabraumlagerung im Freien sind annähernd ähnliche Verluste wie bei der Hackgutlagerung in einer Halle zu erwarten.

3.4 Analyse von Bereitstellungssystemen

Die Analyse von Bereitstellungsverfahren in Form von Fallstudien wird nach dem Schema von Stampfer (2002) durchgeführt. Für die Zeitstudien wird eine Abarbeitung nach folgender Vorgangsweise vorgeschlagen:

- Erhebung der Bestandesdaten
- Zeitstudie für die Erzeugung und den Transport von Energieholz
- Erfassung der produzierten Energieholzmenge

3.4.1 Erhebung der Bestandesdaten

Zur Analyse der Ernteverfahren werden bei der Bestandesvorbereitung, sofern vorhanden Trassen abgesteckt und markiert. Anschließend wird die zu untersuchende Fläche in Parzellen eingeteilt, die als Beobachtungseinheiten, die für den statistischen Nachweis des Einflusses von Bestandes- und Geländeparametern herangezogen werden. Im Rahmen einer Vollaufnahme werden alle Bäume kluppiert, in BHD-Stufen eingeteilt und codiert (Abbildung 104). Das Bestandesalter wird durch Jahrringzählung an den Stöcken erhoben.



Rot		Gelb	
BHD Klassen [cm]		BHD Klassen [cm]	
1-2	•	13-14	•
3-4	••	15-16	••
5-6	•••	17-18	•••
7-8	/	19-20	/
9-10	//	21-22	//
11-12	///	23-24	///

Abbildung 104: Codierung der Brusthöhendurchmesser Klassen (Affenzeller & Stampfer, 2007)

3.4.2 Zeitstudie für die Erzeugung und den Transport von Energieholz

Für die durchgeführten Fallstudien wurde ein Zeitgliederungskonzept für die Rund- und Energieholzerzeugung verwendet, welche auf dem Schema von Stampfer (2002) basiert. Die verwendeten Arbeitsablaufabschnitte für das Fällen, das Rücken und die Ernte mit Fallbeilklingenaggregat sind in Tabelle 28, Tabelle 29 und Tabelle 30 dargestellt. Für die Aufzeichnung der Zeitdaten des Motorsägenführers und des Traktors werden zwei Latschbacher EG 20 mit Zeitstudiensoftware parallel verwendet.

Die definierten Arbeitsablaufabschnitte zur Ermittlung der Produktivität beim Hacken sind in Tabelle 31 dargestellt. Als Beobachtungseinheit wird die Fuhre gewählt. Die Ermittlung der jeweiligen Hackgutmenge in SRM bzw. des atro-Gewichtes je Fuhre erfolgt im Werk.

Die Berechnung der Produktivität bezieht sich grundsätzlich auf die produktive Systemstunde inklusive Unterbrechungen kleiner 15 min (PSH_{15}).

Tabelle 28: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Motorsägenarbeit

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Rundholzerzeugung	min	Fällen von Stämmen mit BHD grösser 15cm sowie Ausformen von Sortimenten.
Energieholzerzeugung	min	Fällen von Stämmen mit BHD kleiner 15cm sowie Entasten bzw. Zerlegen von Kronen.
Seilarbeit	min	Arbeiten mit Seilwinden-Traktor.
U≤15	min	Unterbrechungen kleiner/gleich 15 Minuten.
U>15	min	Unterbrechungen größer 15 Minuten.
Sonstiges	min	Nicht zuordenbare Tätigkeiten.
PSH15	min	Produktive Systemstunde inkl. Unterbrechungen kleiner 15 min. Summe der Ablaufabschnitte Rundholzerzeugung, Energieholzerzeugung, Seilarbeit und U≤15.

Tabelle 29: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Rücken

Bezeichnung	Einheit	Beschreibung
Rundholzrückung	min	Rücken von Rundholzsortimenten.
Energieholzrückung	min	Rücken von Energieholz.
Motorsägenarbeit	min	Ausformen von Rundholzsortimenten.
Seilarbeit	min	Arbeiten mit Seilwinden-Traktor.
U≤15	min	Unterbrechungen kleiner 15 Minuten.
U>15	min	Unterbrechungen größer 15 Minuten.
Sonstiges	min	Nicht zuordenbare Tätigkeiten.
PSH15	min	Produktive Systemstunde inkl. Unterbrechungen kleiner 15 min. Summe der Ablaufabschnitte Rundholzrückung, Energieholzrückung, Motorsägenarbeit, Seilarbeit und U≤15.

Tabelle 30: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Fallbeilklingenaggregat

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

Tabelle 31: Verwendete Arbeitstakte für die Zeitstudie Hacken

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

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

Die Aufzeichnung des Hackguttransports erfolgt gemeinsam mit der Zeitstudie für das Hacken. Die Ankunfts- und Abfahrtszeiten der LKW beim Hacker werden gemeinsam mit den jeweiligen km-Ständen notiert. Die Aufenthaltsdauer kann im Werk mithilfe der am Wiegeschein vermerkten Uhrzeiten für die erste und zweite Wiegung erfasst werden.

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

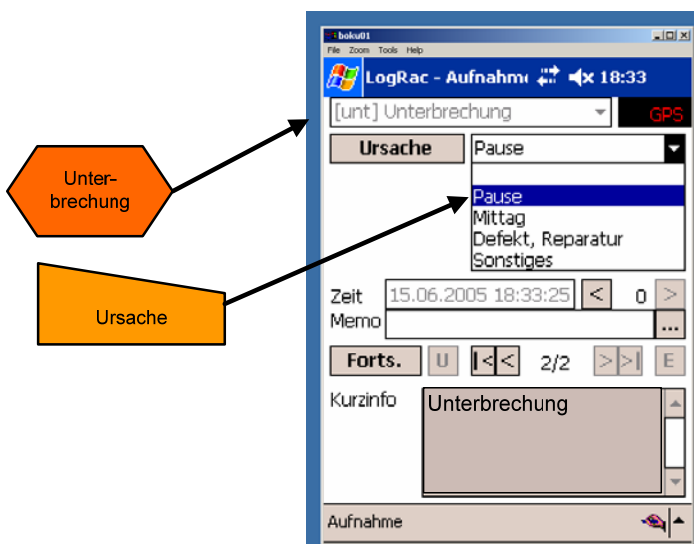


Abbildung 105: Benutzeroberfläche LogRac am Pocket-PC

3.4.3 Erfassung der produzierten Energieholzmenge

Die Ermittlung des Volumens kann mithilfe von Biomassefunktionen erfolgen (Tabelle 32). Diese errechnen in Abhängigkeit von Baumart und BHD die resultierende Masse Trockensubstanz (TS). Die Ermittlung des Trockengehaltes des Energieholzes erfolgt entsprechend ÖNORM M 7132 durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz im Wärmeschränk bei 105° C (Darrschränkverfahren)

(Golser et al., 2004). Der Quotient aus Trockensubstanz (TS) und Frischsubstanz ergibt den Trockengehalt.

Die Trockengehaltsmessung wird bei der Ernte sowie nach der Lagerung des Materials beim Hacken durchgeführt. Die Ergebnisse im Labor werden mit den Werksmessungen verglichen. Im Werk wurde die Trockengehaltsbestimmung im Schnellverfahren mit Mikrowellen bzw. mit dem elektronischen Hackgut-Feuchtemessgerät FMG 3000 durchgeführt. Die Trocknung des Probematerials erfolgt durch Absorption der Mikrowellenstrahlung durch die Wassermoleküle der Probe. Die Absorption erzeugt Wärme und führt zum Verdampfen des Wassers aber eventuell auch anderer flüchtiger Bestandteile. Der Massenverlust wird durch Wiegen vor und nach der Trocknung bestimmt. Bei speziell für die Feuchtebestimmung konzipierten Geräten ist die Waage im Trockner integriert. Bei Erreichen der Gewichtskonstante schaltet sich das Gerät ab. Der Trocknungsvorgang dauert je nach Menge und Gerätetyp zwischen 2 und 20 Minuten (Golser et al., 2004).

Das Volumen erhält man, wenn die Masse TS durch die Darrdichte gemäß ÖNORM M 7132 der entsprechenden Baumart dividiert wird. Nachdem die Hackgutmengen auch im Werk gemessen werden (Wiegen und Trockengehaltsbestimmung), ist ein Vergleich mit den über die Biomassefunktionen berechneten Mengen möglich.

Tabelle 32: Verwendete Biomassefunktionen (Zianis et al., 2005)

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

Für die Berechnung des Heizwertes (H_u) ist es erforderlich den Wassergehalt zu kennen. Bezogen auf das Trockengewicht unterscheiden sich die Holzarten kaum, wodurch eine leichte Bestimmung des Heizwertes aus Gewicht und Wassergehalt möglich ist. Für Laubholz wird üblicherweise 18 MJ/kg bzw. 5 kWh/kg bei einem Wassergehalt von 0 % verwendet.

3.5 Versorgungsszenarien für Biomasseheizkraftwerke

Die Erstellung und Entwicklung von mathematischen Modellen für die Optimierung orientiert sich am „Operations Research Prozess“ (Abbildung 106). Aus den realen Gegebenheiten wird das Problem formuliert. Je exakter dieses beschrieben werden kann, desto höher ist die Chance dieses zu lösen. Auf Basis der Problemdefinition werden mathematische Modelle entworfen. Die Modelle müssen dann in Form von verschiedenen Lösungsverfahren implementiert werden. Über die Ergebnisse wird dann die Qualität und Robustheit des Modells evaluiert.

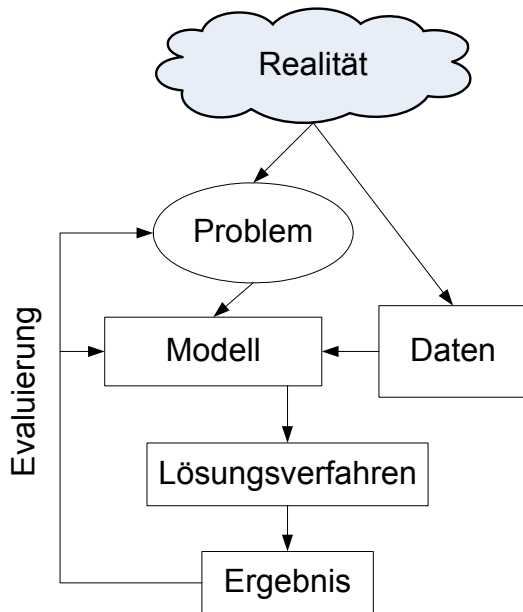


Abbildung 106: Typischer „Operations Research Prozess“ (Gunnarsson, 2007)

3.5.1 Problembeschreibung

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 107):

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

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.

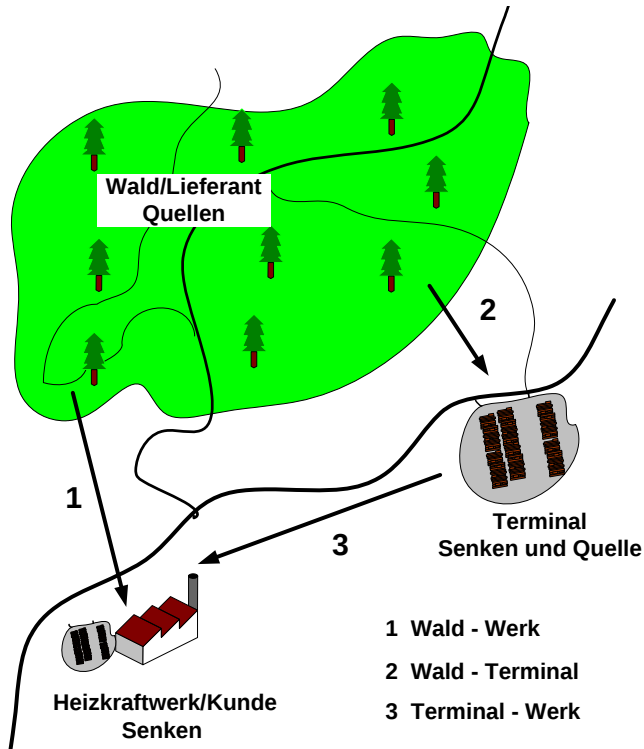


Abbildung 107: Materialflüsse von Waldhackgut laut Modellierung

Im ersten Schritt wird die Ausgangssituation durch das Szenario „Direkte Versorgung der Heizwerke“ abgebildet. Anders als bei Gronalt & Rauch (2006) wird auf eine Nachbildung des Einkaufsverhaltens verzichtet und nur die kostenoptimale Variante berechnet. Das Modell baut auf dem klassischen LP-Transportmodell auf, bei dem der Warenstrom vom Wald (Quellen – i) zu den Heizwerken (Senken – j) kostenoptimiert wird. In Ergänzung und zur Abgrenzung der Einzugsgebiete erfolgt eine binäre Zuordnung jeder Quelle (i) zu nur einem Werk (j) (vgl. Ranta, 2005; Kanzian et al., 2006). 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. Die Zielfunktion formuliert sich daraus wie folgt:

$$(1) \quad z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_i f_{ij} + \sum_{j \in J} sc_j y_j \quad f_{ij} = \{0,1\}$$

Die Summe der Transport und Aufbereitungskosten (z) soll minimal werden. c_{ij} bezeichnet die Kosten von jeder Quelle i zu jedem Werk j , x_i das im Wald verfügbare Potenzial und f_{ij} ist 1 wenn von dieser Quelle zu diesem Werk ein Fluss stattfinden soll, ansonsten 0. y_j entscheidet bei gegebenen Substitutionskosten sc_j welche Fehlmenge beim jeweiligen Werk in Kauf genommen wird. Dazu sind die Nebenbedingungen

$$(2) \quad \sum_{i \in I} f_{ij} x_i + y_j = d_j \quad \forall j \in J$$

und

$$(3) \sum_{j \in J} f_{ij} x_i \leq x_i \quad \forall i \in I$$

einzuhalten. Die erste Nebenbedingung soll sicherstellen, dass der Bedarf der Heizwerke d_j erfüllt wird und die zweite, dass das Potenzial in den Quellen nicht überschritten wird.

Die Einbeziehung von Terminals in das Versorgungsnetzwerk erfordert die Ergänzung der Zielfunktion einerseits um die fixen und variablen Lagerkosten ($C^{\text{terminfix}}$ und $C^{\text{terminvar}}$), sowie der Transportkosten vom Wald zum Terminal (C^{trans2}) und der Transportkosten vom Terminal zum Werk (C^{trans3}). Zusammen mit dem Transport vom Wald zum Werk (C^{trans1}) und den Substitutionskosten für nicht erfüllten Bedarf (C^{sub}) entsteht die Zielfunktion

$$(4) z = C^{\text{trans1}} + C^{\text{trans2}} + C^{\text{terminfix}} + C^{\text{terminvar}} + C^{\text{trans3}} + C^{\text{sub}},$$

welche minimiert werden soll.

C^{trans1} entspricht jener Funktion für den direkten Transport. Der Transport vom Wald zum Terminal lautet analog dazu

$$(5) C^{\text{trans2}} = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} c_{it} x_i f_{it} \quad f_{it} = \{0,1\}$$

Die Kosten vom Wald zum Terminal werden durch c_{it} repräsentiert und f_{it} steht für die Zuordnung eines Wald-/Nutzungsortes zu einem Lager. Die Verwendung von Terminals umfasst einerseits die Summe der Errichtungskosten c_t^{fix} , welche bei der Eröffnung ($b_t=1$) eines Terminals (t) entstehen

$$(6) C^{\text{terminfix}} = \sum_{t \in T} c_t^{\text{fix}} b_t \quad b_t = \{0,1\}$$

und die variablen Kosten c_t^{var} , welche in Abhängigkeit vom Umschlag anfallen. Der Umschlag am Terminal ergibt aus der Summe des Flusses f_{tj} vom Terminal zum Werk.

$$(7) C^{\text{terminvar}} = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} c_t^{\text{var}} f_{tj}$$

Die Transportkosten vom Terminal zum Werk ergeben sich aus den Kosten und dem jeweiligen Materialfluss.

$$(8) C^{\text{trans3}} = \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} c_{tj} f_{tj}$$

Die Kosten der Zielfunktion, bestehend aus den einzelnen Elementen

$$(9) z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_i f_{ij} + \sum_{j \in J} s c_j y_j + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} c_{it} x_i f_{it} + \sum_{t \in T} c_t^{\text{fix}} b_t + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} c_t^{\text{var}} f_{tj} + \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} c_{tj} f_{tj}$$

sollen unter noch zu definierenden Nebenbedingungen minimiert werden.

Zuerst muss sichergestellt werden, dass jede Quelle entweder nur einem Werk oder einem Terminal zugewiesen wird. Dies wird durch die folgenden drei Nebenbedingungen erreicht, wobei die dritte sicherstellen soll, dass eine Quelle nur einem Lager oder einem Werk zugeteilt wird.

$$(10) \sum_{j \in J} f_{ij} x_i \leq x_i \quad \forall i \in I$$

$$(11) \sum_{t \in T} f_{it} x_i \leq x_i \quad \forall t \in T$$

$$(12) f_{ij} + f_{it} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall i \in J, \forall t \in T, f_{ij} = \{0,1\}, f_{it} = \{0,1\}$$

Die Terminals unterliegen ebenfalls Einschränkungen hinsichtlich ihrer Lagerkapazität. Je nach Anforderungen muss ein Mindestumschlag erfolgen. Dieser ergibt sich aus der Summe an Materialflüssen vom einen errichteten Terminal zu den Werken und darf eine definierte Mindestmenge $v^{\min}$ nicht unterschreiten.

$$(13) \sum_{j \in J} f_{ij} \geq v_t^{\min} b_t \quad \forall t \in T$$

Jede Art von Terminal hat auch eine maximal sinnvolle Kapazität bzw. Umschlagmenge pro Jahr. Wiederum darf die Summe der Materialflüsse von einem errichteten Terminal zu den Werken ein definiertes maximales Umschlagsvolumen $v^{\max}$ nicht übersteigen.

$$(14) \sum_{j \in J} f_{ij} \leq v_t^{\max} b_t \quad \forall t \in T$$

Ob ein Terminal eröffnet wird entscheidet die Optimierung. Aus Sicht der Versorgungssicherheit kann allerdings gewünscht sein, dass ein Mindestumschlag über Terminals abgewickelt wird. Dies kann durch eine zusätzliche Nebenbedingung realisiert werden, welche sicherstellt, dass ein fixer Prozentsatz p des Warenstromes bzw. des Potenzials über Terminals abgewickelt wird. Die Summe aller Materialflüsse f_{ij} muss dabei mindestens die Summe des Potenzials der Quellen i multipliziert mit dem Prozentsatz p erreichen.

$$(15) \sum_{t \in T} \sum_{j \in J} f_{ij} \geq \left(\sum_{i \in I} x_i \right) p$$

Aufgrund der Verwendung von binären Variablen fällt das entwickelte Modell unter die Kategorie der gemischt ganzzahligen Modelle (MIP). Die Algorithmen von kommerziellen Optimierungsprogrammen stellen zuerst eine LP-optimale Lösung und anschließend die geforderte Ganzzahligkeit her. Um die Lösungsgeschwindigkeit zu verbessern, können noch zusätzliche Nebenbedingungen formuliert werden. Im vorliegenden Fall wurden noch zusätzliche, für das Modell redundante, Nebenbedingungen im Modellcode implementiert. Da sie keinen zusätzlichen Nutzen für die Modellformulierung bieten, werden diese nicht mehr angeführt.

3.5.2 Eingangsdaten – Herleitung und Aufbereitung

Das Modell benötigt eine Reihe von Inputdaten, um die Entscheidungsvariablen f_{ij} , f_{it} , f_{ij} und b_t und die damit verbunden Fragen der idealen Warenströme und die Frage welche Terminals eröffnet werden sollen zu beantworten. Alle Betrachtungen und Angaben beziehen sich auf das ganze Jahr, das heißt bei mehreren Umschlägen pro Jahr an den Terminals geht die Summe dieser in das Modell ein. Welche Einheiten verwendet werden spielt beim Modell keine Rolle, sofern alle Werte auf dieselbe Einheit gerechnet werden.

3.5.2.1 Quellen – Potenzial

Die erste Eingangsgröße ist das Potenzial in den Quellen x_i . Aus der vom Institut für Forsttechnik eigenfinanzierten Potenzialstudie stehen Daten für jede Bezirksforstinspektion (BFI) in Niederösterreich zur Verfügung. Für die Analyse werden aus den Szenarien Energieholznutzung IST und Abbau der Pflegerückstände innerhalb von zehn Jahren die Mengen Energieholz zusätzlich herangezogen. Diese Mengen umfassen lediglich Wipfel sowie Astmaterial und die Mengen an zusätzlicher Nutzung im Ausschlagwald (Szenario II). Umgerechnet auf den Schüttraummeter ergeben sich damit 1,723 Mio. bzw. 2,264 Mio. SRM pro Jahr. Die Quellen bzw. Nutzungsflächen im engeren Sinn werden durch einen Stichprobenraster repräsentiert. Um hohe Genauigkeit zu erzielen wird ein enges Netz mit 1 km Rasterabstand gewählt. Im GIS wird dieses Raster zuerst mit der

Landesfläche und anschließend mit dem Layer für Waldflächen verschnitten. In Abhängigkeit vom BFI-Bezirk basiert die abschließende Zuweisung des Potenzials, also Potenzial je Punkt als Quotient aus Potenzial je BFI und Anzahl der Punkte je BFI.

3.5.2.2 Senken - Heizwerke

Aus den erfassten Heizwerken in Niederösterreich werden jene mit einem Jahresbedarf von mehr als 100.000 SRM Waldhackgut ausgewählt. Wie die Quellen müssen auch die Heizwerke georeferenziert werden. Die Liste der ausgewählten Heizwerke ist in Tabelle 36 in Kapitel 4.1 einsehbar.

3.5.2.3 Auswahl und Beschreibung der Terminals

Im Kapitel Zwischenlagerung werden die Kosten unterschiedlicher Varianten von Terminals berechnet. Für die Analyse des Versorgungsnetzwerkes mit Terminals wurden drei Varianten ausgewählt. Aus den Kalkulationen werden die jährlichen Fixkosten extrahiert und getrennt von variablen Kosten ins Modell aufgenommen. Terminal „Klein“ stellt einen einfachen geschotterten Platz dar mit Fixkosten von 1.093 €/a und zusätzlichen Kosten von 1,80 €/SRM. Bereits über eine Ausstattung mit Brückenwaage verfügt Terminal „Mittel“, was sich auch bei den Fixkosten in der Höhe von 20.690 €/a niederschlägt. Die höchsten Fixkosten aufgrund der Ausstattung mit Lagerhalle fallen bei Terminal „Groß“ mit 124.055 €/a an (Tabelle 33).

Tabelle 33: Varianten von Terminals für die Analyse des Versorgungsnetzwerkes

Terminal	Kosten		Kapazität [Srm]	
	fix [EUR/a]	variabel [EUR/Srm]	minimal	maximal
Klein	1.093	1,80	1.000	20.000
Mittel	20.690	2,40	20.001	50.000
Groß	124.055	1,16	50.001	350.000

Die Auswahl der potenziellen Standorte für Terminals verläuft über zwei Schritte. Basierend auf einer Auswahl von Standortfaktoren erfolgt eine räumliche Analyse des Projektgebietes. Von Haus aus ungeeignete Flächen und Gebiete werden so ausgeschieden (beschrieben in Kapitel Standortsanalyse). Im Anschluss wird ein Raster mit 10 km Maschenweite über das Projektgebiet gelegt und der Mittelpunkt als potenzieller Standort für einen Terminal ausgewiesen. Punkte die außerhalb der Eignungsflächen liegen werden zur nächstgelegenen Fläche verschoben. Im Projektgebiet verbleiben somit 180 potenzielle Standorte für Terminals. Jedem dieser Standorte werden je nach gewählter Analysevariante die in Tabelle 33 beschriebenen Daten zugeordnet.

Werkseigene Lagerplätze werden bei der Analyse nicht berücksichtigt, da einerseits die erforderlichen Informationen nicht vollständig vorhanden sind und andererseits Lieferanten keinen Zugriff auf diese Lagerplätze haben.

3.5.2.4 Transport- und Produktionskosten

Die Kosten c_{ij} , c_{it} und c_{jt} für den Warenfluss gehen in das Modell als Matrizen ein. c_{ij} beinhaltet zum Beispiel die Kosten für den Transport und die Aufbereitung von jeder Quelle i zu jeder Senke j . Die Transportkosten tc für eine Verbindung werden wie folgt berechnet:

$$(1) \quad tc = \frac{(t^L + t^D * 2 + t^U + p^W * t^D * 2) * c^h + c^{toll}}{I^V}$$

Die Kosten für den Transport pro Einheit (tc) ergeben sich aus der Summe der Zeiten für Laden (t^L), Entladen (t^U), Fahren ($t^D * 2$) und Warten ($p^W * t^D * 2$) multipliziert mit den Stundenkosten plus der Autobahnmaut und geteilt durch das Ladevolumen (I^V). Die Fahrzeiten und die Mautgebühren werden über ein digitales Straßennetz mit Hilfe eines GIS berechnet und verdoppelt da bei der Rückfahrt ein 100%iger Lehrfahrtanteil unterstellt wird. Die Aufbereitungskosten c^{chip} und eventuell

sonstige anfallende Kosten c^{other} , welche je nach Produktionsweg entstehen, werden zu den Transportkosten addiert. Dies wird für jede Verbindung durchgeführt, woraus sich dann die geforderten Kostenmatrizen, wie im folgenden Beispiel angegeben, ergeben.

$$(2) \ c_{ij} = tc_{ij} + c^{chip} + c^{other} \quad \forall i \in I, \forall j \in J$$

Das Ladevolumen, die Zeiten für Laden und Entladen, der Stundensatz, die Aufbereitungs- und sonstigen Kosten fließen als Konstanten in die Berechnungen ein. Für den Rundholz-LKW werden Kosten von 78 €/h, ein Ladevolumen von 55 SRM und eine Ladezeit von 1,18 h (Friedl et al., 2004) bei Produktionsweg (3) eingesetzt. Der Stundensatz des Schüttgut-LKW fällt mit 65 €/h günstiger aus. Das Ladevolumen beträgt 80 SRM. Wie bereits erwähnt wird der Produktionsweg (1) mit gewichteten Werten beschrieben. Es wird angenommen, dass 50% als Hackgut und 50% als Hackholz direkt angeliefert werden. Dadurch ergeben sich für den Fluss Wald-Werk gewichtete Werte für das Ladevolumen von 67,5 SRM und der Ladezeit von 1,32 Stunden (Tabelle 34).

Tabelle 34: Eingangsparameter für die Kostenberechnung der skizzierten Materialströme

	Wald-Werk (1)		Wald-Terminal (2)		Terminal-Werk (3)	
Transport	% - Anteil		% - Anteil		% - Anteil	
Ladevolumen [Srm]	67,5	100%	55	100%	85	100%
Rundholz-Lkw	55	50%	55	100%		0%
Schüttgut-Lkw	80	50%		0%	85	100%
Ladezeit [h]	1,32	100%	1,18	100%	0,71	100%
Rundholz-Lkw	1,18	50%	1,18	100%		0%
Schüttgut-Lkw	1,45	50%		0%	0,71	100%
Entladezeit [h]	0,5	100%	0,5	100%	0,5	100%
Rundholz-Lkw	0,5	50%	0,5	100%	0,5	0%
Schüttgut-Lkw	0,5	50%	0,5	0%	0,5	100%
Fahrzeit [h]	Distanzabhängig					
Rundholz-Lkw	NWA		NWA		NWA	
Schüttgut-Lkw	GIS		GIS		GIS	
Wartezeit [in % der Fahrzeit]	0,1	100%	0	100%	0,1	100%
Rundholz-Lkw	0	50%	0	100%	0	0%
Schüttgut-Lkw	0,2	50%	0,2	0%	0,1	100%
Stundensatz [EUR/h]	72,5	100%	78	100%	67	100%
Rundholz-Lkw	78	50%	78	100%	78	0%
Schüttgut-Lkw	67	50%	67	0%	67	100%
Autobahnmaut [EUR]	Distanzabhängig					
Rundholz-Lkw [EUR/km]	0,3255		0,3255		0,3255	
Schüttgut-Lkw [EUR/km]	0,3255		0,3255		0,3255	
Aufbereitung (Hacken/Schreddern)						
Produktivität [Srm/h]	87,5	100%	-		120	100%
Wald [Srm/h]	55	50%			55	0%
Terminal [Srm/h]	120	50%	-		120	100%
Stundensatz [h]	240		-		240	
Kosten [EUR/Srm]	2,74		-		2,00	
Sonstige Kosten [EUR/Srm]						
Vortransport/Manipulation	1	100%	-		-	
Wald [EUR/Srm]	2	50%	-		-	
Terminal [EUR/Srm]	0	50%	-		-	

Bei geschlossenen Ketten treten auch Wartezeiten auf. In Relation zur Fahrzeit zeigen Studien, dass die LKW zwischen 15, 19 und 23% der Fahrzeit warten (Kanzian et al., 2006; Kanzian et al., 2006a; Affenzeller und Stampfer, 2007). Hier wird eine mittlere Wartezeit des Schüttgut-LKW von 20% der Fahrzeit beim Weg Wald-Werk unterstellt. Am Terminal (3) wird angenommen, dass sich die Wartezeiten um die Hälfte also auf 10% reduzieren lassen.

Die Hackkosten ergeben sich als Quotient aus Produktivität und Stundensatz. Aus den umfangreichen Zeitstudien von Hackeinsätzen leiten sich die Produktivitäten von 55 SRM/h im Wald und 120 SRM/h an Terminals/Lagerplätzen inklusive ablaufbedingter Wartezeiten ab. Für die mobilen Großhacker wird ein Stundensatz von EUR 240,- unterstellt. An zusätzlichen Kosten fallen möglicherweise beim Hacken im Wald noch Kosten von 2 €/SRM für einen kurzen Vortransport an, da ein Hacken direkt an den Nutzungsflächen aufgrund verschiedener Einschränkungen nicht möglich ist (Kanzian et al., 2006).

3.5.3 Technische Umsetzung

Für die Umsetzung des skizzierten Modells werden mehrere Werkzeuge verwendet. Die Berechnung der Fahrzeiten und Mautgebühren über ein digitales Straßennetz inklusive räumlicher Analyse und Kartenerstellung erfordern den Einsatz eines GIS. Als GIS wird das Softwarepaket ArcGIS in der aktuellen Version 9.2 der Firma ESRI mit dem Erweiterungsmodul Netzwerkanalyse eingesetzt. Für die Implementierung des Optimierungsmodells wurde die professionelle Solver Plattform Xpress-MP der Firma dash optimization gewählt. Die Software steht für alle gängigen Betriebssysteme zur Verfügung und weist eine Vielzahl von Schnittstellen für den Zugriff auf verschiedene Datenquellen auf. Die eingesetzte Skript-/Programmiersprache orientiert sich an der mathematischen Formulierung und erleichtert somit die programmiertechnische Umsetzung des Problems. Die Speicherung der anfallenden Daten, sowie der Austausch zwischen den Softwarepaketen und die Verknüpfung von Datentabellen, wurden mit der Datenbankanwendung Access von Microsoft realisiert. Die Tabellenkalkulation Excel von Microsoft diente zur Auswertung sowie zur Darstellung der Ergebnisse aus der Optimierung in Diagrammen und Tabellen.

Der Datenfluss für die Aufbereitung, Verarbeitung, Optimierung und Ergebnisverwertung ist in Abbildung 108 dargestellt. Der Ablauf beginnt mit der Datenaufbereitung und Netzwerkanalyse im GIS. Die Netzwerkanalyse liefert Fahrzeiten, Distanzen sowie Mautgebühren für die Verbindungen über den schnellsten Weg. Als Impedanz für die Routensuche wird also nicht die Distanz sondern die Zeit herangezogen. Über das gewählte feinmaschige Raster der Potenzialpunkte und potenziellen Terminals ergeben sich so über 85.600 Einzelverbindungen zu jedem der zwölf Werke. Einschränkungen gibt es beim Straßennetz, da Forststraßen nur zu einem geringen Teil digital vorhanden sind. Die Toleranz für die Berücksichtigung der Punkte des Rasters Potenzial muss daher mit 1.000 Meter relativ hoch angesetzt werden. Das heißt bis zu einem Abstand von 1.000 Meter zur nächstgelegenen Straße werden die Punkte in die Analyse aufgenommen. Vom Wald zu den Terminals wird die maximale Fahrzeit auf 45 min begrenzt. Dadurch kann die Anzahl der Datensätze auf ca. 78.400 beschränkt werden. Von den 180 Terminals zu den zwölf Werken fallen 2.160 Fahrtrouten an. Die Datentabellen aus der Netzwerkanalyse werden im dbase-Format exportiert.

Die Ergebnistabellen müssen in MS-Access noch um zusätzliche Daten ergänzt werden. Dazu werden die Tabellen über Beziehungen verknüpft und Abfragen erstellt. ArcGIS kann direkt auf die Datenbank mit den Ergebnissen zugreifen. In ArcGIS werden die Ergebnisse mit den räumlichen Daten verknüpft und anschließend graphisch aufbereitet. Die fertigen Layouts der Karten stehen dann zum Export zur Verfügung. Zur Erstellung der Tabellen und Diagramme werden die Daten in MS-Excel importiert.

Mit dem vorgestellten Optimierungsmodell auf Basis von zwei Potenzialvarianten (I und II), sowie drei Terminalgrößen (Klein, Mittel und Groß) mit jeweils unterschiedlichen Mengenflüssen wurden 26 verschiedene Versorgungsszenarien durchgerechnet. Beim Potenzial an Waldhackgut wurde angenommen, dass 75% nutzbar sind wodurch sich Mengen von 1,292 bzw. 1,698 Mio. SRM pro Jahr ergeben. Die Substitutionskosten für einen nicht erfüllten Bedarf an Waldhackgut wurden mit 20 €/SRM festgelegt. Dies entspricht etwas mehr als den doppelten Versorgungskosten. Um die Rechenzeit von extrem schwer lösbaren Kombinationen zu begrenzen, können die Modellparameter maximale MIP-Zeit und MIP-GAP gesetzt werden. Die MIP-Zeit beschränkt die Zeit für die Herstellung von ganzzahligen Lösungen. MIP-GAP gibt den erlaubten Abstand in Prozent des Zielwertes der ganzzahligen Lösung von dem voraussichtlich besten, über die LP gefunden Lösungswert an. Die Modellparameter maximale MIP-Zeit und der Wert für MIP-GAP wurden auf 21.600 Sekunden und 0,5% gesetzt.

Die Berechnungen wurden auf einer PC-Arbeitsstation (CPU Intel Pentium D 3,4 Ghz und 4 GB Arbeitsspeicher) mit dem Betriebssystem WindowsXP 32-bit von Microsoft ausgeführt. Die Rechenzeiten variieren erheblich in Abhängigkeit von den Eingangsdaten und betragen bis zu 4,7 Stunden.

4 Ergebnisse

4.1 Bedarf an Energieholz zur energetischen Verwertung

Gemäß der gesetzlichen Bestimmungen und der Befristung bis 2007 wurden in den letzten Jahren überdurchschnittlich viele Anlagen in Betrieb genommen, was sich auch in einer deutlichen Zunahme des Brennstoffbedarfes ausdrückt (Abbildung 109). Bis zum Jahresende 2006 bestand in Niederösterreich ein Jahresbedarf von 4,1 Millionen SRM Energieholz.

Gemäß der den Kriterien des Ökostromgesetzes eingereichten und in Bau befindlicher Anlagen lässt sich nochmals eine starke Zunahme des Brennstoffbedarfs auf mehr als fünf Millionen SRM Energieholz bis zum Jahresende 2007 erwarten. Sollten die in Planung befindlichen Projekte ebenfalls noch realisiert werden, ist zusätzlich eine Steigerung des Brennstoffbedarfs um eine Million SRM möglich.

2006 und 2007 nehmen vor allem Heizwerke mit hohen Brennstoffwärmeleistungen und hohem Bedarf an Energieholz ihren Betrieb auf. Während Ende 2005 ein Heizwerk im Untersuchungsraum einen durchschnittlichen Jahresbedarf von circa 5.000 SRM Energieholz hatte, werden es Ende 2007 circa 15.000 SRM pro Heizwerk sein.

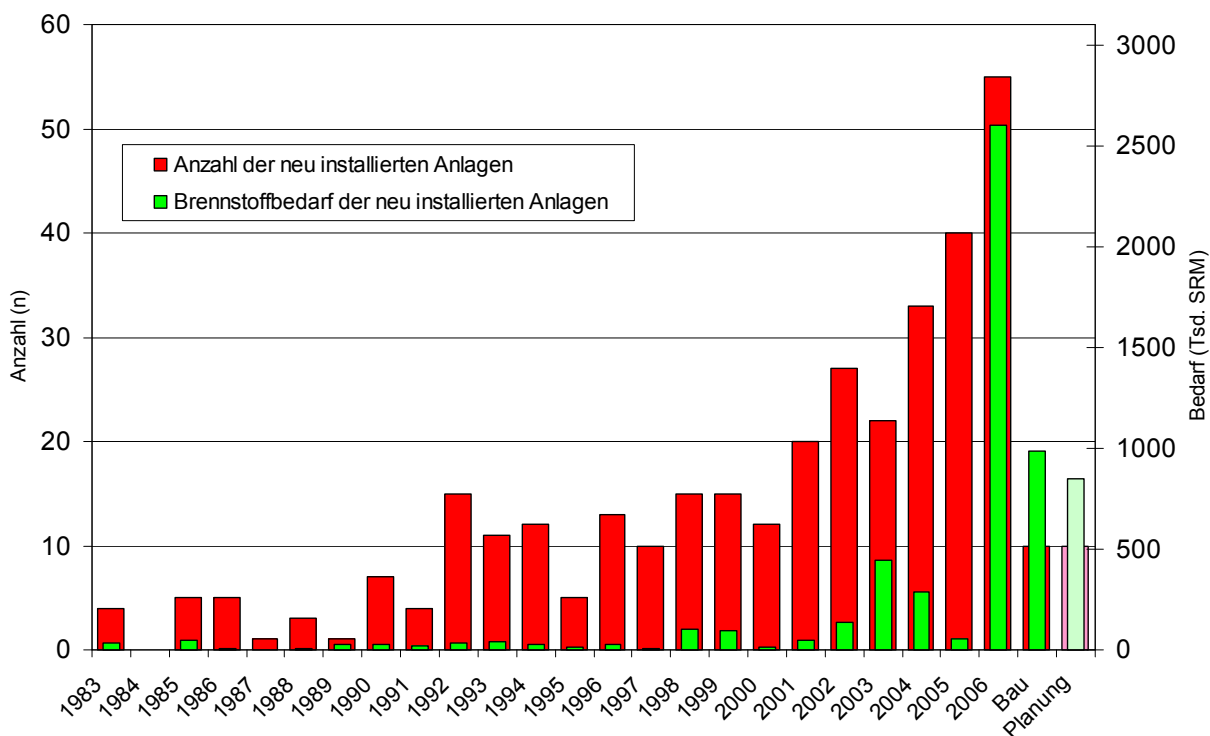


Abbildung 109: Jahr der Erstzulassung von Biomassekraftwerken in Niederösterreich und Wien und deren jährlicher Brennstoffbedarf

Quelle: Patzl 2007, Nemestothy 2006a & eigene Erhebungen

Bis zum Jahre 2005 gab es eine überdurchschnittliche starke Zunahme der Verwertung von Sägenebenprodukten als Brennstoff. Da das Angebot an zusätzlich nutzbaren Sägenebenprodukten aber zunehmend erschöpft ist, werden Heizwerke, welche bis Ende 2007 in Betrieb genommen werden, zum Großteil mit Waldhackgut befeuert.

Abbildung 110 dokumentiert die kumulative Zunahme des Brennstoffbedarfs. Der Jahresbedarf an Waldhackgut stieg bis Ende 2005 kontinuierlich auf circa 425.000 SRM. Der Jahresbedarf an Sägenebenprodukten steigerte sich (besonders stark in den letzten drei Jahren) auf 1.085.00 SRM.

Alle Biomasseheizwerke, welche in den Jahren 2006 und 2007 ihren regulären Betrieb aufnehmen, haben zusammen einen jährlichen Bedarf von 1.095.000 SRM Sägenebenprodukten und 2.490.000 SRM Waldhackgut. Somit ist bis Ende 2007 ein Gesamtbrennstoffbedarf von circa 2,9 Millionen SRM Waldhackgut und ca. 2,2 Millionen SRM Sägenebenprodukte zu erwarten.

Die in Abbildung 110 strichliert umrandeten, prognostizierten Werte stellen den kumulativen Zuwachs der in Planung befindlichen Anlagen dar. Sollten einige der eingereichten Projekte bis Jahresende 2007 nicht realisiert werden, reduzieren sich diese Werte noch.

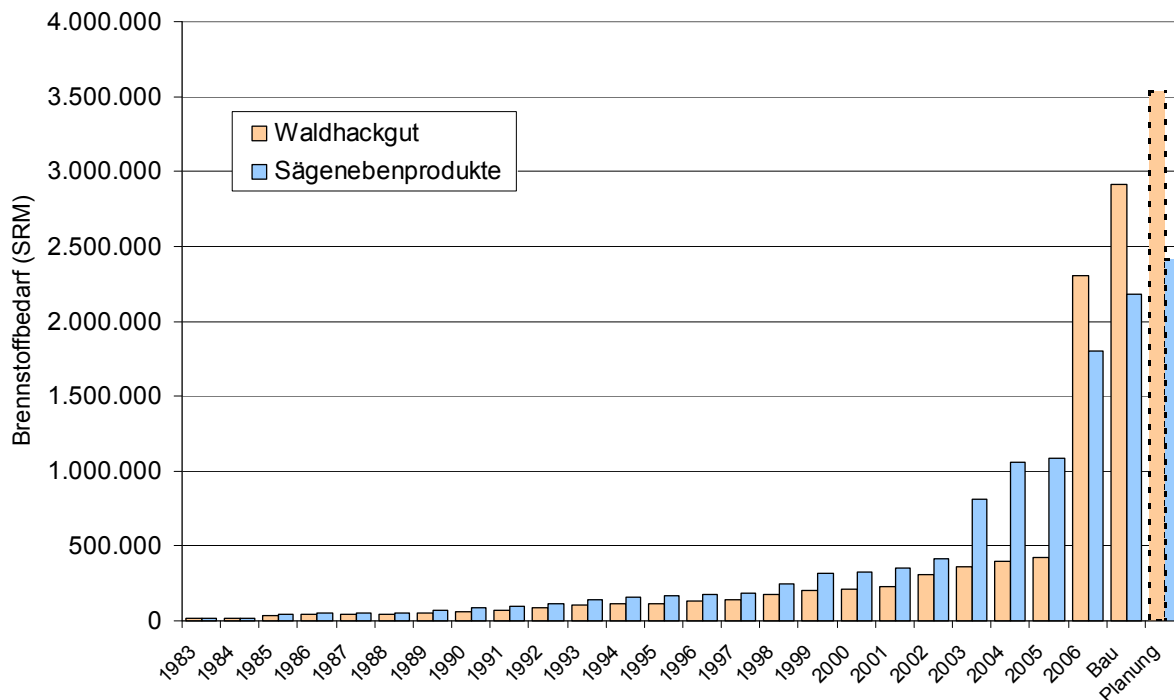


Abbildung 110: Summierter jährlicher Brennstoffbedarf von Biomassekraftwerken bis Ende 2007

Quelle: Patzl 2007, Nemestothy 2006a & eigene Erhebungen

Für Waldhackgut wird Ende 2007 im Vergleich zu 2005 ein siebenmal höherer Bedarf gerechnet. Für denselben Zeitraum wird eine mehr als doppelt so hohe Nachfrage an Sägenebenprodukten für energetische Zwecke erwartet. Aufgrund dieses Mehrbedarfs verstärkt sich die Notwendigkeit einer effizienten Nutzung der vorhandenen Ressourcen und die Entwicklung von ausgereiften logistischen Konzepten.

Tabelle 35 zeigt die Veränderung der Relationen bei der Nachfrage an Energieholz. Bis Jahresende 2007 beträgt der Anteil an Waldhackgut 57% am Brennstoffbedarf. Bei Realisierung aller geplanten Projekte ist nochmals eine Verschiebung um 2 % in Richtung Waldhackgut zu erwarten.

Tabelle 35: Bestehender und prognostizierter Brennstoffbedarf aller Biomasseheizwerke in Niederösterreich und Wien

Quelle: Patzl 2007, Nemestothy 2006a & eigene Erhebungen

	Bedarf an Energieholz (1983 – 2007) in SRM		Mögliche Mehrmengen bei Realisierung aller geplanter Anlagen		TOTAL	
Waldhackgut	2.915.000	57 %	621.000	73 %	3.536.000	59 %
Sägenebenprodukte	2.177.000	43 %	231.000	27 %	2.408.000	41 %
Gesamt	5.092.000	100 %	852.000	100 %	5.944.000	100 %

Für die weiteren Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes werden speziell der Bedarf und die logistischen Herausforderungen für die Bereitstellung von Waldhackgut berücksichtigt.

Die 12 größten (bestehenden und geplanten) Heizwerke mit einer jährliche Nachfrage von mehr als 100.000 SRM Waldhackgut weisen zusammen einen Bedarf von 2,542 Millionen Schüttraummeter Waldhackgut auf. Dies entspricht 72 Prozent des Verbrauches aller Heizwerke im Untersuchungsgebiet. Für die weitere Untersuchung der Wertschöpfungskette werden diese Standorte näher betrachtet (Abbildung 111). Der Bedarf der übrigen Werke wird in der weiteren Planung allerdings berücksichtigt. Tabelle 36 dokumentiert die Kenndaten der ausgewählten Heizwerke.

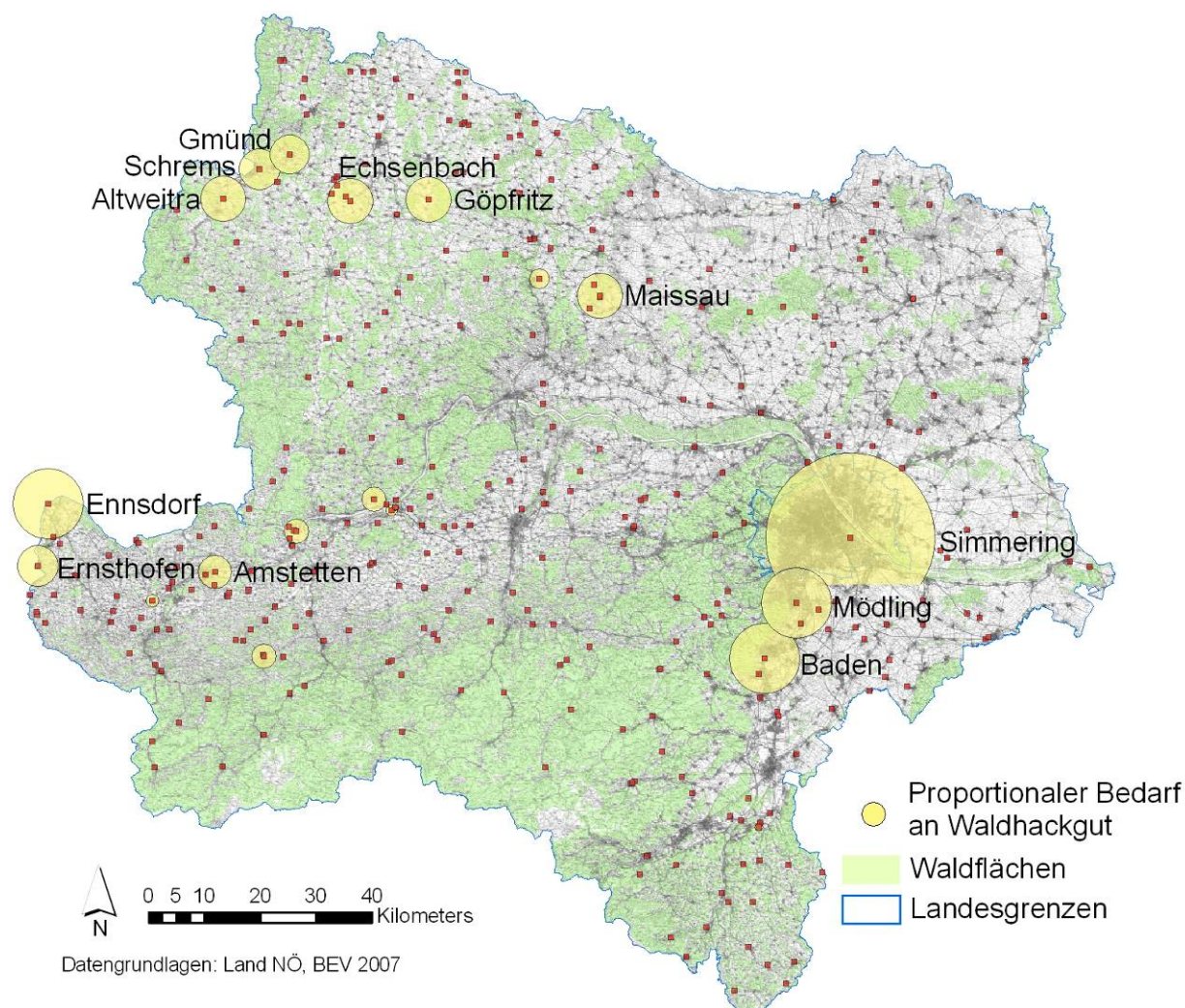


Abbildung 111: Verteilung von Heizwerken mit hohem Bedarf an Waldhackgut

Tabelle 36: Heizwerke mit einem jährlichen Brennstoffbedarf an Waldhackgut von mehr als 100.000 SRM

Standort	Inbetriebnahme	Status	elektrische Nennleistung in kW	Brennstoffwärmeleistung in kW	Volllaststunden	Bedarf an WHG in SRM	Bedarf an SNP in SRM	Brennstoff-Bedarf gesamt
Simmering	2006	Betrieb	24.500	65.700	8.000	600.000	0	600.000
Baden	2006	Betrieb	5.000	26.000	7.500	250.000	0	250.000
Ennsdorf	2006	Betrieb	5.000	23.700	8.000	250.000	0	250.000
Mödling	2006	Betrieb	5.000	26.000	7.500	250.000	0	250.000
Altweitra	2007	Bau	4.500	22.000	7.000	160.000	40.000	200.000
Maissau	2007	Bau	4.500	22.000	7.000	160.000	40.000	200.000
Echsenbach	2007	Planung	4.500	22.000	7.000	160.000	40.000	200.000
Göpfritz	2007	Planung	4.500	22.000	7.000	160.000	40.000	200.000
Ernsthofen	2006	Betrieb	5.000	25.000	6.000	146.000	36.500	182.500
Gmünd	2006	Betrieb	5.000	25.000	6.000	146.000	36.500	182.500
Schrems	2007	Planung	4.000	20.000	7.000	140.000	35.000	175.000
Amstetten	2006	Betrieb	5.000	30.000	8.000	120.000	180.000	300.000

4.2 Transport von Energieholz

4.2.1 Vortransport von Schlagabraum

Aus 16 erhobenen Fahrten wurde für die Leerfahrt eine mittlere Dauer von 24,8 Minuten und bei der Lastfahrt von 23 Minuten erhoben (Tabelle 37).

Tabelle 37: Durchschnittliche Prozesszeiten beim Vortransport von Schlagabraum

Prozessdauer		min
Dauer Leerfahrt	Mittelwert	24,79
	Standardabweichung	12,18
Dauer Laden	Mittelwert	30,70
	Standardabweichung	10,62
Dauer Lastfahrt	Mittelwert	23,03
	Standardabweichung	7,69
Dauer Entladen	Mittelwert	14,75
	Standardabweichung	4,10

Die durchschnittliche Ladezeit betrug eine halbe Stunde, für das Entladen benötigten die LKW Fahrer nur halb so lange (Abbildung 112). Die starke Variation bei den Ladezeiten ist wahrscheinlich auf die unterschiedliche Anzahl von Lagerplätzen an der Forststraße zurückzuführen, welche innerhalb eines Zyklus angefahren wurden.

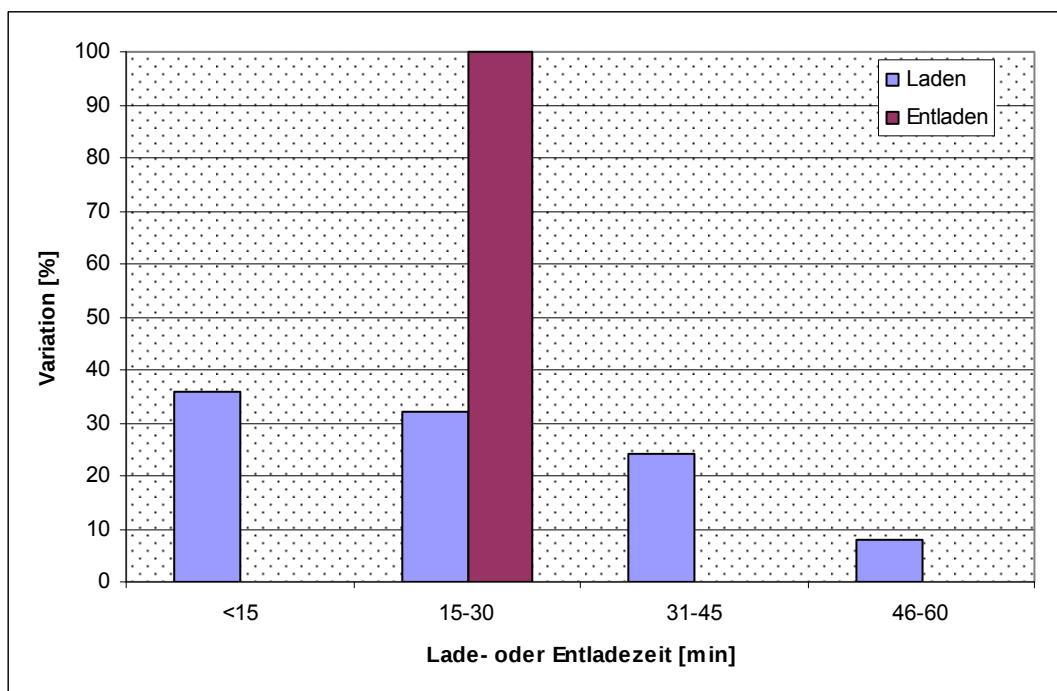


Abbildung 112: Häufigkeiten der Lade- und Entladezeiten in Prozent nach vier Zeitgrößenklassen in Anlehnung an Ranta und Rinne 2006

Die Vortransportdistanz betrug im Mittel ca. 8,4 km. Dieser Wert errechnet sich aus der durchschnittlichen Distanz der Leerfahrt von 8,7 km und der mittleren Distanz der Lastfahrt von 8,1 km (Tabelle 38).

Tabelle 38: Durchschnittliche Prozessdistanzen beim Vortransport von Schlagabraum

Prozessdistanz		km
Distanz Leerfahrt	Mittelwert	8,7
	Standardabweichung	2,5
Distanz Laden	Mittelwert	1,7
	Standardabweichung	1,3
Distanz Lastfahrt	Mittelwert	8,1
	Standardabweichung	2,0
Distanz Entladen	Mittelwert	0,45
	Standardabweichung	0,22

Bei Transportkosten von maximal 4,00 €/SRM und einem Transportvolumen von 24 SRM pro Zug kann das Material fünf Kilometer vortransportiert werden (Abbildung 113 und Tabelle 39). Der Vortransport von Schlagabraum sollte aus wirtschaftlicher Sicht deshalb auf kurze Distanzen beschränkt werden. Die Produktivität liegt in diesem Fall bei 18,70 SRM/Stunde (Abbildung 114 und Tabelle 39). Eine Erhöhung der Ladedichte, erreicht durch einen höheren Derbholzanteil, kann bei selben Kosten ca. 11 km vortransportiert werden (Abbildung 113). Hier kann eine Produktivität von 19,90 SRM pro Stunde erreicht werden. Für die Umrechnung in Tonnen wird der Faktor 0,233 to pro SRM für Fichte bei einem Wassergehalt von 35 % verwendet (ÖNORM M 7132).

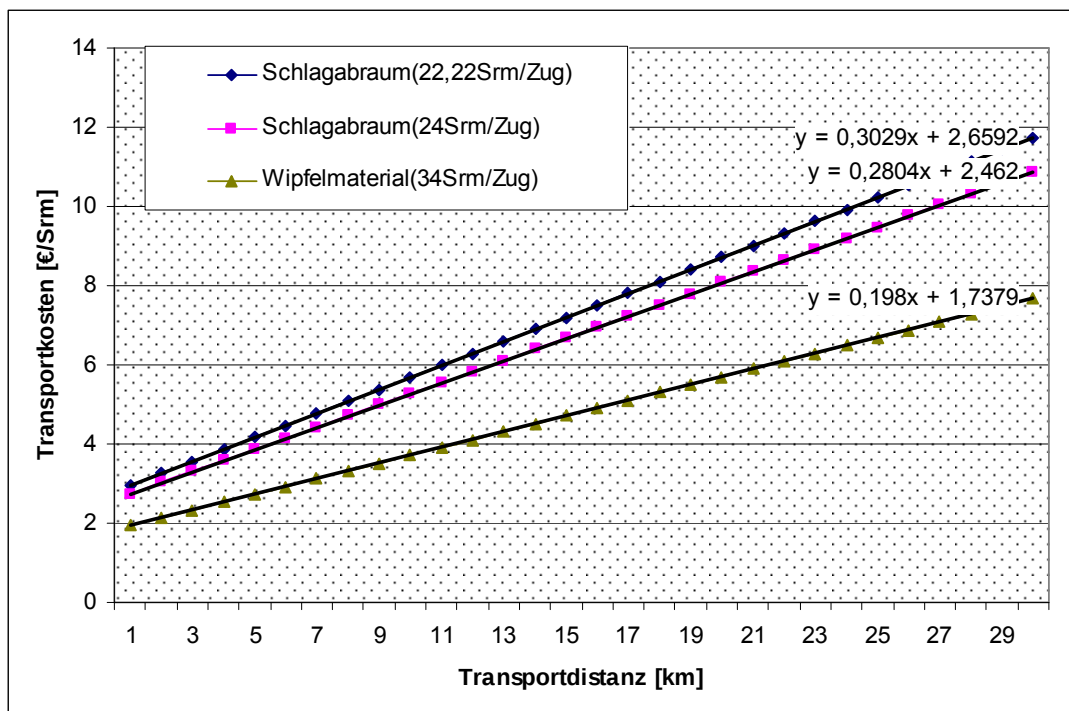


Abbildung 113: Transportkosten in Abhängigkeit von der Transportdistanz bei unterschiedlichem Ladevolumen

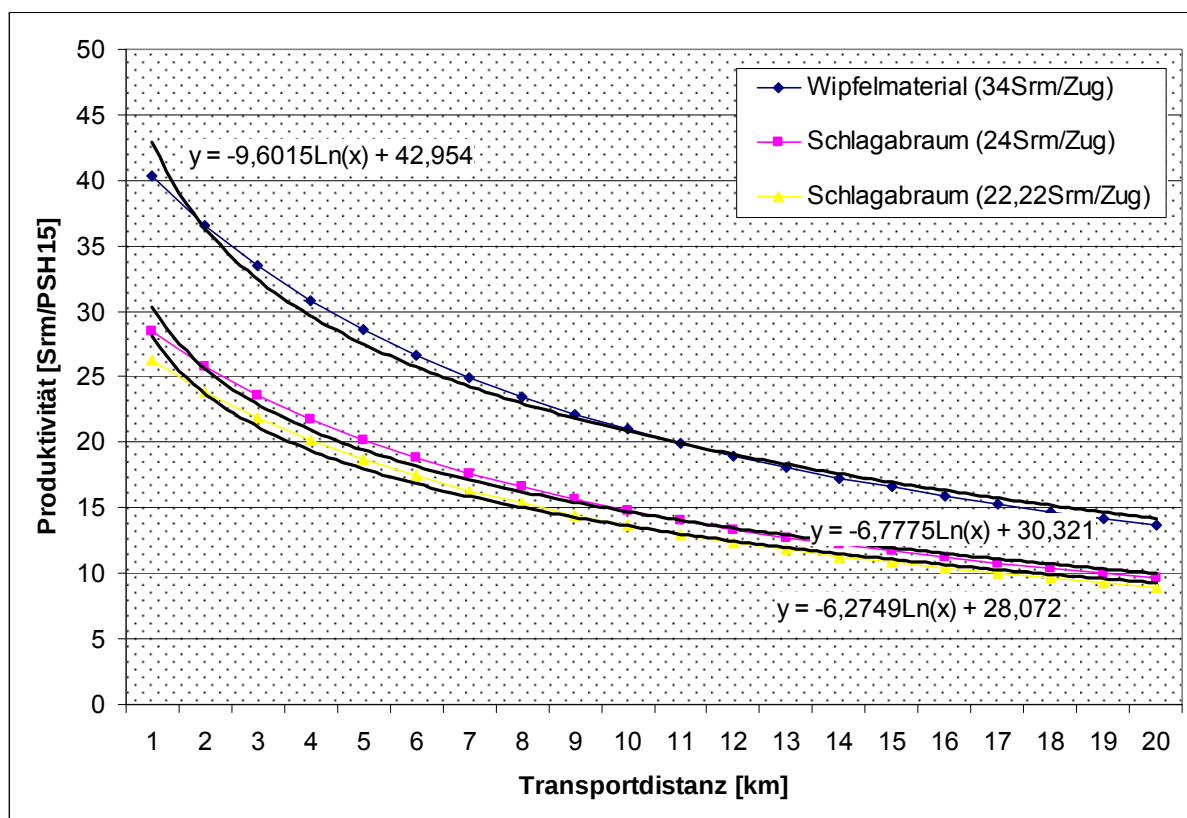


Abbildung 114: Leistung pro Stunde in Abhängigkeit von der Transportdistanz bei unterschiedlichem Ladevolumen

Tabelle 39: Leistungen und Kosten in Abhängigkeit von der Transportdistanz

Transport- distanz [km]	Rundholz LKW mit Anhänger					
	Schlagabraum				Wipfelmaterial	
	22,22 SRM/Zug		24 SRM/Zug		34 SRM/Zug	
	Leistung [SRM/h]	€/SRM	Leistung [SRM/h]	€/SRM	Leistung [SRM/h]	€/SRM
1	26,3	3,0	28,4	2,7	40,3	1,9
2	23,9	3,3	25,8	3,0	36,6	2,1
3	21,9	3,6	23,6	3,3	33,5	2,3
4	20,2	3,9	21,8	3,6	30,8	2,5
5	18,7	4,2	20,2	3,9	28,6	2,7
6	17,4	4,5	18,8	4,1	26,7	2,9
7	16,3	4,8	17,6	4,4	25,0	3,1
8	15,3	5,1	16,6	4,7	23,5	3,3
9	14,5	5,4	15,6	5,0	22,2	3,5
10	13,7	5,7	14,8	5,3	21,0	3,7
11	13,0	6,0	14,1	5,5	19,9	3,9
12	12,4	6,3	13,4	5,8	19,0	4,1
13	11,8	6,6	12,8	6,1	18,1	4,3

	Rundholz LKW mit Anhänger					
	Schlagabraum				Wipfelmaterial	
	22,22 SRM/Zug		24 SRM/Zug		34 SRM/Zug	
Transport- distanz [km]	Leistung [SRM/h]	€/SRM]	Leistung [SRM/h]	€/SRM]	Leistung [SRM/h]	€/SRM]
14	11,3	6,9	12,2	6,4	17,3	4,5
15	10,8	7,2	11,7	6,7	16,6	4,7
16	10,4	7,5	11,2	6,9	15,9	4,9
17	10,0	7,8	10,8	7,2	15,3	5,1
18	9,6	8,1	10,4	7,5	14,7	5,3
19	9,3	8,4	10,0	7,8	14,2	5,5
20	8,9	8,7	9,7	8,1	13,7	5,7

Die vorliegenden Ergebnisse errechneten sich aus einem geringen Stichprobenumfang von 16 Fahrten. Infolge dessen sind die Ergebnisse nur als Skizzierung des Vortransportes von Schlagabraum unter österreichischen Verhältnissen anzusehen. Außerdem konnte bei den Erhebungen kein Ladevolumen erfasst werden. Dieses musste bei der Kostensimulation unterstellt werden.

Bei den Prozessen Laden- und Entladen musste viel Zeit aufgewendet werden. In den untersuchten Fällen wurde die Be- und Entladung des Rungen LKW Zuges mit einer gewöhnlichen Holzzange durchgeführt. Kallio & Leinonen (2005) konnten nachweisen, dass der Einsatz einer Spezialzange für Schlagabraum (Logging residue grapple) zu einer Produktivitätssteigerung führt. Die Spezialzange ist so konstruiert, dass sie auch zum Laden von Rundholz verwendet werden kann.

Die beim Vortransport von Schlagabraum untersuchten Rungen LKW Züge wiesen nur seitliche Ladebordwände auf. Dadurch konnte das maximale Ladevolumen von circa 52 m³ nicht ausgeschöpft werden (Fenz & Pircher, 2006). Der Einsatz von Ladebordwänden aus Leichtmetall für alle vier Seiten, welche rasch auf- oder abmontiert werden können, wird als Alternative empfohlen.

In Finnland werden LKW-Züge für den Transport von Schlagabraum eingesetzt, welche ein Ladevolumen von 145 m³ aufweisen (Ranta & Rinne, 2006). Der Einsatz solcher LKW-Züge in Österreich ist aufgrund der Art der Erschließung und der Geländemorphologie kaum einsetzbar. Eine Alternative wäre der Einsatz eines Rungen-Anhängers mit drei Achsen, welche ein deutlich höheres Ladevolumen aufweisen.

Larsson (1980) experimentierte mit hydraulischen Balken (Pressen), welche in den Rungen des Rundholz LKW eingebaut waren (Patzak, 1981). Die Konstruktion von Spezialfahrzeugen wäre sicher überlegenswert. Die Firma Vapo Oy entwickelte den so genannten „Havu-Hukka“ für den Transport von Schlagabraum (Kallio & Leinonen, 2005). Dabei handelt es sich um einen Spezialanhänger, welcher mit Bordwänden ausgestattet ist, die nach außen geklappt werden können. Beim Schließen fungieren diese als Presse, um damit ein höheres Ladevolumen zu erreichen. Der Spezialanhänger ist so konzipiert, dass er mit einem Traktor geführt wird.

Aufgrund der geringen Datenmengen werden weitere Fallstudien zum Vortransport von Schlagabraum empfohlen. Weiters scheint eine stärkere Differenzierung des Prozesses „Laden“ (Anzahl der angefahrenen Haufen pro Zyklus, Größe der Haufen, Zangengriffe, Distanz von Haufen zu Haufen, Ladezeiten pro Haufen) notwendig. Auf eine zuverlässige Erfassung des Ladevolumens pro Fuhre sollte geachtet werden.

4.2.2 Transport von Energieholz per Eisenbahn

Die räumliche Kostenbewertung berücksichtigt topographische Gegebenheiten und berechnet für jeden Punkt innerhalb eines definierten Raumes die Transportkosten zum nächstgelegenen Transportziel. Eingangsgrößen für die Berechnung sind das Eisenbahnnetz mit Distanzen, Wagonkosten, Systemkosten, Manipulationszeiten und sonstige anfallenden Gebühren. Die Berechnung erfolgt über eine Netzwerkanalyse in einem GIS.

4.2.2.1 Rundholztransport mit Rnooss-Waggon

Bei dieser Variante werden die Transportkosten für die Eisenbahn sowie die Kosten für das Be- und Entladen der Waggon berechnet. Die Transportkosten sind distanzabhängig, die Kosten für das Be- und Entladen hingegen konstant (Tabelle 40). Das Be- und Entladen erfolgt mit einem Lader, der am Quell- bzw. Zielort zur Verfügung steht.

Tabelle 40: Manipulationskosten für Eisenbahntransport ohne Vor- und Nachtransport

Prozess	Kosten pro Waggon (200 SRM)	Kosten pro FM	Kosten pro SRM
Beladen Waggon	96,00 €	1,20 €	0,48 €
Entladen Waggon	96,00 €	1,20 €	0,48 €
Summe	192,00 €	1,07 €	0,96 €

Ein Eisenbahnanschluss ist sowohl am Quell- als auch am Zielort notwendig. Da am Waldort normalerweise kein Anschluss besteht, wird diese Variante beim Transport von Energieholz üblicherweise nicht durchgeführt. Nur der Transport von einem Lagerplatz mit Bahnanschluss zu einem Heizwerk mit Bahnanschluss wäre denkbar.

Abbildung 115 zeigt die Transportkosten von Nadel-Rundholz im Untersuchungsraum bis zum Heizwerk Wien-Simmering ohne Vor- und Nachtransport durch einen LKW. Die Transportkosten erreichen Werte zwischen 1,90 und 4,10 €/SRM. Bei Laubholz sind sie um ca. 5 bis 10 % höher.

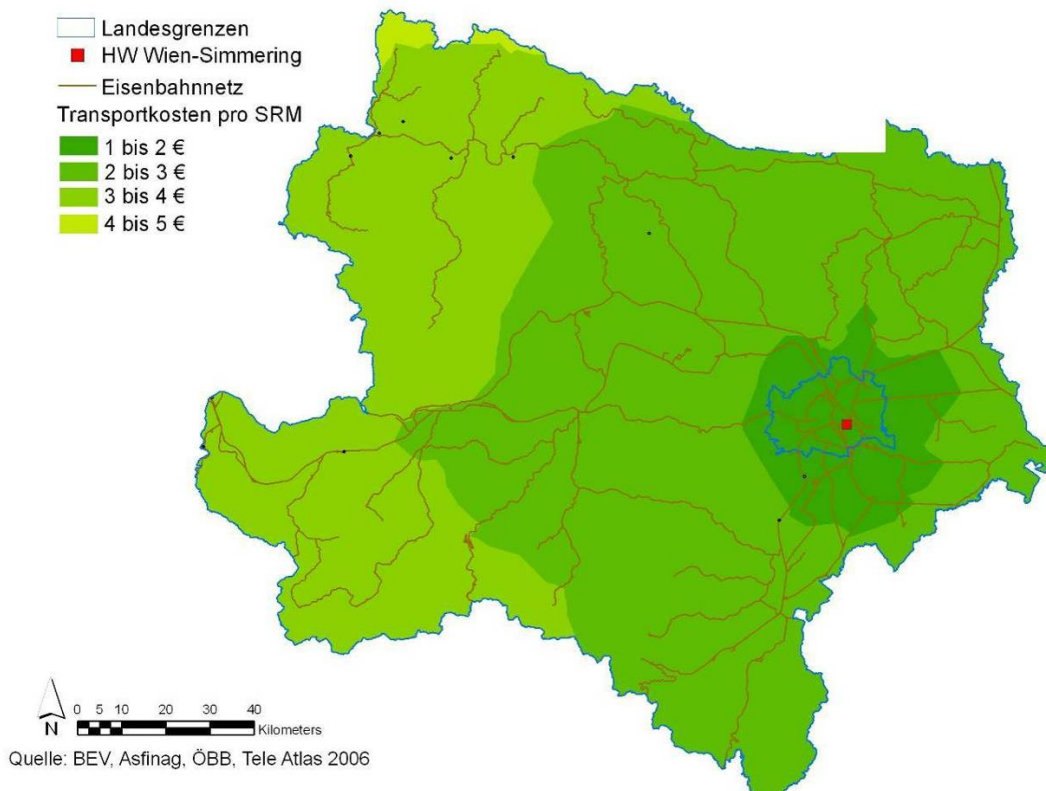


Abbildung 115: Kostenflächen für den Transport von Nadel-Rundholz ohne Vor- und Nachtransport

4.2.2.2 Schüttgut-Transport mit Eanos-Waggon

Beim Transport von Schüttgut ist meistens ein Vor- oder Nachlauf notwendig. Sollte jedoch sowohl am Lagerplatz als auch am Heizwerk ein Anschlussgleis vorhanden sein, ist auch eine Variante mit direktem Eisenbahntransport möglich. Der Transport erfolgt mit einem seitlich geschlossenen Waggon.

Das Beladen des Waggons erfolgt entweder durch Direktbeladung beim Hacken oder durch einen Radlader. Das Entladen erfolgt durch Öffnen der Bordwände und durch einen Radlader. Je nach Größe und Auslastung ergeben sich unterschiedliche Kostensätze für einen Radlader. In den folgenden Berechnungen wird ein Jahresumschlag von 100.000 SRM angenommen, was Kosten von 0,48 €/SRM und Ladevorgang verursacht (vgl. Kapitel 3.3.3). Für das Entladen wird eine Dauer von einer Stunde und ein Stundensatz von 32,00 € angenommen, was 0,39 €/SRM entspricht. Die Transportkosten werden laut www.railcargo.at (2007) wie in Tabelle 41 angegeben.

Tabelle 41: Kosten für den Eisenbahntransport mit Eanos-Waggon

Prozess	Kosten pro Waggon	Kosten pro km
Lasttransport (Hinfahrt)	200 €	2,00 €
Leertransport (Rücklauf)	22 €	0,22 €
Summe (Rundlauf)	222 €	2,22 €

Bei einem maximalen Ladevolumen von circa 82 m³ ergeben sich Kosten in der Höhe von 2,71 €/SRM bzw. 0,0271 €/SRM/km. Abbildung 116 zeigt die Kosten für den Bahntransport von Schüttgut in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 4,30 bis 10,00 €/SRM.

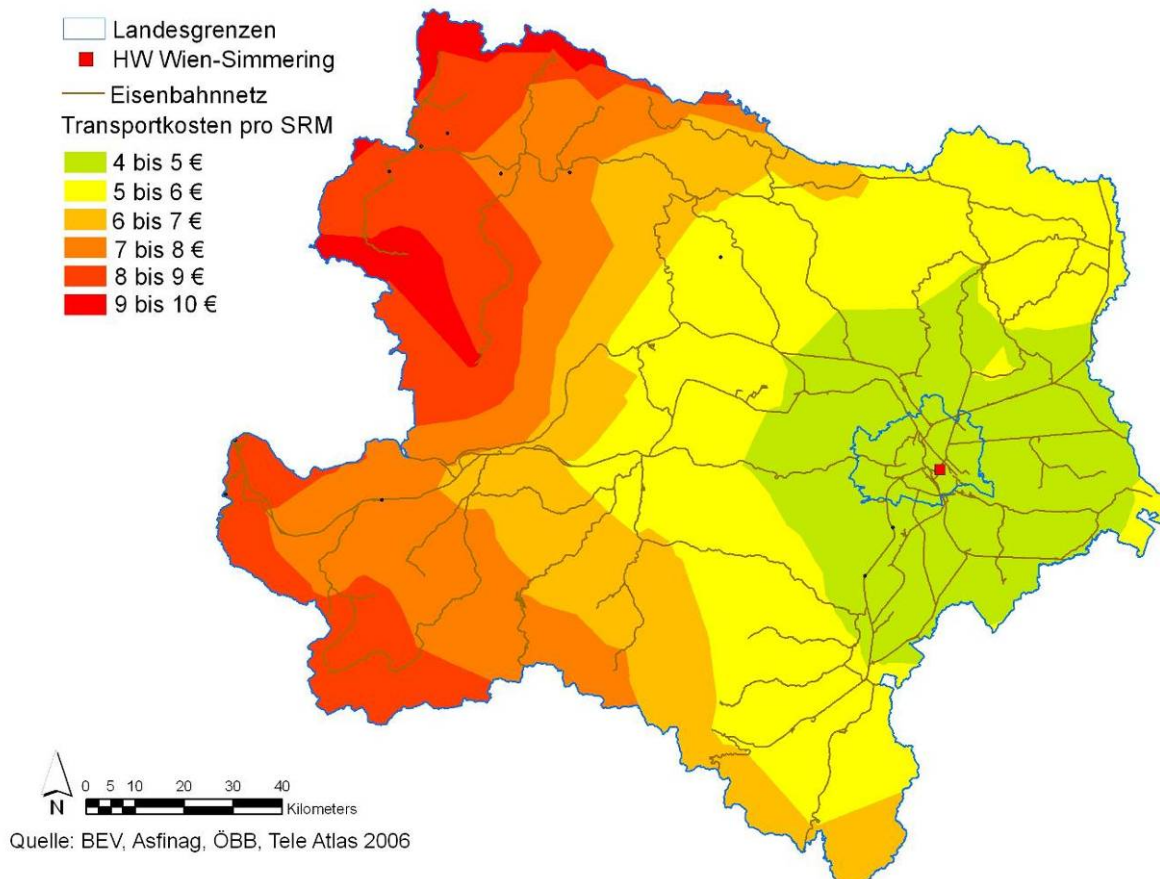


Abbildung 116: Kostenflächen für den Bahntransport von Hackgut

4.2.3 Intermodaler Transport von Energieholz mit Eisenbahn und LKW

Die räumliche Bewertung des intermodalen Transportes erfolgt ebenfalls mit der Netzwerkanalyse in einem GIS. Für die Kostenbewertung des Rundholz- und Schüttguttransportes sind jeweils drei verschiedene Varianten möglich:

- Rundholztransport per Eisenbahn sowie Vortransport per LKW
- Rundholztransport per Eisenbahn sowie Nachtransport per LKW
- Rundholztransport per Eisenbahn sowie Vor- und Nachtransport per LKW
- Schüttgut-Transport per Eisenbahn sowie Vortransport per LKW
- Schüttgut-Transport per Eisenbahn sowie Nachtransport per LKW
- Schüttgut-Transport per Eisenbahn sowie Vor- und Nachtransport per LKW

Die beiden Varianten ohne Vortransport werden nicht näher erläutert, da die infrastrukturelle Ausstattung für eine Direktbeladung des Eisenbahnwaggons meist nicht gegeben ist. Alle anderen Varianten werden näher beschrieben, sowie eine räumliche Kostenbewertung durchgeführt.

4.2.3.1 Rundholztransport per Eisenbahn sowie Vortransport per Rundholz-LKW

Bei dieser Variante werden die Kosten für den Vortransport, den Eisenbahntransport sowie die Kosten für das Beladen des LKW, des Umladens auf den Waggon und das Entladen der Waggons berechnet. Die Transportkosten sind distanzabhängig, die Kosten für das Be-, Ent- und Umladen konstant (Tabelle 42). Das Entladen des Waggons am Bestimmungsort erfolgt mittels Radlader.

Tabelle 42: Manipulationskosten für Eisenbahntransport mit Vor- und ohne Nachtransport

Prozess	Kosten pro Waggon (200 SRM)	Kosten pro FM	Kosten pro SRM
Beladen LKW	208,00 €	2,59 €	1,04 €
Umladen LKW - Waggon	103,52 €	1,29 €	0,52 €
Entladen Waggon	96,00 €	1,20 €	0,48 €
Summe	407,52 €	5,08 €	2,04 €

Ein Eisenbahnanschluss ist nur am Zielort notwendig. Das Umladen vom LKW auf die Eisenbahn erfolgt an Holzverladebahnhöfen oder privaten Anschlussgleisen. Der Transport vom Waldort ohne Bahnanschluss zum Heizwerk oder zu einem Lagerplatz mit Bahnanschluss ist bei dieser Variante möglich.

Abbildung 117 zeigt die Kosten für den Vor- und Bahntransport von Nadel-Rundholz in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 3,20 bis 6,90 €/SRM. Bei Laub-Rundholz sind die Kosten um ca. 7 % höher.

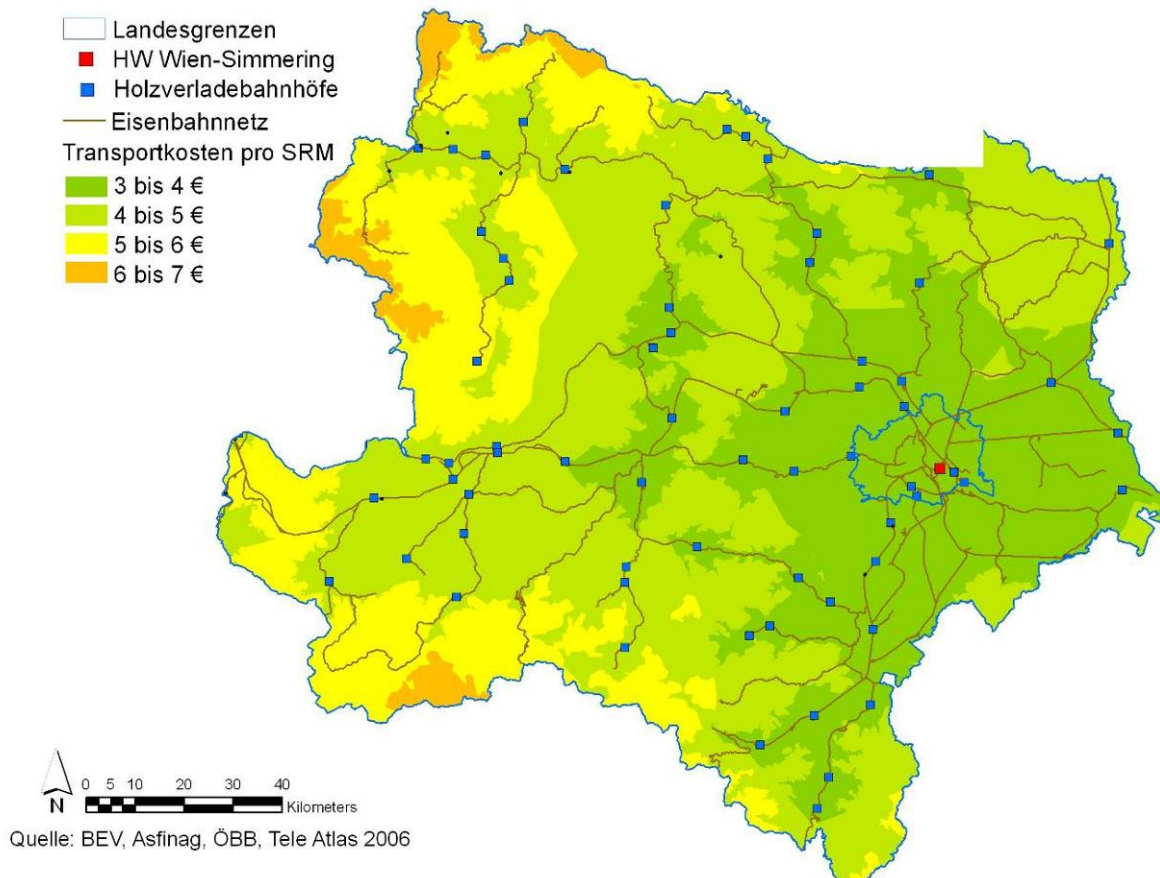


Abbildung 117: Kostenflächen für Vor- und Bahntransport von Nadel-Rundholz

4.2.3.2 Rundholztransport per Eisenbahn sowie Vor- und Nachtransport per Rundholz-LKW

Bei dieser Variante werden die Kosten für den Vortransport, den Eisenbahntransport, den Nachtransport sowie die Kosten für das Beladen des LKW, des Umladens auf den Waggon, das Umladen auf den LKW und das Entladen der LKW berechnet. Die Transportkosten sind distanzabhängig, die Kosten für das Be-, Um- und Entladen konstant (Tabelle 43).

Tabelle 43: Manipulationskosten für Eisenbahntransport mit Vor- und ohne Nachtransport

Prozess	Kosten pro Waggon	Kosten pro FM	Kosten pro SRM
Beladen LKW	208,00 €	2,59 €	1,04 €
Umladen LKW - Waggon	103,52 €	1,29 €	0,52 €
Umladen Waggon - LKW	103,52 €	1,29 €	0,52 €
Entladen LKW	140,00 €	1,75 €	0,70 €
Summe	555,04 €	6,92 €	2,78 €

Ein Eisenbahnanschluss ist nur am Quellort notwendig. Das Umladen vom Waggon auf den LKW erfolgt an Holzverladebahnhöfen oder privaten Anschlussgleisen. Der Transport vom Waldort mit Bahnanschluss oder von einem Lagerplatz mit Bahnanschluss zu einem Lagerplatz oder zum Heizwerk ohne Bahnanschluss ist bei dieser Variante möglich.

Abbildung 118 zeigt die Kosten für den Vor-, Bahn- und Nachtransport von Nadel-Rundholz in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 4,40 bis 8,10 €/SRM. Bei Laub-Rundholz sind die Kosten um 2 bis 5 % höher.

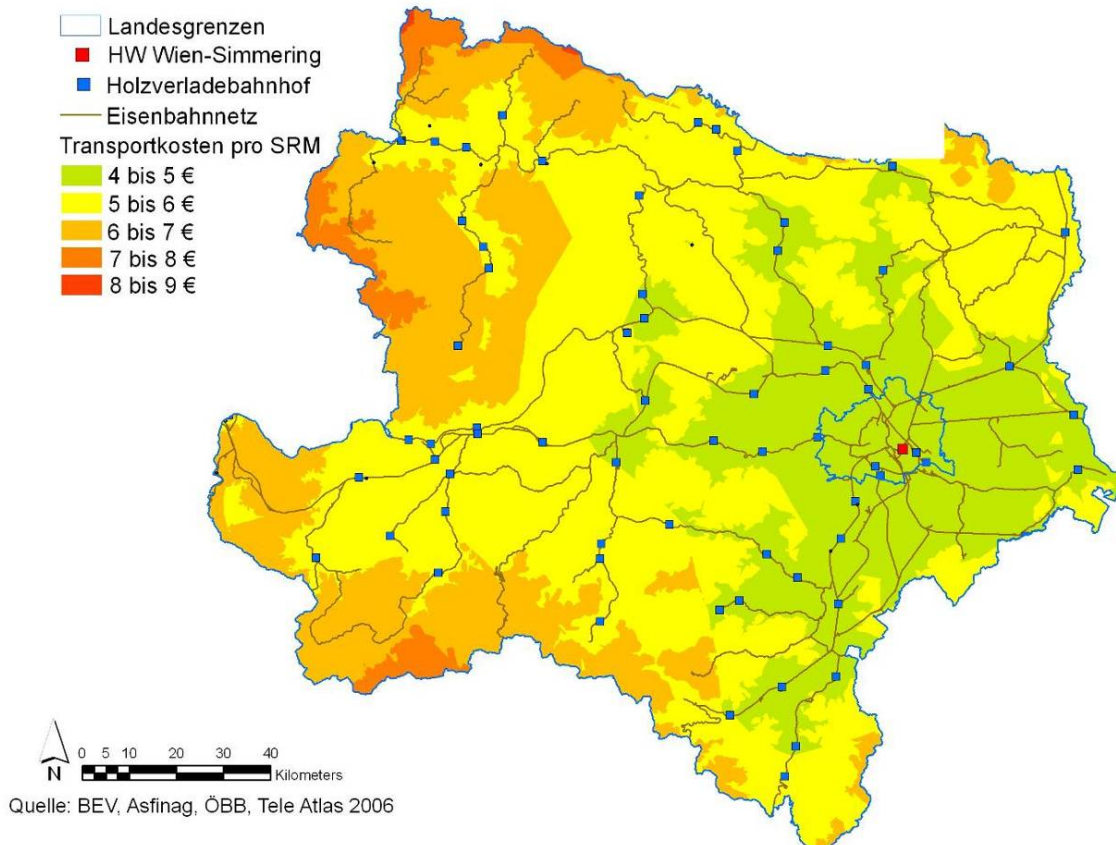


Abbildung 118: Kostenflächen für Vor-, Bahn- und Nachtransport von Nadel-Rundholz

4.2.3.3 Schüttgut-Transport per Eisenbahn sowie Vortransport mit MOBILER-Technologie

Bei dieser Variante werden die Kosten für den Vortransport, den Eisenbahntransport sowie die Kosten für das Beladen des Containers, des Umladens auf den Waggon und das Entladen der Containers berechnet. Die Transportkosten sind distanzabhängig, die Kosten für das Be-, Ent- und Umladen konstant (Tabelle 44).

Tabelle 44: Manipulationskosten für MOBILER-Transport mit Vor- und ohne Nachtransport

Prozess	Kosten pro SRM
Beladen Container	0,40 €
Umladen LKW - Waggon	0,20 €
Entladen Container	0,20 €
Summe	0,80 €

Ein Eisenbahnanschluss ist nur am Zielort notwendig. Das Umladen vom LKW auf die Eisenbahn erfolgt an Anschlussgleisen mit seitlicher Zufahrtsmöglichkeit. Der Transport vom Lagerplatz ohne Bahnanschluss zum Heizwerk mit Bahnanschluss ist bei dieser Variante möglich.

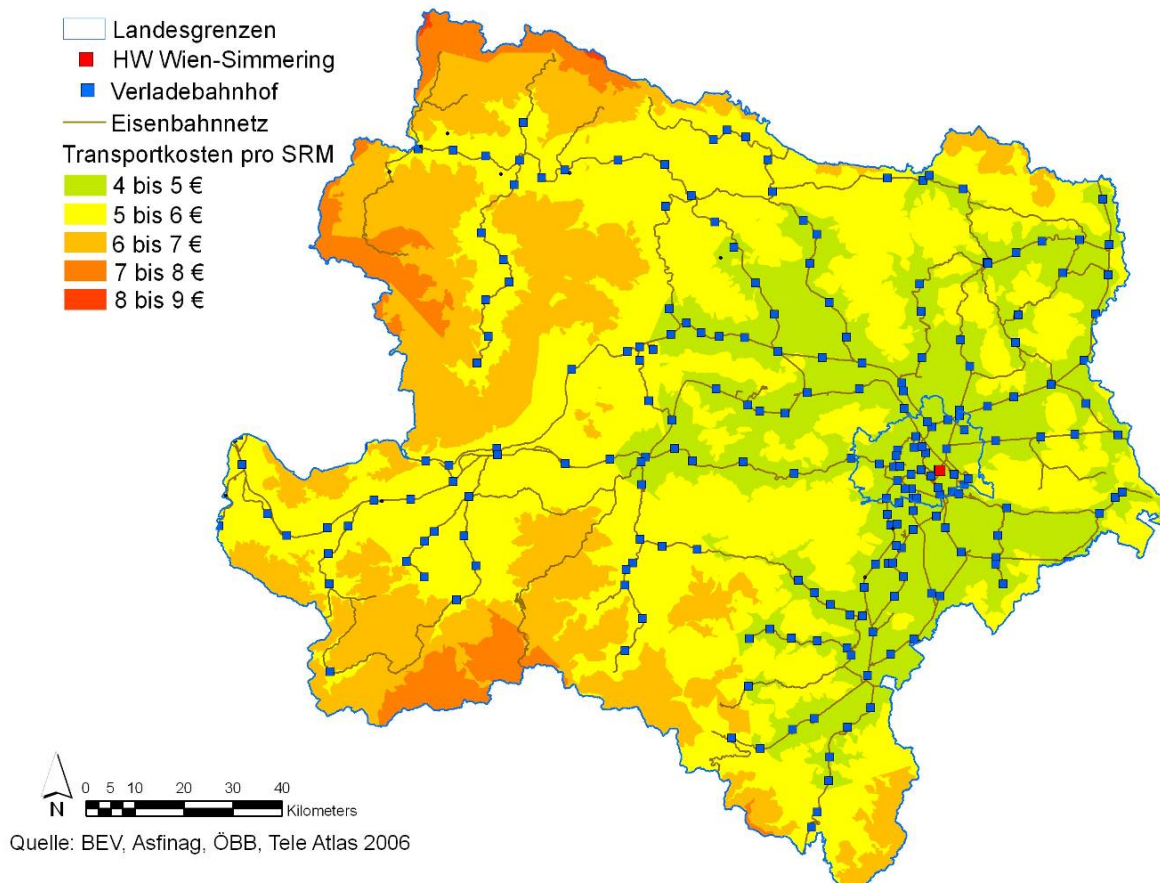


Abbildung 119: Kostenflächen für den Vor- und Bahntransport von Hackgut

Abbildung 119 zeigt die Kosten für den Vor- und Bahntransport von Schüttgut in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 4,50 bis 8,30 €/SRM.

4.2.3.4 Schüttgut-Transport per Eisenbahn sowie Vor- und Nachtransport mit MOBILER-Technologie

Bei dieser Variante werden die Kosten für den Vor-, Eisenbahn-, Nachtransport sowie die Kosten für das Beladen des Containers, des Umladens auf Waggon und LKW und das Entladen der Containers berechnet. Die Transportkosten sind distanzabhängig, die Kosten für das Be-, Ent- und Umladen konstant (Tabelle 45).

Tabelle 45: Manipulationskosten für MOBILER-Transport mit Vor- und und Nachtransport

Prozess	Kosten pro SRM
Beladen Container	0,40 €
Umladen LKW - Waggon	0,20 €
Umladen Waggon - LKW	0,20 €
Entladen Container	0,20 €
Summe	1,00 €

Bei dieser Variante ist kein Eisenbahnanschluss notwendig. Das Umladen erfolgt an Anschlussgleisen mit seitlicher Zufahrtsmöglichkeit. Der Transport vom Lagerplatz bis zum Heizwerk jeweils ohne Bahnanschluss ist bei dieser Variante möglich.

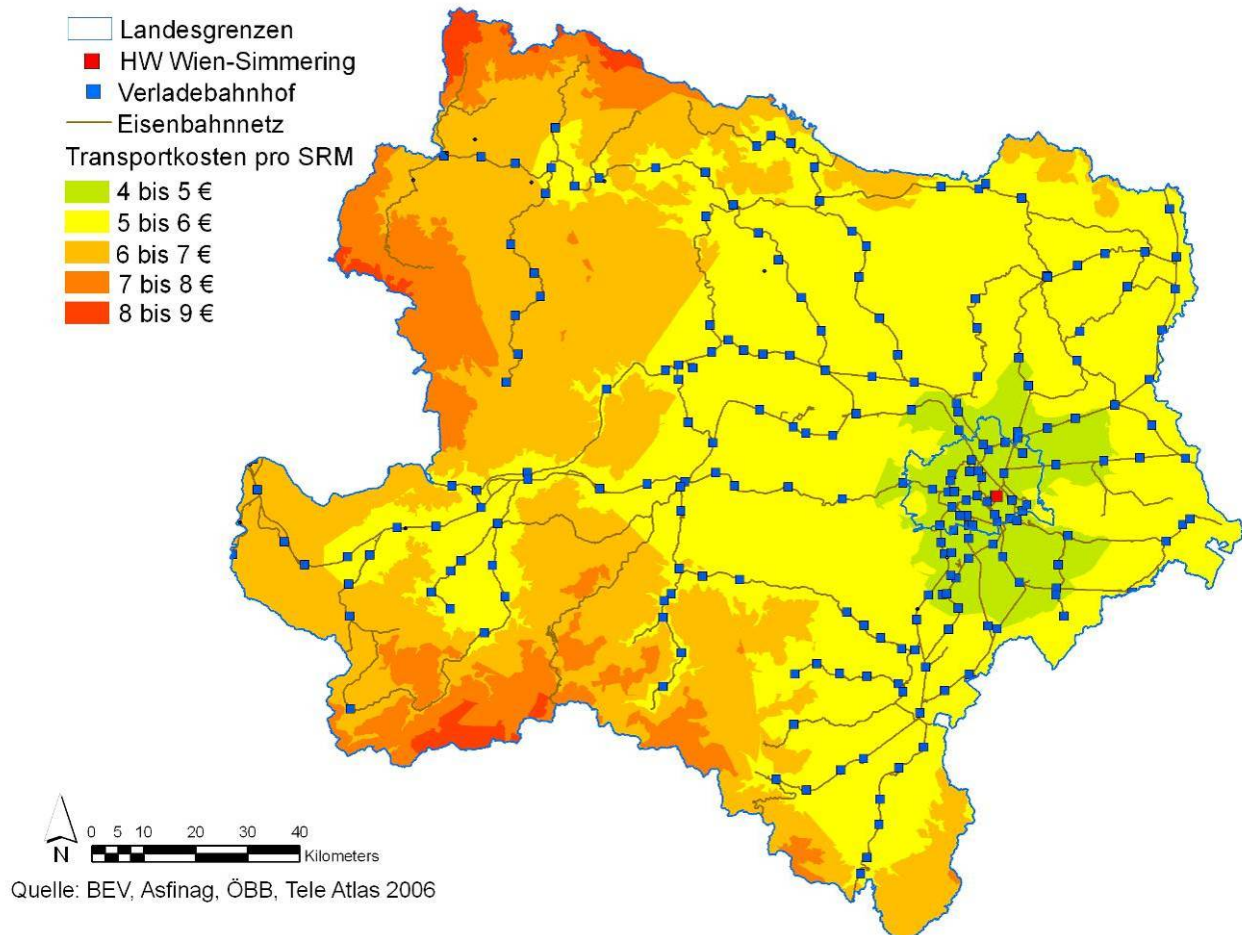


Abbildung 120: Kostenflächen für den Vor-, Bahn- und Nachtransport von Hackgut

Abbildung 120 zeigt die Kosten für den Bahn- und Nachtransport von Schüttgut in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 4,90 bis 8,70 €/SRM.

4.2.4 Vergleich von LKW- und Bahntransport

Tabelle 46 zeigt die anfallenden Kosten für den Transport von Energieholz von ausgewählten Destinationen nach Wien Simmering in €/SRM. Die grau hinterlegten Varianten stellen Transportsysteme dar, welche nur unter besonders günstigen technischen Umständen genutzt werden können. Die gelb hinterlegten Varianten stellen Systeme dar, welche normalerweise immer eingesetzt werden können, da keine besonderen Anforderungen an Quell- und Zielort vorausgesetzt werden.

Tabelle 46: Transportkosten für Energieholz von ausgewählten Städten nach Simmering in €/SRM

Anmerkung: V1 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss ohne Vor- und Nachlauf für Nadelholz; V2 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss ohne Vor- und Nachtransport für Laubholz; V3 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Vorlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Nadelholz; V4 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Vorlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Laubholz; V5 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Nachlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Nadelholz; V6 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Nachlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Laubholz; V7 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Vor- und Nachlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Nadelholz; V8 = Eisenbahntransport von Rundholz mit Rnooss und Vor- und Nachlauf mit Rungen-LKW und Anhänger für Laubholz; V9 = Eisenbahntransport von Hackgut mit Eanos ohne Vor- und Nachlauf; V10 = Eisenbahntransport von Hackgut mit MOBILER-Technologie und Vorlauf mit MOBILER-LKW; V11 = Eisenbahntransport von Hackgut mit MOBILER-Technologie und Nachlauf mit MOBILER-LKW; V12 = Eisenbahntransport von Hackgut mit MOBILER-Technologie und Vor- und Nachlauf mit MOBILER-LKW; V13 = Transport von Hackgut mit Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM; V14 = Transport von Hackgut mit Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 235 kg/SRM; V15 = Transport von Rundholz Rungen-LKW und Anhänger bei einer Dichte von 590 kg/FM

Stadt	V 1	V 2	V 3	V 4	V 5	V 6	V 7	V 8	V 9	V 10	V 11	V 12	V 13	V 14	V 15
Amstetten	3,12	3,45	4,45	4,78	4,26	4,59	5,59	5,92	7,29	5,47	5,42	5,87	6,24	4,24	6,24
Baden	2,02	2,18	3,35	3,51	3,16	3,32	4,49	4,65	4,61	4,62	4,57	5,02	2,24	1,74	3,24
Bruck an der Leitha	2,13	2,31	3,46	3,64	3,27	3,45	4,60	4,78	4,88	4,71	4,66	5,11	2,24	1,74	3,24
Gänserndorf	2,02	2,18	3,35	3,51	3,16	3,32	4,49	4,65	4,61	4,62	4,57	5,02	2,24	1,74	3,24
Gmünd	3,53	3,91	4,86	5,24	4,67	5,05	6,00	6,38	8,36	5,80	5,75	6,20	5,74	4,24	5,74
Hollabrunn	2,37	2,58	3,70	3,91	3,51	3,72	4,84	5,05	5,42	4,87	4,82	5,27	3,24	2,24	3,74
Horn	2,81	3,09	4,14	4,42	3,95	4,23	5,28	5,56	6,49	5,21	5,16	5,61	4,24	3,24	4,24
Korneuburg	1,89	2,04	3,22	3,37	3,03	3,18	4,36	4,51	4,35	4,54	4,49	4,94	1,74	1,74	2,74
Krems	2,59	2,84	3,92	4,17	3,73	3,98	5,06	5,31	5,95	5,04	4,99	5,44	4,24	3,24	4,74
Lilienfeld	2,70	2,96	4,03	4,29	3,84	4,10	5,17	5,43	6,22	5,13	5,08	5,53	4,24	3,24	4,74
Melk	2,81	3,09	4,14	4,42	3,95	4,23	5,28	5,56	6,49	5,21	5,16	5,61	4,74	3,24	4,74
Mistelbach	2,25	2,45	4,08	4,28	3,39	3,59	5,22	5,42	5,15	4,79	4,74	5,19	2,74	2,24	3,74
Mödling	1,89	2,04	3,22	3,37	3,03	3,18	4,36	4,51	4,35	4,54	4,49	4,94	1,74	1,74	2,74
Neunkirchen	2,37	2,58	3,70	3,91	3,51	3,72	4,84	5,05	5,42	4,87	4,82	5,27	3,74	2,74	4,24
Sankt Pölten	2,49	2,73	3,82	4,06	3,63	3,87	4,96	5,20	5,68	4,96	4,91	5,36	3,74	2,74	4,24
Scheibbs	3,12	3,45	4,45	4,78	4,26	4,59	5,59	5,92	7,29	5,47	5,42	5,87	6,24	4,24	5,74
Tulln	2,13	2,31	3,46	3,64	3,27	3,45	4,60	4,78	4,88	4,71	4,66	5,11	2,74	2,24	3,24
Waidhofen an der Thaya	3,22	3,56	4,55	4,89	4,36	4,70	5,69	6,03	7,56	5,55	5,50	5,95	5,24	3,74	5,24
Waidhofen an der Ybbs	3,33	3,68	4,66	5,01	4,47	4,82	5,80	6,15	7,82	5,63	5,58	6,03	7,24	5,24	6,74
Wiener Neustadt	2,25	2,45	3,58	3,78	3,39	3,59	4,72	4,92	5,15	4,79	4,74	5,19	2,74	2,24	3,74
Zwettl	3,53	3,91	4,86	5,24	4,67	5,05	6,00	6,38	8,36	5,80	5,75	6,20	5,74	4,24	5,74

4.2.4.1 Rundholztransport

Im Folgenden wird der Transport von Rundholz mit LKW und intermodalen Transport unter folgenden Rahmenbedingungen verglichen:

- Transport von Nadel-Rohholz
- Vor- und Nachtransport bei Eisenbahn mit Rundholz-Rungen-LKW
- Berücksichtigung der Preisangaben von Rail Cargo Austria (vgl. Tabelle 8)
- Kalkulation des LKW-Transportes mit Hin- und Rückfahrt
- Beladung des LKW am Waldort
- Umschlagsmöglichkeiten nur an Holzverladebahnhöfen
- Entladen des LKW am Heizwerk oder Lagerplatz
- Kosten für Be- und Entladen LKW-Transport: 1,74 €/SRM (vgl. Tabelle 19)
- Kosten für Be-, Ent- und Umladen Eisenbahn-Transport: 2,78 €/SRM (vgl. Tabelle 43)
- Transportmenge Rundholz-Rungen-LKW: 85 SRM
- Transportmenge je Eisenbahn-Waggon: 200 SRM

Die Kostenvorteile bzw. -nachteile für den LKW-Transport werden durch Substraktion von LKW-direkt und intermodalen Transport (Kapitel 4.2.3.2) berechnet. Die Kosten für den direkten LKW-Transport von Rundholz wurden mit der Netzwerkanalyse bei Systemkosten von 77,64 €/h und Manipulationskosten von 1,74 €/SRM ermittelt. Daraus ergeben sich für Transport und Manipulation Kosten in der Höhe von 2,20 bis 9,20 €/SRM (Abbildung 121).

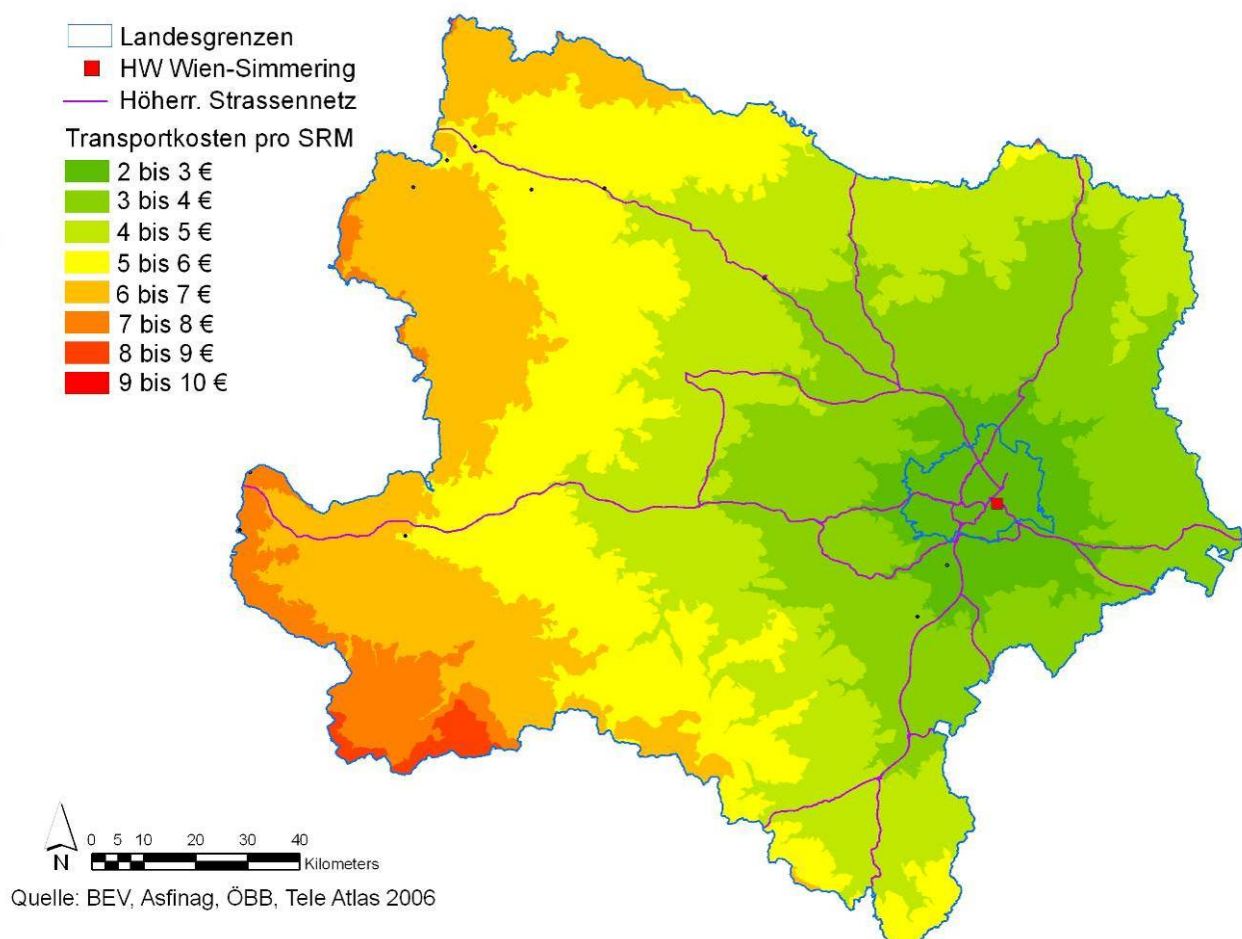


Abbildung 121: Kostenflächen für den Transport von Rundholz mit einem Rungen-LKW

Abbildung 122 zeigt räumlich den Kostenvergleich zwischen Eisenbahn- und LKW-Transport von Nadel-Rundholz zum Heizwerk Wien-Simmering. Dabei sind deutliche Kostenvorteile des LKW-Transportes von bis zu 2,70 €/SRM bei sehr kurzen Transportwegen ersichtlich. Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes ist der LKW-Transport immer günstiger als der intermodale Transport mit LKW und Eisenbahn.

Kostenvorteile für den Bahntransport ergeben sich nur bei weiteren Entfernungen, und geringen Vorlaufzeiten zu Holzverladebahnhöfen. Ein Kostenvorteil von mehr als 0,50 €/SRM ergibt sich in weiten Teilen der Bezirke Amstetten, Scheibbs sowie Waidhofen an der Ybbs. Im Waldviertel kann dieser Vorteil trotz großer Entfernungen weniger stark ausgenutzt werden, da beim Straßentransport ein direkterer Streckenverlauf gewählt werden kann.

Insgesamt weisen 61 % des Untersuchungsraumes Kostenunterschiede kleiner als 1,00 €/SRM auf. 2 % des Einzugsgebietes zeigen deutliche Vorteile größer als 1,00 €/SRM für den Bahntransport und 37 % deutliche Vorteile für den LKW-Transport.

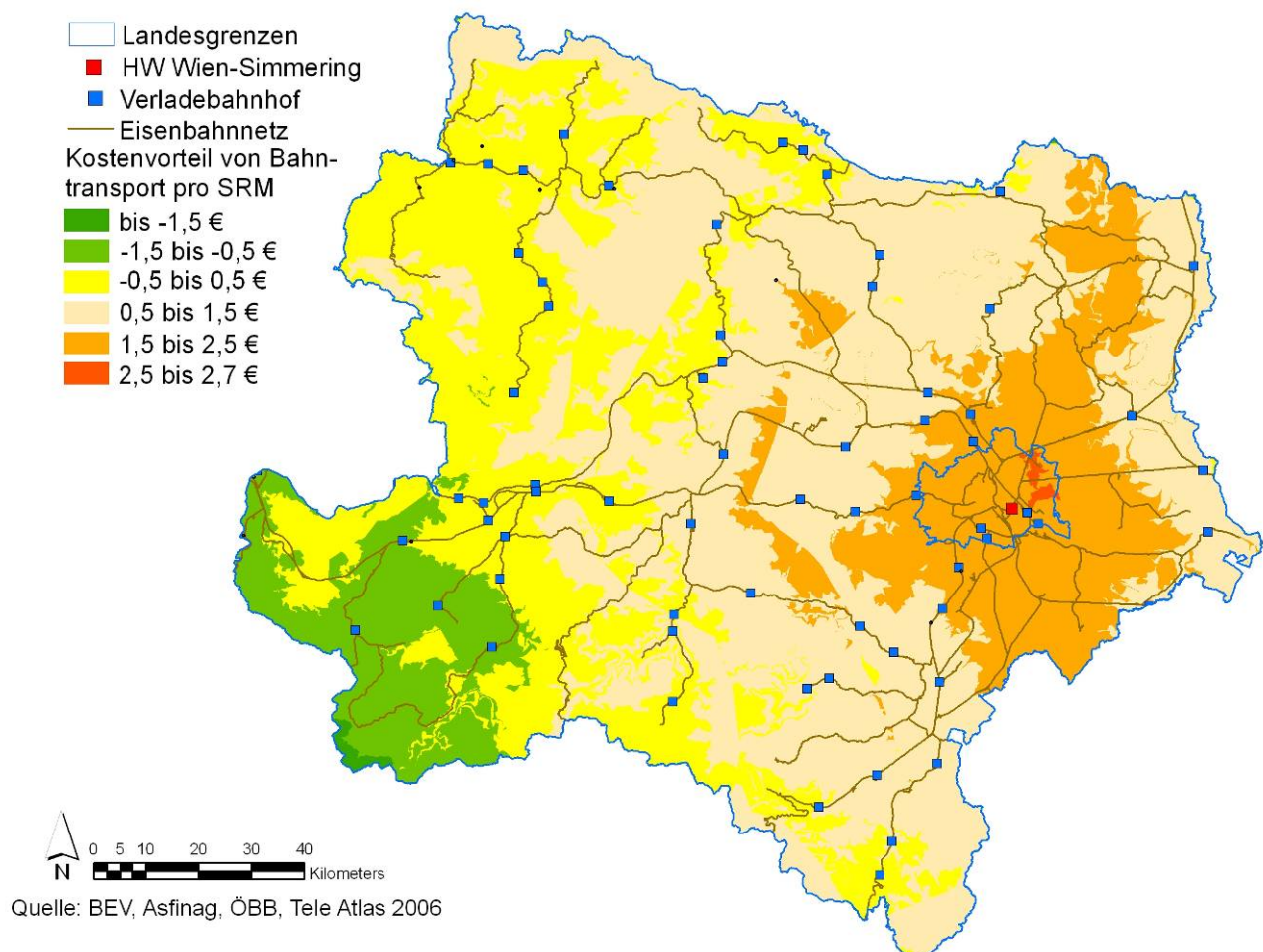


Abbildung 122: Kostenvergleich des intermodalen Transportes mit LKW-Transport von Nadel-Rundholz

4.2.4.2 Schüttguttransport

Im Folgenden wird der Transport von Schüttgut per LKW und intermodalem Transport unter folgenden Rahmenbedingungen verglichen:

- Transport von Waldhackgut mit einer Schüttdichte von 235 kg/SRM
- Vor- und Nachtransport der Eisenbahn mit MOBILER-LKW
- Kalkulation des LKW-Transportes mit Hin- und Rückfahrt (Rundlauf)
- Kalkulation des Eisenbahn-Transportes mit Hin- und Rückfahrt (Rundlauf)
- Transport vom Lagerplatz zum Heizwerk
- Umschlag an Verladebahnhöfen
- Kosten für Be- und Entladen LKW-Transport: 0,74 €/SRM (für Ladetätigkeit von 45 Minuten und Systemkosten von 67 €/h)
- Kosten für Be-, Ent- und Umladen Eisenbahn-Transport: 1,00 €/SRM (vgl. Tabelle 20)
- Maximales Fassungsvermögen Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau (85 SRM), MOBILER-Container (50 SRM), Eisenbahn-Waggon (200 SRM)

Für die Berechnung der Kostenvorteile werden die Kosten für den LKW-Transport von den Kosten des intermodalen Transportes (Kapitel 4.2.3.4) subtrahiert. Die Kosten für den LKW-Transport wurden ebenfalls mit der Netzwerkanalyse eines GIS bei Systemkosten von 67 €/h und Manipulationskosten von 0,60 €/SRM ermittelt.

Abbildung 123 zeigt die Kosten für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 1,20 bis 6,70 €/SRM.

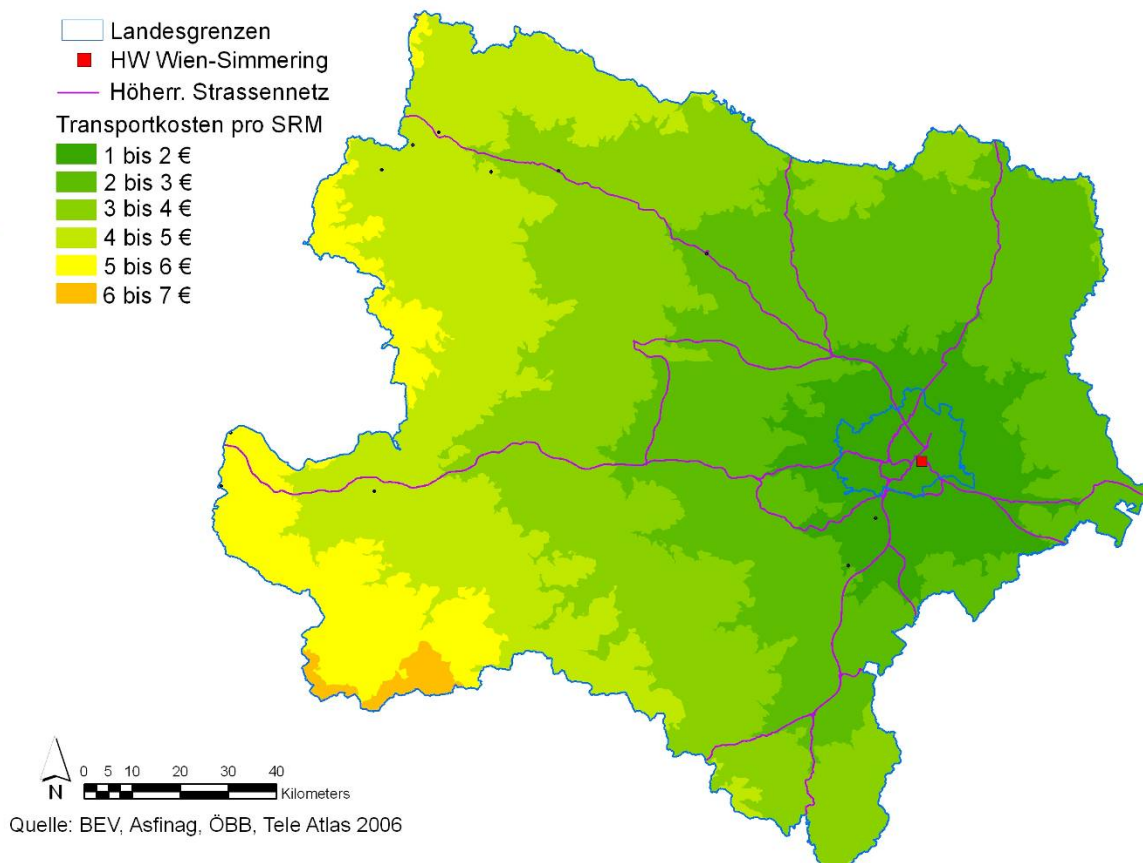


Abbildung 123: Kostenflächen für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 235 kg/SRM

Abbildung 124 zeigt den räumlichen Kostenvergleich zwischen MOBILER- und LKW-Transport von Waldhackgut zum Heizwerk Wien-Simmering. Im gesamten Untersuchungsraum hat der LKW-Transport klare Kostenvorteile gegenüber dem MOBILER-Transport. Besonders im Großraum Wien bei geringen Transportdistanzen erreicht der LKW einen Kostenvorteil von bis zu 4,00 € pro transportiertem SRM.

Aufgrund der hohen Systemkosten kann der Eisanbahntransport nur bei größeren Entfernungen, direktem Streckenverlauf, sowie geringen Distanzen zum Eisanbahnnetz sich den Kosten des LKW-Transportes annähern. Im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes ergeben sich Kostennachteile von ca. 1,00 €/SRM für den Bahntransport.

Insgesamt weisen knapp 2 % des Untersuchungsraumes geringe Kostenunterschiede von weniger als 1,00 €/SRM auf. 98 % zeigen deutliche Vorteile für den LKW-Transport.

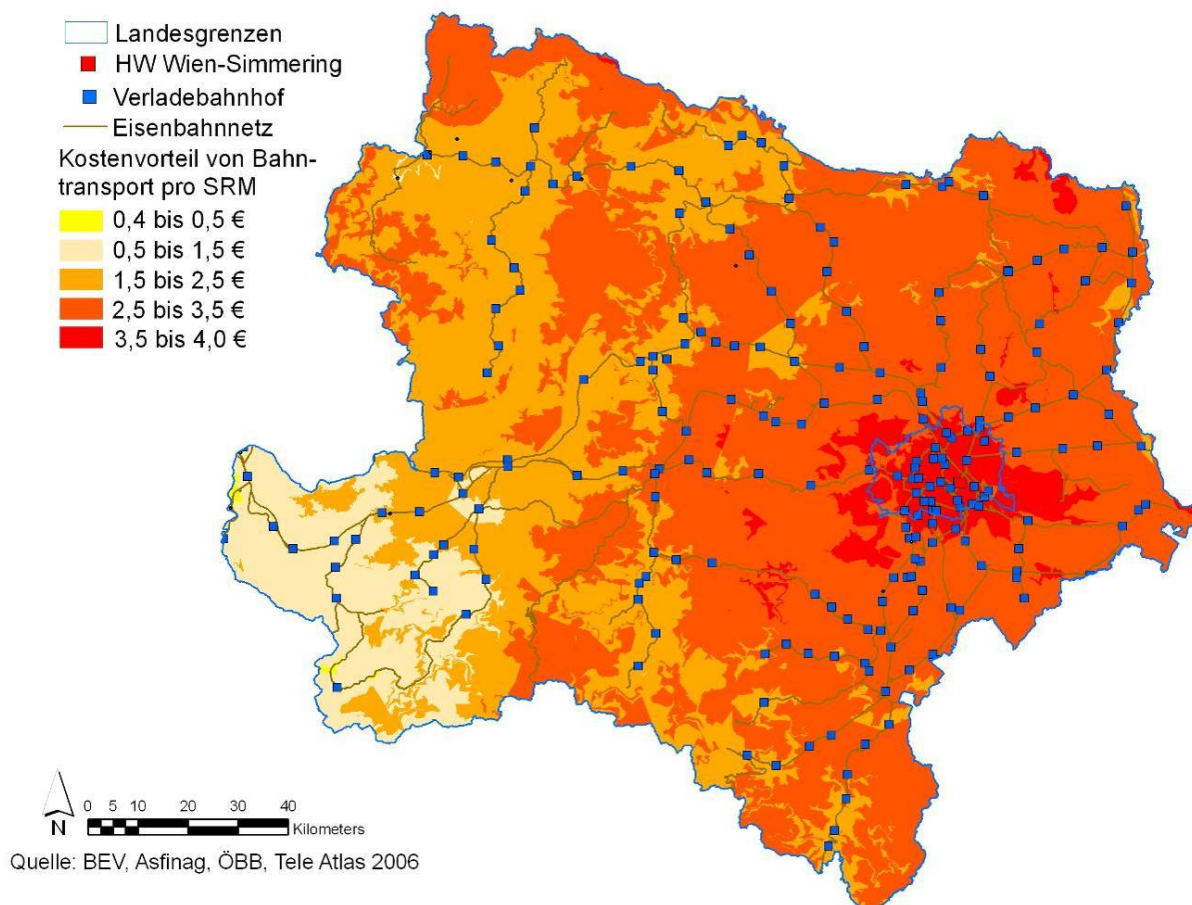


Abbildung 124: Kostenvergleich des Eisenbahn- und LKW-Transport von Waldhackgut bei einer Schüttdichte von 235 kg/SRM

Ein Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau hat ein Fassungsvermögen von 85 SRM und eine maximale Nutzlast von 20 to. Nur bis zu einer Schüttdichte von 235 kg/SRM können 100 % der Kubatur ausgelastet werden. Darüber nimmt die transportierbare Menge ab. Bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM, wie sie bei waldfischem Holz auftreten kann, erreicht die mögliche Transportkubatur einen Wert von 57 SRM.

Abbildung 125 zeigt die Kosten für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau in €/SRM nach Wien-Simmering. Für Transport und Manipulation ergeben sich Kosten in der Höhe von 1,20 bis 8,70 €/SRM.

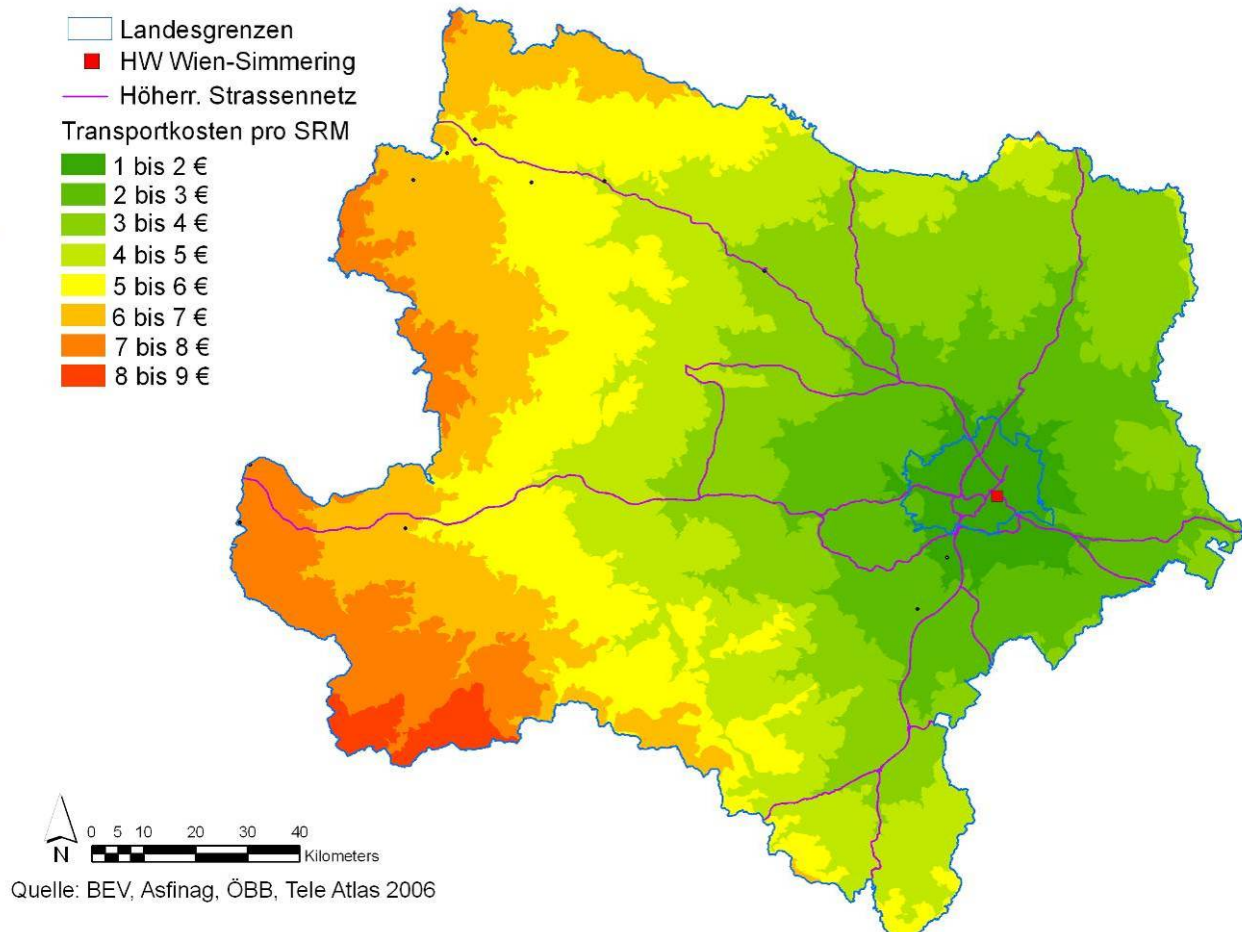


Abbildung 125: Kostenflächen für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM

Ein MOBILER-LKW hat ein Fassungsvermögen von 50 SRM und ein Ladungsgewicht von maximal 25 to. Bei diesem System könnte Schüttgut bis zu einer Dichte von 500 kg/SRM bei 100 % Auslastung transportiert werden. Bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM, wie sie bei waldfrischem Holz auftreten kann, erreicht die mögliche Transportkubatur somit weiterhin einen Wert von 50 SRM.

Unter diesen Voraussetzungen ergibt sich eine andere Kostensituation. Abbildung 126 zeigt räumlich den Kostenvergleich zwischen MOBILER- und LKW-Transport von Waldhackgut mit einer Schüttdichte von 350 kg/SRM zum Heizwerk Wien-Simmering.

Die Kostenvorteile des LKW-Transportes sind vor allem im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes noch deutlich vorhanden. Im Großraum Wien bis zu einem Umkreis von circa 40 km betragen die Vorteile noch mehr als 2,00 €. Ab einem Umkreis von circa 100 km gibt es annähernd gleiche Kosten zwischen den beiden Systemen. Im südwestlichen Teil des Untersuchungsraumes gibt es Kostenvorteile für den intermodalen MOBILER-Transport. In den Bezirken Amstetten, Scheibbs und Waidhofen an der Ybbs betragen diese bis zu 2,00 €.

Insgesamt weisen ca. 30 % des Untersuchungsraumes geringe Kostenunterschiede von weniger als 1,00 €/SRM auf. 66 % zeigen deutliche Vorteile für den LKW-Transport und 4 % deutliche Vorteile für den Bahntransport. Beim LKW-Transport bewirkt eine Reduktion der Schüttdichte, z. B. durch Trocknung, eine Kostenreduktion.

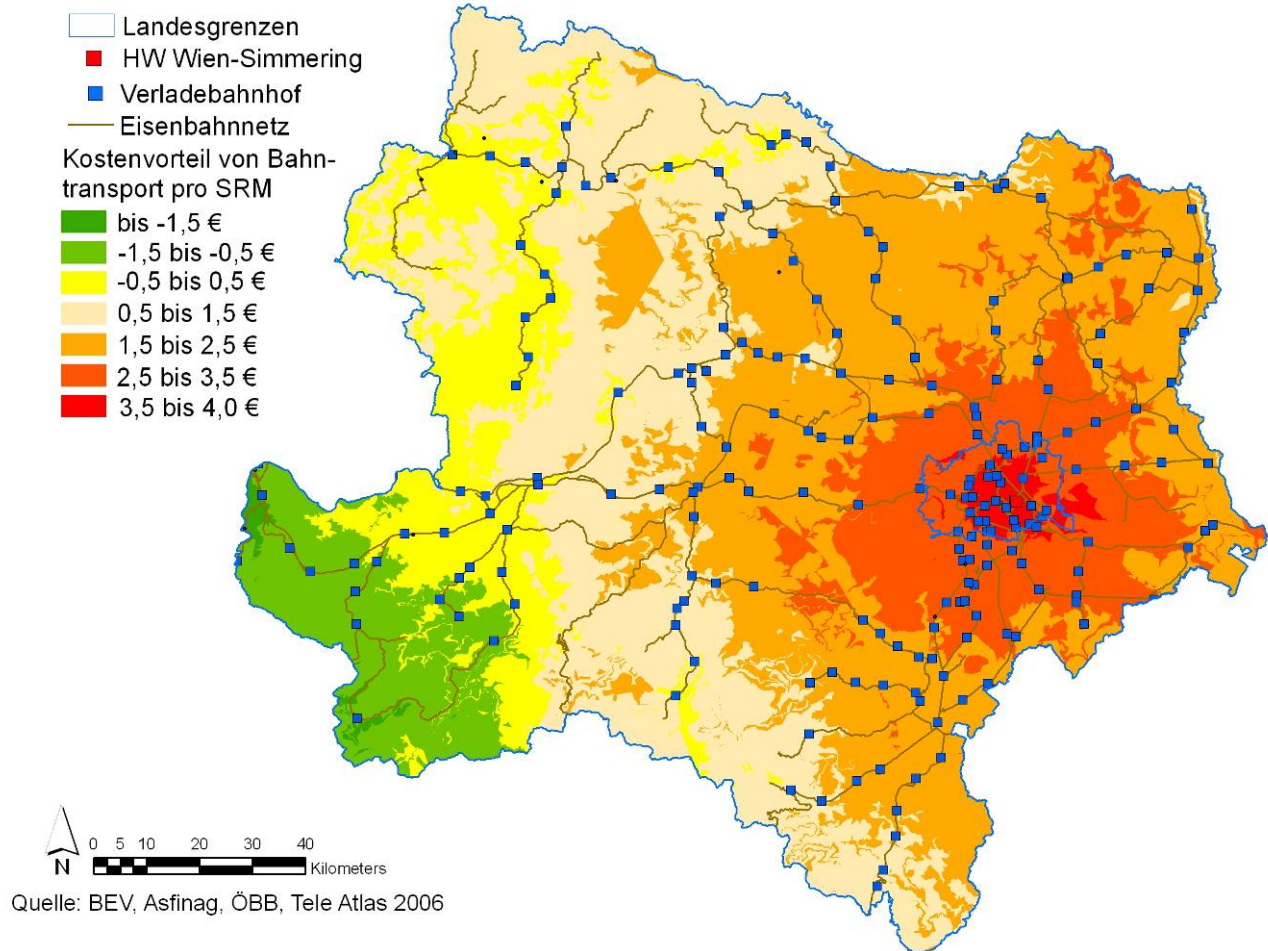


Abbildung 126: Kostenvergleich des intermodalen Eisenbahn- und LKW-Transport von Waldhackgut bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM

4.3 Zwischenlagerung von Energieholz

4.3.1 Standortsbewertung

Im Untersuchungsgebiet sind 7.060 km² nicht für die Lagerung von Energieholz geeignet, da sie sich in Nadel-, Mischwäldern oder in deren Bufferbereich befinden. Dies entspricht einem Flächenanteil von 36 % (Tabelle 47).

Tabelle 47: Wald- und Pufferflächen als Ausschlusskriterium

Kategorie	Fläche [km ²]	Anteil am Untersuchungsgebiet
Nadelwald	2.874	14,7 %
Laubwald	2.555	13,0 %
Puffer	1.631	8,3 %
Gesamt	7.060	36,0 %

Größere Siedlungsflächen und ein Pufferbereich mit einer Breite von circa 150 Metern sind ebenfalls von einer Nutzung als Lagerplatz ausgeschlossen. In Wien und Niederösterreich sind davon 3.112 km² betroffen, was einem Flächenanteil von 15,9 % entspricht (Tabelle 48).

Tabelle 48: Siedlungs- und Pufferflächen als Ausschlusskriterium

Kategorie	Fläche [km ²]	Anteil am Untersuchungsgebiet
Siedlung	1.367	7,0 %
Puffer	1.745	8,9 %
Gesamt	3.112	15,9 %

Weitere, nicht zur Nutzung geeignete Flächen sind ökologisch sensible Standorte, Wasserflächen, Schutzgebiete sowie militärische Sperrgebiete (vgl. Tabelle 49).

Tabelle 49: Ökologische Flächen, Wasser, Schutzgebiete und militärische Sperrgebiete als Ausschlusskriterium

Kategorie	Fläche [km ²]	Anteil am Untersuchungsgebiet
Ökologisch sensible Standorte	313	1,6 %
Wasserflächen	148	0,8 %
Schutzgebiete	1.157	5,9 %
Militärische Sperrgebiete	156	0,8 %

Durch die Ausweisung und Überlagerung von Ausschlusskriterien konnte somit eine potenziell nutzbare Fläche von 9.667 km² ausgewiesen werden, was 49,34 % des gesamten Untersuchungsgebietes entspricht. Auffallend wenig Flächen gibt es im Bereich der Alpen sowie im Waldviertel. Grundsätzlich ist zu beobachten, dass in walddreichen Gebieten die Möglichkeiten zur Errichtung eines Lagerplatzes wesentlich eingeschränkt sind (Abbildung 127).

Diese potenziell nutzbaren Flächen wurden einer weiteren Analyse durch die sechs bedingten Eignungskriterien Siedlung, Strassen, Bahnhöfe, Wald, Neigung, Winterdecke unterzogen. Für die Analyse der Versorgungsszenarien wurden schließlich jene Flächen empfohlen, welche eine Eignung größer als 0,8 und eine zusammenhängende Fläche größer als 0,5 ha aufweisen. Als Ergebnis konnten 8.610 km² für die Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes für Energieholz empfohlen werden. Dies entspricht knapp 44 % des Untersuchungsraumes.

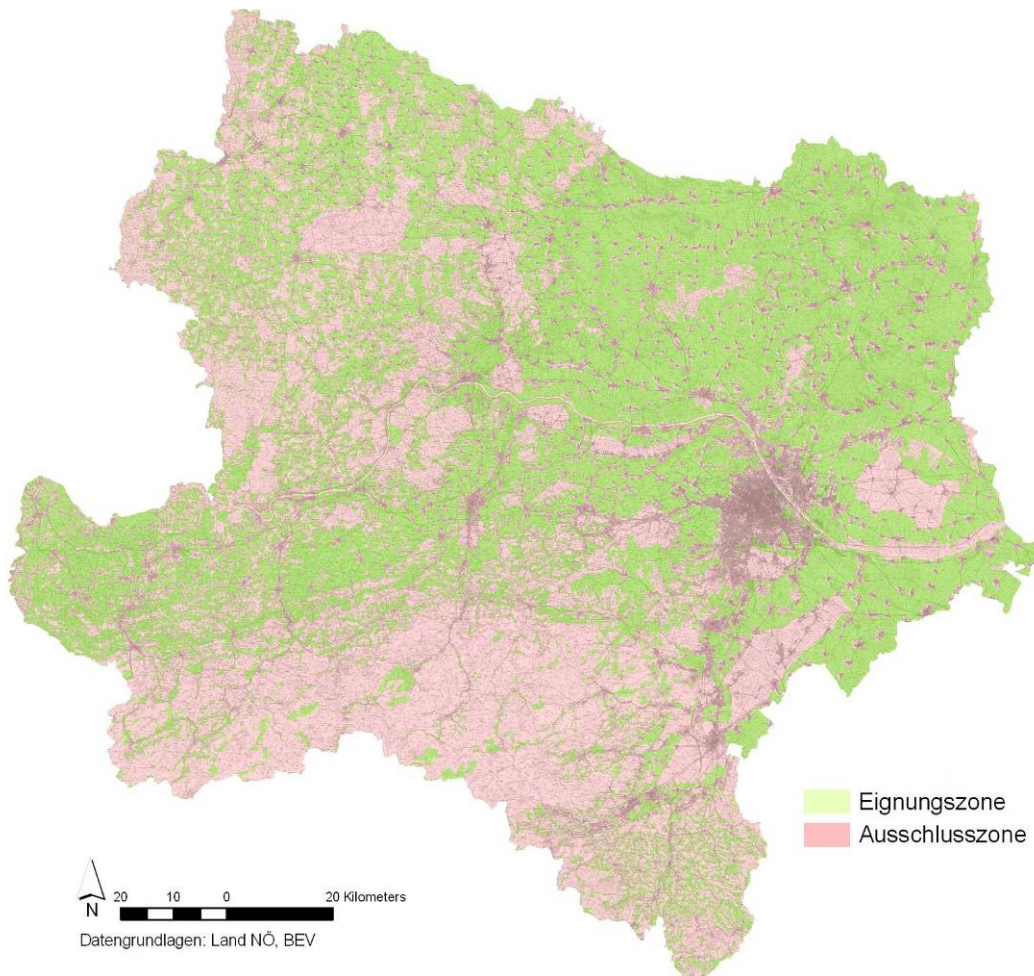


Abbildung 127: Geeignete Flächen zur Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes für Energieholz

4.3.2 Ausstattung

Der Lagerplatz hat seine Funktionen (Übernahme, Lagerung, Verarbeitung, Übergabe) mit der bestmöglichen Ausstattung zu erfüllen. Je nach Größe und Durchflussmenge an Energieholz ist der Lagerplatz zu gestalten.

Bei der Übernahme des Energieholzes am Lagerplatz erfolgt in der Regel eine Qualitätskontrolle in Form von Feuchte- und Gewichtsbestimmung. Nach einer entsprechenden Trocknung am Lagerplatz wird das Holz gehackt und anschließend zum Heizwerk transportiert oder als Sicherheitsbestand weiterhin am Lagerplatz belassen. Je nach infrastruktureller Ausstattung und Arbeitsablauf kann ein innerbetrieblicher Transport des Energieholzes notwendig sein. Die komplette Prozesskette am Zwischenlagerplatz beginnt bei der Annahme des Energieholzes und endet bei der Übergabe des Hackgutes am Heizwerk (Abbildung 128).

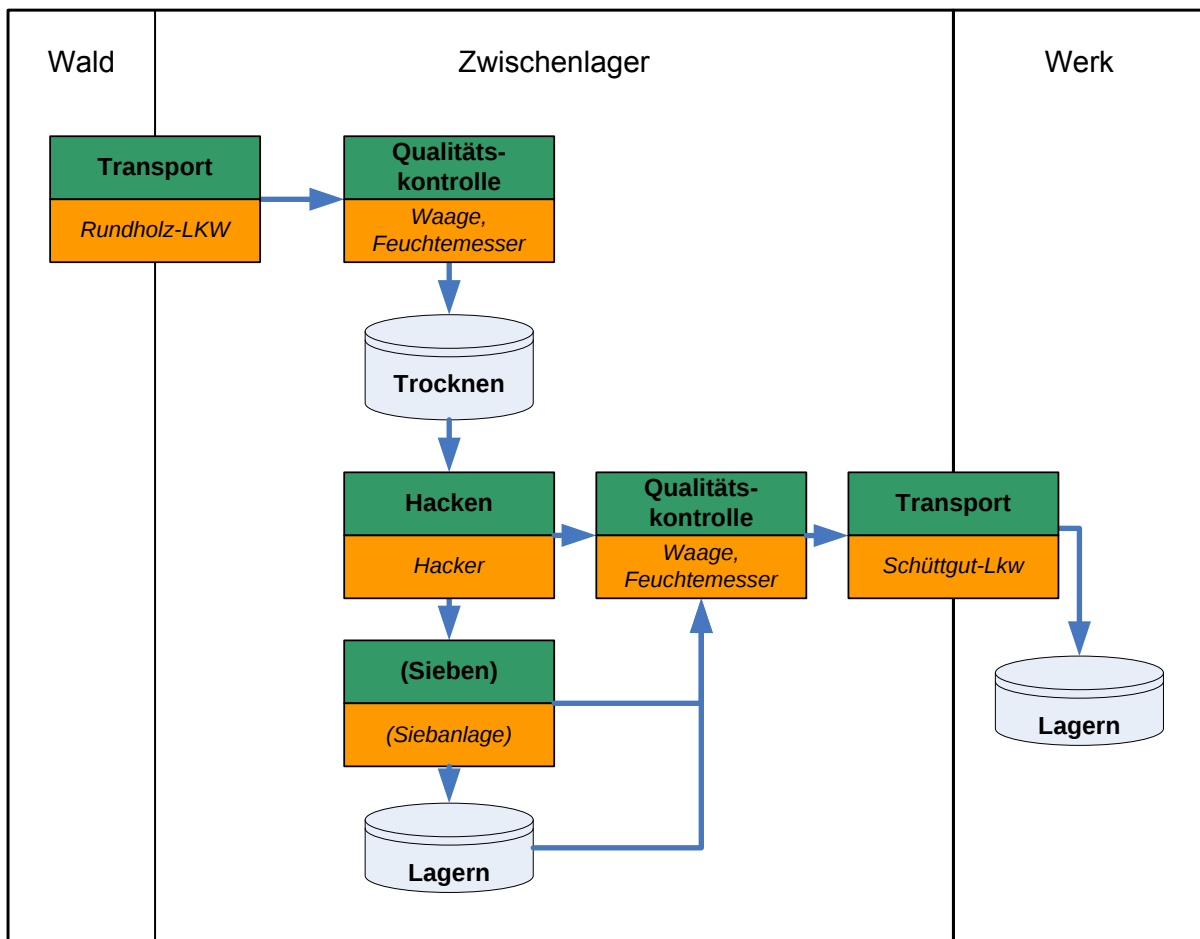


Abbildung 128: Ablaufdiagramm Zwischenlager

4.3.2.1 Übernahme

Der Transport des Energieholzes vom Wald zum Lagerplatz erfolgt als Rundholz oder Schlagabraum. Vor allem bei ausreichenden Kapazitäten bei den Heizwerken kann das Holz auch als Hackgut zwischengelagert werden. Die Anlieferung erfolgt dementsprechend mit Rundholz- bzw. Schüttgut-LKW.

Bei der Übernahme des Holzes wird die angelieferte Menge zur weiteren Verrechnung zwischen Lieferant und Abnehmer erfasst. Auf kleineren Plätzen erfolgt die Erfassung oft nach Volumen (Festmeter, Raummeter, Schüttraummeter). Bei der Übernahme größerer Mengen erfolgen die Bestimmung des Brennwertes des Holzes und die Abrechnung über Gewicht und Wassergehalt.

Die Abrechnung nach erzeugter Wärmemenge über einen Wärmemengenzähler im Heizkessel wird in Österreich noch selten durchgeführt. Die Übernahme von Energieholz wurde bereits ausführlich von Golser et al. (2004) beschrieben.

Gewichtsbestimmung

Die Gewichtsbestimmung des Holzes erfolgt meist über Fahrzeugwaagen. Bei Hackgut erfolgt teilweise eine Probeziehung einer bestimmten Menge und danach eine Hochrechnung auf die Gesamtmenge. Bei der Einrichtung einer Waage direkt am Platz erfolgt die Wägung bei der Einfahrt. Sollte keine Waage vorhanden sein besteht die Möglichkeit zur Anfahrt einer externen Waage, was zu einem erhöhten Zeitaufwand führt, bzw. der Einsatz von Achslastwaagen, welche erhöhten Manipulationsaufwand bewirken und meist ungenauere Werte liefern. Für das Wiegen von beladenen LKWs können meist nur Brückenwaagen eingesetzt werden.

- Mobile Rad-Lastwaagen

Rad-Lastwaagen können leicht transportiert werden (Gewicht 30 - 45 kg) und sind auch für den Einsatz im Gelände geeignet. Die Auflageflächen müssen eben und auf einer Höhe sein. Der Untergrund muss konzentrischen Lasten ohne Absenkung standhalten. Die Waagen sind nur bedingt eichfähig. Der maximale Wiegebereich je Plattform beträgt 15 Tonnen (Heister, 2006).

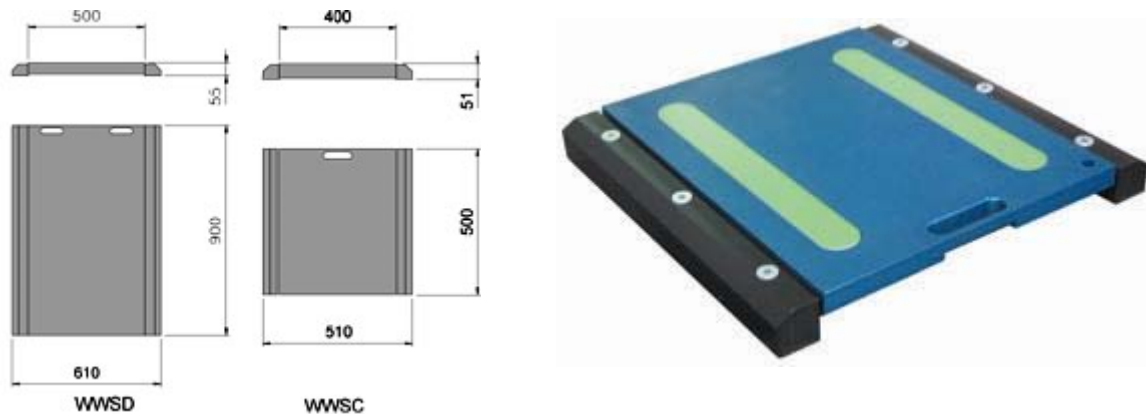


Abbildung 129: Rad-Lastwaage

- Dynamische Achslastwaage

Bei der dynamischen Achslastwaage handelt es sich um ein Gewichtserfassungssystem für Fahrzeuge, das in die Fahrbahn eingebaut wird. Im Gegensatz zur klassischen Brückenwaage, die das Gewicht eines ganzen Fahrzeuges in einem Schritt erfasst und darum zumindest die Länge des Fahrzeugachsabstandes aufweisen muss, ist die Achslastwaage nur 90 cm lang. Das Gesamtgewicht wird durch automatisches Aufsummieren der Achslasten ermittelt. Die Achswaage ist in der Lage selber zu prüfen und anzuzeigen ob das Fahrzeug die Waage mit der richtigen Geschwindigkeit (maximal 6 km/h) und ruckfrei überfahren hat. Der Wiegebereich pro Achse beträgt 20 Tonnen bei einer Genauigkeit von ± 50 kg (Gassner, 2006).

Die Achslastwaage kommt überall dort zum Einsatz, wo der Platz für den Einbau einer Brückenwaage nicht vorhanden ist, die Zeit für die Gewichtserfassung beschränkt ist, der Wiegevorgang automatisiert werden soll, die Kosten für eine Brückenwaage kommerziell nicht vertretbar sind und eichfähige Gewichtswerte von Einzelachsen, Achsgruppen und Gesamtgewicht benötigt werden (Gassner, 2006).



Abbildung 130: Dynamische Achslastwaage

- Überflur-Brückenwaage

Bei Überflur-Brückenwaagen muss kein teures Fundament erstellt werden, ein einfaches Streifenfundament für die Auflagepunkte genügt. Die Auffahrtskeile sind bauseits zu fertigen. Die Überflurbrücke gibt es als Fertigteilbrücke und kann auch vor Ort betoniert werden. Die Fertigteilbrücke hat seitliche Wände zur Stabilisierung. Die Ortsbetonbrücke ist eine durchgehende Betonplatte. Weiteres können die Streifenfundamente/Auffahrtskeile als Fertigteile mitgeliefert werden. Die Überflur-Brückenwaagen sind von 8 bis 20 m Länge bei 2,8 - 3 m Breite erhältlich (Gassner, 2006). Aufgrund ihrer Bauweise kann die Brückenwaage leicht verlagert werden. Die Auffahrt auf die Waage erfolgt mittels Rampen. Bei einer Tragkraft von 80 Tonnen beträgt der Wiegebereich bis zu 50 Tonnen. Der Wiegevorgang erfolgt mittels Wägebalken und -zellen mit Hilfe eines Pendellagers (Heister, 2006).



Abbildung 131: Mobile Fahrzeugwaage

- Unterflur-Brückenwaage

Der Vorteil von Unterflur-Brückenwaagen liegt darin, dass sie von allen Richtungen befahren werden können. Die Waage wird entweder als Fertigteilbrücke angeliefert und in das fertige Fundament eingehoben oder direkt Vorort im bestehenden Fundament betoniert. Es besteht auch die Möglichkeit das Fundament in Fertigteilen zu liefern, wonach es nur mehr eingehoben, eingerichtet und verschraubt werden muss. Üblicher Weise wird das Fundament jedoch von einer kundenseitigen Baufirma gefertigt. Die Unterflur-Brückenwaagen sind von 6 bis 20 m Länge und 3 m Breite erhältlich. Der Wiegebereich beträgt bis zu 60 Tonnen bei einer Genauigkeit von ± 20 kg (Gassner, 2006).



Abbildung 132: Unterflur-Brückenwaage

Bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren und einer Fixverzinsung von 4% betragen die jährlichen Kosten für eine Brückenwaage circa 1.000 bis 2.500 €. Unter Berücksichtigung der amtlichen Eichgebühr betragen die Gesamtkosten für eine Waage der mittleren Kategorie circa 2.500 € pro Jahr.

Wird keine Waage am Lagerplatz installiert, kann alternativ eine öffentliche Waage angefahren werden. Je nach Betreiber beträgt die Wiegegebühr durchschnittlich drei bis sieben Euro (Durchschnitt 5 €). Bei einem angenommenen zusätzlichen Zeitaufwand von circa 10 Minuten ergeben sich aufgrund der Fahr- und Wartezeit von LKW und Fahrer pro Wiegung zusätzliche Kosten von 10 €. Bei zweimaliger Wiegung (An- und Ablieferung) ergeben sich insgesamt Mehrkosten von circa 25 € pro LKW-Lieferung. Bei einer Transportkubatur von umgerechnet 80 SRM ergeben sich die in Tabelle 50 dargestellten Kosten.

Tabelle 50: Wiegekosten für Waldhackgut

SRM WHG pro Jahr	Betriebsfremde Waage		Waage am Lagerplatz	
	Kosten gesamt	Kosten €/SRM	Kosten gesamt	Kosten €/SRM
1.000	312,50 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 2,50
2.000	625,00 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 1,25
3.000	937,50 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,83
4.000	1.250,00 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,63
5.000	1.562,50 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,50
6.000	1.875,00 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,42
7.000	2.187,50 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,36
8.000	2.500,00 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,31
9.000	2.812,50 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,28
10.000	3.125,00 €	€ 0,31	2.500,00 €	€ 0,25

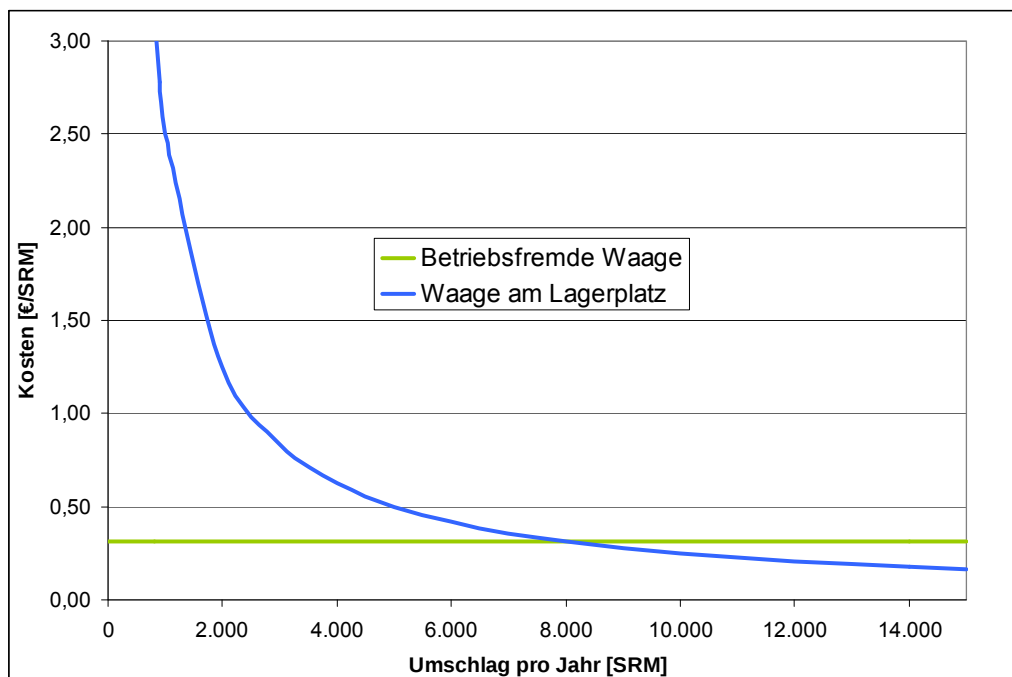


Abbildung 133: Kosten für die Gewichtsbestimmung von Waldhackgut

Tabelle 50 und Abbildung 133 dokumentieren den Kostenverlauf in €/SRM bei einer Steigerung des Jahresumschlages an Waldhackgut. Unter den getroffenen Annahmen ist bereits bei einem Umschlag von circa 8.000 SRM pro Jahr die Installation einer Waage am Lagerplatz günstiger als das Anfahren einer betriebsfremden Waage. Betriebsfremde Waagen sind zudem zeitlich oft nur beschränkt zugänglich.

Bestimmung des Wassergehaltes

Zur Ermittlung des Wassergehaltes können grundsätzlich zwei Verfahren angewendet werden. Beim direkten Verfahren erfolgt die Trennung des Wassers vom Probenmaterial. Beim indirekten Verfahren erfolgt die Bestimmung der Feuchte auf Grund der Eigenschaften und Wirkungen des Wassers (Golser et al., 2004).

- Häufige direkte Verfahren

Beim **Darrschrankverfahren** wird die Probe des Messgutes mit seiner Gesamtmasse bis zur Erreichung des Gleichgewichtszustandes gedarrt und danach mittels Wiegen der Trockenmasse der ursprüngliche Wassergehalt ermittelt. Das Verfahren liefert von den angeführten thermogravimetrischen Verfahren die Messwerte mit der besten Reproduzierbarkeit und ist als Normverfahren anerkannt.

Gefriertrocknung ist eine Methode zur besonders schonenden jedoch zeitintensiven Trocknung von Substanzen. Dabei wird das Material auf -20 °C gefroren und anschließend unter Vakuum gesetzt (0,12 bar). Durch Sublimation wird das Eis der Probe in den gasförmigen Zustand übergeführt und vom Probenmaterial abgesondert. Aufgrund der langen Trocknungsdauer scheint das Verfahren für einen Einsatz in der Energieholzübernahme nicht geeignet.

Das Prinzip der **Heißlufttrocknung** ist dasselbe wie beim Trockenschrank-Verfahren, mit dem Unterschied, dass der Luftdurchsatz um ein Vielfaches höher ist und das Probenmaterial auf Spangröße zerkleinert vorliegen muss. Das Trockengewicht der Probe kann in weniger als 15 Minuten ermittelt werden. Beim **Infrarot-Verfahren** und bei der **Mikrowellentrocknung** erfolgt die Behandlung des Probegutes mittels Infrarotstrahler bzw. durch Mikrowellenstrahlung. Nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz wird mittels Wägen der Wassergehalt bestimmt.



Abbildung 134:

Instrumente zur Bestimmung des Wassergehaltes des Energieholzes

- Häufige indirekte Verfahren

Beim **elektrischen Widerstandsverfahren** wird aus dem Zusammenhang zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Wassergehalt die Holzfeuchte berechnet. Das Verfahren ist im Wesentlichen eingeschränkt auf den Bereich zwischen ca. 7 % und 25 % Holzfeuchte. Unterhalb 7 % Holzfeuchte sind praktisch keine Messungen mehr möglich, oberhalb 25 % Holzfeuchte werden die Messungen zunehmend ungenauer.

Das **kapazitive Verfahren** beruht auf der unterschiedlichen Wirkung von Holz und Wasser auf ein elektrisches Wechselfeld. Holz hat eine Dielektrizitätszahl von 2 bis 3, Wasser eine solche von ca.

80. Daher ändern sich Dielektrizitätszahl und Verlustwinkel von Holz stark mit seinem Wassergehalt.

Mikrowellenverfahren basieren auf dem gleichen Prinzip wie die kapazitiven Verfahren (dielektrische Eigenschaften des Wassers), es werden lediglich höhere Frequenzen verwendet (ca. 2 - 10 GHz).

Das **Infrarot-Reflexions-Verfahren** beruht auf der Eigenschaft jeder Substanz elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlängenbereiche zu absorbieren, hingegen Strahlung der übrigen Wellenlängen zu reflektieren. Für die Messung werden mindestens zwei Wellenlängen eingesetzt. Eine Messwellenlänge, die von Wasser absorbiert und von Holz reflektiert wird und eine Bezugswellenlänge, die von beiden Stoffen reflektiert wird.

Bei einer Nutzungsdauer von 6 Jahren und einer Fixverzinsung von 4% betragen die jährlichen Kosten für ein Messgerät zwischen 400 bis 2.000 € pro Jahr. Bei einem Jahresumschlag von 50.000 SRM ergeben sich somit Kosten von maximal 0,04 €/SRM. Für diese Menge werden circa 1.250 Probenentnahmen durchgeführt, was einem Zeitaufwand von 62 Stunden entspricht. Bei Personalkosten in der Höhe von 25 €/h ergeben sich Gesamtkosten in der Höhe von 6.250 €. Für den Personalaufwand beträgt die Kostenbelastung 0,03 €/SRM. Für die Bestimmung des Wassergehaltes ergeben sich somit insgesamt Kosten in der Höhe von 0,07 €/SRM.

4.3.2.2 Lagerung

Die Lagerung des Energieholzes erfolgt meist als Rundholz in Poltern oder als Hackgut. Wie bereits in Kapitel 0 erwähnt, gibt es bestimmte Gründe bei der Wahl der entsprechenden Variante. Je nach Durchflussmenge und Umschlaghäufigkeit gibt es unterschiedliche Anforderungen an Größe, Anordnung und Ausstattung des Lagerplatzes.

Größe

Die Größe eines Lagerplatzes hängt von Umfang des zu lagernden Holzes, der Art der Lagerung, der infrastrukturellen Ausstattung sowie den potenziellen Erweiterungsmöglichkeiten ab.

Je nach Umschlagshäufigkeit des Energieholzes erhöht sich die potenzielle Menge des einzulagernden Materials. Waldfrisches Holz hat einen Wassergehalt von durchschnittlich 50 %. In der Regel sind bei der Verbrennung Wassergehalte von 30 bis 40 % erforderlich, um die emissionsrechtlichen Vorschriften einzuhalten (v. Webenau et al., 2000). Die Trocknungsdauer von Rundholz in Poltern hängt ab von:

- Witterungsverhältnissen
- Vorhandensein und Durchlässigkeit der Rinde
- Windzugänglichkeit
- Bodenfreiheit
- Zwischenlagen
- Abdeckung

Praxisversuche haben gezeigt, dass die Dauer der Trocknung ein bis zwölf Monate dauert, um den Wassergehalt auf unter 35 % zu reduzieren (Golser et al., 2005). Für kleinere Lagerplätze wird deshalb eine durchschnittliche Lagerdauer von 12 Monaten angenommen, für größere unter sehr günstigen Bedingungen bis zu einem Monat. Für große Heizwerke wird feuchteres Holz auch mit trockenerem vermischt werden, um die geforderten Werte zu erreichen.

Die Höhe von Rundholz-Polter hängt in erster Linie von der Reichweite der beim Antransport eingesetzten Fahrzeuge und Maschinen. Durchschnittlich kann eine Lagerhöhe von circa fünf Meter

und eine Sortimentslänge von circa vier Metern angenommen werden. Die Länge des Polters kann aufgrund feuerpolizeilicher Vorschriften beschränkt werden. Für die folgenden Berechnungen wird eine Länge von 100 m angenommen. Es werden je zwei Polter parallel nebeneinander (maximaler Abstand zwei Meter) gelagert werden. Das Lichtraumprofil zwischen den „Polterpaaren“ wird auf Fahrwegen mit vier Metern festgelegt, sodass ein Fahrzeug passieren und das Energieholz abladen oder aufnehmen kann. Auf Manipulationswegen wird eine Breite von acht Metern vorgeschlagen, sodass ein mobiler Hacker und ein Transportfahrzeug nebeneinander Platz haben (vgl. Abbildung 135).

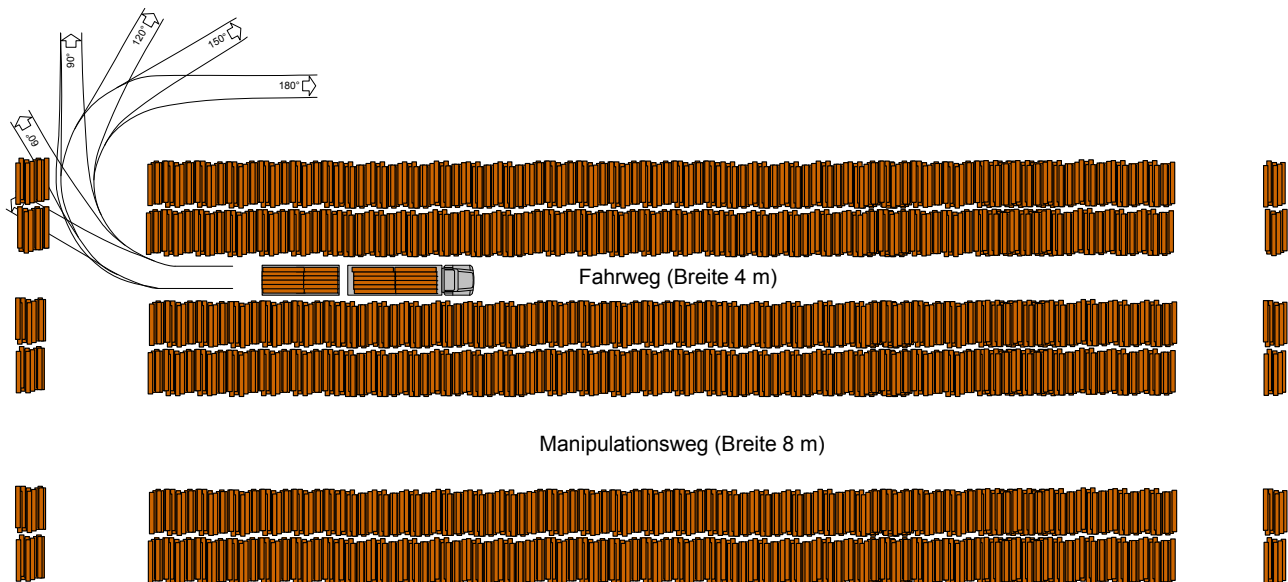


Abbildung 135: Mögliche Anordnung von Energieholzpolter auf einem Lagerplatz

Der Platzbedarf für einen Polter entspricht unter Einhaltung der oben angegebenen Abstände circa 850 m². Ein Polter entspricht circa 1.400 FM bzw. 3.500 SRM Holz. Bei einem einjährigen Umschlag ergibt sich somit ein **Platzbedarf von circa 0,25 m² pro SRM und Jahr**. Erhöht sich die Umschlaghäufigkeit reduziert sich der Platzbedarf (Tabelle 51).

Hackgut wird im Freien meist in Kegelform gelagert, um eine Wiederbenässung des Kerns zu verhindern. Meist werden in dieser Form nur kleinere Mengen kurzzeitig gelagert.

In einer Halle kann Hackgut längerfristig gelagert werden. Je nach Lieferverträgen zu den Abnehmern, Auslastung und Verfügbarkeit von Maschinen und unter Einhaltung eines Sicherheitsbestandes ist die Größe der Halle anzupassen. Bei einjährigem Umschlag und einer durchschnittlichen Lagerhöhe von drei Metern ergibt sich ein Platzbedarf von 0,33 m² pro SRM und Jahr. Da Hackgut generell mehrmals im Jahr umgeschlagen wird, verringert sich dieser Wert meist um ein Vielfaches. Für einen Sicherheitsbestand für einen Monat ergibt sich somit ein Platzbedarf von circa **0,03 m² pro SRM und Jahr**.

Zusätzlicher Platzbedarf ergibt sich durch die infrastrukturelle Ausstattung. Diese orientiert sich an den erforderlichen Manipulationsprozessen. Befindet sich eine Brückenwaage am Lagerplatz ergibt sich ein zusätzlicher Bedarf von circa 100 m². Ein Bürocontainer benötigt circa 20 m². Für Hauptverkehrswege, Parkplätze, Umkehrplatz sowie Manipulationsplatz ist ein Wert von circa 20 % der Gesamtfläche zu kalkulieren, bei kleineren Plätzen etwas mehr, bei großen etwas weniger.

Tabelle 51 gibt den durchschnittlichen Platzbedarf für die Lagerung von Energieholz bei unterschiedlichen Umschlaghäufigkeiten an. Auf größeren Plätzen kann man mit einer höheren Umschlaghäufigkeit und mit einem geringeren Platzbedarf pro m² Lagerfläche rechnen.

Tabelle 51: Platzbedarf in m²/SRM Energieholz je nach Umschlagshäufigkeit pro Jahr

Umschläge pro Jahr für Rundholz	Platzbedarf Rundholz	Platzbedarf Hackgut	Platzbedarf Infrastruktur	Platzbedarf Gesamt
1	0,250	0,03	0,070	0,350
2	0,125	0,03	0,039	0,194
3	0,083	0,03	0,028	0,142
4	0,063	0,03	0,023	0,116
6	0,042	0,03	0,018	0,090
9	0,028	0,03	0,015	0,073
12	0,021	0,03	0,013	0,064

Je nach Umschlagshäufigkeit ergeben sich für landwirtschaftlich gewidmete Flächen in Niederösterreich die in Tabelle 52 abgebildeten Pachtkosten in €/SRM.

Tabelle 52: Pachtkosten in €/SRM

Umschlagshäufigkeit (Rundholz)	Flächenbedarf in m ² /SRM	Kosten in €/SRM	Kosten in €/SRM
1	0,350	€ 0,09	€ 0,18
2	0,194	€ 0,05	€ 0,10
3	0,142	€ 0,04	€ 0,07
4	0,116	€ 0,03	€ 0,06
6	0,090	€ 0,02	€ 0,05
9	0,073	€ 0,02	€ 0,04
12	0,064	€ 0,02	€ 0,03

Beim Ankauf der Flächen werden Kosten von circa 20.000 € je ha für landwirtschaftliche Flächen und 300.000 € je ha für Flächen in Gewerbegebieten angenommen.

Anordnung

Die Anordnung der Infrastruktur ergibt sich meist aus der Form des Platzes sowie der stattfindenden Prozesse.

Kleine Lagerplätze (bis 30.000 SRM Jahrumschlag) verfügen meist über keine infrastrukturelle Ausstattung. Hier werden Flächen zur Lagerung des Holzes, zur Manipulation sowie zum Abtransport benötigt. Der Antransport des Holzes erfolgt meist getrennt von der weiteren Verarbeitung und ist als vorgelagerter Prozess meist abgeschlossen. Optimalerweise gibt es getrennte Zu- und Abfahrtsmöglichkeiten bzw. eine Wendemöglichkeit, damit sich die Prozesse Hacken und Transport nicht gegenseitig behindern. Der Abtransport des Hackgutes erfolgt sofort (Abbildung 136). Der Brennwert wird mit Hilfe öffentlicher Waagen bestimmt oder es wird nach Volumen abgerechnet.

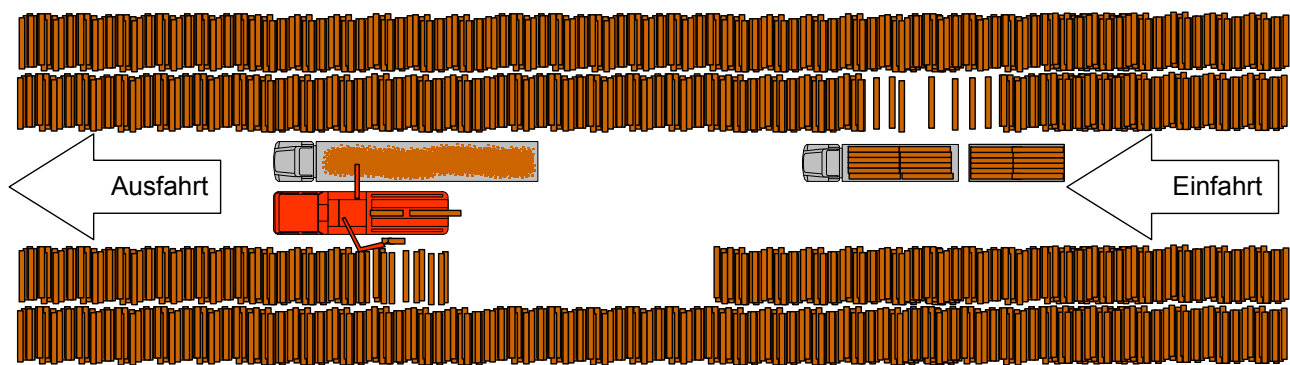


Abbildung 136: Beispiel für einen Lagerplatz ohne Hackgutlagerung

Bei mittelgroßen Lagerplätzen werden bereits solche Mengen umgeschlagen (30.000 bis 100.000 SRM), sodass ein Sicherheitsbestand an Hackgut zu empfehlen ist, der plötzliche Nachfragesteigerungen abdecken kann. Die Qualitätsbestimmung erfolgt nach Gewicht und Wassergehalt. Somit sind zusätzlich zu den Anforderungen der kleinen Lagerplätze eine Brückenwaage, Bürocontainer und eine Fläche zur Hackgutlagerung notwendig. Die Qualitätsbestimmung und somit der Standort der Waage sollte sich im Einfahrtsbereich des Platzes befinden, um die entsprechenden Messungen bei An- und Abtransport zu bestimmen. Die Lagerung des Hackgutes erfolgt im Freien. Einzelne Bereiche des Lagerplatzes, vor allem für die Hackgutlagerung, können asphaltiert werden (Abbildung 137).

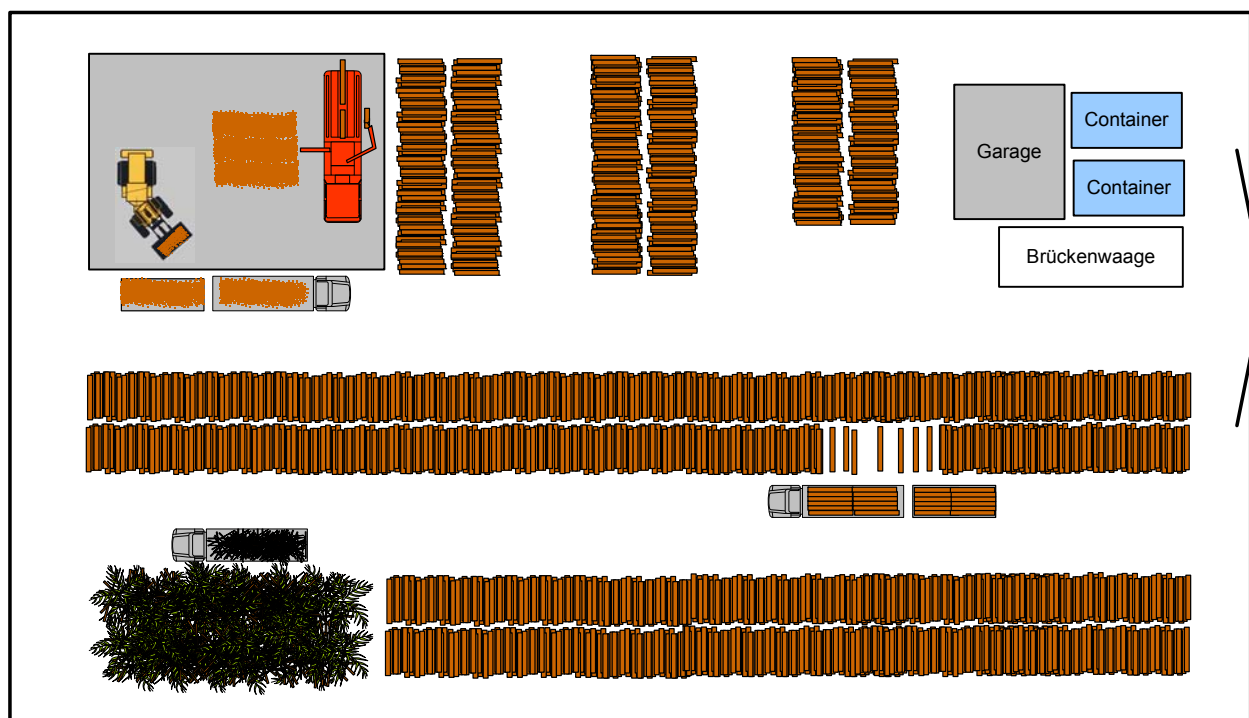


Abbildung 137: Beispiel für einen Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien

Große Lagerplätze haben einen Umschlag von mehr als 100.000 SRM pro Jahr. Die Lagerung des Hackgutes sollte in überdachten Hallen erfolgen. Brückenwaage und Bürocontainer befinden sich gewöhnlich im Einfahrtsbereich (Abbildung 138). Aufgrund wasserrechtlicher Bestimmungen ist eine Sammlung und Filterung der Sickerwässer aus dem Hackgut notwendig.

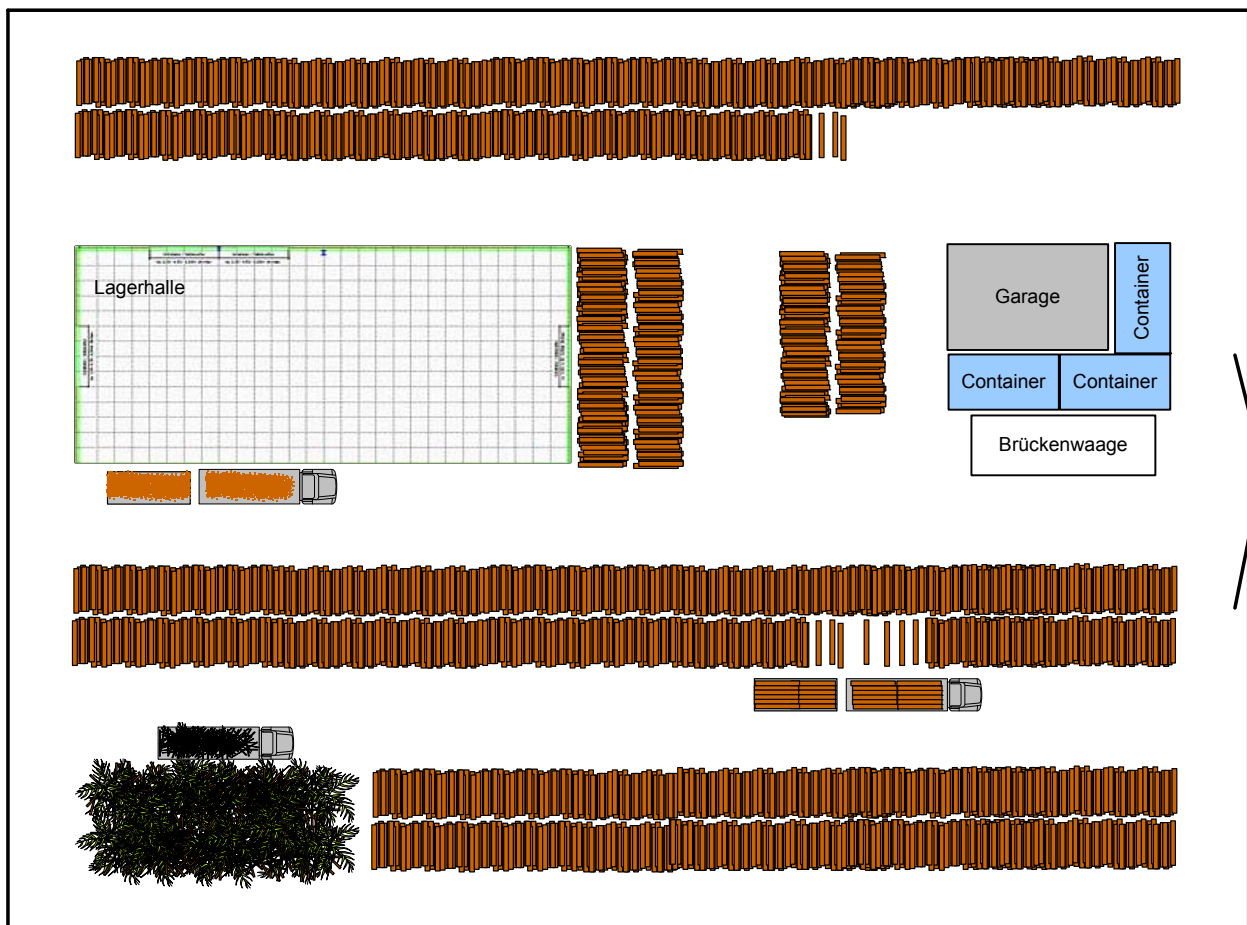


Abbildung 138: Beispiel für einen Lagerplatz mit überdachter Hackgutlagerung

Befestigung

Die Anforderungen an die Befestigung eines Holzlagerplatzes orientieren sich an den Empfehlungen der Baufirmen Teerag Asdag, Alpine-Mayreder und Schandl, die ihr langjährig erworbenes Wissen an uns weitergeben konnten.

Die Kosten für die Aufschließung pro Jahr und SRM errechnen sich aus den einmaligen Kosten nach der Methode des Annuitätendarlehens und betragen bei einer Fixverzinsung von 4% und eine Nutzungsdauer von 25 Jahren weniger als 0,03 € pro m² Lagerfläche und Jahr. Für eine beispielhafte Umschlagsmenge von 50.000 SRM ergeben sich je nach Umschlaghäufigkeit und Lagergröße die in Tabelle 53 abgebildeten Kosten in €/SRM.

Tabelle 53: Aufschließungskosten in €/SRM für befestigte Lagerflächen

Umschlagshäufigkeit (Rundholz)	Flächenbedarf in m ² /SRM	Kosten in €/SRM
1	0,350	€ 0,015
2	0,194	€ 0,011
3	0,142	€ 0,009
4	0,116	€ 0,009
6	0,090	€ 0,008
9	0,073	€ 0,007
12	0,064	€ 0,007

Der Lagerplatz sollte an einem tragfähigen, möglichst wenig geneigten Standort errichtet werden. Bei der Errichtung wird der Humus abgetragen und seitlich gelagert bzw. abtransportiert. Bei einer Belastung der Fläche mit Fahrzeugen bis zu einem Gesamtgewicht von 42 Tonnen, wird folgende Schichtung (von unten nach oben) vorgeschlagen (vgl. Abbildung 139):

- Unterbauplanum
- Frostschutzschichte KK 0/63 40 cm
- Mechanisch stabile Tragschichte KK 0/32 20 cm
- Bituminöse Tragschicht LK S 10-13 cm (optional)
- Polymermodifizierter Asphaltbeton 11 LK S 3-4 cm (optional)

Eine bituminöse Tragschichte sowie Asphaltbeton werden vor allem bei der Lagerung von Hackgut empfohlen. Rundholz kann auf Asphaltbeton, aber auch auf geschotterten Flächen auf einer Kreuzlage aus Holzstämmen erfolgen.

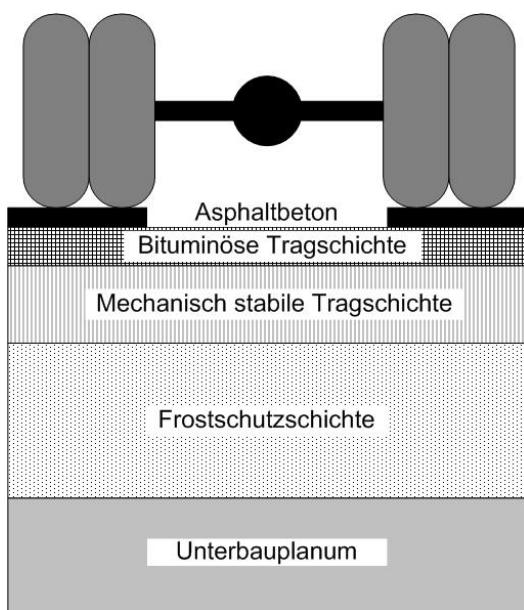


Abbildung 139: Schichtung eines Lagerplatzes

Für die Entwässerung werden Sickerstreifen empfohlen. Je nach Standortbedingungen werden Gräben mit einer Breite und Tiefe von je circa 1,50 Meter ausgehoben. Der Graben wird mit Geotextilien ausgelegt und mit Sickerschotter ausgefüllt. Der Sickerkies wird auf einer Höhe von circa 1,10 m eingebracht. Darüber folgt eine Abdeckung mit einer Humusschichte als Bodenfilter mit einer Höhe von circa 30 cm. Letztlich verbleibt eine Mulde von maximal 10 cm, in der das Wasser abfließen kann (Abbildung 140) (Rockenbauer, 2006).

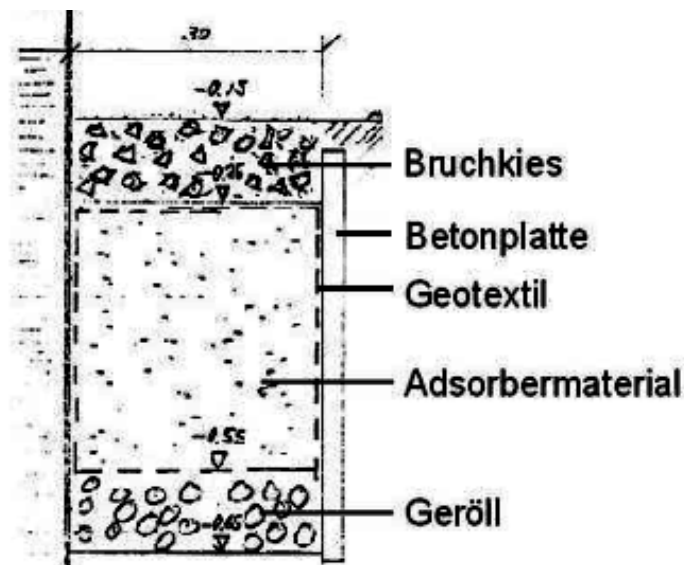


Abbildung 140: Sickersteifen (www.metas.ch, 2007)

Die Kosten für die Befestigung bei einer Fixverzinsung von 4% und eine Nutzungsdauer von 20 Jahren werden für eine beispielhafte Umschlagsmenge von 50.000 SRM und je nach Umschlaghäufigkeit und Lagergröße in Tabelle 54 abgebildet. Je nach Umschlaghäufigkeit und Befestigung variieren die Kosten zwischen 0,12 € und 1,49 €/SRM.

Tabelle 54: Kosten für die Befestigung für unterschiedliche Lagerplatzvarianten

S = Schotterung; S & E = Schotterung und Entwässerung; A & E = Asphaltierung und Entwässerung

Umschlagshäufigkeit (Rundholz)	Flächenbedarf in m ² /SRM	Kosten S in €/SRM	Kosten S & E in €/SRM	Kosten A & E in €/SRM
1	0,350	€ 0,64	€ 0,79	€ 1,49
2	0,194	€ 0,35	€ 0,44	€ 0,83
3	0,142	€ 0,26	€ 0,32	€ 0,61
4	0,116	€ 0,21	€ 0,26	€ 0,50
6	0,090	€ 0,16	€ 0,20	€ 0,38
9	0,073	€ 0,13	€ 0,16	€ 0,31
12	0,064	€ 0,12	€ 0,14	€ 0,27

Hallen zur Lagerung von Waldhackgut sollten eine möglichst robuste, einfache Konstruktion aufweisen. Die Halle sollte dreiseitig geschlossen sein und Lüftungsöffnungen aufweisen. Hallen in Stahlkonstruktion mit einem Pultdach, Holzleimträgern, einem Trapezblech als Dacheindeckung sowie einer Holzverschalung wurden für die Lagerung von Hackgut empfohlen. Die Lagerhöhe sollte circa fünf Meter betragen. Die Dimensionierung richtet sich nach den Schneelasten in der Region entsprechend der ÖNORM B 1991-1-3. Der Boden der Halle sollte als Walzasphalt ausgeführt werden.

Die Bereitstellung von wettergeschützten, trockenen Arbeitsbereichen empfiehlt sich bei längeren Aufenthalten am Lagerplatz. Das beste Preis-Leistungs-Verhältnis bieten Bürocontainer. Sie dienen als Aufenthaltsraum und Sanitärraum. Weiters kann dort die Qualitätsbestimmung des Hackgutes durchgeführt, sowie diverse Geräte aufbewahrt werden.

Bei der Lagerung von Hackgut im Ausmaß von einem Monatsbedarf (Sicherheitsbestand) ergibt sich, wie oben dargestellt, ein Platzbedarf von circa 0,03 m² pro SRM Hackgut und Jahr. Die Kos-

ten pro Jahr und SRM werden wiederum aus den Gesamtkosten nach der Methode der Annuitätentilgung berechnet. Bei einer Fixverzinsung in der Höhe von 4% und eine Nutzungsdauer von 25 Jahren ergeben sich Kosten für eine beispielhafte Jahresumschlagsmenge von 50.000 SRM in der Höhe von 0,35 €/SRM.

Wird am Lagerplatz ein geringerer Sicherheitsbestand für die Versorgung der Heizwerke benötigt, verringern sich die Lagerfläche und somit auch die Kosten für die Lagerung. Bei einem Sicherheitsbestand von zwei Wochen ergeben sich Lagerkosten von 0,17 bis 0,20 €/SRM, bei einem Sicherheitsbestand von einer Woche ergeben sich Lagerkosten von 0,09 bis 0,10 €/SRM.

Innerbetrieblicher Transport

Nach dem Trocknen am Lagerplatz wird das Holz gehackt. Sollte der Hacker nicht direkt zum Polter zufahren können, muss das Holz zum Hacker geliefert werden. Bei der Einlagerung des Energieholzes sollte bereits an die Hackabfolge gedacht werden, um diesen zusätzlichen Transportschritt zu vermeiden.

Das Holz wird entweder direkt in den LKW gehackt und zum Werk transportiert oder am Lagerplatz als Sicherheitsbestand aufbewahrt. Bei der zweiten Variante muss das Hackgut vom Hackplatz zum Lagerort transportiert werden. Für den innerbetrieblichen Transport kann ein Radlader eingesetzt werden. Radlader mit Leichtgutschaufeln können auch für das Beladen der LKWs eingesetzt werden. Die Entfernung von Hackort zum Lager sollte aber möglichst gering sein



Abbildung 141: Innerbetrieblicher Transport

Je nach Umschlagsmenge und Auslastung können unterschiedliche Varianten von Ladern berücksichtigt werden. Die folgende Ausflistung zeigt vier unterschiedliche Varianten.

Ein Modell mit einem Schaufelinhalt von 1,5 m³ kostet in der Anschaffung circa 60.000 €. Dies ergibt bei einer Nutzungsdauer von acht Jahren und einer Verzinsung von 4 % jährliche Kosten im Ausmaß von 7.426 € (Modell A). Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch pro Stunde beträgt circa 7,0 Liter.

Ein Modell mit einem Schaufelinhalt von 3,0 m³ kostet in der Anschaffung circa 90.000 €. Dies ergibt bei einer Nutzungsdauer von acht Jahren und einer Verzinsung von 4 % jährliche Kosten im Ausmaß von 12.625 € (Modell B). Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch pro Stunde beträgt circa 8,5 Liter.

Ein Modell mit einem Schaufelinhalt von 5,0 m³ kostet in der Anschaffung circa 140.000 €. Dies ergibt bei einer Nutzungsdauer von acht Jahren und einer Verzinsung von 4 % jährliche Kosten im Ausmaß von 17.080 € (Modell C). Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch pro Stunde beträgt circa 10,0 Liter.

Ein Modell mit einem Schaufelinhalt von 15,0 m³ kostet in der Anschaffung circa 250.000 €. Dies ergibt bei einer Nutzungsdauer von acht Jahren und einer Verzinsung von 4 % jährliche Kosten im Ausmaß von 37.132 € (Modell D). Der durchschnittliche Treibstoffverbrauch pro Stunde beträgt circa 14,0 Liter.

Tabelle 55: Kostenberechnung für den innerbetrieblichen Transport beim Einsatz unterschiedlicher Modelle

WHG in SRM pro Jahr	Kosten je SRM Modell A	Kosten je SRM Modell B	Kosten je SRM Modell C	Kosten je SRM Modell D
5.000	2,67 €	3,14 €	4,45 €	7,53 €
10.000	1,78 €	1,80 €	2,37 €	3,82 €
20.000	1,33 €	1,13 €	1,33 €	1,96 €
30.000	1,19 €	0,91 €	0,98 €	1,35 €
40.000	1,11 €	0,80 €	0,81 €	1,04 €
50.000	1,07 €	0,73 €	0,71 €	0,85 €
60.000	1,04 €	0,69 €	0,64 €	0,73 €
70.000	1,02 €	0,66 €	0,59 €	0,64 €
80.000	1,11 €	0,63 €	0,55 €	0,57 €
90.000	1,09 €	0,61 €	0,52 €	0,52 €
100.000	1,07 €	0,60 €	0,50 €	0,48 €
150.000	1,01 €	0,55 €	0,43 €	0,36 €
200.000	1,02 €	0,60 €	0,40 €	0,29 €
250.000	1,03 €	0,57 €	0,37 €	0,26 €
300.000	1,01 €	0,55 €	0,43 €	0,23 €
350.000	1,02 €	0,58 €	0,41 €	0,21 €
400.000	1,02 €	0,57 €	0,40 €	0,20 €

Tabelle 55 zeigt die Kosten für den innerbetrieblichen Transport in Abhängigkeit von Umschlag und Radlader-Modell. Ein teureres Modell mit höheren Leistungen zeigt bei hohem Umschlag und entsprechender Auslastung gute Resultate. Bei einem Jahresumschlag von 50.000 SRM unter den oben genannten Bedingungen erweist sich das Modell C am günstigsten, wobei ein etwas kleinerer Lader ebenfalls noch gute Resultate liefert.

Abbildung 142 zeigt den Kostenverlauf der vier beschriebenen Radlader-Modelle in Abhängigkeit der umzuschlagenden Menge an Waldhackgut. Ganz deutlich ist zu erkennen, dass bei geringen Mengen die Kosten sehr hoch sind. Erst ab einer Umschlagmenge von 25.000 SRM sinken die Kosten unter 1,00 €/SRM und die Anschaffung eines Radladers sollte in Erwägung gezogen werden.

Nicht berücksichtigt wurden bisher mögliche Nebennutzungen. Können die Maschinen auch anderweitig eingesetzt werden, vermindern sich auch die Kosten für den innerbetrieblichen Transport, da die Anschaffungskosten weniger ins Gewicht fallen.

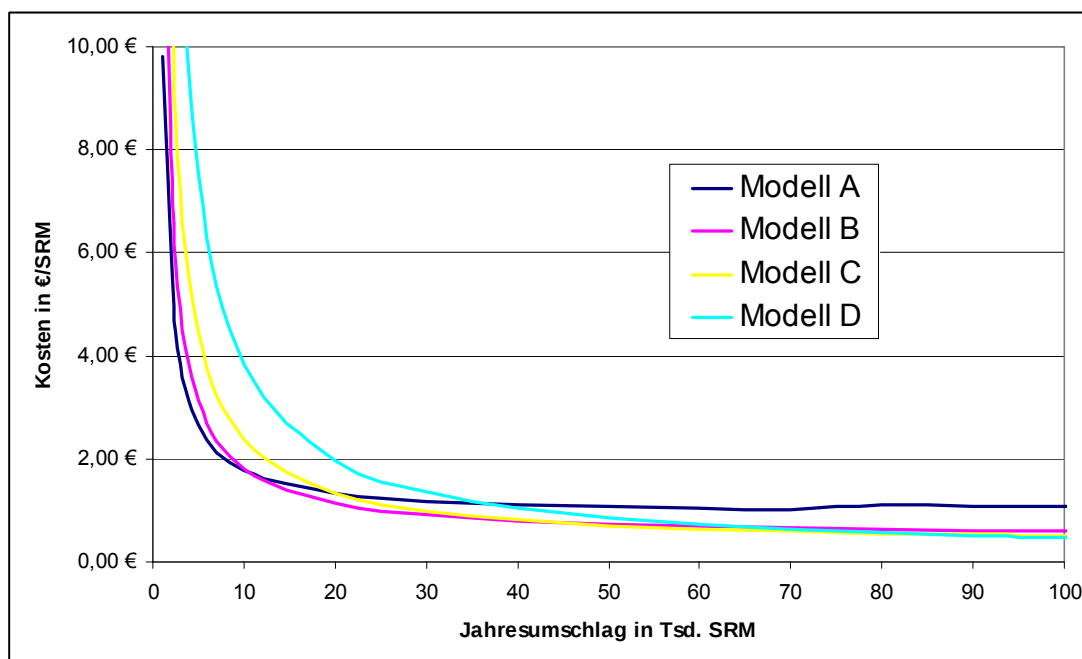


Abbildung 142: Kostenverlauf unterschiedlicher Modelle für den innerbetrieblichen Transport mit Radladern

Hacken

Das Hacken erfolgt zum überwiegenden Teil am Lagerplatz. Die Anlieferung und Zwischenlagerung von Hackgut kann in Ausnahmefällen bei Überschreitung der Lagerkapazitäten an den Heizwerken erfolgen. Das Hacken des Energieholzes erfolgt mit einem stationären oder mit mobilen Hackern. Mobile Hacker haben zwar nicht so eine hohe Leistungsfähigkeit, können aber flexibel eingesetzt werden.



Abbildung 143: Einsatz eines mobilen Hackers

Tabelle 56 dokumentiert die Kosten für das Hacken von Energierohholz auf einem zentralen Lagerplatz. Bei der Verwendung eines großen Hackers sowie bei einem Jahresumschlag von 50.000 SRM sind 25 Einsatztage zu erwarten mit jeweils 50 An- und Abfahrten. Diese Fahrtkosten werden zu den Stundenkosten des Hackers addiert, was Gesamtkosten von 1,57 €/SRM Waldhackgut ergibt.

Tabelle 56: Kosten der Hackgutproduktion durch Unternehmer

WHG in SRM pro Jahr	Hacker-kategorie	Einsätze in Tagen	Anzahl der Fahrten	Kosten Anfahrt	Gesamtkosten je SRM
5.000	klein	10	20	600 €	2,92 €*
20.000	mittel	14	28	1.400 €	2,52 €*
50.000	groß	25	50	3.500 €	1,57 €
200.000	groß	100	200	14.000 €	1,57 €
400.000	groß	200	ganzjährig	0 €	1,50 €

* Gibt es am Lagerplatz keine Möglichkeiten zum Lagern von Hackgut, so wird das Hackgut direkt in die vorhandenen Transporteinheit gehackt. Da sowohl die Abstimmung zwischen Hacker und Transportfahrzeug zusätzlichen Aufwand erfordert, als auch das Wechseln der Transporteinheit höhere Stehzeiten bewirkt, wird auf kleineren Lagerplätzen eine um 30 % geringere Hackleistung angenommen. Dies verursacht wiederum Mehrkosten von circa 40 %.

Sieben

Nur Kleinanlagen und Privathaushalte benötigen feinkörniges Hackgut, damit es zu keinen Verklausungen beim Einschub des Hackgutes kommt. Die Verteilung der Korngrößen für die Verfeuerung spielt bei großindustriellen Anlagen kaum eine Rolle. Deshalb ist eine Siebung des Hackgutes für diese Anlagen meist nicht notwendig. Weiters gibt es keine speziellen Siebe für Hackgut, es müsste auf Kompost- oder Schottersiebe zurückgegriffen werden.

Bei der Erzeugung von Premium-Hackgut, welches auch an den Einzelhandel oder an Privathaushalte verkauft wird, ist allerdings die Anschaffung eines Siebes zu berücksichtigen. In diesem Fall werden aber auch höhere Preise für das Hackgut erzielt.

4.3.2.3 Übergabe

Der Transport des Hackgutes vom Lagerplatz ins Heizwerk erfolgt meist per Schüttgut-LKW. Die Beladung erfolgt entweder direkt durch den Hacker oder per Radlader. Im Werk erfolgt eine Qualitätsbeurteilung des Hackgutes, meist durch Gewichts- und Feuchtebestimmung. Das Hackgut sollte einen gewissen Feuchtegrad nicht überschreiten. Sollte es zu feucht sein, wird es oft mit trockenerem Hackgut vermengt, um eine entsprechende Brennleistung zu erreichen. Das Hackgut wird im Lager des Heizwerkes abgeladen und der Heizkessel automatisch beschickt.



Abbildung 144: Übernahme und Qualitätsbestimmung am Heizwerk

4.3.3 Lagerplatzvarianten

Welche Ausstattung ein Lagerplatz aufweisen soll, hängt von sehr vielen Faktoren ab. Die wichtigsten sind Standortsbedingungen, Platzbedarf, bereits vorhandene Infrastruktur, individuelle Präferenzen sowie Menge, Dauer und Art der Lagerung. Da diese Faktoren für jeden Platz sehr unterschiedlich sein können, kann auch keine allgemeine Vorschreibung der Lagerplatzausstattung gegeben werden.

Vielmehr sollen verschiedene Ausstattungsvarianten miteinander verglichen werden und danach jene gewählt werden, die den oben genannten Anforderungen am besten entspricht sowie sich innerhalb des erforderlichen Kostenrahmens befindet.

Für den Vergleich unterschiedlicher Lagerplatzvarianten wurden folgende konstanten Bedingungen angenommen:

- Anteil der Lagerung von Energierohholz als Rundholz: 75 %
- Anteil der Lagerung von Energierohholz als Schlagabraum: 25 %
- Sicherheitsbestand (Lagerdauer) für Waldhackgut: 1 Monat
- Lagerplatzbereitstellung in Pachtverhältnis

Tabelle 57 gibt einen Überblick über die untersuchten Lagerplatzvarianten und zeigt auf welche Komponenten für den jeweiligen Platz untersucht wurden. Bei der Berechnung der Kosten wurden Durchschnittswerte verwendet, welche in Kapitel 3.3.3 angeführt wurden.

Bei allen Varianten ist klar ersichtlich, dass ein Umschlag pro Jahr relative hohe Kosten verursacht und bereits ein weiterer Umschlag den größten Nutzen aufweist. Ein zweiter Umschlag auf der Lagerfläche bewirkt eine Kostenersparnis von bis zu 30 %, ein dritter Umschlag bringt nochmals eine Ersparnis von bis zu 15 %. Ab dem dritten Umschlag ändern sich die Kosten nur mehr geringfügig um weniger als 10 % im Vergleich zu einem Umschlag weniger.

Tabelle 57: Lagerplatzvarianten

	V1	V2	V3	V4	V5
Aufschließung	-	-	ja	ja	ja
Schotterung	100 %	50 %	50 %	50 %	-
Asphaltierung	-	50 %	50 %	50 %	100 %
Entwässerung	-	ja	ja	ja	ja
Brückenwaage	-	-	ja	ja	ja
Externe Verwiegung	ja	ja	-	-	-
Feuchtebestimmung	ja	ja	ja	ja	ja
Hackgutlagerung im Freien	-	ja	ja	-	-
Hackgutlagerung in Halle	-	-	-	ja	ja
Innerbetrieblicher Transport	-	ja	ja	ja	ja
Gebäude	-	ja	ja	ja	ja

4.3.3.1 Geschotterter Lagerplatz (V1)

Der geschotterte Lagerplatz ist die einfachste Variante eines Lagerplatzes für Energieholz. Die Befestigung der Fläche erfolgt mit Unterbauplanum, Frostschutzschicht und mechanisch stabile Tragschicht ausgelegt für Belastungen durch Fahrzeuge bis zu einem Gesamtgewicht von 42 t. Es

sind keine technischen Ausführungen für die Entwässerung des Lagerplatzes vorgesehen und es befindet sich keine stationäre Infrastruktur auf dem Platz.

Die Lagerung des Energierohholzes erfolgt in der Form von Rundholz oder Schlagabraum. Das Hacken erfolgt in bereitgestellte Behälter oder Fahrzeuge und wird danach direkt abgeführt. Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt mit einfachen Geräten am Platz, die Verwiegung des Holzes erfolgt extern über betriebsfremde Brückenwaagen.

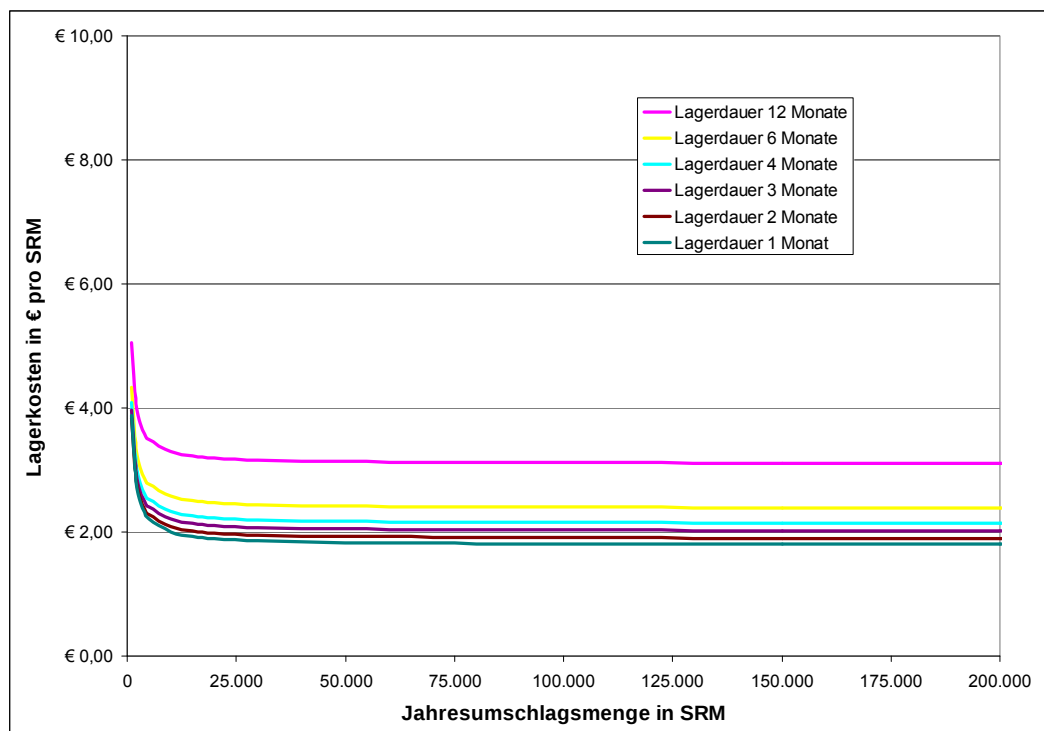


Abbildung 145: Lagerkosten für einen geschotterten Lagerplatz (V1)

Abbildung 145 und Tabelle 58 zeigen die Entwicklung der Lagerkosten für einen geschotterten Lagerplatz in Abhängigkeit von der Jahresumschlagsmenge und der Umschlagshäufigkeit. Für Lagerkosten unter 2,00 €/SRM ist eine Lagerdauer von zwei Monaten und eine umzuschlagende Menge von 20.000 SRM pro Jahr oder eine Lagerdauer von einem Monat und eine umzuschlagende Menge von 15.000 SRM pro Jahr notwendig.

Tabelle 58: Lagerkosten für einen geschotterten Lagerplatz (V1)

Umschlagsmenge in SRM pro Jahr	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
1.000	€ 5,05	€ 4,33	€ 4,08	€ 3,96	€ 3,84	€ 3,87
2.000	€ 4,07	€ 3,36	€ 3,11	€ 2,98	€ 2,86	€ 2,83
3.000	€ 3,75	€ 3,03	€ 2,78	€ 2,66	€ 2,54	€ 2,48
4.000	€ 3,59	€ 2,87	€ 2,62	€ 2,50	€ 2,38	€ 2,31
5.000	€ 3,49	€ 2,77	€ 2,52	€ 2,40	€ 2,28	€ 2,21
10.000	€ 3,29	€ 2,57	€ 2,33	€ 2,20	€ 2,08	€ 2,00
15.000	€ 3,23	€ 2,51	€ 2,26	€ 2,14	€ 2,02	€ 1,93
20.000	€ 3,19	€ 2,48	€ 2,23	€ 2,10	€ 1,99	€ 1,89
30.000	€ 3,16	€ 2,44	€ 2,20	€ 2,07	€ 1,95	€ 1,86
40.000	€ 3,15	€ 2,43	€ 2,18	€ 2,06	€ 1,94	€ 1,84

Umschlagsmenge in SRM pro Jahr	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
50.000	€ 3,14	€ 2,42	€ 2,17	€ 2,05	€ 1,93	€ 1,83
70.000	€ 3,13	€ 2,41	€ 2,16	€ 2,04	€ 1,92	€ 1,82
100.000	€ 3,12	€ 2,40	€ 2,15	€ 2,03	€ 1,91	€ 1,81
150.000	€ 3,11	€ 2,39	€ 2,15	€ 2,02	€ 1,90	€ 1,80
200.000	€ 3,11	€ 2,39	€ 2,14	€ 2,02	€ 1,90	€ 1,80
300.000	€ 3,10	€ 2,39	€ 2,14	€ 2,01	€ 1,90	€ 1,80
400.000	€ 3,10	€ 2,38	€ 2,14	€ 2,01	€ 1,89	€ 1,79
500.000	€ 3,10	€ 2,38	€ 2,14	€ 2,01	€ 1,89	€ 1,79

4.3.3.2 Teilasphaltierter Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2)

Der teilasphaltierter Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2) weist im Gegensatz zu V1 folgende Erweiterungen auf: Die Gesamtfläche des Lagerplatzes wurde über der flächig ausgeführten Befestigung mit Unterbauplanum, Frostschutzschicht und mechanisch stabiler Tragschicht zu 50 % mit einer bituminösen Tragschicht und Asphaltbeton ausgeführt. Dort finden die Manipulation des Energieholzes sowie die Lagerung des Hackgutes statt. Zudem erfolgt eine flächige Entwässerung des Platzes mit Sickerstreifen. Der innerbetriebliche Transport erfolgt mit einem Radlader.

Die Lagerung des Energierohholzes erfolgt in der Form von Rundholz oder Schlagabraum. Das Hacken und die Lagerung erfolgen auf dem Platz. Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt mit einfachen Geräten am Platz, die Verwiegung des Holzes erfolgt extern über betriebsfremde Brückenwaagen.

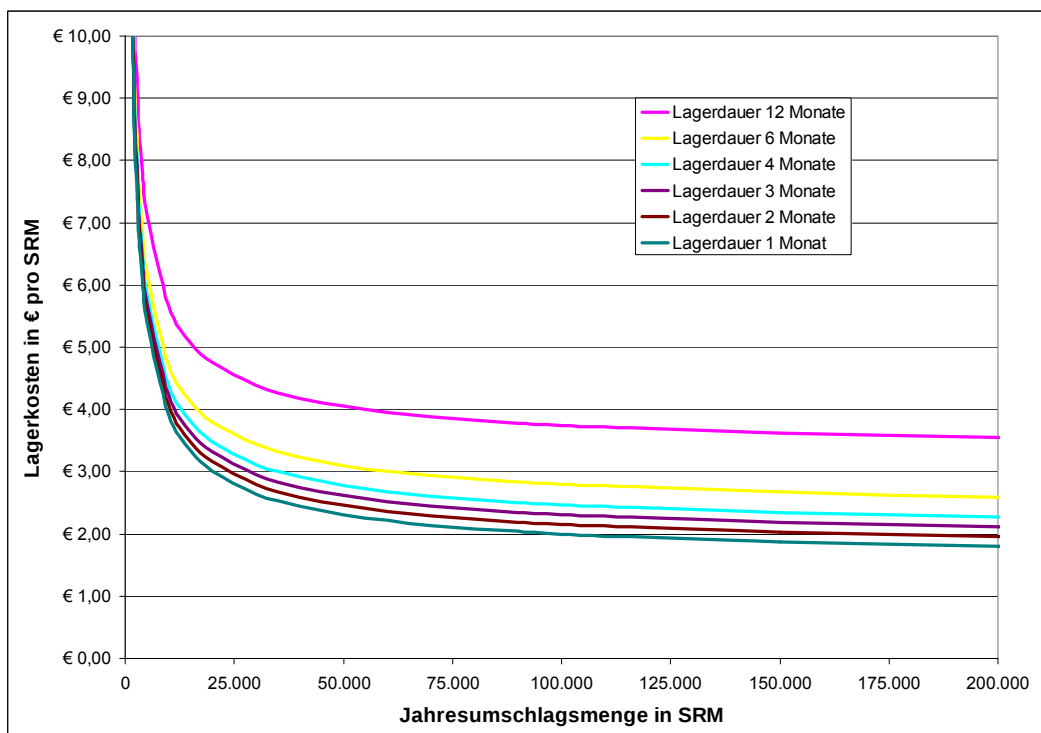


Abbildung 146: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2)

Abbildung 146 und Tabelle 59 zeigen die Entwicklung der Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien in Abhängigkeit von der Jahresumschlagsmenge und der

Umschlagshäufigkeit. Für Lagerkosten unter 2 €/SRM ist eine Lagerdauer von drei Monaten und eine umzuschlagende Menge von 400.000 SRM pro Jahr, zwei Monaten und eine umzuschlagende Menge von 200.000 SRM pro Jahr oder eine Lagerdauer von einem Monat und eine umzuschlagende Menge von 150.000 SRM pro Jahr notwendig.

Tabelle 59: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2)

Umschlagsmenge in SRM pro Jahr	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
1.000	€ 15,50	€ 14,56	€ 14,23	€ 14,07	€ 13,91	€ 13,76
2.000	€ 10,66	€ 9,71	€ 9,39	€ 9,23	€ 9,07	€ 8,92
3.000	€ 8,80	€ 7,86	€ 7,54	€ 7,37	€ 7,22	€ 7,06
4.000	€ 7,79	€ 6,84	€ 6,52	€ 6,36	€ 6,20	€ 6,05
5.000	€ 7,13	€ 6,19	€ 5,86	€ 5,70	€ 5,55	€ 5,39
10.000	€ 5,66	€ 4,71	€ 4,39	€ 4,23	€ 4,07	€ 3,92
15.000	€ 5,07	€ 4,13	€ 3,80	€ 3,64	€ 3,49	€ 3,33
20.000	€ 4,75	€ 3,80	€ 3,48	€ 3,32	€ 3,16	€ 3,01
30.000	€ 4,38	€ 3,44	€ 3,12	€ 2,95	€ 2,80	€ 2,64
40.000	€ 4,18	€ 3,24	€ 2,91	€ 2,75	€ 2,59	€ 2,44
50.000	€ 4,05	€ 3,10	€ 2,78	€ 2,62	€ 2,46	€ 2,31
70.000	€ 3,88	€ 2,93	€ 2,61	€ 2,45	€ 2,29	€ 2,14
100.000	€ 3,74	€ 2,79	€ 2,47	€ 2,31	€ 2,15	€ 2,00
150.000	€ 3,61	€ 2,67	€ 2,34	€ 2,18	€ 2,02	€ 1,87
200.000	€ 3,54	€ 2,60	€ 2,27	€ 2,11	€ 1,95	€ 1,80
300.000	€ 3,46	€ 2,51	€ 2,19	€ 2,03	€ 1,87	€ 1,72
400.000	€ 3,41	€ 2,47	€ 2,14	€ 1,98	€ 1,83	€ 1,67
500.000	€ 3,38	€ 2,44	€ 2,11	€ 1,95	€ 1,80	€ 1,64

4.3.3.3 Teilasphaltierter Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3)

Der teilasphaltierte Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3) weist im Gegensatz zu V2 jenen Unterschied auf, dass für die Verwiegung eine Brückenwaage am Lagerplatz installiert wurde und somit die Kosten für die externe Verwiegung entfallen. Zusätzlich sind Kosten für die Aufschließung zu berücksichtigen.

Abbildung 147 und Tabelle 60 zeigen die Entwicklung der Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien in Abhängigkeit von der Jahresumschlagsmenge und der Umschlagshäufigkeit. Für Lagerkosten unter 2,00 €/SRM ist bei einer Lagerdauer von vier Monaten eine umzuschlagende Menge von 200.000 SRM pro Jahr, bei drei Monaten eine umzuschlagende Menge von 150.000 SRM pro Jahr, bei zwei Monaten eine umzuschlagende Menge von 80.000 SRM pro Jahr und bei einer Lagerdauer von einem Monat eine umzuschlagende Menge von 60.000 SRM pro Jahr notwendig.

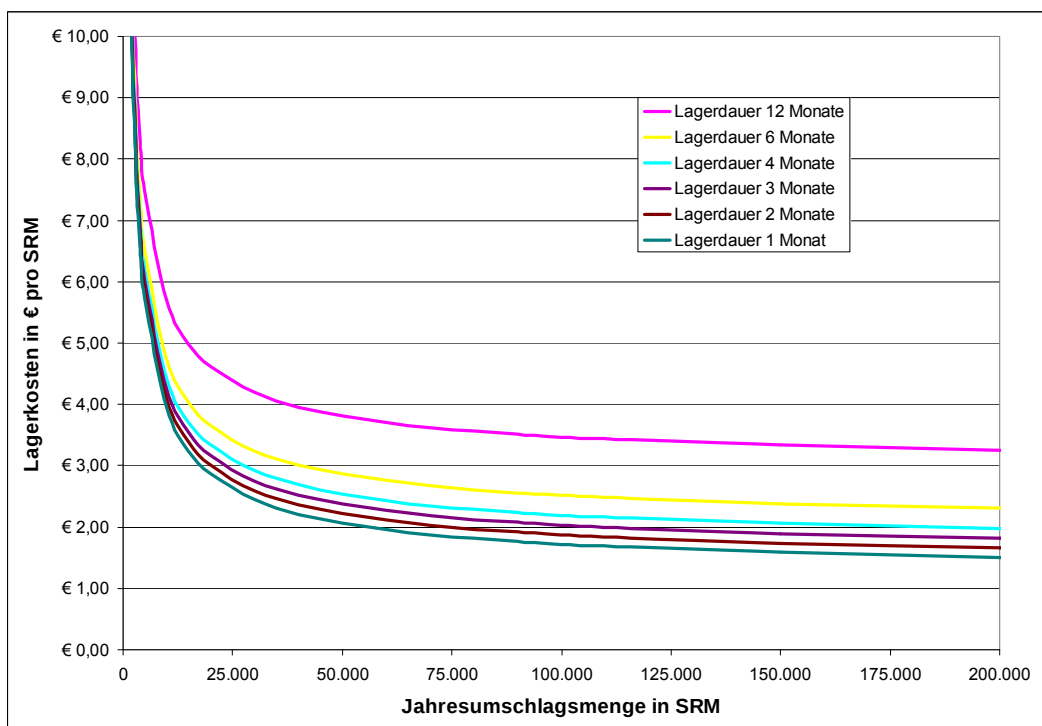


Abbildung 147: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3)

Tabelle 60: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3)

Umschlagsmenge in SRM pro Jahr	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
1.000	€ 18,42	€ 17,47	€ 17,14	€ 16,98	€ 16,82	€ 16,67
2.000	€ 11,97	€ 11,02	€ 10,69	€ 10,53	€ 10,37	€ 10,22
3.000	€ 9,58	€ 8,63	€ 8,30	€ 8,14	€ 7,98	€ 7,83
4.000	€ 8,29	€ 7,34	€ 7,02	€ 6,85	€ 6,70	€ 6,54
5.000	€ 7,48	€ 6,53	€ 6,20	€ 6,04	€ 5,88	€ 5,73
10.000	€ 5,68	€ 4,73	€ 4,40	€ 4,24	€ 4,08	€ 3,93
15.000	€ 4,99	€ 4,04	€ 3,71	€ 3,55	€ 3,39	€ 3,24
20.000	€ 4,61	€ 3,66	€ 3,33	€ 3,17	€ 3,01	€ 2,86
30.000	€ 4,19	€ 3,24	€ 2,91	€ 2,75	€ 2,59	€ 2,44
40.000	€ 3,96	€ 3,01	€ 2,68	€ 2,52	€ 2,36	€ 2,21
50.000	€ 3,81	€ 2,86	€ 2,53	€ 2,37	€ 2,21	€ 2,06
70.000	€ 3,62	€ 2,67	€ 2,35	€ 2,19	€ 2,03	€ 1,88
100.000	€ 3,47	€ 2,52	€ 2,19	€ 2,03	€ 1,87	€ 1,72
150.000	€ 3,33	€ 2,38	€ 2,06	€ 1,89	€ 1,74	€ 1,58
200.000	€ 3,26	€ 2,30	€ 1,98	€ 1,82	€ 1,66	€ 1,51
300.000	€ 3,17	€ 2,22	€ 1,89	€ 1,73	€ 1,57	€ 1,42
400.000	€ 3,12	€ 2,17	€ 1,84	€ 1,68	€ 1,52	€ 1,37
500.000	€ 3,09	€ 2,14	€ 1,81	€ 1,65	€ 1,49	€ 1,34

4.3.3.4 Teilasphaltierter Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V4)

Der teilasphaltierter Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in einer Halle (V4) weist im Gegensatz zu V3 jenen Unterschied auf, dass für die Hackgutlagerung nicht mehr im Freien auf einer asphaltierten Fläche, sondern in einer überdachten, dreiseitig geschlossenen Halle stattfindet.

Abbildung 147 und Tabelle 60 zeigen die Entwicklung der Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien in Abhängigkeit von der Jahresumschlagmenge und der Umschlagshäufigkeit. Für Lagerkosten unter 2,00 €/SRM ist bei einer Lagerdauer von drei Monaten eine umzuschlagende Menge von 300.000 SRM pro Jahr, bei zwei Monaten eine umzuschlagende Menge von 150.000 SRM pro Jahr und bei einer Lagerdauer von einem Monat eine umzuschlagende Menge von 100.000 SRM pro Jahr notwendig.

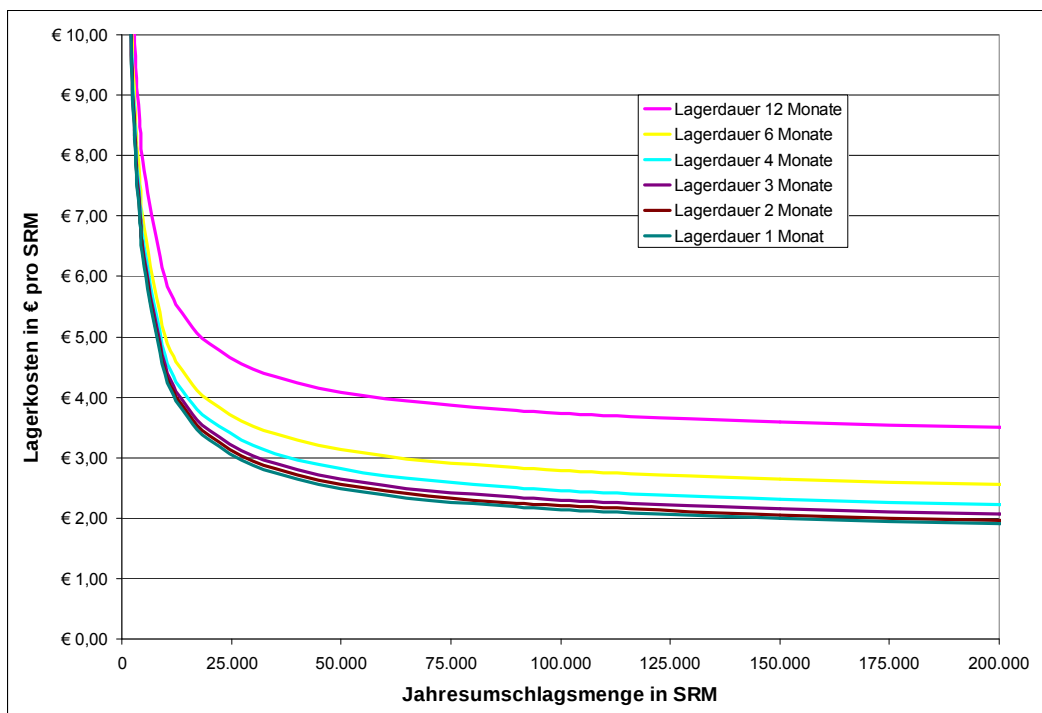


Abbildung 148: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V4)

Tabelle 61: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V4)

Umschlagsmenge in SRM pro Jahr	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
1.000	€ 18,71	€ 17,76	€ 17,44	€ 17,27	€ 17,12	€ 16,96
2.000	€ 12,26	€ 11,31	€ 10,98	€ 10,82	€ 10,66	€ 10,51
3.000	€ 9,87	€ 8,92	€ 8,59	€ 8,43	€ 8,27	€ 8,12
4.000	€ 8,58	€ 7,63	€ 7,31	€ 7,14	€ 6,99	€ 6,83
5.000	€ 7,77	€ 6,82	€ 6,49	€ 6,33	€ 6,17	€ 6,02
10.000	€ 5,97	€ 5,02	€ 4,69	€ 4,53	€ 4,37	€ 4,22
15.000	€ 5,27	€ 4,32	€ 4,00	€ 3,84	€ 3,68	€ 3,53
20.000	€ 4,89	€ 3,94	€ 3,62	€ 3,46	€ 3,30	€ 3,14
30.000	€ 4,47	€ 3,52	€ 3,20	€ 3,04	€ 2,88	€ 2,73

40.000	€ 4,24	€ 3,29	€ 2,97	€ 2,80	€ 2,65	€ 2,49
50.000	€ 4,09	€ 3,14	€ 2,81	€ 2,65	€ 2,49	€ 2,34
70.000	€ 3,90	€ 2,95	€ 2,62	€ 2,46	€ 2,30	€ 2,15
100.000	€ 3,74	€ 2,79	€ 2,46	€ 2,30	€ 2,14	€ 1,99
150.000	€ 3,59	€ 2,64	€ 2,31	€ 2,15	€ 1,99	€ 1,84
200.000	€ 3,50	€ 2,55	€ 2,22	€ 2,06	€ 1,90	€ 1,75
300.000	€ 3,39	€ 2,44	€ 2,12	€ 1,96	€ 1,80	€ 1,65
400.000	€ 3,33	€ 2,38	€ 2,05	€ 1,89	€ 1,73	€ 1,58
500.000	€ 3,28	€ 2,33	€ 2,00	€ 1,84	€ 1,68	€ 1,53

4.3.3.5 Asphaltierter Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V5)

Der asphaltierte Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in einer Halle (V5) weist im Gegensatz zu V4 jenen Unterschied auf, dass anstatt 50 % die gesamte Lagerfläche asphaltiert wurde.

Abbildung 147 und Tabelle 60 zeigen die Entwicklung der Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien in Abhängigkeit von der Jahresumschlagmenge und der Umschlagshäufigkeit. Für Lagerkosten unter 2,00 €/SRM ist bei einer Lagerdauer von zwei Monaten eine umzuschlagende Menge von 250.000 SRM pro Jahr und bei einer Lagerdauer von einem Monat eine umzuschlagende Menge von 150.000 SRM pro Jahr notwendig.

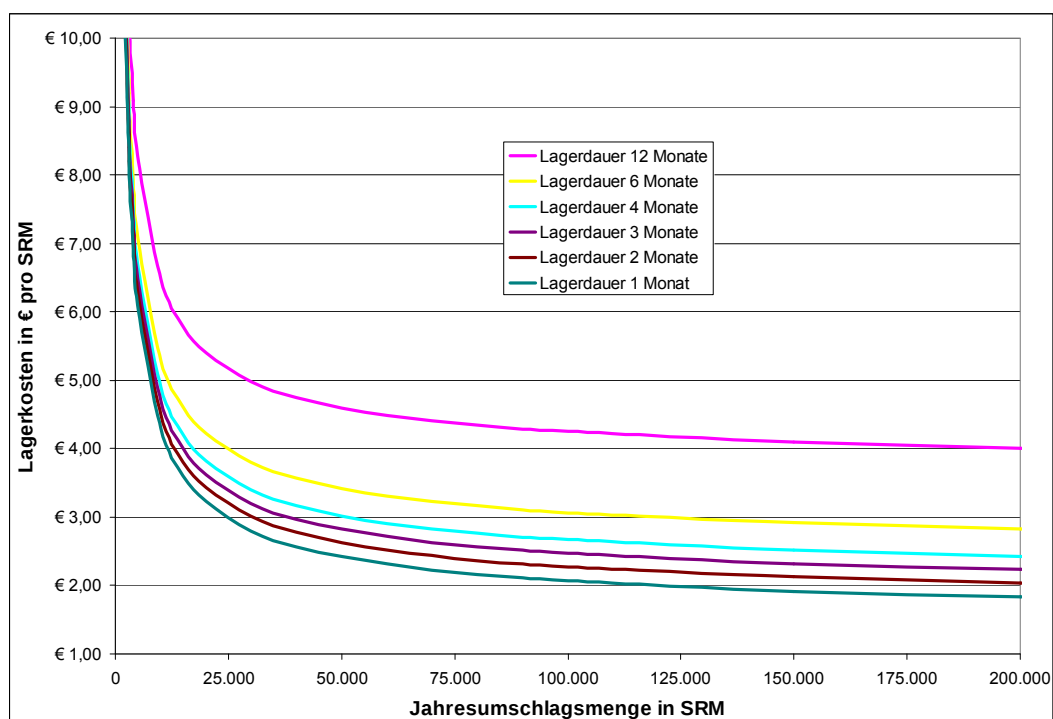


Abbildung 149: Lagerkosten für einen asphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V5)

Tabelle 62: Lagerkosten für einen asphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V5)

Umschlagmenge in SRM	Lagerdauer					
	12 Monate	6 Monate	4 Monate	3 Monate	2 Monate	1 Monat
1.000	€ 19,22	€ 18,04	€ 17,64	€ 17,44	€ 17,25	€ 17,04
2.000	€ 12,77	€ 11,59	€ 11,19	€ 10,99	€ 10,79	€ 10,59
3.000	€ 10,38	€ 9,20	€ 8,80	€ 8,60	€ 8,40	€ 8,20
4.000	€ 9,09	€ 7,91	€ 7,51	€ 7,31	€ 7,12	€ 6,91
5.000	€ 8,28	€ 7,10	€ 6,70	€ 6,50	€ 6,30	€ 6,10
10.000	€ 6,48	€ 5,30	€ 4,90	€ 4,70	€ 4,50	€ 4,30
15.000	€ 5,78	€ 4,61	€ 4,20	€ 4,01	€ 3,81	€ 3,60
20.000	€ 5,40	€ 4,23	€ 3,82	€ 3,62	€ 3,43	€ 3,22
30.000	€ 4,98	€ 3,81	€ 3,40	€ 3,21	€ 3,01	€ 2,80
40.000	€ 4,75	€ 3,57	€ 3,17	€ 2,97	€ 2,78	€ 2,57
50.000	€ 4,60	€ 3,42	€ 3,02	€ 2,82	€ 2,62	€ 2,42
70.000	€ 4,41	€ 3,23	€ 2,83	€ 2,63	€ 2,43	€ 2,23
100.000	€ 4,25	€ 3,07	€ 2,67	€ 2,47	€ 2,27	€ 2,07
150.000	€ 4,10	€ 2,92	€ 2,52	€ 2,32	€ 2,12	€ 1,92
200.000	€ 4,01	€ 2,83	€ 2,43	€ 2,23	€ 2,04	€ 1,83
300.000	€ 3,90	€ 2,73	€ 2,32	€ 2,13	€ 1,93	€ 1,72
400.000	€ 3,84	€ 2,66	€ 2,26	€ 2,06	€ 1,86	€ 1,66
500.000	€ 3,79	€ 2,61	€ 2,21	€ 2,01	€ 1,81	€ 1,61

4.3.3.6 Variantenvergleich

Der Lagerplatz in Variante 1 ist am einfachsten gestaltet. Er weist die geringsten Errichtungskosten auf und kann daher beim Umsatz geringer das Hackgut am günstigsten bereitstellen. Da aber durch die externe Verwiegung und Wartezeiten beim direkten Hacken in das Transportfahrzeug sehr hohe Stückkosten entstehen hat diese Variante bei hohen Umschlagsmengen deutlich Nachteile gegenüber den anderen Varianten. Bei niedrigen Umschlagsmengen erweist sich Variante 1 als die kostengünstigste.

Der Lagerplatz in Variante 2 ist relativ einfach gestaltet und weist geringe Grundkosten auf. Durch die externe Verwiegung entstehen jedoch relativ hohe Stückkosten, die auch durch den Umschlag größerer Mengen nicht mehr kompensiert werden können.

Der Lagerplatz in Variante 3 weist mittlere Errichtungskosten auf. Die Verwiegung mit einer Brückenwaage am Lagerplatz hält die Stückkosten niedrig und in Kombination mit den mittleren Errichtungskosten erweist sich Variante 3 als die kostengünstigste bei hohen Umschlagsmengen.

Der Lagerplatz in Variante 4 beinhaltet aufgrund der Errichtung einer Lagerhalle relativ hohe Errichtungskosten, welche nur durch den Umschlag großer Mengen gesenkt werden können.

Die Variante 5 ist in den meisten Fällen die teuerste Variante. Eine ganzflächige Asphaltierung des Platzes sollte deshalb vermieden werden und es sollten nur jene Flächen versiegelt werden, auf denen Hackgut gelagert wird und Manipulation von Rundholz stattfindet. Die Lagerung von Energierohholz kann auf geschotterter Fläche unter Berücksichtigung einer gewissen Bodenfreiheit durchgeführt werden.

Abbildung 150 zeigt die Lagerkosten für die fünf beschriebenen Varianten bei einer Lagerdauer von 12 Monaten (1 Umschlag pro Jahr). Variante 5 ist mit Abstand am teuersten. Variante 1 ist fast immer am kostengünstigsten. Nur ab einer Jahresumschlagsmenge von 450.000 SRM erweist sich Variante 3 als kostengünstiger.

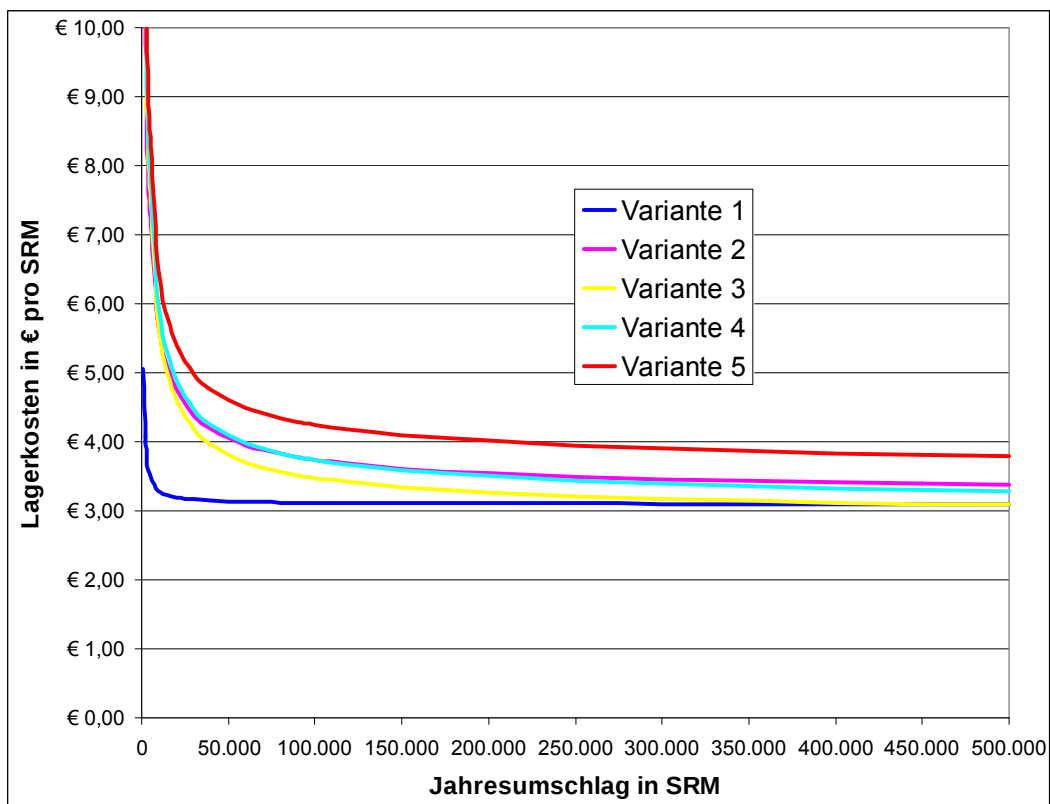


Abbildung 150: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei einem Umschlag pro Jahr

Abbildung 151 zeigt die Lagerkosten bei einer Lagerdauer von 4 Monaten (entspricht 3 Umschlägen pro Jahr). Auch hier ist Variante 5 am teuersten. Variante 1 ist bis zu einer Jahresumschlagsmenge von 110.000 SRM am kostengünstigsten. Bei größeren Mengen ist Variante 3 um bis zu 0,25 € günstiger als die zweitbeste Variante (V4).

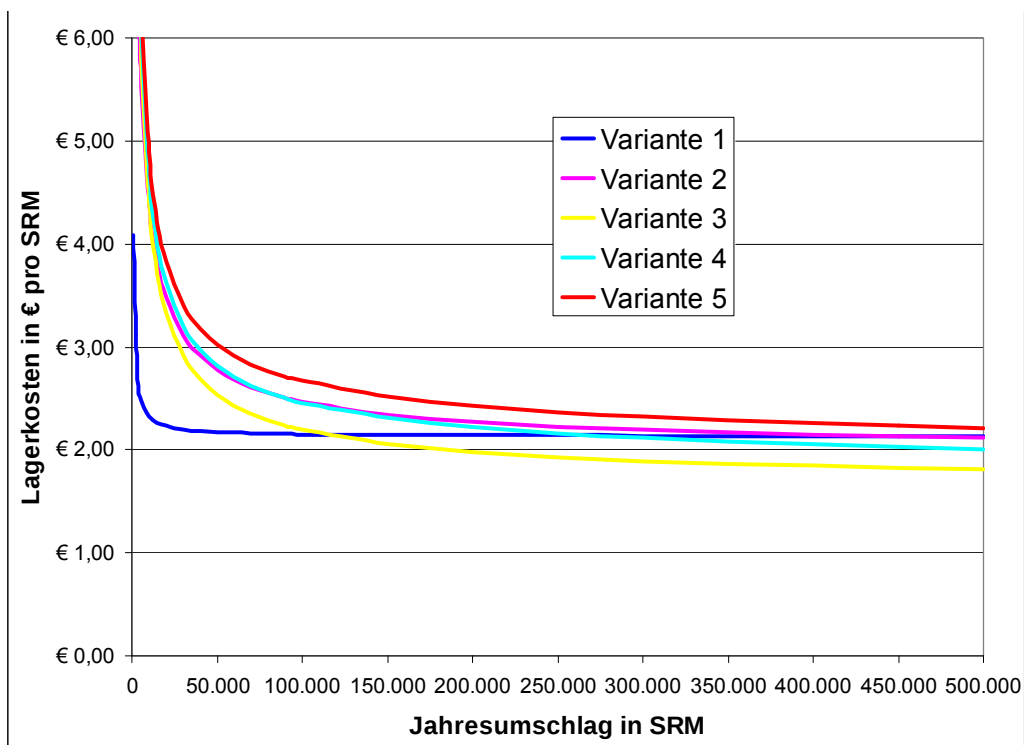


Abbildung 151: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr

Abbildung 152 zeigt die Lagerkosten bei einer Lagerdauer von nur 1 Monat (entspricht 12 Umschlägen pro Jahr). Bei geringen Jahresumschlagsmengen (bis zu 70.000 SRM) erweist sich Variante 1 am kostengünstigsten. Bei sehr hohen Jahresmengen (ab 225.000 SRM) ist sie jedoch am teuersten. Variante 3 ist ab einer Jahresumschlagsmenge von 70.000 SRM am kostengünstigsten und weist wiederum einen Kostenvorteil von bis zu 0,25 €/SRM gegenüber den anderen Varianten auf.

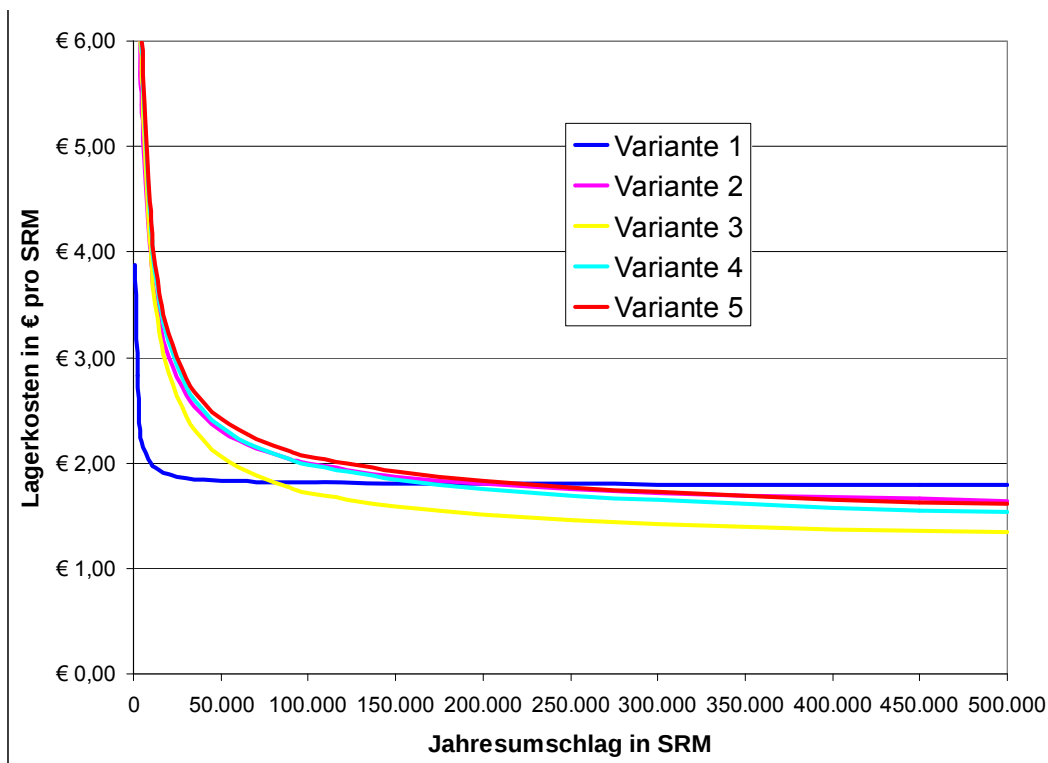


Abbildung 152: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei zwölf Umschlägen pro Jahr

Die bisher dargestellten Kostenberechnungen erfolgten unter Verwendung durchschnittlicher Kosten, Produktivitäten, Wartezeiten, usw., welche in Tabelle 63 in der mittleren Spalte abgebildet wurden. Die erhobenen Daten stellen allerdings keine fixen Werte dar, sondern unterliegen einer gewissen Schwankungsbreite. Für jeden Faktor wurde sowohl die günstigste als auch die teuerste Variante angegeben, um daraus Lagerkosten unter sehr günstigen als auch sehr ungünstigen Bedingungen zu berechnen.

Tabelle 63: Veränderte Eingangsgrößen zur Berechnung der Lagerkosten

Position	günstig	mittel	ungünstig
Pachtkosten pro m ² und Jahr	0,30 €	0,45 €	1,00 €
Errichtungskosten für Platzbefestigung mit Schotter pro m ²	19,00 €	25,00 €	29,00 €
Errichtungskosten für Platzbefestigung mit Asphaltierung und Entwässerung pro m ²	53,00 €	58,00 €	61,00 €
Errichtungskosten Lagerhalle pro m ²	110,00 €	155,00 €	215,00 €
Anschaffungskosten Brückenwaage	15.000,00 €	25.000,00 €	40.000,00 €
Anschaffungskosten Feuchtemesser	2.000,00 €	6.000,00 €	10.500,00 €
Anschaffungskosten Bürocontainer	10.000,00 €	13.000,00 €	17.000,00 €
Zeitaufwand für die Qualitätsbestimmung pro Transporteinheit	3 Minuten	6 Minuten	12 Minuten
Zeitaufwand für die Administration pro 1.000 SRM	1,5 Stunden	3 Stunden	5 Stunden
Zeitaufwand für die LKW-Beladung ohne Radlader	45 Minuten	60 Minuten	75 Minuten
Trockensubstanzabbau Rundholzlagerung im Freien pro Monat	0,06 %	0,11 %	0,16 %
Trockensubstanzabbau Schlagabraumlagerung im Freien pro Monat	1,85 %	1,85 %	1,85 %
Trockensubstanzabbau Schlagabraumlagerung unter Dach pro Monat	1,40 %	1,40 %	1,40 %
Trockensubstanzabbau Hackgutlagerung im Freien pro Monat	1,30 %	2,37 %	4,00 %
Trockensubstanzabbau Hackgutlagerung in einer Halle pro Monat	0,50 %	1,23 %	2,80 %
Kommunalgebühren pro Jahr	500,00 €	1.000,00 €	5.000,00 €

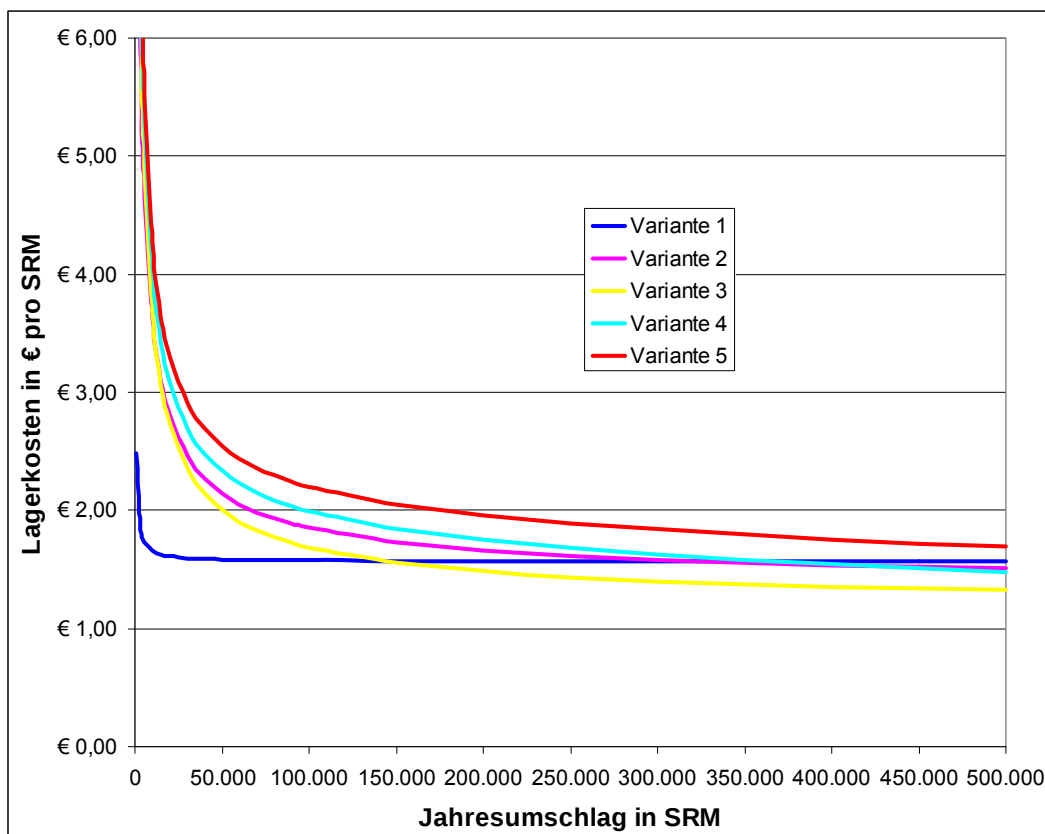


Abbildung 153: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr unter günstigen Verhältnissen

Abbildung 153 zeigt die Lagerkosten in Abhängigkeit von der Jahresumschlagsmenge unter sehr günstigen Verhältnissen bei drei Umschlägen pro Jahr. Auch in diesem Vergleich erweisen sich die Varianten 1 und 3 am kostengünstigsten. Ab einer Umschlagsmenge von circa 130.000 SRM pro Jahr wird Variante 3 günstiger. Insgesamt sind die Lagerkosten aufgrund der optimalen Bedingungen um fast 0,50 € günstiger als unter mittleren Bedingungen. Sie betragen ab einer Menge von 30.000 SRM bereits weniger als 1,60 €/SRM.

Werden in der Berechnung für alle Faktoren die kostenintensivsten Grenzwerte herangezogen, so erhält man einen Vergleich der Lagerkosten für ungünstige Verhältnisse (Abbildung 154). Auch hier sind Variante 1 und 3 am kostengünstigsten, wobei Variante 3 bereits ab einer Umschlagesmenge von 40.000 SRM klare Vorteile aufweist. Insgesamt liegen die Lagerkosten meist zwischen 2,20 und 4,00 € und damit um durchschnittlich 0,30 € über der mittleren und 0,80 € über der günstigsten Berechnung.

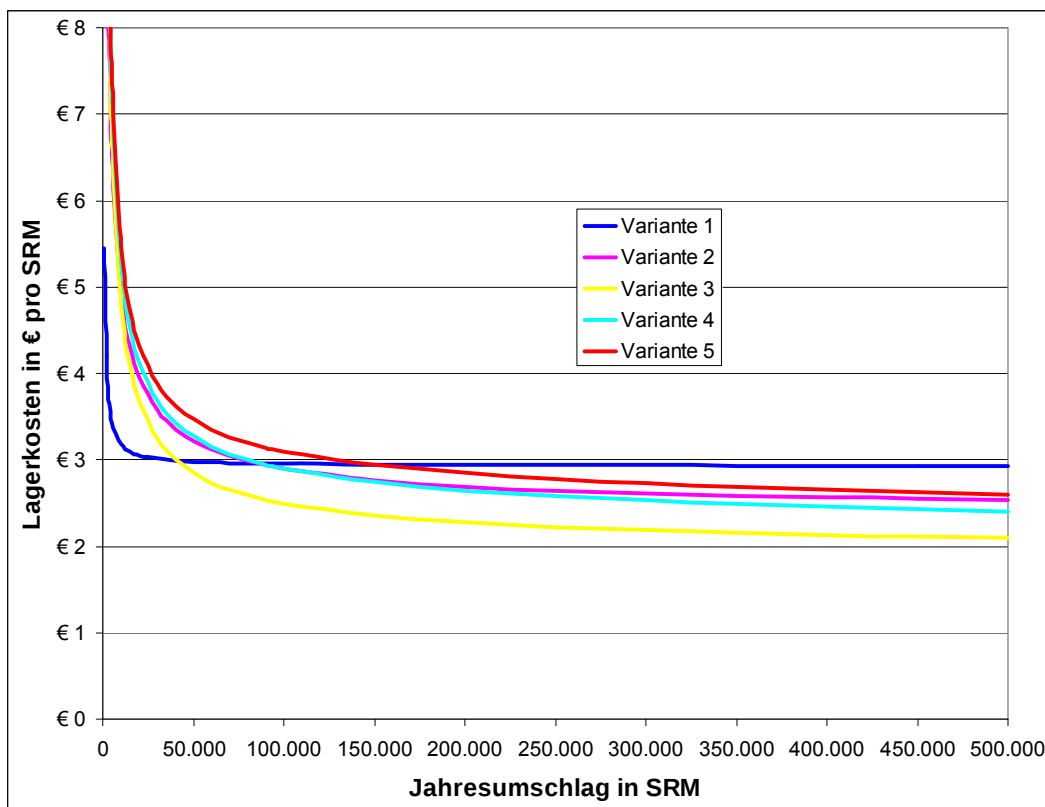


Abbildung 154: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr unter ungünstigen Verhältnissen

4.3.4 Nebenbedingungen

Aufgrund der dargestellten Berechnungen sind für Übernahme, Lagerung und Übergabe von Energieholz an einem Zwischenlagerplatz durchschnittliche Kosten in der Höhe von 1,50 bis 3,00 €/SRM zu erwarten. Im Vergleich zu einem direkten Transport vom Wald zum Heizwerk erscheint eine Zwischenlagerung des Energieholzes als schlechtere Option. Neben den bisher berücksichtigten Errichtungs- und Betriebskosten sind jedoch noch andere Kriterien für eine Zwischenlagerung zu berücksichtigen, welche bisher nicht monetär bewertet wurden.

Beim gebrochenen Transport sind bei der Anfahrt eines Zwischenlagerplatzes längere Transportwege und somit höhere Kosten zu erwarten. Diese sind je nach standörtlichen Gegebenheiten unterschiedlich hoch. Das Anlegen eines Sicherheitsbestandes wirkt sich besonders günstig in Regionen mit schneereichen Wintern aus. Je länger die Wintersperre andauert, desto größer sind die ökonomischen Vorteile.

Aufgrund der gelagerten Holzmenge, der Möglichkeit einer kontinuierlichen Beschickung der eingesetzten Maschinen und einer vorausschauenden Planung ergeben sich höhere Produktivitäten und somit entsprechende Kostenvorteile. Beim Hacken von Schlagabraum ergeben sich Vorteile von bis zu einem Euro pro SRM. Beim Transport von angetrocknetem gegenüber waldfrischem Holz ergeben sich Vorteile bis zu 0,50 € bei einer Fahrzeit von einer Stunde. Bei der Lagerung des Holzes auf landwirtschaftlich gewidmeten Flächen ergeben sich Vorteile von fast einem Euro gegenüber der Lagerung auf Gewerbegebieten.

Treffen mehrere dieser Faktoren zu kann die Zwischenlagerung von Energieholz teilweise günstiger sein als der direkte Transport vom Wald zum Heizwerk. Um eine genauere Vorhersage treffen zu können, ist jedoch die genaue Kenntnis der jeweiligen Standorte und des Marktes notwendig.

Aufgrund der schlechten Vorhersagbarkeit wurden die folgenden Nebenbedingungen nicht in die Kalkulation der Lagerkosten miteinbezogen.

4.3.4.1 Transport

Durch die Anfahrt eines Zwischenlagers erhöhen sich im Vergleich zum direkten Transport die Transportdistanz und dementsprechend auch die Transportkosten. Die Zeiten für das Be- und Entladen des Transportfahrzeuges wurde bereits bei der Berechnung der Lagerkosten berücksichtigt. Ein Abgleich der Transportkosten zwischen direktem und indirektem Transport wird im Rahmen der Optimierung durchgeführt. Je nach Standort des Lagerplatzes und Anbindung an höherrangige Verkehrsinfrastruktur können die Unterschiede zwischen direktem und indirektem Transport unterschiedliche stark variieren. Eine generalisierte Aussage ist somit nicht möglich, sondern nur für ein konkretes Projekt realistisch.

4.3.4.2 Sicherheitsbestand

Durch das Vorhandensein eines Sicherheitsbestandes fungiert der Lagerplatz als Puffer für diverse Schwankungen. Innerhalb eines Jahresverlaufs können Veränderungen im Angebot des Energieholzes auftreten. Im Winter kann durch ungünstige Witterungsbedingungen die Ernte bzw. der Transport des Holzes aus dem Wald erschwert oder verhindert werden. Durch das Anlegen eines Sicherheitsbestandes können diese Zeiten über Wochen bzw. Monate abgepuffert werden und somit die gleichmäßige Versorgung der Heizwerke gewährleistet werden.

Jahreszeitliche Schwankungen können auch bei den Einkaufspreisen bzw. den Kapazitäten von Arbeitskräften und Maschinen auftreten. Die auftretenden jahreszeitlichen Schwankungen der Einkaufspreise sind in Summe sehr gering und betragen im Vergleich des Quartalpreises zum Jahrespreis durchschnittlich weniger als 1 %. Laut Energieholzindex ist lediglich im 4. Quartal, jenem der höchsten Nachfrage, der Preis etwas höher und dafür im 2. Quartal etwas niedriger (Priplata, 2007). Durch die Möglichkeit der Lagerung von Energieholz können diese Schwankungen besser abgepuffert sowie auch auf sonstige günstige Einkaufskonditionen reagiert werden. Der Energieholzindex für Österreich ist im Anhang in Tabelle 94 einsehbar.

Weiters kann man im Jahresverlauf unterschiedlich produktive Phasen der Holzernte feststellen. Besonders im Winterhalbjahr werden die Kapazitäten an Maschinen und Arbeitskräften stark ausgenutzt. Deshalb kann an einem Lagerplatz das Hacken des Energieholzes konzentriert auf jene Zeiten verlagert werden, an denen mehr Kapazitäten frei sind bzw. eine Arbeit im Wald nicht möglich ist. Dadurch können gegebenenfalls bessere Konditionen für die Verarbeitung des Energieholzes ausgehandelt werden.

4.3.4.3 Forstschutz

Bei der Lagerung heimischer Nadelbaumarten im Wald sind sowohl Ganzbäume als auch Rundholz ein attraktives Material für Forstschädlinge. Wintergeschlägertes Holz ist deshalb bis spätestens Mitte Mai und sommergeschlägertes Holz unmittelbar nach Fällung und Aufarbeitung aus dem Wald zu entfernen. Da der Platz an den Heizwerken meist limitiert sind, können Lagerplätze als Zwischenlager eingesetzt werden und somit eine ganzjährige, kontinuierliche Ernte gewährleisten. Durch die Zwischenschaltung eines Zwischenlagers wird die logistische Abstimmung zwischen Waldbewirtschafter und Heizwerkbetreiber erleichtert.

4.3.4.4 Produktivitätssteigerung

Die Produktivitäten bei der Erzeugung von Energieholz variieren sehr stark in Abhängigkeit des Produktionsorts. Vor allem beim Prozess des Hackens werden die Unterschiede klar ersichtlich. Am Waldort ist der Platz für das Hacken meist auf Forststrassen bzw. kleinere Lagerplätze be-

schränkt. Da der Hacker meist direkt in das Transportfahrzeug hackt, entstehen einerseits ablaufbedingte Wartezeiten durch das Wechseln der Transporteinheiten sowie das Umstellen des Hackers zu den jeweiligen Haufen oder Poltern. Außerdem entstehen zusätzliche Wartezeiten, die durch eine mangelnde Abstimmung zwischen Hacker und Transportfahrzeug entstehen. Am Lagerplatz hingegen ist einerseits mehr Platz zum Wechseln der Transporteinheiten aber auch die Möglichkeit des Hackens ohne Abstimmung mit den Transportfahrzeugen und Lagerung am Platz. Dadurch können an einem Lagerplatz bessere Produktivitäten erzielt und damit die Hackkosten gesenkt werden.

Abbildung 155 dokumentiert die Produktivitäten von Hackern unterschieden nach Ausgangsmaterial. Beim Hacken von Bündeln und Rundholz werden die besten Produktivitäten erzielt, bei Schlagabraum die niedrigsten. PMH₁₅ dokumentiert die Leistungen ohne das Verstellen des Hackers sowie ohne Wartezeiten. PMH₁₅ entspricht somit den Produktivitäten eines Hackers an einem Lagerplatz und PMH₁₅ am Waldort. Je nach Ausgangsmaterial sind Leistungssteigerungen von 6 bis 43 % zu erwarten.

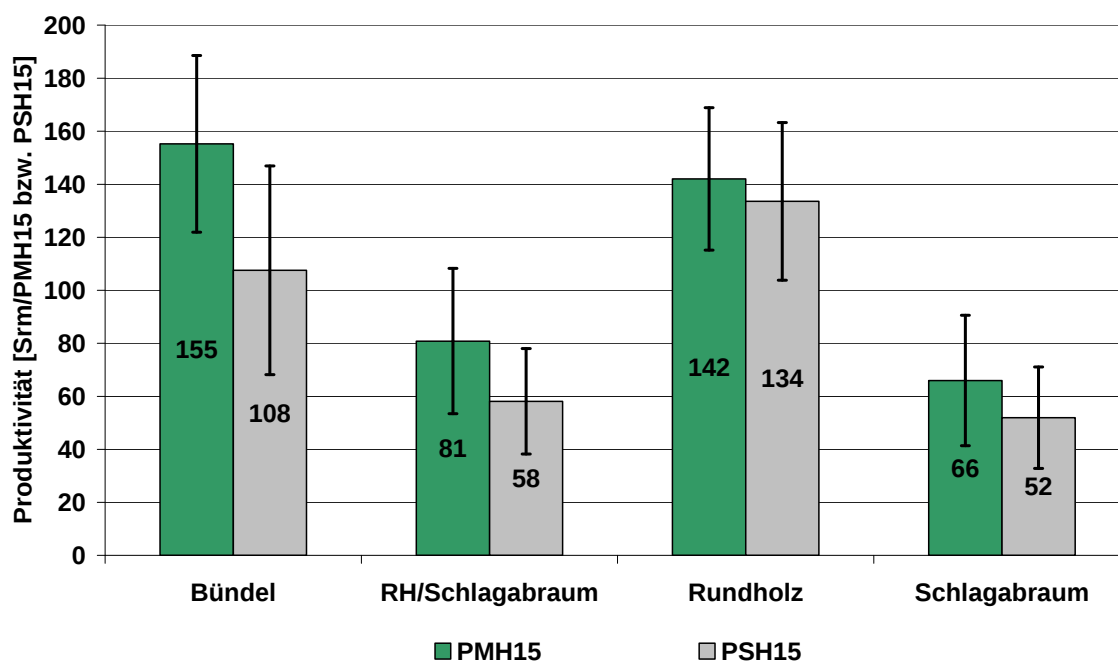


Abbildung 155: Produktivitäten von Hackern

Unter den angegebenen Produktivitäten lassen sich bei einem durchschnittlichen Stundensatz für einen Hacker von 250 €/h und je nach Ausgangsmaterial, die in Tabelle 64 errechneten Kostenunterschiede zwischen Hacken am Lagerplatz und Hacken am Waldort abbilden. Die Kostenersparnis durch das Hacken am Lagerplatz beträgt für Rundholz 0,11 €/SRM und für Schlagabraum 1,02 €/SRM.

Tabelle 64: Produktivitäts- und Kostenvergleich von Hacken am Waldort und Hacken am Lagerplatz

Ort	Anteil Schlagabraum	Anteil Rundholz	Produktion Schlagabraum in SRM/h	Produktion Rundholz in SRM/h	Gesamtproduktion in SRM/h	Kosten in €/SRM	Kostenvorteil in €/SRM
Waldort	0%	100%	0,00	134,00	134,00	€ 1,87	
Lagerplatz	0%	100%	0,00	142,00	142,00	€ 1,76	€ 0,11
Waldort	25%	75%	13,00	100,50	113,50	€ 2,20	
Lagerplatz	25%	75%	16,50	106,50	123,00	€ 2,03	€ 0,17

Ort	Anteil Schlagabraum	Anteil Rundholz	Produktion Schlagabraum in SRM/h	Produktion Rundholz in SRM/h	Gesamtproduktion in SRM/h	Kosten in €/SRM	Kostenvorteil in €/SRM
Waldort	50%	50%	26,00	67,00	93,00	€ 2,69	
Lagerplatz	50%	50%	33,00	71,00	104,00	€ 2,40	€ 0,28
Waldort	75%	25%	39,00	33,50	72,50	€ 3,45	
Lagerplatz	75%	25%	49,50	35,50	85,00	€ 2,94	€ 0,51
Waldort	100%	0%	52,00	0,00	52,00	€ 4,81	
Lagerplatz	100%	0%	66,00	0,00	66,00	€ 3,79	€ 1,02

Am Lagerplatz findet außerdem eine Trocknung des Energieholzes statt. Dadurch sinkt die Schüttdichte und das Volumen der Transportfahrzeuge kann damit unter Einhaltung des maximal zulässigen Transportgewichtes von 44 to besser ausgenutzt werden, was bei höheren Wassergehalten des Holzes nicht möglich. Tabelle 65 zeigt die Veränderung der Schüttdichte sowie des Transportvolumens bei einer Nutzlast von 20 to. Die maximale Transportkapazität kann nur bei leichten Baumarten, wie zum Beispiel bei Fichte (bis zu einem Wassergehalt von 30 %) zur Gänze ausgenutzt werden.

Tabelle 65: Schüttdichte und Volumen bei 20 to für ausgewählte Baumarten in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Wassergehalt in %	Fichte		Kiefer		Buche		Eiche	
	Schüttdichte in kg/SRM	Volumen bei 20 to	Schüttdichte in kg/SRM	Volumen bei 20 to	Schüttdichte in kg/SRM	Volumen bei 20 to	Schüttdichte in kg/SRM	Volumen bei 20 to
0	172	116	204	98	268	75	272	74
17,5	189	106	223	90	280	71	294	68
20	193	104	227	88	283	71	298	67
22,5	196	102	231	87	287	70	303	66
25	202	99	238	84	296	68	312	64
27,5	209	96	246	81	306	65	323	62
30	217	92	255	78	317	63	335	60
32,5	225	89	264	76	328	61	347	58
35	233	86	275	73	341	59	360	56
37,5	243	82	286	70	355	56	375	53
40	253	79	298	67	369	54	390	51
45	276	72	325	62	403	50	426	47
50	300	67	353	57	440	45	463	43
55	327	61	386	52	483	41	506	39

Ein Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau hat ein Transportvolumen von 90 m³ und eine Nutzlast von 20 to. Als Systemkosten wurde ein Wert von 67,00 €/h erhoben. Waldfrisches Holz hat einen durchschnittlichen Wassergehalt von 50 bis 60 %. Wird das Energieholz am Lagerplatz auf 35 % getrocknet, so ergeben sich die in Abbildung 156 dargestellten Kostenvorteile. Der Transport von Hackgut mit 35 % Wassergehalt ergibt gegenüber dem Transport von waldfrischem Hackgut bei einer Stunde Fahrzeit je nach Holzart einen Kostenvorteil von 0,32 bis 0,49 €/SRM. Der Mittelwert der vier abgebildeten Holzarten ergibt eine Kostensenkung von 1,43 auf 1,01 €/SRM.

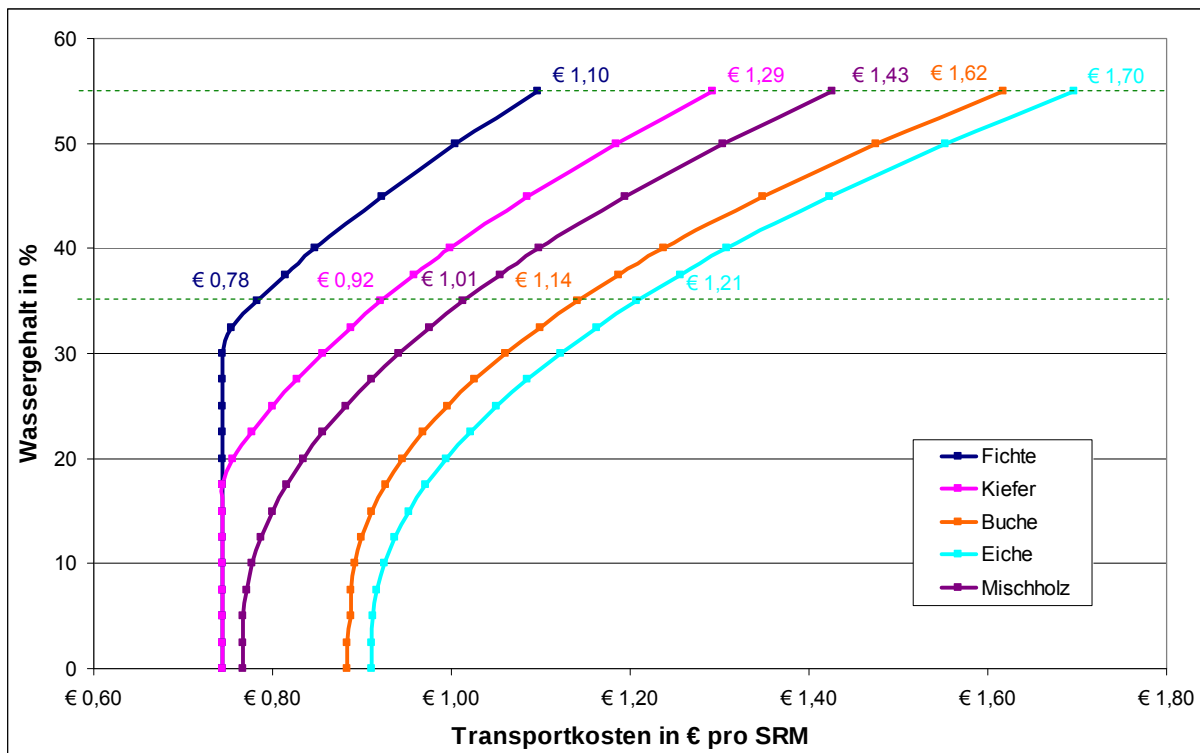


Abbildung 156: Veränderung der Kosten beim Transport von Waldhackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt

4.3.4.5 Lagerkosten Heizwerk

Zur Minimierung von Leitungsverlusten befinden sich Heizwerke meist in Gewerbegebieten in unmittelbarer Nähe von Siedlungsgebieten. Der Platz zur Lagerung von Energieholz ist meist beschränkt, da entweder die räumliche Ausstattung oder die Kosten für Grundstücksmiete bzw. -kauf sehr hoch sind. Die Kosten für die Pacht von Gewerbegebieten ist circa 30-mal so hoch als für landwirtschaftliche Gebiete, welche als Widmungskategorie für einen Zwischenlagerplatz vorgesehen ist. Wie in Kapitel 0 erwähnt wurde, beträgt der Platzbedarf bei einem Sicherheitsbestand von einem Monat $0,013 \text{ m}^2$ pro SRM. Bei jährlichen Pachtkosten von 4.000 € pro Hektar betragen die Kosten $0,0256 \text{ €/SRM}$. Am Heizwerk steigen die Kosten bei einem Sicherheitsbestand von einem Monat hingegen auf $0,768 \text{ €/SRM}$. Der Kostenvorteil für einen Zwischenlagerplatz beträgt somit $0,74 \text{ €}$.

4.4 Fallstudien zur Bereitstellung von Energieholz

4.4.1 Waldhackguterzeugung aus Schlagabraum im Laubholz

Schlagabraum SORT – Hacken auf der Forststraße

Waldhackgut aus Schlagabraum kann sowohl im Sortiments- als auch im Baumverfahren erzeugt werden. Beim Sortimentsverfahren entsteht jedoch ein zusätzlicher Aufwand für die Rückung des Hackmaterials zur Forststraße. Aus Forstschutzüberlegungen ist es sinnvoll, wenn möglichst wenig bruttfähiges Material im Wald verbleibt. Nachteilig ist jedoch die Entnahme von Nährstoffen, weshalb dieses Verfahren nicht auf allen Standorten (z.B. seichtgründige und nährstoffarme Böden) angewandt werden kann. Dieses Verfahren ist auf befahrbares Gelände beschränkt.

Verfahrensbeschreibung

Nach Fällung und Aufarbeitung (mit Motorsäge bzw. mittels Harvester) wird das Sägerund- und Industrieholz sowie in einem eigenen Arbeitsgang auch der verbleibende Schlagabraum (Äste, Wipfel, Kappholz sowie Holzstücke schlechter Qualität) mittels Forwarder zur Forststraße transportiert und dort getrennt voneinander gelagert. Die Zwischenlagerung des Schlagabraums an der Forststraße erfolgt über mehrere Monate. Das Hacken wird auf der Forststraße direkt in einen Abrollcontainer-LKW durchgeführt, der das Material direkt zum Heizwerk transportiert.

Bestandesbeschreibung

Das Verfahren wurde im Laubwald auf einer Durchforstungsfläche und zwei Kahlschlagflächen untersucht. Das Hackholz lagerte zwischen 6 und 12 Monaten neben der Forststraße. Insgesamt wurden 439 SRM bzw. 102,1 atro to Waldhackgut erzeugt.

Die Lagerung des Hackholzes erfolgte bei allen Flächen über den Sommer, wobei die erste Fläche bereits im Herbst genutzt wurde. Unterstellt man einen Wassergehalt zum Zeitpunkt der Schlägerung von 40 bis 50% (Golser et al., 2005), so konnte dieser über den Sommer auf 19 bis 24 % reduziert werden.

Arbeitszeitverteilung und Produktivitäten

Zum Rücken des Schlagabraums wurde der Forwarder Valmet 820 eingesetzt. Aus den Aufzeichnungen des Betriebes sind die verrechnete Einsatzzeit und eine geschätzte mittlere Rückedistanz je Fläche bekannt. Die sich aus den Aufzeichnungen ergebenden Produktivität beträgt circa 11 SRM/h. Bezogen auf den Energieinhalt ergibt sich im Mittel eine Produktivität von 12 MWh/h.

Für das Hacken der drei Haufen war inklusive Überstellung zwischen den Einsatzorten eine Zeit von 8,7 h notwendig. Die Überstelltdistanz beträgt 7,1 km, was bei einer Zeit von 29 min eine mittlere Geschwindigkeit von 14,6 km/h ergibt. Betrachtet man die prozentuelle Verteilung der Arbeitsschritte für alle drei Flächen, so zeigt sich, dass der Hacker nur zu 52 % arbeitete. Rund ein Drittel der Zeit musste der Hacker auf die Containerbereitstellung durch den LKW warten. Bezogen auf die produktive Systemstunde beträgt die Produktivität des Hackers 69 SRM/PSH₀. Die Produktivität bei Berücksichtigung von Unterbrechungen bis 15 min liegt bei 60 SRM/PSH₁₅. Bezogen auf die atro to beträgt die Produktivität 16 atro to/PSH₀ bzw. 13,1 atro to/PSH₁₅.

Für den Transport waren insgesamt drei LKW im Einsatz. Die Arbeitsschritte Last- und Leerfahrt nehmen 78 % der produktiven Arbeitszeit ein. Das ablaufbedingte Warten beläuft sich auf 15 %. In diesem Fall wurden nur 3 % der Zeit für die Manipulation der Abrollcontainer aufgewendet.

Aus den Aufzeichnungen wurden die Einsatzzeiten der LKW ermittelt. Die Einsatzzeit beinhaltet die Last- und Leerfahrt für jeden Ort vom Heizwerk aus. Die Distanz vom Wald zum Heizwerk fällt mit 7,4 bis 8,3 km sehr niedrig aus. Die Produktivität beträgt 17,2 SRM/h bzw. 4,0 atro to/h.

Kosten

Für die Kostenkalkulation werden die von den Unternehmern verrechneten Stundensätze verwendet. Beim Rücken mit dem Forwarder fallen 51,0 €/h, für den Hacker 240 €/h und für den LKW mit Abrollcontainer 46,0 €/h an. Es ergeben sich daraus Kosten für das Rücken von im Mittel 4,6 €/SRM. Die Hackkosten fallen aufgrund der aufgetretenen Wartezeiten mit 4,5 €/SRM hoch aus. Mit den Transportkosten von 2,9 €/SRM ergeben sich in Summe Bereitstellungskosten von 12,0 €/SRM. Die Transportkosten beinhalten die geschätzten anteiligen An- und Abfahrtskosten für den Einsatz (Tabelle 66).

Tabelle 66: Kosten für die Bereitstellung von Waldhackgut aus Schlagabraum im Laubholz

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

Die Bereitstellungskosten reihen sich in jene der bisher in Österreich dokumentierten Studien im mittleren Bereich ein. Bei der von Rohrmoser & Stampfer (2003) durchgeführten Fallstudie in Klosterneuburg wurde ein Weidenvorwald im Baumverfahren flächig geerntet. Vergleichbare Fallstudien über die Bereitstellung von Schlagabraum im Laubholz liegen jedoch nicht vor.

4.4.2 Waldhackguterzeugung aus Schlagabraum im Nadelholz

Schlagabraum BAUM – Hacken auf der Forststraße

Die Erzeugung von Waldhackgut aus Schlagabraum im Baumverfahren hat den Vorteil, dass die Fäll- und Rückekosten zu den Kosten der konventionellen Holzproduktion zugeordnet werden können. Jedoch sollte auch dieses Verfahren auf ökologisch sensiblen Standorten vermieden werden.

Verfahrensbeschreibung

Der nach Seil- oder Schlepperrückung im Baumverfahren mit anschließender Aufarbeitung durch einen Prozessor an der Forststraße verbleibende Schlagabraum (Äste, Wipfel und Kappholz) wird durch einen Rundholz-LKW abtransportiert und an geeigneter Stelle zu einem großen Haufen konzentriert. Das Hackgut wird dort durch den Hacker direkt auf einen bereitstehenden Schüttgut-LKW geladen. Durch die Vorkonzentration wird bei den räumlich beengten Verhältnissen an der Forststraße die Zufahrt der Schüttgut-LKW erleichtert und Überstellvorgänge des Hackers können entfallen, womit sich kostenmäßige Vorteile ergeben (Kanzian et al., 2006a).

Bestandesbeschreibung

Alle untersuchten Flächen befanden sich im Nadelholz. Insgesamt wurden 947 SRM Waldhackgut produziert. Das dem Hacker zugeführte Material wurde zu 82 % als Äste und Wipfel und zu rund einem Fünftel als Bruchstücke, Kappholz und sonstiges starkes Material angesprochen.

Arbeitszeitverteilung und Produktivitäten

Für den Vortransport des Schlagabraumes wurden auf einer Teilfläche 20 LKW-Stunden verrechnet. Bei einem Stundensatz von 65,0 €/h für einen Rundholz-LKW und umgelegt auf die angefallene Menge an Hackgut entspricht dies 2,5 €/SRM. Aufzeichnungen über das Rücken des Schlagabraums mittels Forwarder an die Forststraße transportiert liegen jedoch nicht vor.

Der Anteil vom Hacken an der produktiven Arbeitszeit fällt bei den untersuchten Einsätzen mit einem Starchl U 1250 beim Hacken von Nadel-Schlagabraum mit 68 % relativ niedrig aus. Der Anteil des ablaufbedingten Wartens ist mit 9 % niedrig. Der Anteil der Fortbewegung ist mit 15 % aufgrund Hackens entlang der Forststraße hoch. Die Produktivitäten bei den dokumentierten Einsätzen liegen bei 60 SRM/PSH₀ bzw. 55 SRM/PSH₁₅.

Kosten

Für die Kostenkalkulation werden die von den Unternehmern verrechneten Stundensätze verwendet. Die Kosten für die Vorkonzentration des Nadel-Schlagabraumes werden mit 2,5 €/SRM beziffert. Für den Hacker werden 240,0 €/h angesetzt. Die Eingangsgrößen für die Kostenberechnung des Transportes betragen 60 €/h bei einem maximalen Transportvolumen von 87 m³. Die Ladezeit beträgt 1,3, die Entladezeit 0,3 h. Bei einer Transportdistanz von 30 km betragen die Bereitstellungskosten 6,20 €/SRM, wobei 2,70 € auf den Transport mit Schüttgut-LKW entfallen.

4.4.3 Unterbrochene oder geschlossenen Arbeitskette

Eine Lösungsmöglichkeit für die Reduktion ablaufbedingter Wartezeiten ist das Trennen der Prozesse Hacken und Transportieren (unterbrochene Arbeitskette). Dadurch werden die Prozesse unabhängig voneinander und die Anforderungen an den Platzbedarf geringer, allerdings entstehen zusätzliche Kosten durch den Ladeprozess (Kanzian et al. 2006a).

Tabelle 67 stellt die technischen Daten zweier Schüttgut-LKW Systeme einander gegenüber. Das im Vergleich zum konventionellen Schüttgut-LKW höhere Eigengewicht des Schüttgut-LKW mit Ladekran und Schalengreifer ergibt sich nicht nur aufgrund der Ausstattung mit dem Kran sondern auch wegen des höheren Gewichtes des Allrad-Antriebes des Motorwagens.

Tabelle 67: Systemvergleich Schüttgut-LKW (Kanzian et al., 2006a)

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

Für die Vergleichskalkulation werden die von den Unternehmen verrechneten Stundensätze (exkl. MWSt.) verwendet. Die Kosten für die Vorkonzentration des Nadel-Schlagabraumes werden mit 2,5 €/SRM beziffert. Für den Hacker werden 240,0 €/h angesetzt. Der Schüttgut-LKW ohne Ladekran ist mit 60 €/h etwas kostengünstiger als jener mit Ladekran und Schalengreifer (65 €/h) (Tabelle 68).

Die Bereitstellungskosten für Schlagabraum – Nadelholz werden modellhaft für die zwei Schüttgut-Lkw Varianten und Transportdistanzen von 10, 30, 60 und 100 km berechnet. Die Fahrzeiten werden mit dem Modell von Friedl et al. (2004) geschätzt. Die Ladezeit beim Schüttgut-LKW ohne Ladekran entspricht der Produktivität des Hackers (60 SRM/PSH₁₅). Ablaufbedingte Wartezeiten im Ausmaß von 9 % werden berücksichtigt. Die Anzahl der eingesetzten LKW wird für den Schüttgut-LKW in Abhängigkeit von der benötigten Umlaufzeit berechnet. Die Entladezeit wird mit 20 Minuten als konstant angenommen. Anfahrtkosten für den Hacker und die LKW werden nicht berücksichtigt.

Tabelle 68: Eingangsgrößen zur Kostenkalkulation

Schüttgut-Lkw ohne Ladekran		
Vortransport	€/Srm	2,5
Lichtes Raummaß	m³	87,0
Stundensatz	€/h	60,0
Ladezeit	h	1,3
Entladezeit	h	0,3
Schüttgut-Lkw mit Ladekran und Schalengreifer		
Lichtes Raummaß	m³	81,0
Stundensatz	€/h	65,0
Ladezeit	h	1,6
Entladezeit	h	0,3

Abbildung 157 zeigt, dass die berechneten Bereitstellungskosten für Hackgut aus Nadelholz bei Verwendung eines Schüttgut-LKW mit Ladekran und Schalengreifer geringer sind (24-32%) als für Schüttgut-LKW mit Direktbeladung durch den Hacker. Hauptverantwortlich für diesen Kostenunterschied sind die Prozesse Vortransport und Hacken.

Hacken mit Direktbeladung des Schüttgut-Lkw erfordert ein Nebeneinanderstehen der beiden Maschinen, weshalb eine Vorkonzentration des Materials an geeigneten Lagerplätzen notwendig ist. Die zusätzlichen Vortransportkosten können nur teilweise durch höhere Hackerproduktivitäten ausgeglichen werden. Gleichzeitig entstehen beim System mit Direktbeladung durch den Hacker ablaufbedingte Wartezeiten, was das Hacken wieder teurer macht. Die gegenüber einem Schüttgut-LKW ohne Ladekran geringere Nutzlast bedingt eine geringere Transportproduktivität des Schüttgut-Lkw mit Ladekran, was in etwas höheren Kosten resultiert.

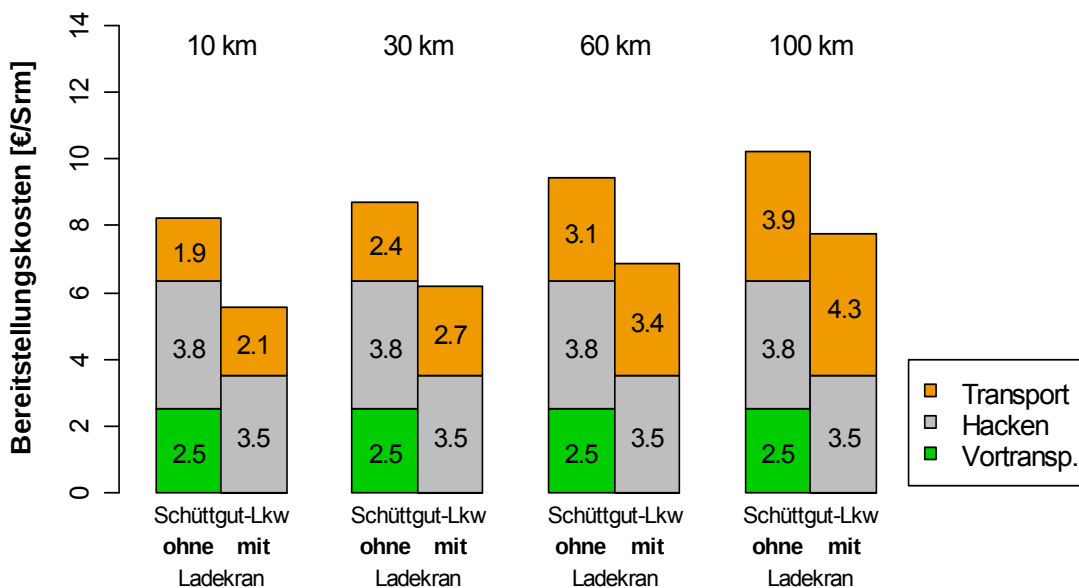


Abbildung 157: Kosten für verschiedene Nadelholz-Schlagabraum Bereitstellungssysteme

4.4.4 Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung im Laubwald

Schlagabraum/Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße

Um größere Mengen an Material zur energetischen Nutzung bereitstellen zu können, werden neben Schlagabraum zusätzliche Mengen an Energieholz durch Nutzung von minderwertigen Sortimenten und „sonstigen Holzarten“ gefördert. Durch diese Strategie können unter anderem eine bessere Auslastung des Hackers sowie insgesamt höhere Produktivitäten und niedrigere Kosten bei der Waldhackgutbereitstellung erreicht werden.

Verfahrensbeschreibung

In diesem Verfahrensbeispiel werden zwei Forstarbeiter eingesetzt. Einer fällt, entastet und formt gegebenenfalls Sortimente aus, während der andere gleichzeitig mittels Traktor mit Frontlader und Rückezange das anfallende Holz (klassifiziert als Sägerund-, Industrie- und Energieholz) an die Forststraße rückt und dort poltert. Das Energieholz wird mehrere Monate gelagert, um dann durch einen auf einem LKW aufgebauten Großhacker zerkleinert zu werden. Bereitstehende Schüttgut-LKW-Züge werden dabei direkt beladen und transportieren das Hackgut in das Abnehmerwerk, wo durch Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung die Menge ermittelt wird (Fenz & Stampfer, 2007).

Die praktische Anwendung dieses Arbeitsverfahrens scheint bei gleichzeitiger Erzeugung von Rund- und Energieholz sinnvoll. Die Ausnutzung von vorhandenem Maschinen- und Arbeitskräftepotential, bei gegenüber Unternehmerlöhnen geringeren Kosten, lässt ein derartiges Verfahren unter entsprechenden Rahmenbedingungen durchaus konkurrenzfähig erscheinen.

Maschinenbeschreibung

Die vom Motorsägenführer hauptsächlich verwendete Motorsäge ist eine betriebseigene Husqvarna 357 XPG. Für die Rückung des Holzes stehen zwei Traktoren zur Verfügung. Ein Valmet 8050, der mit einem Hauer Frontlader und einer Rückezange Fransgård HZ 2300 ausgerüstet ist, sowie ein Valtra 6300, welcher mit einer Schlang & Raichart Frontwinde mit 2 x 5,5 to Zugkraft ausgestattet ist.

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

Zum Hacken wurde ein auf einem Steyr LKW 32S34 6x6 aufgebauter Eschlböck Biber 80 eingesetzt. Der Hacker ist durch einen Baggerdrehkranz mit dem LKW verbunden und wird durch einen rund 440 kW leistenden Stationärmotor angetrieben. Die Beschickung des Hackers erfolgt durch einen am Heck des LKW montierten Ladekran (Penz 9200HV) mit einer Reichweite von ca. 9 m.

Die für den Transport des Hackgutes bereitgestellten LKW-Züge waren ein Volvo FH12 bzw. ein DAF. Motorwagen und Hänger dieser LKW sind jeweils mit einem Hackschnitzelaufbau zum Seitenkippen versehen. Das lichte Transportvolumen der Züge beträgt 90 bzw. 93 m³.

Bestandesbeschreibung

Zur flächigen Nutzung gelangten zwei Bestände von jeweils ca. 0,5 ha Größe. Bestand 1 ist ein südexponierter Hang mit einer Neigung von 30%. Bei Bestand 2 handelt es sich um einen schmalen Gehölzstreifen entlang eines Flusses. Beide Bestände werden hinsichtlich der Stammzahl von der Baumart Esche dominiert.

Im Bestand 1 haben mehr als 80 % der erhobenen Stämme einen BHD kleiner als 20 cm. Die BHD-Verteilung für Bestand 2 kann als annähernd normalverteilt charakterisiert werden (Abbildung 158).

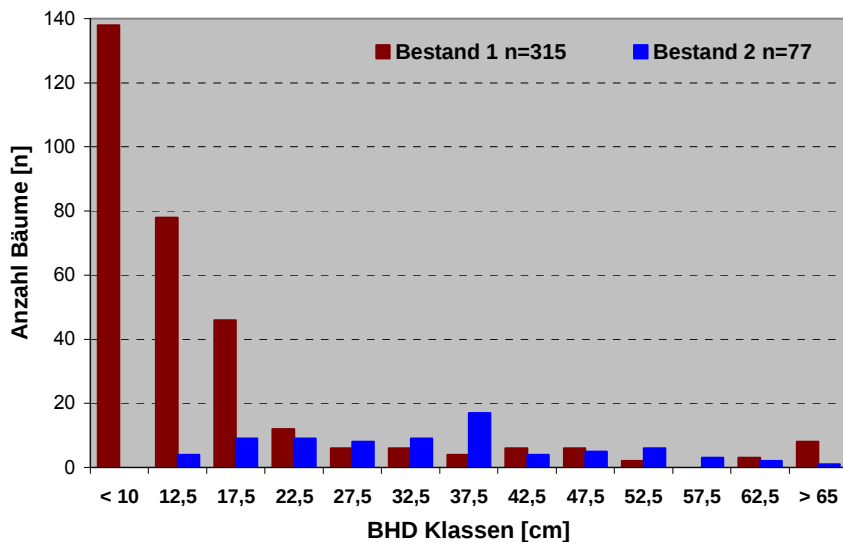


Abbildung 158: Durchmesserverteilung in Bestand 1 und 2

Arbeitszeitverteilung und Produktivitäten

Abbildung 159 stellt die Arbeitszeitanteile des Motorsägenführers dar. Der Arbeitszeitanteil für die Erzeugung von Energieholz ist im Bestand 1 deutlich höher. Dies liegt an der unterschiedlichen Stärkeklassenverteilung der beiden Bestände.

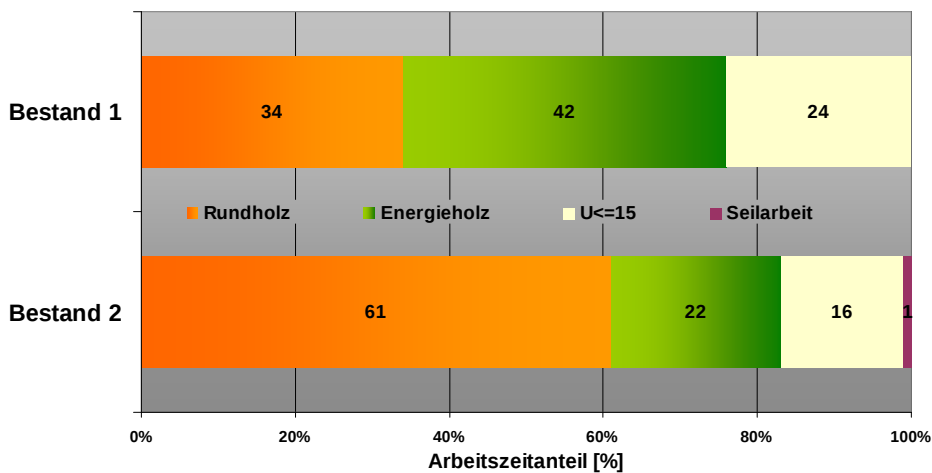


Abbildung 159: Arbeitszeitverteilung der Motorsägenarbeit

Die Analyse der Arbeitszeitverteilung beim Rücken mit dem Traktor ergibt annähernd gleich verteilte Anteile bei den Teilprozessen (Abbildung 160). Die mittlere Rückedistanz betrug in beiden Beständen circa 50 m.

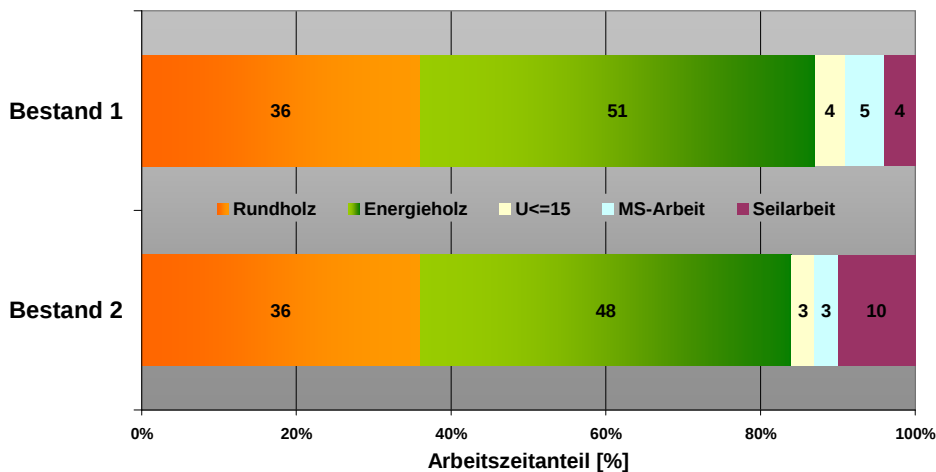


Abbildung 160: Arbeitszeitverteilung des Traktors beim Rücken

Insgesamt wurden 340 SRM bzw. 70,13 atro to Hackgut produziert. Abbildung 161 stellt die Arbeitszeitverteilung des Hackers über den gesamten Einsatz dar. Insgesamt musste der Hacker 19 Prozent der Arbeitszeit auf die Ankunft eines LKW warten. Die Produktivität des gesamten Hackeinsatzes liegt bei 67,8 SRM/PSH₁₅ bzw. 13,03 atro to/PSH₁₅.

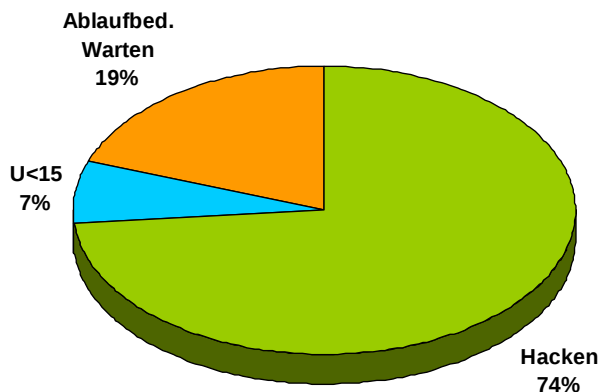


Abbildung 161: Arbeitszeitverteilung des Hackers

Die am Hackplatz erhobenen ablaufbedingten Wartezeiten für das Transportfahrzeug sind, abgesehen von Fuhre 2, gering. Der Aufenthalt im Werk beträgt im Mittel 16 Minuten. Die Distanz vom Hackort zum Werk betrug 26 km und wurde in durchschnittlich 44 Minuten zurückgelegt. Es berechnet sich daraus eine Durchschnittsgeschwindigkeit der Lastfahrt von 35,5 km/h. Die errechnete Produktivität aus den vier vollständigen Fahren beträgt 24,59 SRM/h bzw. 5,13 atro to/h.

Trockengehalt

Ursprünglich wurde für das Energieholz von Fläche 1 ein mittlerer Trockengehalt von 68,3% und von Fläche 2 von 67,8% ermittelt. Während sich der Trockengehalt des Energieholzes von Fläche 1 auf 74,2% verbesserte, blieb der Wert für Fläche 2 praktisch gleich. Die schattige Lage des Hauens auf Fläche 2 lässt die erhobene Verschlechterung des Trockengehaltes um einen Prozentpunkt durchaus plausibel erscheinen.

Kosten

Die Kalkulation der Bereitstellungskosten basiert auf den in Tabelle 69 angeführten Stundensätzen. Tabelle 70 stellt die kalkulierten Bereitstellungskosten für Waldhackgut aus beiden Beständen dar. Für die Kalkulation der Kosten pro MWh wurde ein Energieinhalt von 5 kWh/kg Hackholz unterstellt. Die sich ergebenden Kosten sind in Bestand 2 jeweils höher als in Bestand 1.

Tabelle 69: Stundensätze für die Kalkulation der Bereitstellungskosten

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

Tabelle 70: Bereitstellungskosten für Waldhackgut frei Werk bezogen auf verschiedene Einheiten

Kosten je Srm [€/Srm]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	1,53	1,94
Rücken Energieholz	3,17	3,17
Hacken	3,69	3,95
Transport	2,37	2,33
Gesamt	10,75	11,40

Kosten je atro to [€/atro to]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	6,40	11,03
Rücken Energieholz	13,26	17,97
Hacken	15,43	22,41
Transport	9,90	13,20
Gesamt	44,99	64,61

Kosten je MWh [€/MWh]	Bestand 1	Bestand 2
Ernte Energieholz	1,28	2,21
Rücken Energieholz	2,65	3,59
Hacken	3,09	4,48
Transport	1,98	2,64
Gesamt	9,00	12,92

Etwa 45% der gesamten Kosten entfallen auf Fällung und Rücken des Energieholzes, etwas mehr als ein Drittel nehmen die Hackkosten ein. Die restlichen rund 20% entfallen auf den Transport (Abbildung 162). Das Abnehmerwerk bezahlt je atro to Waldhackgut 68,00 €. Demzufolge beträgt der Deckungsbeitrag berechnet als Differenz aus Erlös und Bereitstellungskosten im Bestand 1 23,01 €/atro to und im Bestand 2 3,39 €/atro to.

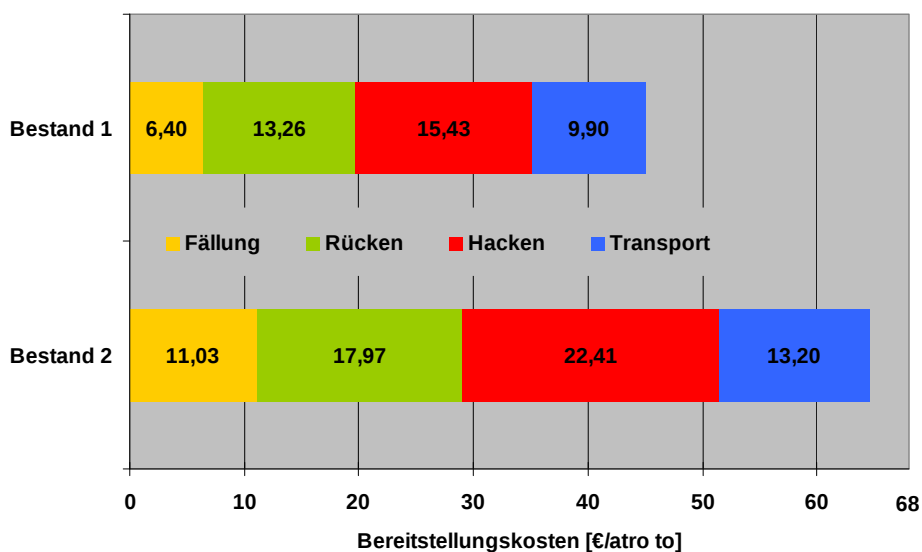


Abbildung 162: Bereitstellungskosten für Waldhackgut in beiden Bestände in €/atro to

4.4.5 Mechanisierte Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung im Nadelwald

Energierohholz SORT – Hacken auf der Forststraße

Bei diesem Verfahren wurde Energieholz aus Nadelholz im Rahmen einer Durchforstung nach starken Schneebrüchen genutzt. Um größere Mengen an Material zur energetischen Nutzung bereitstellen zu können, werden neben dem ausgeformten Energierohholz zusätzlich die Wipfel der Bäume verwertet. Astmaterial blieb zur Verminderung des Nährstoffentzuges im Bestand.

Verfahrensbeschreibung

Ein Harvester fällt und arbeitet die Stämme zu vier Meter langen Abschnitten auf. Das Energierohholz und die Wipfelstücke, wurde mit einem Forwarder zu einem an der Forststraße liegenden Lagerplatz gerückt. Etwa einen Monat später wurde das Material durch einen traktorgetriebenen Hacker gehackt. Bereitstehende Abrollcontainer-LKW werden direkt beladen und transportieren das Hackgut im Anschluss zum Werk, wo es verwogen, entladen und der Feuchtigkeitsgehalt bestimmt wurde.

Maschinenbeschreibung

Als Maschinen wurden ein Harvester Neuson 11002 HV, ein Forwarder John Deere 810D, ein Hacker Biber 80 Z mit Traktor John Deere 7920 und ein Abrollcontainer-LKW eingesetzt.

Tabelle 71: Eingesetzte Maschinen

	Harvester	Forwarder	Hacker	LKW
Typenbezeichnung	Neuson 11002 HV	John Deere 810D	Biber 80 Z mit Traktor John Deere 7920	LKW-Züge mit Hakenaufbau und Abrollcontainern
Motorleistung [kw]	75	86	179	k. A.
Fahrwerk	Raupen	2 Bogieachsen	Tandemachse	6x2 mit Liftachse
Kranreichweite [m]	9,0	9,8	9	-
Ladekapazität [t]	-	9 t	-	ca. 23 t
Lichtes Volumen [m³]	-	13,0 m³	-	2 x 40m³

Bestandesbeschreibung

Eine circa 1,2 ha große Fläche in einem Kiefern-Reinbestand in Mauerbach-Hirschengarten wurde nach starken Schneebrüchen durchforstet. Das gesamte dabei anfallende Material wurde zu Waldhackgut verarbeitet. Tabelle 72 stellt die erhobenen Bestandesdaten dar.

Tabelle 72: Bestandesdaten der Einsatzfläche in Mauerbach

Parameter	Wert
Geländeneigung	10-15 %
Bestandesalter	20-25 Jahre
Stammzahl	9.200 Stämme pro ha
Mittlerer BHD	13 cm
Entnahmeprozent	50 %

Arbeitszeitanteil und Produktivitäten

Für den Harvestereinsatz wurden keine Arbeitsstudien durchgeführt. Für die Ausfuhr des Holzes mit dem Forwarder wurde eine Produktivität von 1,75 atro to/PSH₁₅ bei einem mittleren Fuhrvolumen von 16,5 RM und einer mittleren Rückedistanz von 250 m.

Beim Hacken entfallen 86 % der Arbeitszeit auf den eigentlichen Arbeitsprozess. Elf Prozent wurden für ablaufbedingtes Warten dokumentiert, was im Vergleich zu anderen Fallstudien relativ niedrig ist. Die restlichen drei Prozent entfallen auf Unterbrechungen kleiner 15 Minuten. Insgesamt wurden 144 atro to bzw. 895 SRM Hackgut produziert. Die Produktivität ist mit 48,8 SRM/PSH₁₅ bzw. 7,8 AMM/PSH₁₅ jedoch gering. Ein LKW-Zug mit Abrollcontainern wurde mit jeweils circa 75 SRM Hackgut beladen und zum Lagerplatz nach Wien-Simmering transportiert. Dort wurden die Container entladen und der Wassergehalt bestimmt, welcher im Durchschnitt 47.8 % beträgt.

Kosten und Erlöse

Für das Fällen und Aufarbeiten wurde vorab ein Preis von 15 € pro FMO vereinbart. Nachträglich wurden noch 2.430 € für das Nichtderbholz verrechnet. Es ergeben sich somit Gesamtkosten für das Fällen und Aufarbeiten von 6.435 €. Für die Ausfuhr des Holzes wurde ebenfalls vorab ein Preis auf Festmeter-Basis vereinbart. Die Rückekosten werden mit 3.000 € angegeben. Für das Hacken und den Transport wurde ein Preis von 7,70 €/SRM vereinbart.

Insgesamt wurde ein Erlös von 10.592 € erzielt. Dies ergibt einen Durchschnittswert von 73,55 € pro atro to bzw. 11,83 €/SRM. Daraus resultiert ein negativer Deckungsbeitrag in der Höhe von 6,42 €/SRM bzw. 39,79 €/atro to. Tabelle 73 stellt die tatsächlich verrechneten Kosten im Versuch Mauerbach dar.

Tabelle 73: Kosten und Erlöse im Versuch Mauerbach

	€/SRM	€/AMM
Fällen/Aufarbeiten	7,19 €	44,68 €
Rücken	3,36 €	20,80 €
Hacken und Transport	7,70 €	47,86 €
Gesamt	18,25 €	113,34 €
Erlös	11,83 €	73,55 €
DB I	- 6,42 €	- 39,79 €

4.4.6 Energieholzbereitstellung mit Fällaggregat

Energierohholz BAUM – Hacken auf der Forststraße

Beim Einsatz eines Harvesters liefert der erste Durchforstungseingriff, insbesondere wenn Maßnahmen zur Dickungspflege unterlassen wurden, nur geringe Mengen an ökonomisch verwertbaren Sortimenten. Folglich konnten auch kaum positive Deckungsbeiträge erwirtschaftet werden. Da Entasten und exaktes Ablängen bei der Energieholzproduktion nicht notwendig ist, können anstelle von teuren und alle Bearbeitungsprozesse durchführenden Harvesterköpfen, primitivere Fällköpfe mit hydraulisch betriebenen Klingen, meist aufgebaut auf kostengünstigeren Trägerplattformen wie Traktoren, eingesetzt werden. Dieses Verfahren kann auch für die Energieholzbereitstellung im Niederwald verwendet werden (Affenzeller & Stampfer, 2007).

Arbeitsverfahren

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

Bei dieser Fallstudie erfolgte das Fällen, Laden und Rücken in einem kontinuierlichen Arbeitsprozess, sprich in geschlossener Arbeitskette. Mit dem Krananhänger voraus wird zuerst die Gasse frei geschnitten (ca. 10 bis 15 lfm). Als Sichtunterstützung dient dabei eine am Heck des Anhängerrahmens eingebaute Kamera, die Bilder auf einen LCD-Bildschirm in die Fahrerkabine überträgt. Beim Fällvorgang umschließen drei Greifzangen und zwei Klauenzangen den Stammfuß. Von der Aggregatseite ausgehend drücken zwei Hydraulikzylinder die Fallbeilklinge gegen den Stamm. Der Baum wird somit abgeschert (Abbildung 163).

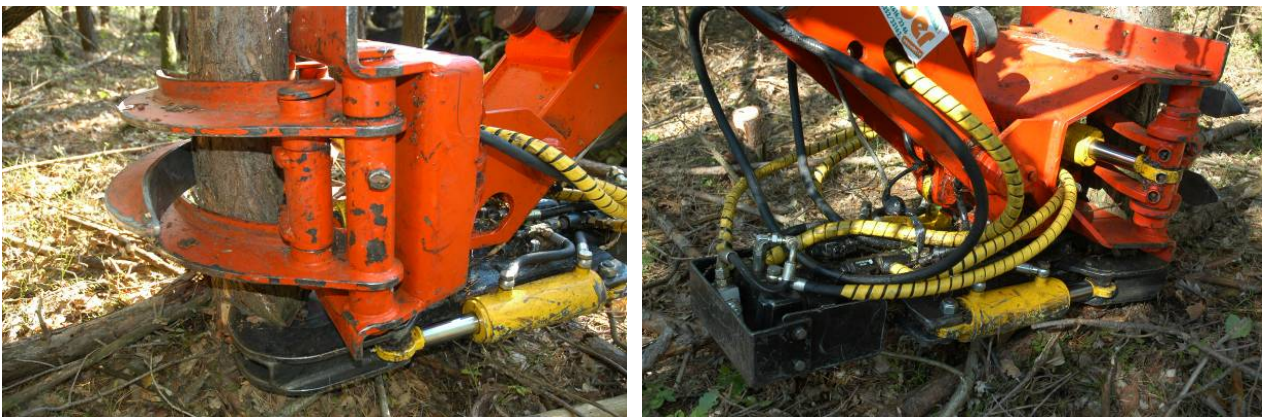


Abbildung 163: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25 (ohne Sammelfunktion)

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

Das Energieholz wurde mehrere Monate gelagert, um dann, durch einen auf einem LKW aufgebauten Großhacker, verarbeitet zu werden. Bereitstehende LKW-Züge mit Abrollcontainer wurden dabei direkt beladen und transportierten das Hackgut zum Werk, wo durch Verwiegen und Trockengehaltsbestimmung die Menge ermittelt wurde.

Maschinenbeschreibungen

Die Kombination Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat setzt sich zusammen aus einem Valtra 8050, einem PATU MD Krananhänger mit einer Ladekapazität von 12 t, sowie einem Ladekran PATU 305, an dem das Fallbeilklingenaggregat Naarva Grip 1500-25, anstelle einer Greiferzange montiert ist. Bei einem Druck von 150 bar erreicht das Aggregat eine Schneidkraft von 95 kN.

Als Hacker wurde ein Rudnick & Enners Trommelhacker, Typ R-MTH 900 x 1000/ 13-KF, verwendet. Der Einzug erfolgt in Längsrichtung. Der Hackschnitzelaustrag funktioniert über Trogkettenförderer mit angeschlossenem Transportband. Die Hackschnitzelgröße ist zwischen 6 und 100 mm variabel einzustellen (www.rudnik-enners.de). Der Hacker wird durch einen 420 kW Dieselmotor angetrieben. Das Zugfahrzeug, von dem aus auch die Beschickung mittels Kran erfolgt, ist ein allrad-getriebener MAN-LKW. Das Hackgut wurde mit drei Volvo FH12 Zügen, mit jeweils zwei Abrollcontainern zu je 38 m³ Ladekapazität zum Werk transportiert. Die Container werden mit Planen abgedeckt, um das Verwehen des Hackgutes während des Transportes zu vermeiden. Die Motorwagen sind zweiachs- und nicht allradgetrieben. Das Leergewicht der Züge variiert in Abhängigkeit vom Containertyp und zwischen 21,9 to und 23,8 to.



Abbildung 164: Hacker bei der Beschickung auf einen LKW-Zug mit Abrollcontainern

Bestandesbeschreibung

Die für die Fallstudie ausgewählte Waldfläche befindet sich in Lockenhaus im Burgenland. Die Oberhöhe des 30jährigen Erstdurchforstungsbestandes beträgt ca. 16 Meter. Der möglicherweise aus Kunst- und Naturverjüngung hervorgegangene Bestand wird von Kiefer dominiert. Eiche und Lärche sollen durch den Eingriff gefördert werden. Die Ausgangsstammzahl von im Durchschnitt 5246, stellenweise über 10.000 Stämme pro Hektar rechtfertigt einen deutlichen waldbaulichen Eingriff. Die durchschnittliche Geländeneigung beträgt 6,4 %. Der durchschnittliche Brusthöhendurchmesser (BHD) der entnommenen Bäume beträgt 9,36 cm und das durchschnittlich entnommene Baumvolumen 0,046 m³ in Rinde.

Arbeitszeitverteilung und Produktivitäten

Insgesamt wurden 40 Fuhren mit 527 Lade- und Fällvorgängen aufgezeichnet. Für das Fällen (Zwicken) und Laden wird mit 39 % bzw. 29 %, der Hauptanteil der beobachteten Zeit verwendet. Unterbrechungen kleiner 15 Minuten, in erster Linie hervorgerufen durch kleine Reparaturen an Hydraulikschläuchen, beanspruchen 4 %. Weitere 4 % entfallen jeweils auf Leer- und Lastfahrt. Entladen nimmt einen Anteil von 7 % ein. Unterbrechungen größer 15 Minuten resultierten aus größeren Reparaturen und Pausen (Abbildung 165).

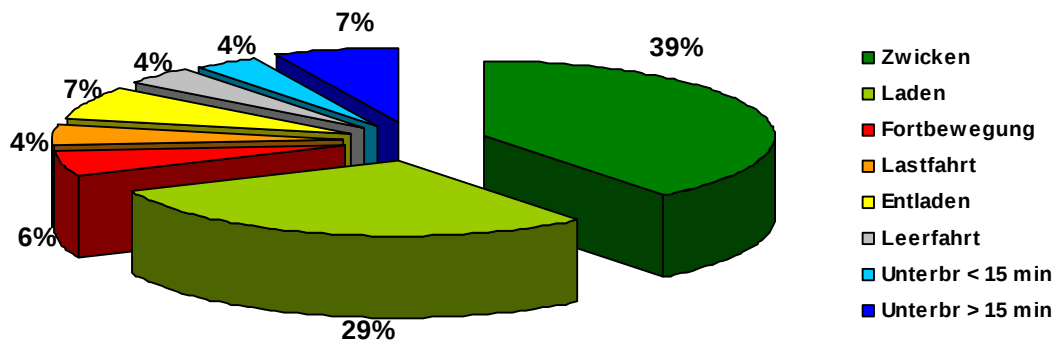


Abbildung 165: Zeitverteilung bei der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat

Der Hackvorgang umfasste in Summe 1.406 SRM bzw. laut Werksabmaß 212,22 atro to Hackgut. Nur 56 % der beobachteten Zeit entfiel dabei auf das Hacken. Ablaufbedingtes Warten, sprich Warten des Hackers, trat vor allem am ersten Tag auf, weil zu Beginn des Hackeinsatzes nur zwei LKW-Containerzüge bereit standen. Teilweise traten Wartezeiten von über einer Stunde auf. Nach sechs Fuhren kam ein dritter LKW-Zug hinzu. Die Wartezeiten des Hackers wurden dadurch auf ein Minimum reduziert. Unterbrechungen resultierten aus Elektrikproblemen am Hacker, die mehrmals zum Stillstand des Einzuges führten. Aufgrund eines einzigen Hackortes nahm die Fortbewegung des Hackers nur 2 % der Zeit in Anspruch (Abbildung 166).

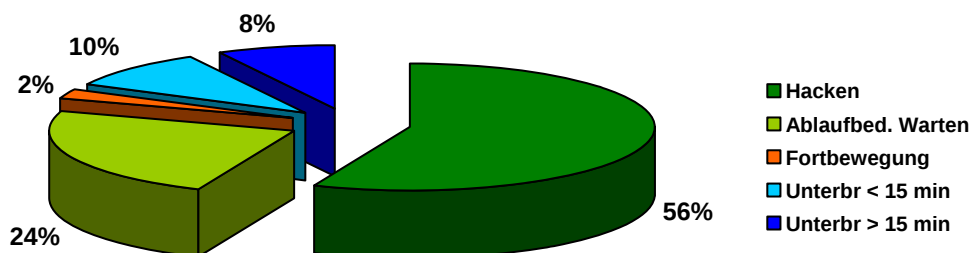


Abbildung 166: Zeitverteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in Lockenhaus

Die Produktivität des Hackers betrug ohne Unterbrechungen sowie ohne Ablaufbedingtes Warten 127 SRM/PSH₀. Durch Berücksichtigen der Wartezeit verringert sich dieser Wert auf 90,7 SRM/PSH₀. Berücksichtigt man Unterbrechungen kleiner 15 Minuten so ergeben sich Produktivitäten von 108,9 bzw. 81,1 SRM/PSH₁₅.

Der Zeitstudie über den Transport liegen 19 Fuhren zugrunde. Die Distanz vom Hackort zum Werk betrug 33 km. Die Straßen waren durchwegs asphaltiert. Die Container wurden immer vollständig befüllt. Pro Fuhre wurden 74 SRM Hackgut transportiert. Im Durchschnitt ergab das 11,17 atro Tonnen Hackgut pro Fuhre. Das Beladen sowie die Leer- und Lastfahrt nahm jeweils gut ein Fünftel der gesamten Zykluszeit in Anspruch (Abbildung 167). Ablaufbedingtes Warten trat in erster Linie am zweiten Arbeitstag, aufgrund von technischen Schwierigkeiten am Hacker, auf. Die Aufenthaltsdauer im Werk ergab im Schnitt 27,2 Minuten. Diese Zeit resultierte aus den vielen notwendigen Manipulationsschritten beim Abladen von zwei Containern. Für die Fahrtvorbereitung wurden im Durchschnitt 5,84 Minuten aufgewendet. Ein Transportzyklus dauerte inklusive Wartezeiten im Schnitt 2 Stunden und 40 Minuten.

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

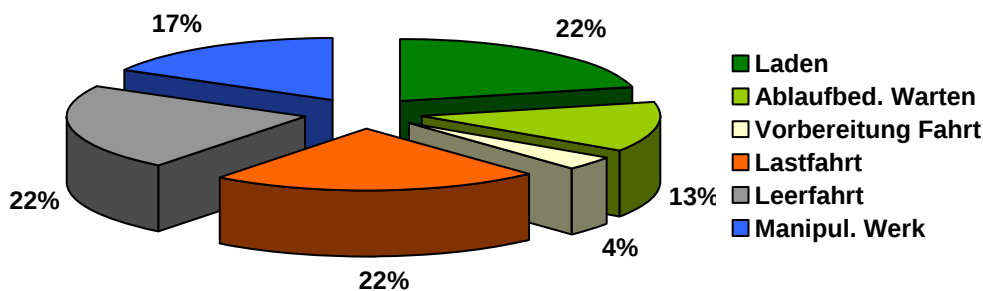


Abbildung 167: Verteilung der Arbeitsschritte für den Transport mit LKW-Container

Trockengehalt

Beim Hackeinsatz wurden 305 SRM erzielt. Der im Werk durchschnittlich gemessene Wassergehalt (w) ergab 47,7 %. Das Atrogewicht betrug demnach 51,38 to. Das Energieholz verlor über die Lagerdauer von Oktober 2006 bis Mai 2007 lediglich 7,6 bzw. 3,8 Absolutprozentpunkte an Wasser.

Kosten

Die Anschaffungskosten für Traktor und Krananhänger, die als Basis für die Maschinenkostenberechnung herangezogen werden, stammen von Pröll et al. (2005). Die Anschaffungskosten für das Fallbeilaggregat stammen von Bilek (2006). Für die Kombination Traktor, Krananhänger mit Fallbeilklinge ergeben sich inklusive Lohn Kosten von 64,4 € pro Produktiver Systemstunde (PSH₁₅). Bei einer durchschnittlich erreichten Produktivität von 3,99 SRM/PSH₁₅ entstehen ohne Hacken und Transport Kosten von 16,1 €/SRM (Tabelle 74).

Tabelle 74: Systemkostenkalkulation- Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge

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

* Angaben des Maschinenführers

Für die Berechnung der Kosten für das Hacken und den Transport wurden die von den Unternehmern angegebenen Stundensätze herangezogen. Der Mannstundensatz ist dabei jeweils inkludiert. Zählt man die Kosten für Hacken 3,1 €/SRM und Transport 1,9 €/SRM hinzu, fallen Gesamtkosten frei Werk in der Höhe von netto 21,2 €/SRM an (Tabelle 75).

Tabelle 75: Gesamtkosten der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge frei Werk

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

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

Empfehlungen

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

- Die Ernte im Laubholzbereich mit dem Naarva Grip 1500-25 Aggregat stellt bis zu einem Fälldurchmesser von 18 cm, im Nadelholzbereich bis zu etwa 22 cm keine Schwierigkeiten dar. Fälldurchmesser darüber hinaus erfordern ein mehrmaliges Positionieren des Fällaggregates und Fällvorgänge von mehreren Seiten.
- Bei sorgfältiger Positionierung des Fällkopfes und bei Bäumen mit Fälldurchmessern bis etwa 14 cm ist ein Fällen annähernd im Tag-Nacht Bereich möglich. Bei größeren Dimensionen ist die verbleibende Stockhöhe mit derjenigen, die Harvester hinterlassen, vergleichbar.
- Die Produktivität der Fällkombinationen wird maßgeblich durch das entnommene Baumvolumen beeinflusst. Die Entnahme von Bäumen kleiner Dimension sollte daher unterbleiben. In dieser Fallstudie würde der Verzicht von Bäumen kleiner gleich 6 cm BHD die Produktivität um 20 % steigern (vgl. Kärhä, 2006).
- Die Verwendung von Fällaggregaten mit Sammelfunktion (Mehrfachfällköpfe) verringert die Fällzeit gegenüber Fällköpfen ohne Sammelfunktion. Die Produktivität für das Fällen liegt bei der Studie von Eberhardinger mit Mehrfachfällkopf bei vergleichbarem Material um ca. 50 % höher als das Ergebnis bei der hier durchgeführten Studie über den Fällkopf ohne Sammelfunktion. Die Grenze für das Mehrfachfällen des Naarva Grip 1500-25e ist bei 15 cm BHD erreicht (Eberhardinger, 2007).
- Das Ladevolumen wirkt sich besonders stark auf die Rückekosten aus und sollte besonders bei langen Rückedistanzen maximiert werden (Kärhä, 2006).
- Die Kombination Mehrfachfällkopf und unterbrochene Arbeitskette kristallisiert sich als produktivste Variante heraus. Eberhardinger (2007) erreichte damit eine Verdoppelung der, in dieser Studie erzielten, Produktivität.
- Durch Abdecken des Energieholzpolters mit Planen oder Spezialpapier während der Lagerdauer, kann der TS-Gehalt deutlich erhöht werden. Kanzian (2005) verwendete bei Energieholzbündel dazu Spezialpapier und konnte dadurch in 9 Monaten den TS-Gehalt von 51 % auf 68 % erhöhen. Darüber hinaus existieren in Österreich nur wenige Forschungsergebnisse und weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich Abdeckungsmaterialien und Lagerdauer.

4.5 Anforderungen an Logistiksoftware

Generelle Anforderungen an eine Logistik-Software unterscheiden sich nicht von denen für andere Einsatzgebiete. Die wichtigsten stellen die Portabilität, die Modularität und die Wartbarkeit des Produktes dar. Mit der ersten Grundanforderung wird die Verwendung der Software auf unterschiedliche Hardware-Plattformen ermöglicht. Die Modularität stellt die Möglichkeit einer nachträglichen Erweiterung sicher. Eine gute Wartbarkeit wird durch niedrige Folgekosten und Ausfallzeiten bei der Fehlersuche definiert. Hier ist zu beachten, dass eine durchgängige Dokumentation vorhanden ist. Standardpakete erhöhen hierbei die Wartbarkeit erheblich (<http://www.ips.de/>).

Bei der Integration in das logistische Umfeld ist die Akzeptanz und Funktionsfähigkeit von besonderer Bedeutung. Die Nachbildbarkeit und Nachweisbarkeit der ausgetauschten Daten bilden einen zentralen Punkt. Heutzutage sollte man auch zunehmend auf die Option einer Schnittstelle zu SAP achten.

Bei der Anschaffung einer Logistik-Software für die Forstwirtschaft, stehen bereits mehrere Produkte mit unterschiedlichen Funktionen zur Verfügung. Dennoch empfiehlt sich eine kurze Liste mit Anforderungen an das zukünftige Produkt zu erstellen. Als Beispiel soll die abgebildete Checkliste, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, in Anlehnung für die Lösungsmöglichkeiten des Supply-Chain-Managements mittels Software für kleinere und mittlere Unternehmen von Friedrich (2002) als Unterstützung dienen. (Abbildung 168).

SCM-Software für die Waldhackgut-/Rundholzbereitstellung							
Funktionen	Anforderungen		Priorität hoch - nieder				
							
Modul-unabhängige Kernanforderungen	Hohe Leistungsfähigkeit in der Planung	1)					
	Datenaustausch mit Office-Software-Paketen	2)					
	Enge Integration mit vorhandenen ERP-Systemen	3)					
	Unterstützung unterschiedlicher Dateiformate	4)					
	Schlanke Datenstruktur, geringes Speichervolumen	5)					
	Benutzerfreundlichkeit	6)					
Verfügbarkeitsprüfung	Web-basierte Internetanbindung	7)					
	Überwachung der Liefertermine	8)					
	Einbeziehung wichtiger Restriktionen (Info Straßenzustand, Tonnagen)	9)					
Planung/Transportplanung	Überprüfung der Planung	10)					
	Polterverwaltung und Mengensteuerung	11)					
	Vergabe von Nutzerrechten	12)					
	Auswahl der Transportart	13)					
	Tourenplanung, Routenoptimierung, Rückfrachtoptimierung	14)					
	Grafische Aufbereitung und Darstellung (Mapping, ArcGIS)	15)					
	Tracking und Tracing	16)					
Unternehmensübergreifende Zusammenarbeit	Sicherheit Datenaustauschs (ID mit Passwort, Datenverschlüsselung)	17)					
	Beteiligten Einblick und Einfluss in die Produktionsplanung ermöglichen	18)					
	Automatisierte Abweichungsanalyse und Information der Supply-Chain-Mitglieder	19)					
Zusätzlich							
Kosten Produkt	Anschaffungskosten	20)					
	Gesamtkosten €/SRM						
	Wartungskosten	21)					

Abbildung 168: Mögliche Checkliste für Detailanforderungen an eine SCM-Software in der Forstwirtschaft für die Abwicklung der Waldhackgut-/Rundholzbereitstellung

4.6 Versorgungsszenarien für ausgewählte Biomasseheizwerke

Die in Tabelle 76 angegebenen „Erreichten Zielwerte“ beinhalten die Substitutionskosten. Zieht man diese vom Zielwert ab, erhält man die Summe der Versorgungskosten. Der Quotient aus Versorgungskosten und Potenzial ergibt für das skizzierte Versorgungsnetzwerk einen durchschnittlichen Wert pro Einheit. Auf Basis dieses Wertes lassen sich die berechneten Szenarien vergleichen. Bei allen Kostenangaben ist zu beachten, dass nur Transport- und Hackkosten aber keine Lagerkosten beim Werk und sonstige Kosten berücksichtigt sind. Am günstigsten wäre die direkte Versorgung mit Werten von rund 7,80 bzw. 8,00 €/SRM. Der Einsatz von Terminals führt unter den getroffenen Annahmen zu höheren Kosten. Beim Potenzialszenario I mit einem Umschlag von 50% des Potenzials über Terminals „Klein“ liegen die Mehrkosten bei rund 9%. Da Terminals bei den gewählten Eingangsgrößen die Kosten erhöhen, werden auch bei den Szenarien Terminals LP/MIP, wo die Optimierung über die Verwendung entscheidet, keine Terminals eröffnet. Erkennbar ist dies auch an den nahezu identen Zielwerten zwischen den Szenarien Direkt und Terminal LP/MIP.

Die Ausstattung der Terminals wurde in Kapitel 4.3.2 beschrieben. Gemäß den in Kapitel 4.3.3 definierten Lagerplatzvarianten entsprechen folgende Größenkategorien folgenden Varianten:

- Terminal „Klein“ entspricht der Lagerplatzvariante V1
- Terminal „Mittel“ entspricht der Lagerplatzvariante V3
- Terminal „Groß“ entspricht der Lagerplatzvariante V4

Insgesamt beläuft sich der reine Rechenaufwand für alle Szenarien auf 26,2 Stunden. Die Differenz zwischen voraussichtlich bester und erzielter Lösung (GAP) liegen für alle Szenarien unter 0,5%, das heißt alle Szenarien konnten innerhalb der voreingestellten Zeitbegrenzung gelöst werden.

Tabelle 76: Überblick der gewählten Versorgungsszenarien und die verwendeten Abkürzungen

	Versorgungs- szenario	Abkürzung	Rechenzeit		Erreichter Zielwert	GAP [%]	Versorgungskosten		Differenz
			LP [s]	MIP [s]			[EUR]	[EUR/Srm]	
I	Direkt	DI1	4	41	35.097.453	0,006%	10.097.000	7,82	0
II		DI2	4	16	30.476.823	0,000%	13.597.000	8,01	0
Terminal Anteil									
Potenzialszenario I 1,292 mio. Srm/a	Klein	LP/MIP*	39	4.498	35.097.929	0,008%	10.098.000	7,82	0,0%
		10%	42	1.819	35.250.699	0,002%	10.251.000	7,93	1,5%
		25%	59	2.476	35.528.599	0,003%	10.529.000	8,15	4,3%
		50%	56	1.086	36.050.970	0,002%	11.051.000	8,55	9,4%
	Mittel	LP/MIP*	53	2.402	35.107.362	0,038%	10.107.000	7,82	0,1%
		10%	68	5.145	35.583.005	0,499%	10.583.000	8,19	4,8%
		25%	277	16.498	35.938.968	0,098%	10.939.000	8,47	8,3%
		50%	347	14.550	36.885.446	0,251%	11.885.000	9,20	17,7%
	Groß	LP/MIP*	33	112	35.097.453	0,006%	10.097.000	7,82	0,0%
		10%	36	31	35.543.557	0,368%	10.544.000	8,16	4,4%
		25%	67	1.400	36.055.788	0,407%	11.056.000	8,56	9,5%
		50%	98	2.497	36.917.346	0,255%	11.917.000	9,22	18,0%
Potenzialszenario II 1,698 mio. Srm/a	Klein	LP/MIP*	45	2.002	30.477.409	0,003%	13.597.000	8,01	0,0%
		10%	47	1.328	30.664.753	0,006%	13.785.000	8,12	1,4%
		25%	69	1.419	31.014.475	0,005%	14.134.000	8,32	3,9%
		50%	69	1.185	31.688.338	0,009%	14.808.000	8,72	8,9%
	Mittel	LP/MIP*	66	2.676	30.476.998	0,007%	13.597.000	8,01	0,0%
		10%	96	6.362	30.874.071	0,049%	13.994.000	8,24	2,9%
		25%	373	7.200	31.492.989	0,025%	14.613.000	8,61	7,5%
		50%	448	11.524	32.622.399	0,031%	15.742.000	9,27	15,8%
	Groß	LP/MIP*	34	48	30.476.823	0,000%	13.597.000	8,01	0,0%
		10%	42	1.442	30.970.425	0,380%	14.090.000	8,30	3,6%
		25%	64	1.620	31.543.638	0,236%	14.664.000	8,64	7,8%
		50%	108	2.354	32.618.650	0,177%	15.739.000	9,27	15,8%

*Optimierung entscheidet ob und mit welchem Anteil Lager verwendet werden

4.6.1 Direkte Versorgung

4.6.1.1 Versorgungsszenario Direkt I

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 169). Der Standort Baden wird zu 100% aus Niederösterreich versorgt, wobei sich die gerundeten größeren Liefermengen aus den BFI-Bezirken wie folgt zusammensetzen (vgl. Tabelle 77):

- 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

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 (Abbildung 170).

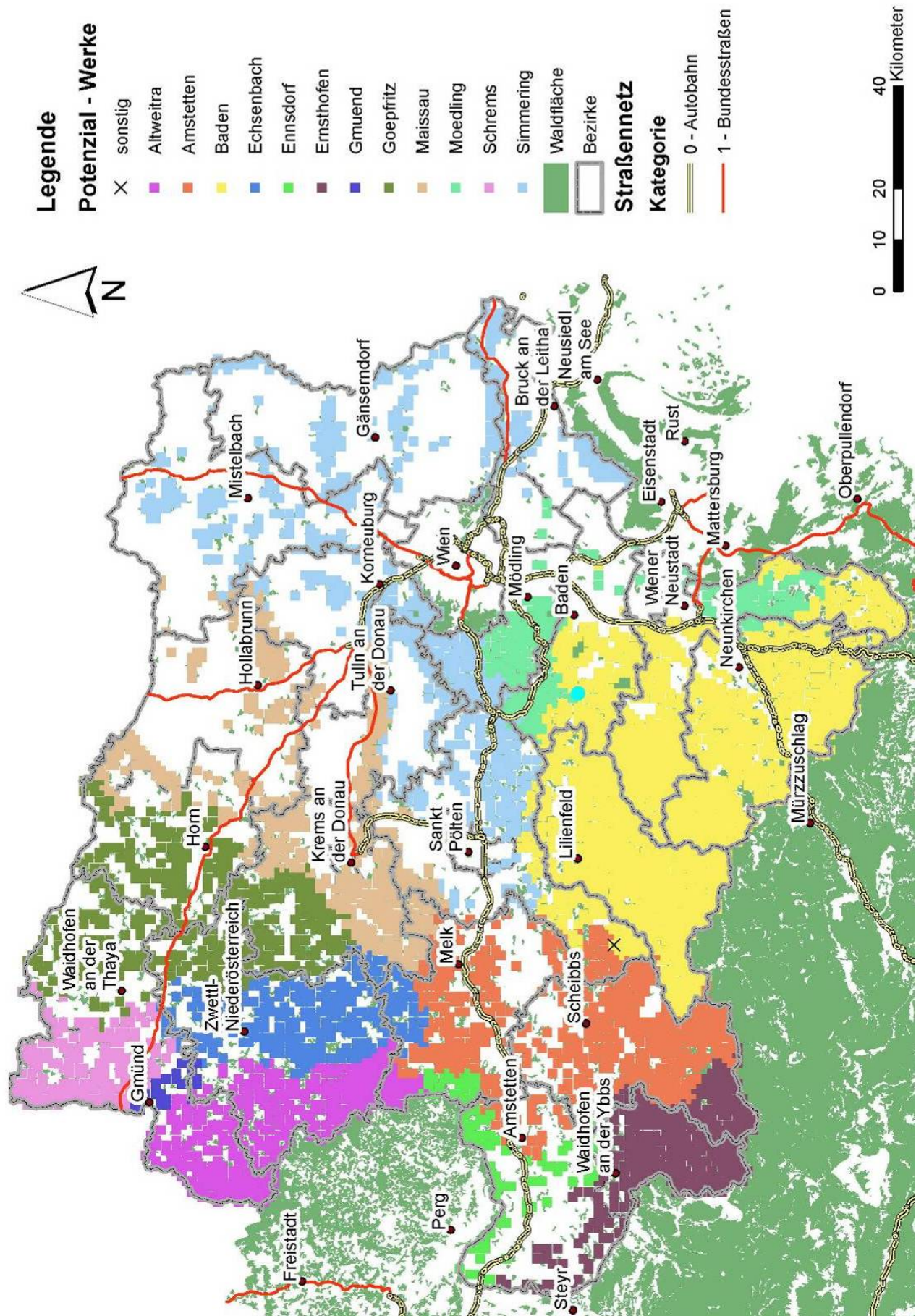


Abbildung 169: Darstellung der "idealen" Versorgung mit Waldhackgut der zwölf größten Heizwerke in Niederösterreich (Direkt I)

Tabelle 77: Bedarf, Versorgungsgrad, gewichtete mittlere Distanzen und verschiedenen Kosten (a) sowie Mengenverteilung des Potenzials aus den BFI-Bezirken (b) auf die Werke

Heizwerk	Bedarf [Srm/a]	Fehlmenge [Srm/a]	Versorgungs- grad [%]	Gew. Mittl. Dist. Direkt [km]	Max. Dist. Direkt [km]	Menge Direkt [Srm/a]	Kosten Direkt [€]	Menge Lager [Srm/a]	Kosten Lager [€]	Gesamt- kosten [€/Srm]	Mautkosten [€/Srm]
Altweitra	160.000	34.342	79%	29,1	64,7	125.658	900.685	0	0	7,20	0,00
Amstetten	120.000	81	100%	45,7	91,9	119.919	969.380	0	0	8,10	0,03
Baden	250.000	124	100%	53,8	124,0	249.876	2.131.389	0	0	8,50	0,09
Echsenbach	160.000	79.589	50%	35,6	65,0	80.411	622.966	0	0	7,70	0,00
Ennsdorf	250.000	226.222	10%	38,7	58,9	23.778	181.725	0	0	7,60	0,02
Ernstthofen	146.000	64.741	56%	63,0	148,3	81.259	753.887	0	0	9,30	0,00
Gmünd	146.000	136.904	6%	7,3	14,5	9.096	57.496	0	0	6,30	0,00
Goepfritz	160.000	25.334	84%	26,9	56,5	134.666	973.048	0	0	7,20	0,00
Maissau	160.000	158	100%	37,3	69,6	159.842	1.238.625	0	0	7,70	0,00
Moedling	250.000	186.104	26%	29,2	68,5	63.896	463.964	0	0	7,30	0,02
Schrems	140.000	68.683	51%	18,1	35,7	71.317	486.594	0	0	6,80	0,00
Simmering	600.000	427.533	29%	41,7	86,6	172.467	1.321.399	0	0	7,70	0,05
Gesamt	2.542.000	1.249.815	51%	39,8	148,3	1.292.185	10.101.158	0	0	7,80	0,03

BFI	Altweitra [Srm/a]	Amstetten [Srm/a]	Baden [Srm/a]	Echsenbach [Srm/a]	Ennsdorf [Srm/a]	Ernstthofen [Srm/a]	Gmünd [Srm/a]	Goepfritz [Srm/a]	Maissau [Srm/a]	Moedling [Srm/a]	Schrems [Srm/a]	Simmering [Srm/a]	Gesamt [Srm/a]
MI	-	-	-	-	-	-	-	-	801	-	-	7.537	8.338
AM	-	6.867	-	-	15.695	63.763	-	-	-	-	-	-	86.325
BN	-	-	43.475	-	-	-	-	-	-	17.183	-	828	61.486
GF/MI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.036	2.036
HO	-	-	-	-	-	-	-	41.292	48.136	-	-	-	89.429
KO	-	-	-	-	-	-	-	-	49.775	-	-	59.573	109.348
KR	-	1.015	-	3.214	-	-	-	28.418	42.289	-	-	-	74.936
LF	-	293	30.774	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31.067
ME	8.974	53.381	-	12.195	7.593	-	-	-	7.593	-	-	460	90.196
NK	-	-	83.108	-	-	-	-	-	-	1.135	-	-	84.243
PL	-	10.278	24.435	-	-	-	-	-	11.248	388	-	31.416	77.765
SB	-	48.086	122	-	489	17.497	-	-	-	-	-	-	66.194
WB	-	-	67.703	-	-	-	-	-	-	13.892	-	-	81.595
WT	58.180	-	-	3.128	-	-	8.133	41.602	-	-	71.317	-	182.359
WU	-	-	259	-	-	-	-	-	-	31.299	-	70.616	102.174
ZT	58.504	-	-	61.875	-	-	963	23.353	-	-	-	-	144.695
Gesamt	125.658	119.919	249.876	80.411	23.778	81.259	9.096	134.666	159.842	63.896	71.317	172.467	1.292.185

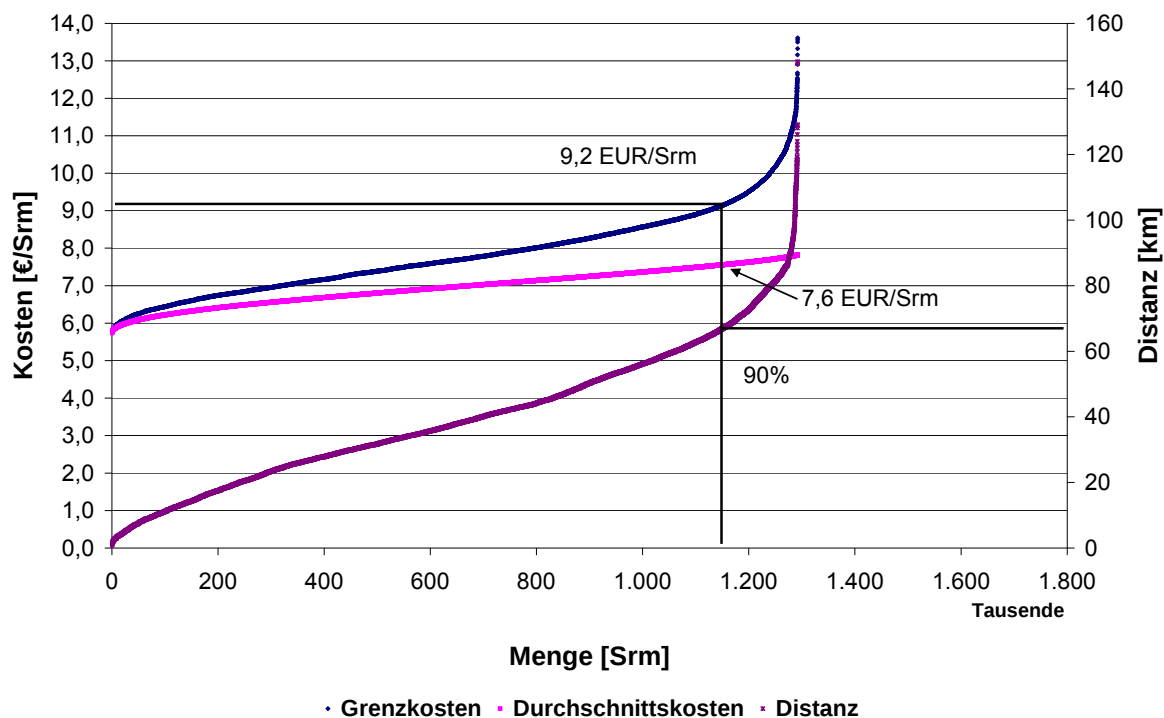


Abbildung 170: Verfügbarkeit des Potenzials für die gesamte Region bei optimaler Verteilung auf die Heizwerke in Abhängigkeit von den Grenz- und Durchschnittskosten sowie der Distanz zum Werk

4.6.2 Versorgung über Terminals

4.6.2.1 Versorgungsszenario KL2P25

Wird die Entscheidung, ob Terminals eröffnet werden, dem Optimierungsmodell überlassen, wird bei keinem Szenario ein Terminal eröffnet. Eine Ausnahme bildet nur das Szenario KL1, wo im Süden von Niederösterreich ein Terminal mit einem Umschlag von nur 1.000 SRM/Jahr vorgeschlagen wird. 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 171). Die meisten Standorte der Terminals befinden sich im Großraum St. Pölten sowie im südlichen Waldviertel. Im Weinviertel sind es die Punkte 77 und 115, welche bei diesem Versorgungsszenario als optimal eingestuft werden. Die einzelnen Heizwerke bekommen durchaus unterschiedliche Mengen über Terminals. Eichenbach 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 (Tabelle 78). Eichenbach würde dann Waldhackgut von den Terminals 86, 106, 126, 127, 146 und 147 beziehen. Die potenziellen Terminals 115, 172 und 193 werden in vollem Umfang genutzt und beliefern ausschließlich das Werk Wien-Simmering (Tabelle 79). 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 – in diesem Fall ausschließlich Wien-Simmering – 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.

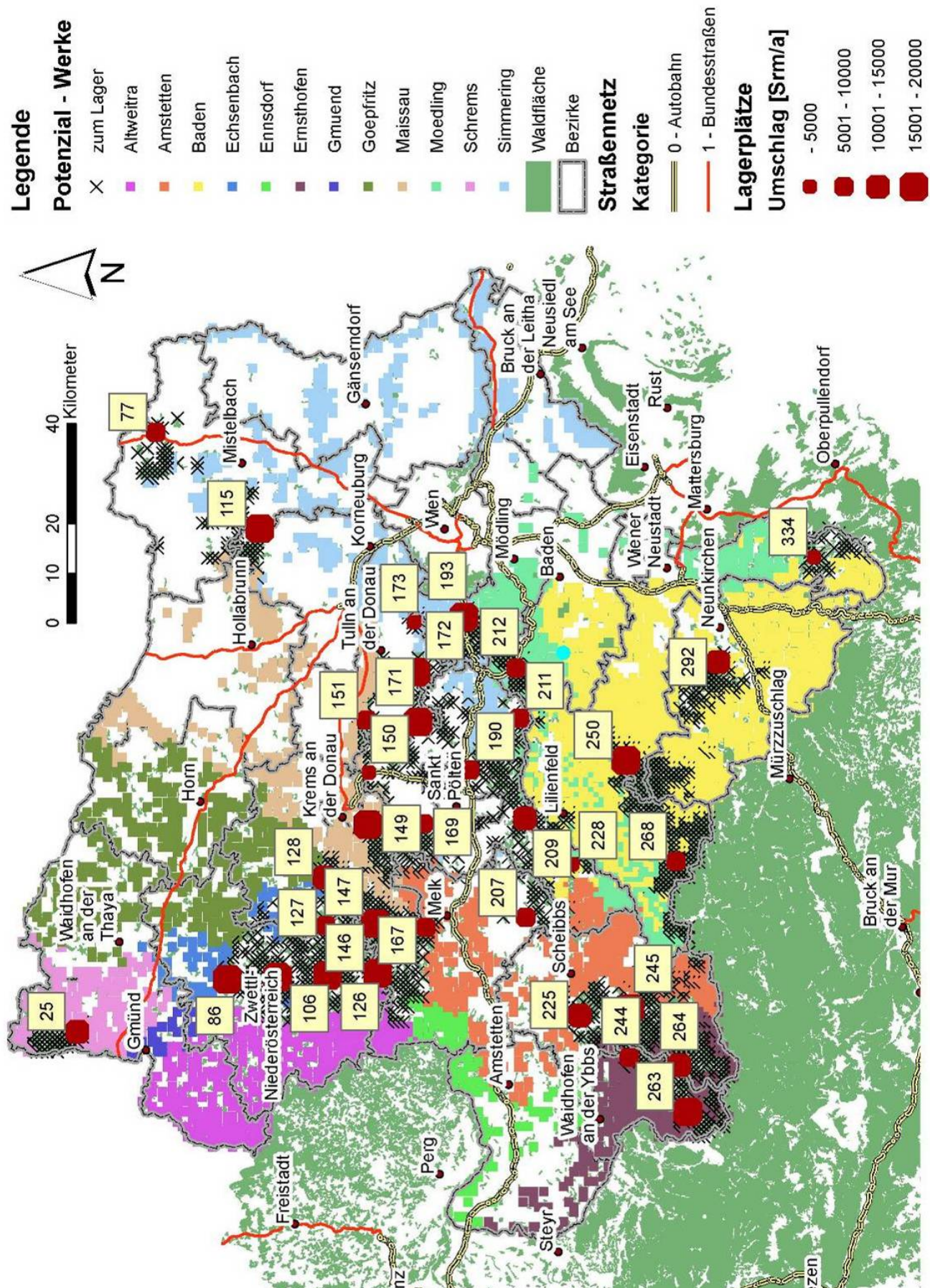


Abbildung 171: Versorgungsszenario bei Potenzial II mit Belieferung von mindestens 25% des Potenzials über Terminals der Kategorie "Klein" (KL2P25)

Tabelle 78: Kennzahlen für die Heizwerke beim Versorgungsszenario KL2P25 mit Belieferung von mindestens 25% des Potenzials über Terminals "Klein"

Heizwerk	Bedarf [Srm/a]	Fehlmenge [Srm/a]	Versorgungs- grad [%]	Gew. Mittl. Dist. Direkt [km]	Max. Dist. Direkt [km]	Menge Direkt [Srm/a]	Kosten Direkt [€]	Menge Lager [Srm/a]	Kosten Lager [€]	Gesamt- kosten [€/Srm]	Mautkosten [€/Srm]
Altweitra	160.000	33.225	79%	30,6	64,7	126.775	916.028	0	0	7,20	0,00
Amstetten	120.000	0	100%	44,8	91,9	111.743	898.584	8.257	81.794	8,20	0,02
Baden	250.000	0	100%	51,2	119,2	199.478	1.686.373	50.522	523.919	8,80	0,09
Echsenbach	160.000	28.450	82%	25,2	55,7	29.504	213.676	102.046	974.893	9,00	0,00
Ennsdorf	250.000	173.986	30%	42,9	69,3	36.740	289.292	39.275	431.881	9,50	0,02
Ernstshofen	146.000	41.564	72%	57,1	148,3	63.233	573.493	41.204	451.877	9,80	0,00
Gmuend	146.000	137.719	6%	7,5	14,5	8.281	52.468	0	0	6,30	0,00
Goepfritz	160.000	0	100%	27,8	56,5	149.559	1.085.869	10.441	104.406	7,40	0,00
Maissau	160.000	0	100%	33,1	67,8	137.736	1.039.832	22.264	218.529	7,90	0,00
Moedling	250.000	137.241	45%	46,6	135,0	90.761	735.252	21.999	223.757	8,50	0,04
Schrems	140.000	76.413	45%	16,9	35,7	52.528	352.877	11.059	97.180	7,10	0,00
Simmering	600.000	215.530	64%	41,5	84,0	266.870	2.056.119	117.600	1.123.836	8,30	0,02
Gesamt	2.542.000	844.127	67%	39,3	148,3	1.273.208	9.899.861	424.665	4.232.073	8,30	0,02

BFI	Altweitra [Srm/a]	Amstetten [Srm/a]	Baden [Srm/a]	Echsenbach [Srm/a]	Ennsdorf [Srm/a]	Ernstshofen [Srm/a]	Gmuend [Srm/a]	Goepfritz [Srm/a]	Maissau [Srm/a]	Moedling [Srm/a]	Schrems [Srm/a]	Simmering [Srm/a]	Gesamt [Srm/a]
MI	-	-	-	-	-	-	-	-	1.936	-	-	29.875	31.812
AM	-	6.741	-	-	20.465	52.005	-	-	-	-	-	-	79.212
BN	-	-	32.287	-	-	-	-	-	-	15.294	-	378	47.958
GF/MI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90.631	90.631
HO	-	-	-	-	-	-	-	43.949	40.250	-	-	-	84.199
KO	-	-	-	-	-	-	-	-	42.955	505	-	59.126	102.586
KR	-	4.208	-	10.871	-	-	-	44.536	47.341	-	-	-	106.957
LF	-	294	27.854	-	-	-	-	-	-	10.730	-	-	38.878
ME	11.425	45.114	-	293	15.526	-	-	-	1.465	-	-	293	74.116
NK	-	-	93.056	-	-	-	-	-	-	1.575	-	-	94.630
PL	-	12.721	3.248	-	-	-	-	-	3.789	14.074	-	14.886	48.717
SB	-	42.665	-	-	749	11.228	-	-	-	187	-	-	54.828
WB	-	-	42.711	-	-	-	-	-	-	12.555	-	-	55.266
WT	51.422	-	-	3.041	-	-	7.188	35.940	-	-	52.528	-	150.120
WU	-	-	323	-	-	-	-	-	-	35.841	-	71.682	107.845
ZT	63.928	-	-	15.299	-	-	1.093	25.134	-	-	-	-	105.453
Gesamt	126.775	111.743	199.478	29.504	36.740	63.233	8.281	149.559	137.736	90.761	52.528	266.870	1.273.208

Tabelle 79: Eröffnete Terminals und die optimale Distribution des Materials zu den Heizwerken
beim Szenario KL2P25

Terminal	Amstetten	Baden	Echsenbach	Ennsdorf	Ernstthofen	Goepfritz	Maissau	Moedling	Schrems	Simmering	Gesamtergebnis
106			19.748								19.748
115										19.999	19.999
126			16.861								16.861
128						10.170					10.170
146			19.937								19.937
147			18.348								18.348
149						271	19.477				19.748
150							2.787				2.787
151										5.559	5.559
167				6.791							6.791
171										15.328	15.328
172										19.455	19.455
173										4.506	4.506
190										9.202	9.202
193										19.793	19.793
207	8.257			1.313							9.570
209		82						13.664			13.746
211										5.978	5.978
212								8.335			8.335
225				11.228							11.228
228		4.060			6.688						4.060
244											6.688
245				19.943							19.943
25									11.059		11.059
250		19.640									19.640
263					20.000						20.000
264					14.516						14.516
268		9.487									9.487
292		12.911									12.911
334		4.341									4.341
86			19.939								19.939
127			7.213								7.213
77										8.852	8.852
169										8.928	8.928
Gesamtergebnis	8.257	50.522	102.046	39.275	41.204	10.441	22.264	21.999	11.059	117.600	424.665

Tabelle 80: Eröffnete Terminals beim Versorgungsszenario KL2P25 mit den Kennzahlen für den jährlichen Umschlag, Distanzen und Kosten für die Zulieferung und Distribution

Terminal	Umschlag [Srm/a]	Distanz Wald- Terminal [km]	Kosten Wald- Terminal [€/Srm]	Distanz Terminal- Werk [km]	Gesamtkosten Terminal-Werk [€/Srm]
106	19.748	9,69	3,24	27,02	9,07
115	19.999	10,46	3,15	52,02	9,58
126	16.861	9,18	3,31	38,77	9,66
128	10.170	5,88	3,11	47,67	9,99
146	19.937	10,28	3,31	51,08	10,07
147	18.348	8,55	3,32	55,04	10,35
149	19.797	9,12	3,49	42,33	9,85
150	2.787	4,77	2,86	44,25	9,54
151	5.559	2,53	2,86	58,06	9,87
167	6.791	4,87	2,89	80,20	10,50
171	15.328	17,35	3,48	52,21	9,82
172	19.455	10,98	3,14	41,11	9,14
173	4.506	1,60	2,54	29,71	8,70
190	9.202	7,57	3,19	60,52	10,05
193	19.793	6,79	2,97	27,41	8,62
207	9.570	10,47	3,35	51,34	10,08
209	13.746	11,98	3,64	72,15	10,75
211	5.978	8,12	3,33	55,37	10,10
212	8.335	5,59	3,04	34,11	9,22
225	11.228	9,52	3,36	62,44	10,49
228	4.060	5,59	3,70	77,35	11,84
244	6.688	5,30	3,42	60,00	10,72
245	19.943	14,00	3,71	92,62	11,44
25	11.059	6,98	3,18	15,00	8,79
250	19.640	12,50	3,47	58,28	10,08
263	20.010	9,50	3,53	73,05	10,63
264	14.516	10,52	3,81	72,53	11,54
268	9.487	13,54	3,59	91,32	11,22
292	12.911	10,94	3,49	42,91	9,75
334	4.341	7,77	3,05	64,06	10,28
86	19.939	11,43	3,13	15,12	8,51
77	8.852	9,95	3,37	45,49	10,19
127	7.213	8,06	3,27	75,22	10,18
169	8.928	8,67	3,23	79,86	10,70
Gesamtergebnis	424.723	9,73	3,32	52,50	9,88

4.6.2.2 Versorgungsszenarien M2P10, M2P25 und M2P50

Die Szenarien basieren neben den Potenzial- und Terminalvarianten auch auf bestimmten Mindestumschlägen über Terminals. Am Beispiel der Terminalvarianten „Mittel“ werden die Veränderungen hinsichtlich der Standortwahl deutlich (Abbildung 172 bis Abbildung 174). Laufen nur 10% des Potenzials über Terminals, eröffnen die Standorte 146, 172, 250 und 263. Wird der Anteil auf 25% erhöht, kommen die Terminals 86, 115, 149, 193 und 225 dazu. Wenn mindestens 50% Anteil an Potenzial über Terminals gehen sollen, werden weiter Standorte im Waldviertel einbezogen. Vergleicht man die alle Szenarien von Terminals „Klein“ und „Mittel“ so ergibt sich ein sehr ähnliches Bild. Die Standorte 115, 172, 173, 250 und 263 werden auch bei geringem Fluss über Terminals eröffnet und bleiben bei größeren Mengenflüssen über Terminals auch erhalten. Diese Regionen sollten daher zuerst einer genaueren Analyse zugeführt bzw. auf eine mögliche Umsetzung hin überprüft werden.

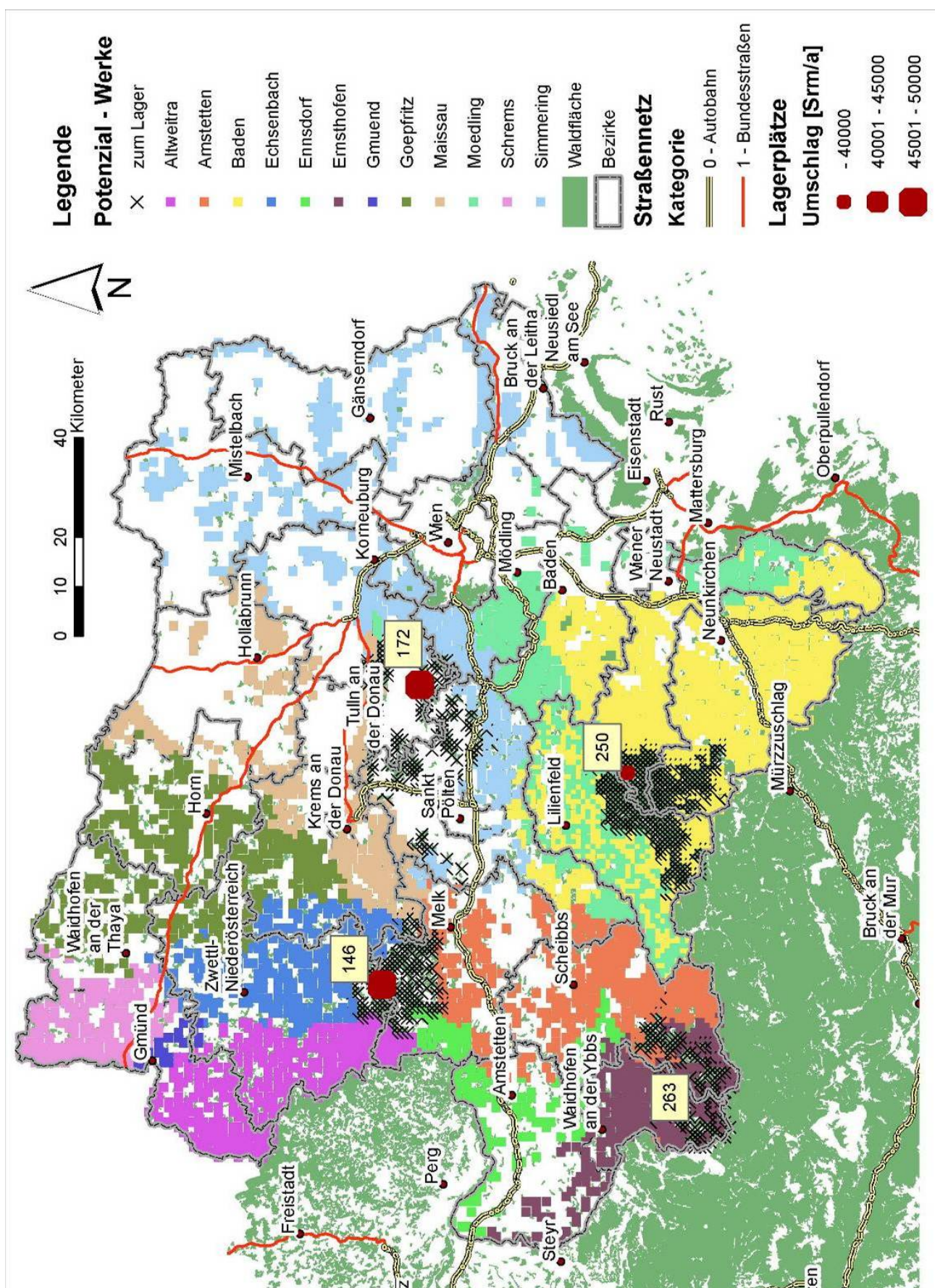


Abbildung 172: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung von Terminals „Mittel“ beim Versorgungsszenario M2P10 mit einem Mindestumschlag von 10% über Terminals

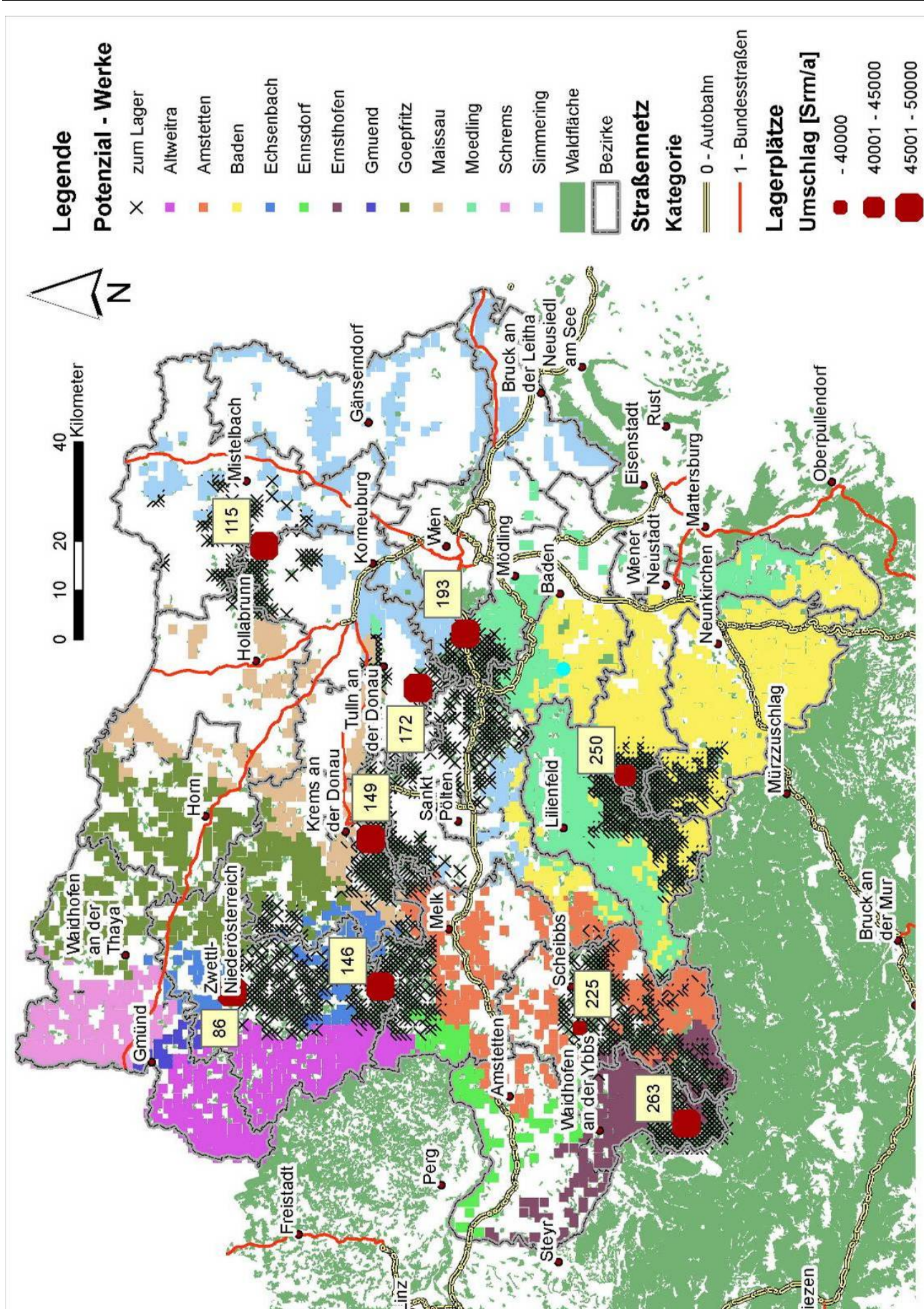


Abbildung 173: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung von Terminals "Mittel" beim Versorgungsszenario M2P25 mit einem Mindestumschlag von 25% über Terminals

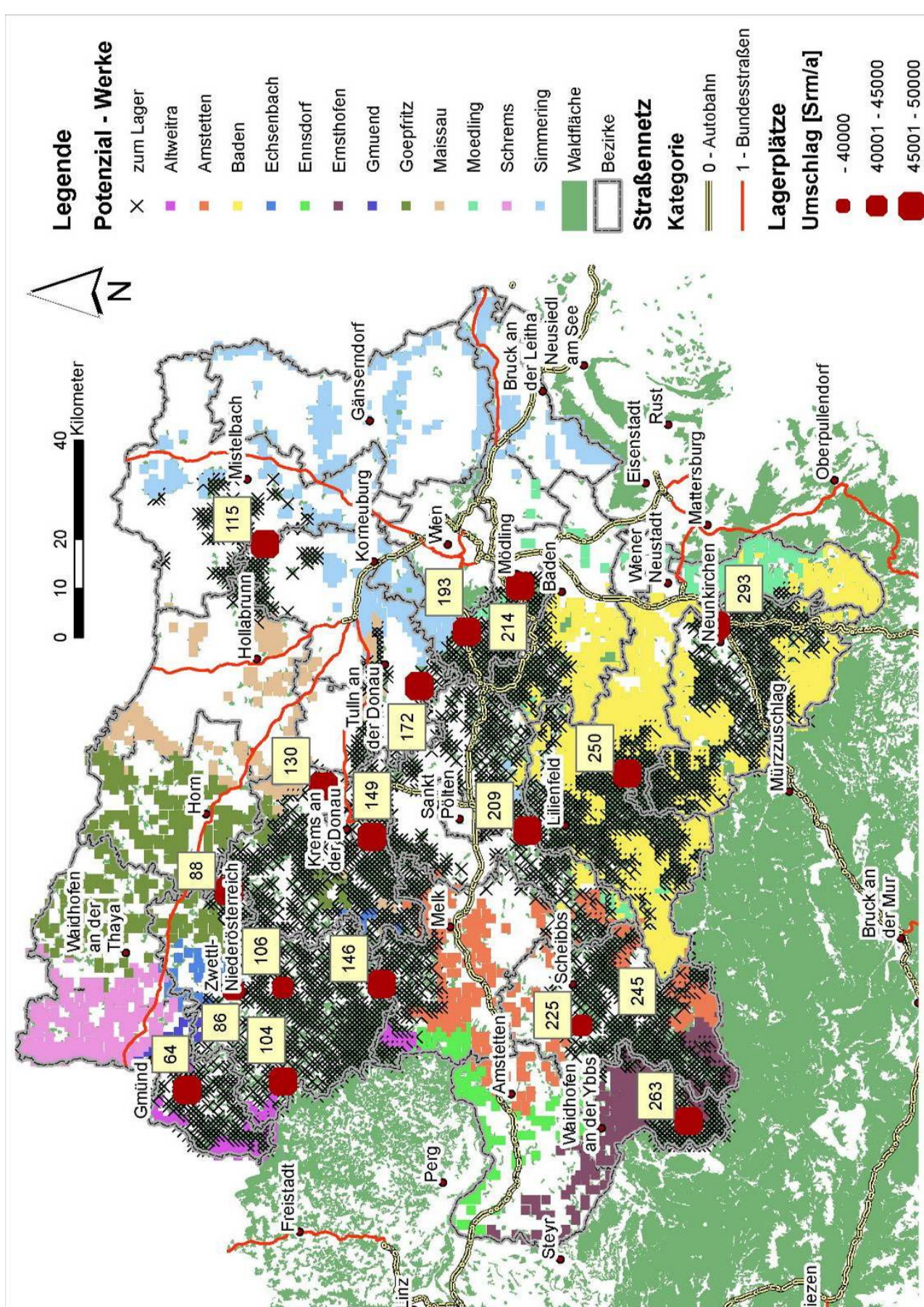


Abbildung 174: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung der Terminals "Mittel" beim Versorgungsszenario M2P50 mit einem Mindestumschlag von 50% über Terminals

4.6.2.3 Versorgungsszenario G2P25

Große Terminals sind mit sehr hohen Investitionskosten verbunden. Die Eröffnung eines solchen Lagerplatzes hat daher große Auswirkungen auf die Kosten. Betrachtet man die einzelnen Szenarien für die Terminals „Groß“ fällt auf, dass sich die Standortwahl meist auf das Waldviertel beschränkt. Die Distribution des Hackgutes erfolgt, wie Tabelle 81 zeigt, hauptsächlich an Werke in der Region. Der höhere Umschlag von 130.000 bis 176.000 SRM/a kann nur aus einem größeren Einzugsgebiet bezogen werden, wodurch auch die Distanz Wald-Werk auf 19 bis 26 km ansteigt. Ebenfalls hoch im Vergleich zu den anderen Szenarien fallen die Transportkosten zum Werk aus. Sie betragen 9,20 bis 10,90 €/SRM (Tabelle 82).

Die „Dichte“ an ausgewählten Heizwerken ist im Waldviertel höher als im restlichen Niederösterreich. Durch die Nähe der Heizwerke entstehen geringere Distributionskosten, welche die hohen jährlichen Fixkosten ausgleichen.

Die Standorte 173, 250 und 263 werden bei Szenarien mit hohem Umschlag über Terminals gewählt.

Tabelle 81: Optimale Distribution von eröffneten Terminals "Groß" beim Szenario G2P25

Terminal	Amstetten	Echsenbach	Gmuend	Goepfritz	Maissau	Schrems	Gesamtergebnis
146	151	139.745					139.896
88		916		129.389	70		130.375
45			45.070			131.153	176.223
Gesamtergebnis	151	140.661	45.070	129.389	70	131.153	446.493

Tabelle 82: Kenndaten der eröffneten Terminals "Groß" beim Szenario G2P25

Terminal	Umschlag [Srm/a]	Distanz Wald- Terminal [km]	Kosten Wald- Terminal [€/Srm]	Distanz Terminal- Werk [km]	Gesamtkosten Terminal-Werk [€/Srm]
146	139.896	19,09	3,95	51,08	10,89
88	130.375	21,11	3,96	20,32	9,74
45	176.223	26,15	4,10	4,58	9,17
Gesamtergebnis	446.493	22,47	4,01	23,75	9,32

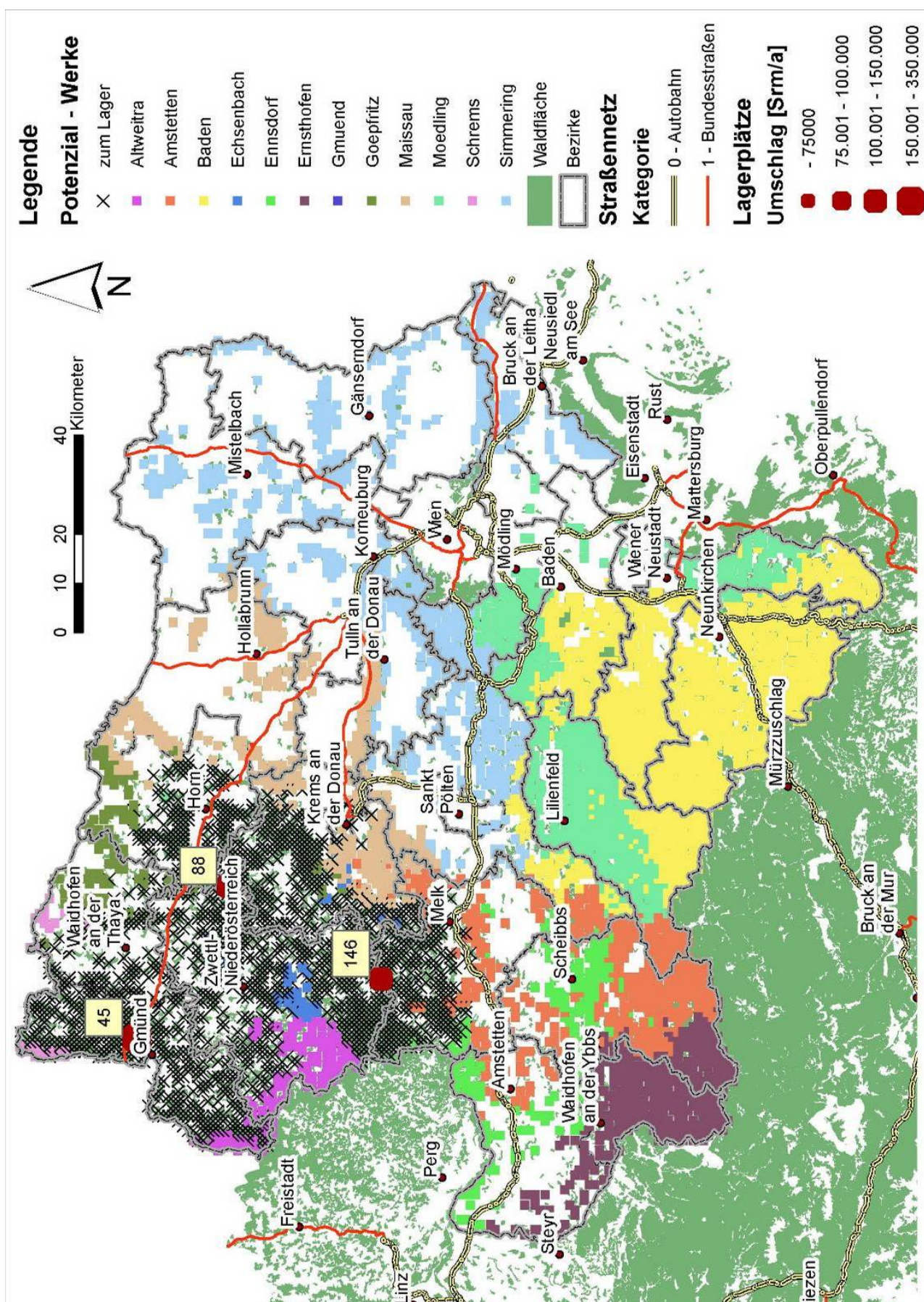


Abbildung 175: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung der Terminals "Groß" beim Versorgungsszenario G2P25 mit einem Mindestumschlag von 25% über Terminals

4.6.3 Empfehlungen

Aus den Berechnungen lässt sich unter Berufung auf die gewählten Eingangsgrößen eine Reihe von Empfehlungen ableiten. 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 Kostendaten aus, sollte eine individuelle Abschätzung möglich sein. 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 (Tabelle 83).

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 (Tabelle 83).

Tabelle 83: Zusammenfassung ausgewählter Szenarien mit den wichtigsten Kenndaten.

Szenario	Umschlag Terminals	Gew. Mittl. Dist. Direkt	Gesamt- kosten	Distanz Wald- Terminal	Distanz Terminal- Werk
	[%]	[km]	[€/Srm]	[km]	[km]
Direkt I	-	39,8	7,80	-	-
Direkt II	-	44,3	8,00	-	-
KL1P50	50,0%	34,5	8,60	11,61	36,25
KL2P25	25,0%	39,3	8,30	9,73	52,50
KL2P50	50,0%	37,8	8,70	11,04	42,50
M2P10	10,0%	41,8	8,20	16,62	54,48
M2P25	25,0%	40,2	8,60	15,50	45,18
M2P50	50,0%	39,0	9,30	16,71	37,35
G2P25	26,3%	48,1	8,60	22,47	23,75
G2P50	50,0%	46,7	9,30	21,95	34,25

Szenario	Kosten Wald- Terminal	Gesamtkosten Terminal-Werk	Menge Direkt	Menge Lager
	[€/Srm]	[€/Srm]	[Srm/a]	[Srm/a]
Direkt I	-	-	-	-
Direkt II	-	-	-	-
KL1P50	3,39	9,52	646.154	646.194
KL2P25	3,32	9,88	1.273.208	424.665
KL2P50	3,36	7,80	848.624	849.089
M2P10	3,69	10,93	1.527.782	169.803
M2P25	3,60	10,51	1.273.104	424.489
M2P50	3,69	10,31	848.834	849.054
G2P25	4,01	9,32	1.251.250	446.493
G2P50	4,01	9,50	848.403	849.023

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1 Transport

Der steigende Bedarf an Waldhackgut stellt die Forstwirtschaft vor eine Herausforderung, da die bisherigen Bereitstellungsketten keinen lukrativen Deckungsbeitrag garantieren. Die Suche nach Optimierungsmöglichkeiten entlang der Ketten zeigt auf, dass bisher dem Transport wenig Beachtung geschenkt wurde. Steigende Kraftstoffpreise und die Einführung kilometerabhängiger Maut lassen zugleich die Transportkosten steigen. Ziel ist es daher einerseits bestehende Studien von Transportsystemen für Waldhackgut zu analysieren und daraus Empfehlungen abzuleiten. Weiters soll anhand ausgewählter Beispiele die Einsetzbarkeit von neuen Systemen beleuchtet werden.

Auf Basis der vorliegenden Literatur wurden folgende Schwierigkeiten beim Transport von Wald-Energieholz identifiziert:

- Niedrige Auslastung der Ladekapazität
- Aufwändige Organisation des Transports bei gekoppelten Arbeitssystemen
- Hohe Warte- und Standzeiten bei geschlossenen Bereitstellungsketten
- Ausschluss von bestimmten Systemen bei ungünstiger Befahrbarkeit von Forststraßen
- Erschwertes Hacken bei eingeschränkten Platzverhältnissen auf der Forststraße
- Unrentabilität des Transportes bei weiten Entfernungen

Bei der Auswertung der Literatur zeigte sich eine Reihe von Sachverhalten, die die Vergleichbarkeit der Studien miteinander erschweren. Ein Mangel stellt die Aktualität der Studien dar, wodurch die Vergleichbarkeit bedingt gegeben ist. Die ständige Veränderung der Kosten für Kraftstoff, Lohn und Anschaffung sind in diesen Studien meist nicht berücksichtigt. Die Leistungs- und Kostendaten der Studien beruhen auf unterschiedlichen Berechnungsgrundlagen. In einigen Studien wurden beispielsweise Standzeiten berücksichtigt, in anderen nicht. Zudem fehlen in einigen Studien Angaben zur Transportentfernung, für die die entstandenen Kosten berechnet wurden. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Transport hängen von nationalen Normen ab. Beispielsweise beträgt das zulässige Gesamtgewicht für LKW in Österreich 38 t (bis 42 t), in Schweden und Finnland sind dagegen 60 t gestattet.

Der Transport von Schlagabraum ist aufgrund der geringen Ladedichten sehr kostenintensiv und sollte deshalb nur für kurze Distanzen (Vortransport) durchgeführt werden. Die Transportkosten sind bis zu drei Mal so hoch wie von Rundholz und betragen bei einer Distanz von zehn Kilometern circa 6,00 €/SRM für Schlagabraum und 4,00 €/SRM bei Wipfelmaterial.

Die Transportkosten bei der Binnenschifffahrt sind nicht fix definiert, sondern von Entfernung, Fahrtrichtung, Ladegut und Ladevolumen abhängig. Insgesamt weist der Schiffstransport aber aufgrund der hohen Ladekapazität günstige Beförderungsmöglichkeiten auf. Neben den Transportkosten sind auch noch Kosten für das Be- und Entladen sowie Liegegeld und Versicherungen zu berücksichtigen. Deshalb spielte der Inlandverkehr von Holz bisher nur eine untergeordnete Rolle. Beim Transport des Energieholzes per Schiff ist außerdem ein Vor- und Nachtransport mit anderen Transportmitteln vom Waldort und bis zum Heizwerk zu berücksichtigen. Linko (2006) ermittelte für die Relation Ybbs-Wien Transportkosten in der Höhe von umgerechnet 5,30 €/SRM.

Beim Transport per Eisenbahn können umgerechnet 80 FM Rundholz pro Rungen-Waggon transportiert werden. Die Kosten sind distanzabhängig und für Laub- und Nadelholz verschieden. Ohne Vor- und Nachtransport sind für die Beförderung von Rundholz circa 3,30 €/SRM bei einer Transportentfernung von 100 km und 3,70 € bei einer Entfernung von 200 km zu rechnen.

Für den Direkttransport von Schüttgut per Eisenbahn können Eanos-Waggons verwendet werden. Die Kosten für den Transport inklusive Be- und Entladen betragen auf einer Strecke von 100 km circa 6,00 €/SRM und auf 200 km circa 9,00 €/SRM. Aufgrund der hohen Systemkosten ist ein Transport mit dieser Methode nicht empfehlenswert.

Beim intermodalen Transport erfolgt ein ein- bis mehrmaliger Wechsel des Verkehrsträgers. Der Transport von Energieholz mit der Eisenbahn erfordert meist einen Vor- und Nachtransport per LKW. Der Wechsel des Transportgutes erfolgt an speziellen Umschlagstellen. Ein wesentliches Kriterium für dieses Verfahren ist eine gute Abstimmung beim Wechsel der Verkehrsträger, damit die Manipulationszeiten möglichst gering gehalten werden.

Das Be- und Entladen des Rundholz-Waggons erfolgt am einfachsten per Ladekran am Rungen-LKW. Die Kosten des LKW-Transportes werden durch die Systemkosten, dem Streckenverlauf, den Geschwindigkeiten und der Straßenkategorie bestimmt. Ziel sind geringstmögliche Kosten pro Transporteinheit. Beim Rundholztransport per Eisenbahn sowie Vor- und Nachtransport per LKW fallen Manipulationskosten in der Höhe von knapp 3,00 €/SRM an. Die Gesamtkosten betragen bis zu einer Entfernung von 50 km circa 5,00 € und bei einer Entfernung von 100 km circa 6,00 €/SRM.

Der MOBILER-Behälter weist eine Ladekapazität von 50 SRM auf. Die Systemkosten für den MOBILER-LKW betragen 60 €/h. Das Be-, Um- und Entladen dauert insgesamt circa 50 Minuten, was Manipulationskosten von circa 1,00 €/SRM verursacht. Das Beladen erfolgt z. B. per Radlader. Die Gesamtkosten betragen bis zu einer Entfernung von 25 km circa 5,00 € und bei einer Entfernung von 60 km circa 6,00 €/SRM.

Au kurzen Transportdistanzen weist der LKW gegenüber der Eisenbahn unter den derzeitigen Verhältnissen noch deutliche Kostenvorteile auf. Ab einer Transportdistanz von circa 80 km sind die Kosten für den Rundholztransport mit Eisenbahn oder LKW 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.

Die Anforderungen und Verhältnisse der Bereitstellung von Waldhackgut können nicht optimal von einem Transportsystem erfüllt werden. Aber die Kenntnis über die hier zusammengestellten Systeme erleichtert die Auswahl und das Finden einer optimalen Lösung für den jeweiligen Einsatz.

5.2 Zwischenlagerung

Die Zwischenlagerung von Waldhackgut auf einem zentralen Lagerplatz wurde bisher vor allem aus Kostengründen abgelehnt. Diese Studie soll die Anforderungen eines Lagerplatzes darstellen sowie die Vor- und Nachteile einer Zwischenlagerung objektiv erläutern.

Bei der Errichtung eines Lagerplatzes sind diverse, rechtliche Bestimmungen zu berücksichtigen, welche bereits bei der Standortfindung relevant sind. Zur Auswahl eines Lagerplatzes sollte eine Standortbewertung durchgeführt werden. Dabei sollten Nadelwälder, Siedlungsflächen, ökologisch sensible Flächen sowie Schutz- und Sperrgebiete ausgeschlossen werden. Je nach Ausprägung der Geländeverhältnisse, klimatischen Verhältnisse und der vorhandenen Infrastruktur ist ein Standort besser oder schlechter geeignet.

Die Ausstattung eines Lagerplatzes hängt von der umzuschlagenden Menge an Energieholz, den bereits vorhandenen Strukturen sowie der Art der Verarbeitung ab. Für die Qualitätsbestimmung werden Fahrzeugwaagen und Feuchtemessgeräte empfohlen. Die Befestigung erfolgt mit Schotterung oder Asphaltierung. Bei der Lagerung von Hackgut ist eine entsprechende Entwässerung

vorzusehen. Die Zerkleinerung des Hackgutes erfolgt mit mobilem oder stationärem Hacker, der innerbetriebliche Transport wird mit einem Radlader empfohlen.

Die Errichtungs- und Betriebskosten eines Lagerplatzes sind vor allem von der Ausstattung und von der Umschlagsmenge abhängig. Für die Schotterung der Lagerfläche wurden 30 € und für die Asphaltierung circa 60 €/m² berechnet. Für die Errichtung einer Lagerhalle wurden circa 200 € pro m² Grundfläche kalkuliert. Die Anschaffungskosten für Geräte für die Qualitätsbestimmung betragen circa 30.000 €. Als variable Kosten gelten Personal, Pacht, Abwasser, Kanal, Strom, Instandhaltung, Holzentwertung, Transport und Manipulation des Holzes.

Geschotterte Lagerplätze ohne Lagermöglichkeiten für Hackgut sind sehr einfach ausgestattet und werden für geringere Umschlagsmengen empfohlen. Bei einer Lagerdauer von zwölf Monaten und einer Umschlagsmenge von 5.000 SRM sind Lagerkosten in der Höhe von 3,50 €/SRM zu erwarten. Diese Variante wird bei geringen Mengen und langer Lagerdauer empfohlen.

Besser ausgestattet sind Lagerplätze mit der Möglichkeit der Lagerung und der Verwiegung des Hackgutes. Bei einer Lagerdauer von sechs Monaten und einer Umschlagsmenge von 20.000 SRM sind Lagerkosten in der Höhe von 3,60 €/SRM zu erwarten. Diese Variante wird bei mittleren Mengen und mittlerer Lagerdauer empfohlen.

Die beste Ausstattung weisen Plätze mit einer Lagerhalle auf. Hier sind auch entsprechend hohe Umschläge zu erwarten. Bei einer Lagerdauer von zwei Monaten und einer Umschlagsmenge von 100.000 SRM sind Lagerkosten in der Höhe von 2,10 €/SRM zu erwarten. Diese Variante wird bei großen Mengen und kurzer Lagerdauer empfohlen.

Die entstehenden Kosten bei der Zwischenlagerung werden durch die Möglichkeit einer kontinuierlichen und intensivierten Verarbeitung des Hackgutes an zentralen Lagerplätzen wieder teilweise kompensiert. Darunter fallen die Möglichkeiten einer kontinuierlichen Versorgung durch Anlegen eines Sicherheitsbestandes an Waldhackgut, die Vermeidung negativer forsthygienischer Effekte durch Lagerung außerhalb des Waldes, Produktivitätssteigerungen durch Vermeidung von Wartezeiten und der Nutzung adäquater Maschinen sowie die Vermeidung hoher Lagerkosten am Heizwerk. Negative Effekte sind jedoch durch die längeren Transportwege, sowie durch den zusätzlichen Ent- und Beladevorgang des Transportfahrzeuges zu erwarten.

Durch eine bessere Abstimmung des Hackers mit dem Transportfahrzeug bzw. der Möglichkeit der direkten Lagerung von Hackgut sind Einsparungen von circa 0,10 €/SRM (Rundholz) bis 1,00 €/SRM (Schlagabraum) zu erwarten. Beim Transport des Hackgutes sind je nach Holzart durch die Reduktion des Wassergehaltes von 55 auf 35 % bei einer Stunde Fahrzeit, Einsparungen in der Höhe von 0,30 bis 0,50 €/SRM zu erwarten. Bei der Lagerung von Energieholz auf einer landwirtschaftlich gewidmeten Fläche gegenüber der Lagerung am Heizwerk ergeben sich Kostenvorteile in der Höhe von 0,75 €/SRM.

Beim Vergleich der Kosten mit den zu erwartenden Vorteilen wird eine sorgfältige Prüfung und langfristige Betrachtungsweise empfohlen. Unter günstigen Bedingungen und Ausnutzung bestehender Strukturen weist eine Zwischenlagerung Vorteile gegenüber dem direkten Transport vom Wald ins Heizwerk auf.

5.3 Bereitstellung

Die Bereitstellung von Energieholz sollte so erfolgen, dass eine ausreichende Versorgung in adäquater Qualität innerhalb eines bestimmten Zeitraumes gewährleistet werden kann. Neben den Qualitätsstandards, die vor allem durch Art und Größe der Feuerungsanlage vorgegeben werden, müssen weitere Vorgaben, wie die Nutzung des öffentlichen Verkehrsnetzes, Transportentfernungen, Lagerkapazitäten und der vorhandenen Maschinenpark berücksichtigt werden.

Eine möglichst kostengünstige Bereitstellung sollte durch Optimierung der einfließenden Parameter der jeweiligen Bereitstellungsverfahren angepeilt werden. Die Entscheidung des Mechanisierungsgrades wird maßgeblich durch die Topografie beeinflusst. Die Mechanisierung stellt eine wichtige Grundlage zur Kosteneinsparung dar, wobei ein hoher Auslastungsgrad eine zentrale Rolle spielt. Um diesen zu garantieren, bedarf es idealer Weise hoher Mengen in einem möglichst kleinen Einzugsbereich. Die Gründung von Kooperationen zur Bereitstellung von Waldhackgut scheint im Zusammenspiel mit der Holzernte sinnvoll. Durch gemeinschaftliche Maßnahmen steigert sich der Grad der Maschinenauslastung und die Überstellungskosten der an der Logistikkette beteiligten Maschinen reduzieren sich (Friedl et al., 2004).

Weitere Empfehlungen konnten aus der Analyse der Fallstudien gewonnen werden:

- Die Bereitstellung von Energieholz erweist sich kostengünstiger, wenn gleichzeitig auch Nutzholz ausgeformt wird. Besonders die Nutzung von Schlagabraum als Koppelprodukt erzielt ansprechende Deckungsbeiträge.
- Die Waldhackgutbereitstellung bei motormanueller Holzernte erscheint dann konkurrenzfähig, wenn dadurch das vorhandene Maschinen- und Arbeitskräftepotenzial besser ausgenutzt werden kann.
- Der Einsatz des getesteten Fällbeilklingenaggregats empfiehlt sich im Laubholzbereich bis zu einem Fälldurchmesser von 18 cm, im Nadelholzbereich bis zu etwa 22 cm. Darüber hinaus sind ein mehrmaliges Positionieren des Fällaggregates und Fällvorgänge von mehreren Seiten notwendig. Die Produktivität der Fällkombinationen wird maßgeblich durch das entnommene Baumvolumen beeinflusst. Die Entnahme von Bäumen kleiner Dimension sollte daher unterbleiben.
- Die Verwendung von Fällaggregaten mit Sammelfunktion verringert die Fällzeit gegenüber Fällköpfen ohne Sammelfunktion. Die Grenze für das Mehrfachfällen des Fällbeilklingenaggregats ist bei 15 cm BHD erreicht. Darüber hinaus werden nur Einzelbäume gefällt. Die Kombination Mehrfachfällkopf und unterbrochene Arbeitskette erweist sich als die produktivste Variante.
- Das Ladevolumen wirkt sich besonders stark auf die Rückekosten aus und sollte besonders bei langen Rückedistanzen maximiert werden.
- Das Energieholz sollte so aufbereitet werden, dass die Bearbeitung beim jeweils nachfolgenden Prozessschritt erleichtert wird. So sollen z. B. vor dem Hacken sperrige Teile zerkleinert und Astgabeln zerteilt werden. Das Greifen des Energieholzes durch einen Kran wird durch Unterlegen von Querhölzern erleichtert.
- Bei der Manipulation und bei der Lagerung sollt immer auf ein ausreichendes Platzangebot geachtet werden. Dies vermindert Überstellungs- und daraus resultierende ablaufbedingte Wartezeiten.
- Eine Verschmutzung des Energieholzes und daraus resultierende Reparaturen und Wartezeiten sollte möglichst vermieden werden.
- Das Hacken von Energieholz mit niedrigem Wassergehalt führt zu hoher Staubentwicklung, was die Gefahr einer Überhitzung darstellt. Hier erweist sich der Einsatz von Abrollcontainern als Vorteil, da der LKW während der Beladung des Containers abseits warten kann.
- Durch Auswahl eines sonnigen Lagerplatzes kann der Trocknungseffekt verbessert werden.

- Durch Abdecken des Energieholzpolters mit Planen oder Spezialpapier während der Lagerdauer, kann der Trockensubstanz-Gehalt deutlich erhöht werden. Kanzian (2005) verwendete bei Energieholzbündel dazu Spezialpapier und konnte dadurch in 9 Monaten den Trockensubstanz-Gehalt von 51 % auf 68 % erhöhen.
- Um die Produktivität zu steigern, ist auf eine geeignete Zufahrt zu Lager- und Hackplatz, auf eine ausreichende Anzahl an Transportfahrzeugen und der Berücksichtigung von Umkehr- und Vorbeifahrsmöglichkeiten zu achten.
- Der Einsatz von Wechselcontainer ist dann zu empfehlen, wenn genügend Platz zum Abstellen vorhanden ist, der Container direkt neben dem Hacker abgestellt werden kann und größere Einsatzmengen vorhanden sind, welche die zusätzlich erforderliche Fahrt des LKW zum Einsatzort erlauben. Durch die Selbstbeladung mit montiertem Ladekran und Schallengreifer lassen sich Einsätze in ge- oder entkoppelten Arbeitssystemen flexibel planen.
- Die geringere Ladehöhe des Containers ist vor allem bei schwierigen Forststraßenverhältnissen und geringer Auswurfhöhe des Hackers von Vorteil.
- Um eine optimale Auslastung der Kapazität der Wechselcontainer zu erreichen, wird eine Ladedichte von 224 kg/SRM empfohlen. Ein höherer Wassergehalt führt zu geringerer Auslastung und somit zu höheren Transportkosten.

Ganz et al. (2005) beschreiben Empfehlungen für die Optimierung der Bereitstellung von Waldhackgut. Die Prozesse Hacken und Transport sind jene Bereiche mit dem größten Einfluss auf die Optimierung (Abbildung 176).

Hacken	
Geschlossene Arbeitskette Direktbeladung des LKW durch Hacker	Offene Arbeitskette Selbst-/Fremdbeladung des LKW
Verschmutzung des Hackmaterials durch Fremdkörper bei der Lagerung unterbinden; Reparaturkosten und Stillstandzeiten können minimiert werden	
Bei starker Verschmutzung des Hackmaterials durch Fremdkörper Schredder einsetzen, Qualität des Hackgutes unterschiedlich	
Lagerung des Hackmaterials und Waldhackgutes – Zusätzliche Manipulationen durch den Hacker oder Schüttgut-LKW mit Ladekran vermeiden; Kranreichweite (10m) beachten	
Mindestmengen auf Transportfahrzeug (LKW-Zug) abstimmen; Vorkonzentration von Kleinstmengen; Kosten der An- und Abfahrt minimieren, Produktivität erhöhen	
Straffe Organisation der Abfuhr notwendig, um Wartezeiten zu reduzieren	Hacker unabhängig vom Transport und dadurch flexible Einsatzplanung möglich
Ausreichend Platz für Lkw und Hacker einplanen, um reibungslose An- und Abfahrt garantieren zu können	Untergrund frei von Verunreinigungen, Wurzelstöcken, usw. bei der Lagerung des Waldhackgutes

Transportieren	
Schüttgut-Lkw mit/ohne Anhänger	Schüttgut-Lkw mit/ohne Anhänger und Ladekran
Große Losgrößen, mittlere bis große Transportdistanzen, ab Lagerplatz in Straßennähe geeignet	Mengen ab 1 Lkw-Zug, kürzere bis mittlere Entfernungen, abgelegene, schwer erreichbare Ladeorte erreichbar
Technische Anforderungen der Transportfahrzeuge an den Straßenzustand beachten 6x6 Antrieb, Differentialsperren	
Kostenintensiver Transport von Material mit geringen Ladedichten; nur kurze Distanzen zum Zwecke des Vortransportes bzw. Vorkonzentration	
Problem der Auslastung des möglichen Transportvolumen (Begrenzung durch gesetzliche Nutzlast); Beeinflusst von Wassergehalt, Schüttdichte	

Abbildung 176: Empfehlungen für die Optimierung für die Bereitstellung von Waldhackgut

6 Verzeichnisse

6.1 Literaturverzeichnis

- Affenzeller, G. & Stampfer, K. (2007): Energieholzbereitstellung mit Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklingenaggregat. Fallstudie im Auftrag des Kooperationsabkommens Forst-Holz-Papier (FHP). Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien, 29 S.
- 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.
- Angus-Hankin, C.; Stokes, B.; Twaddle, A. (1995): The transportation of fuelwood from forest to facility. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 9. Nos 1-5, 191-203.
- Asikainen, A. (1995): Discrete-event simulation of mechanized wood-harvesting Systems. Academic Dissertation. Faculty of Forestry, University of Joensuu. Finland. 86.
- Asikainen, A.; Ranta, T. und Laitila, J. (2001): Large-scale forest fuel procurement. in P Pelkonen; P Hakkila; T Karjalainen und B Schlamadinger, Hrsg., 'Woody Biomass as an Energy Source – Challenges in Europe', European Forest Institute (EFI), , pp. 73-78.
- Belser, E. (2005): Holzpolter mit dem Handy erfassen. *Wald und Holz*, 4/05. S 41-43.
- Bilek, F. (2006): Bilek Landmaschinen Großhandel Rechnitz, Maschineninformationsblatt 9 S.
- BMLFUW (2003): Hydrologischer Atlas Österreichs, hrsg. vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Projektleitung: Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau, Universität für Bodenkultur, Wien – ISBN 3-85437-250-7.
- Bodelschwingh, E. (2004): Das System VALMETrailer, *Forst & Technik* 6, S15 -18.
- Bodelschwingh, E. (2005): Analyse der Rundholzlogistik in der Deutschen Forst- und Holzwirtschaft – Ansätze für ein übergreifendes Supply Chain Management. Dissertation, Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Angewandte Informatik, Technische Universität München, 214 S.
- Bodelschwingh, E., Bauer, J., Longo, M. (2003): Informationsflüsse in der modernen Holzerntekette. *AFZ-DerWald*, 58(17). S 855-857.
- Carlsson, D. und Rönnqvist, M. (2005): Supply chain management in forestry - Case studies at Södra Cell AB. *European Journal of Operational Research* 163(3), S. 589–616.
- 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.
- Daxner, P. (2002): Logistics software implementation in Austrian Forest and Timber industries. Proceedings of Symposium on Models and Systems in Forestry. Punta de Tralca, Chile.
- Daxner, P., Dürstein, H., Kanzian, C., Pertlik, E., Rauch, P. & Stampfer, K. (2004): Produktionskette Holz - Wege zur optimalen Wertschöpfung. Forschungsbericht, Institut für Forsttechnik, 64 S.
- Domschke, W. & Drexl, A. (1996): Logistik: Standorte, Oldenbourg - München; Wien. Bd. 3. 4., überarb. u. erw. Aufl. , 1996 . - XII, 276 S. ISBN 3-486-23586-9.
- Eberhardinger, A.; Bodelschwingh, E. (2005): Neue Entwicklungen im Holztransport. *Wald und Holz* 2, 52-54

-
- Eberhardinger, A. (2007): Schwarze Zahlen in der Schwachholzernte? Der Einsatz von Mehrfachfällköpfen in der Erstdurchforstung. Präsentationsunterlagen vom 11. Forstlichen Unternehmertag, Freising 22.03.2007.
- Eriksson, L. O. und Bjoerheden, R. (1989): Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operational Research* 43(1), S. 26 - 33.
- Fenz, B. und Pircher, A. (2006): Projekt „Wertschöpfungskette Waldhackgut“ – Zwischenbericht Vortransport. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Fenz, B. und Stampfer, K. (2005): Optimierung des Holztransports durch Einsatz von faltbaren Containern (LogRac). Endbericht zu einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft und dem Land Steiermark. Institut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien. 25 S.
- Fenz, B. und Stampfer, K. (2007): Motormanuelle Holzernte mit Waldhackgutbereitstellung. Fallstudien im Laubholz. Studie im Auftrag von Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier (FPP). Institut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien, 26 S.
- Forsberg, M., Frisk, M., Rönnqvist, M. (2005): FlowOpt - a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering*, 2005 (Vol. 16) (No. 2) 101-114.
- Friedl, K., Kanzian, Ch., Stampfer, K. (2004): Netzwerk Holz. Endbericht zu einer Studie im Auftrag des Kooperationsabkommens Forst-platte-Papier und der Holzindustrie österreichs. Eigenverlag des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur Wien. 105 S.
- Friedrich, J.-M. (2002): Supply-Chain-Management-Software für kleine und mittlere Unternehmen. Lösungsmöglichkeiten mit Componentware. Shaker Verlag, Aachen, 160 S.
- Ganz, M., Holzleitner, F. & Kanzian, C. (2005): Energieholzlogistik Kärnten. Transport von Energieholz. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften an der Universität für Bodenkultur Wien. 89 S.
- Gassner (2006): Gassner Wiege- und Messtechnik, verfügbar von <http://www.gassner-waagen.at/>, abgefragt am 11.08.2006.
- Gierer, D. (2001): Premium-Hackgut. Produktionstechnische Voraussetzungen für die Herstellung hochwertiger Holzbrennstoffe. - Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation u. Technologie. - 143 S. - (Berichte aus Energie- und Umweltforschung; 2002,1)
- Golser, M., Nemestothy, K., Schnabel, R. (2004): Methoden zur Übernahme von Energieholz. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA, Forschungsinstitut und akkreditierte Prüf- und Überwachungsstelle der Österreichischen Gesellschaft für Holzforschung (HFA). Wien. 151 S.
- Golser, M., Pichler, W. und Hader F. (2005): Energieholztrocknung. Endbericht. Beauftragt durch Kooperationsabkommen Forst-Platte-Papier. HFA-Nr.: F1887/04. Wien. März 2005.
- Gronalt, M. und Rauch, P. (2006): Alternative Strategien für die Landwirtschaft. *Facultas*, Kapitel: Kostenvorteile einer Kooperation und die Bestimmung der Systemkosten im Versorgungsnetzwerk Holz-Biomasse, 173-187 S.
- Gronalt, M. und Rauch, P. (2007): Designing a regional forest fuel supply network. *Biomass and Bioenergy* 31(6), S. 393-402.
- Gunnarsson, H., Rönnqvist, M. und Lundgren, J. (2004): Supply chain modelling of forest fuel. *European Journal of Operational Research* 158(1), S. 103-123.

-
- Gunnarsson, H. (2007): Supply chain optimization in the forest industry. Dissertation, Linköping University, Department of Mathematics, 26 S.
- Hakkila, P. (2004): Developing technology for large-scale production of forest chips - Wood Energy Technology Programme 1999 – 2003. Forschungsbericht, VTT Processes, 99S.
- Heister, G. (2006): Waagen und Wägesysteme, verfügbar von <http://www.fahrzeug-waagen.de/>, abgefragt am 11.08.2006.
- Hochrainer, F. & Stampfer, E. (2006): UE – Projekt Biomasse. Teilprojekt Produktion Logistik. Unveröffentlichtes Manuskript der ÖBf AG, 30 S.
- Hug, J. (2004): Optimierung von Geschäftsprozessen in der Forstwirtschaft durch den Einsatz von Informationstechnologie am Beispiel der Holzbereitstellung auf Revierebene. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 227 S.
- 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.
- Kallio, M. und Leinonen, A. (2005): Production technology of forest chips in Finland, published by the Technical Research Centre of Finland (VTT), at: http://www.bio-south.com/pdf/ForestRes_Prod.pdf, (07.01.2007).
- Kanzian, C. (2005): Bereitstellung Von Waldhackgut. Verfahren Energieholzbündel im Gebirge. Unveröffentlichter Bericht des Instituts für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften an der Universität für Bodenkultur Wien. 32 S.
- Kanzian, C.; Holzleitner, F.; Kindermann, G. und Stampfer, K. (2006): Regionale Energieholzlogistik Mittelkärnten, Technical report, Insitut für Forsttechnik, Department für Wald- und Bodenwissenschaften, Universität für Bodenkultur, 133.
- Kanzian, C., Fenz, B., Holzleitner, F., Stampfer, K. (2006a): Waldhackguterzeugung aus Schlagrücklass. FPP Bericht, Wien. 29 S.
- Kärhä, K (2006): Whole-tree harvesting in young stands in Finnland. – Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused 45, 118-134. ISSN 1406-9954.
- 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.
- Kienzler, H.-P., Selz, T. und Manns, S. (2000): Auswirkungen von erhöhten zulässigen Gesamtgewichten für den Rundholztransport. Untersuchung im Auftrag des Fachverbandes der Sägeindustrie Österreichs. Freiburg. 65 S.
- Korten, S., Kaul, Ch. Und Schneider, J. (2005): Effektive Steuerung des Warenflusses: RFID-Technologie in der Holzerntekette. AFZ-DerWald 60(18). S 969-970.
- Kuprat, H.; Wenzelides, M. (2002): Modelle der Energiehackschnitzel-Bereitstellung in Niedersachsen. AFZ-DerWald 25, 1358-1363.
- Laitila, J., Asikainen, A. (2006): Energy Wood Logging from early Thinnings by Harwarder Method. Baltic Forestry, 12 (1): 94-102.
- Linko, F. (2006): Möglichkeiten und Probleme beim Holztransport. Diplomarbeit am Institut für Forsttechnik. Universität für Bodenkultur. 157 S.

-
- Lippstreu, K. (2003): Ganzzüge, wirtschaftliche Alternative. Holz Kurier, Heft 8, 20. Februar 2003: S 17.
- Litschauer, W. (2006): Schriftliche Mitteilung über MOBILER-Transport, 20.11.2006 und 22.11.2006.
- Maute, D. (2006): Technische Akustik und Lärmschutz. - München [u.a.]: Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag. - 217 S. - 978-3-446-40222-5
- Nemestothy, K. (2006): Perspektiven für die Biomasseversorgung in Österreich. In: Katzensteiner, K., Nemestothy, K. 2006: Energetische Nutzung von Biomasse aus dem Wald und Bodenschutz – Ein Widerspruch? Manuskript f. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Heft 74, 10 S.
- Nord-Larsen, T. und Talbot, B. (2004): Assessment of forest-fuel resources in Denmark: Technical and economic availability. *Biomass and Bioenergy* 27(2), S. 97 - 109.
- Odenthal-Kahabka, J. (2005): Handreichung Sturmschadensbewältigung. Hrsg. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg und Landesforsten Rheinland-Pfalz, in Bearbeitung.
- Ölz, T. (2007): Eröffnung Hackgutlagerhalle Biomasse Dornbirn. Waldzeitung Nr. 2/07, Juni 2007, S. 12.
- Partl, H. (2000): XML - Extensible Markup Language Kurz-Info. Version September 2000. <http://www.boku.ac.at/>.
- Patzak, W. (1981): Teiluntersuchung zu dem Projekt Emmelshausen. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Forstl. Arbeitswiss. u. Verfahrenstechnik d. Univ. München, 78 S.
- Patzak, W. (1984): Bereitstellung forstlicher Biomasse. Teil I. Bereitstellung forstlicher Biomasse aus Erstdurchforstung in Fichten- und Kiefernbeständen. Forschungsbericht (C O 76). Bundesministerium für Forschung und Technologie. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik der Universität München. 288 S.
- Patzak, W. (1984a): Bereitstellung forstlicher Biomasse. Teil II. Untersuchungen von Systemen zur Bereitstellung forstlicher Biomasse auf der Grundlage einer Analyse des Schrifttums. Forschungsbericht (C O 76). Bundesministerium für Forschung und Technologie. Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnik der Universität München. 249 S.
- Pfohl, H.-C., (1972): Marketing – Logistik. Gestaltung, Steuerung und Kontrolle des Warenflusses im modernen Markt. Mainz, 217 S.
- Pfohl, H.-C., (2004): Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 7., korr. und aktualisierte Auflage, Berlin: Springer, 444 S.
- Plath, H.-J. (1992): Transportökonomische Gesichtspunkte bei der Versorgung von Energieanlagen mit Heizhackschnitzeln. Der Wald Berlin 42 (5), 158-159.
- Priplata, M. (2007): Energieholzindex für Österreich (Basis 1979), verfügbar von <http://www.agrar-net.at/>, abgefragt am 31.01.2007.
- Pröll, W., Bauer, R., Lugmayr, J., Kohl, J., Hauer, H. und Preier, P. (2005): 500 Forstmaschinen: Maschinenbeschreibung und Selbstkostenrechnung. 3. Auflage. Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Wien: CD-ROM.
- Rail Cargo Austria (2006): Güterwagen: Daten und Details 2006, CI&M-Prod.-Nr. 3103846, 93 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.
- Remler, N.; Weixler, H.; Feller, S. (1998): Vollmechanisierte Waldhackschnitzelbereitstellung. LWF-Bericht 16, 82 S.
- Riedl, L., Kalasek, R., Reinberg, S. (1999): Angewandte räumliche Analytik. Unterlagen im Rahmen der Lehrveranstaltung „GIS – technische und methodische Grundlagen“. Institut für Stadt- und Regionalforschung, Technische Universität Wien, 73 S.
- Rockenbauer, J. (2006): Kostenschätzung Lagerplatz, schriftliche Mitteilung der Firma Alpine-Mayreder Bau GmbH, 24.05.2006.
- Rohrmoser, C.; Stampfer, K. (2003): Optimierung der Bereitstellungskette von Waldhackgut. Unveröffentlichte Projektstudie „EWLOG-Umsetzung-Rohstofforschung“, AGRAR PLUS GesmbH, 96 S.
- Roscher, M., Fjeld, D., Parklund, T. (2004): Spatial patterns of round wood transport associated with mobile data systems in Sweden. *Journal of forest engineering*, University of New Brunswick.
- Savola, J., Jokinen, O. (1995): Eine finnische Lösung für die Holzernte. *AFZ-DerWald*, 50(13). S 687-690.
- Schneider, F. & Proidl, H. M. (2003), 'Österreich und die Kyoto-Ziel-Erreichung'.
- Schulte, Ch. (1999): Logistik, Wege zur Optimierung des Material und Informationsflusses, Verlag Franz Vahlen München: 134 – 143.
- Schwertfeger, F. (1981): Waldkrankheiten, 4. Auflage. Paul-Parey-Verlag. Hamburg, Berlin, 486 S.
- Sikanen, L., Asikainen, A. & Lehtikainen, M. (2005): Transport control of forest fuels by fleet manager, mobile terminals and GPS. *Biomass-and-Bioenergy* 28(2), S. 183-191.
- Silversides, C. R. und Sundberg, U. (1989): Operational efficiency in forestry. Vol. 2: practice, 1-169.
- Sorsa, J. (2002): Towards StanForD-XML. Metsäteho Report 131, Helsinki.
- Stadtler, H. (2005): Supply chain management and advanced planning - Basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research* 163(3), S. 575--588.
- Stampfer, K. (2002): Optimierung von Holzerntesystemen im Gebirge. Habilitationsschrift, Universität für Bodenkultur Wien. 96 S.
- Stampfer, E.; Stampfer, K.; Trzesniowski, A. (1997): Rationalisierung der Bereitstellung von Waldhackgut. Schriftenreihe der Forschung im Verbund 29. Österreichische Elektrizitätswirtschafts-Aktiengesellschaft (Hrsg.). 70 S.
- 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.
- Steindl, H. & Köck, L. (2006): Handbuch Biomasse Wien-Simmering. Landwirtschaftskammer Niederösterreich. Waldverband Niederösterreich.
- Stockinger, H. und Obernberger, I. (1998): Life Cycle Analysis of District Heating with Biomass, in '10. European Bioenergy Conference', S. 1-4.
- Strunk, M. (2003): Zum Einsatz von Wechselbrücken beim Rohholztransport in der deutschen Forst- und Holzwirtschaft. Bachelorarbeit am Institut für Forstliche Arbeitswissenschaft und Verfahrenstechnologie der Universität Göttingen. 26 S.
- Talbot, B. und Suadcani, K. (2005): Analysis of two simulated in-field chipping and extraction systems in spruce thinnings. *Biosystems Engineering* 91 (3): 283-292.

-
- Tele Atlas (2007): Tele Atlas MultiNet™ Shapefile 4.3 Format Specifications.
- Van Belle, J., Temmerman, M. & Schenkel, Y. (2003): Three level procurement of forest residues for power plant. Biomass and Bioenergy 24(4-5), S. 401-409.
- v. Webenau, B., Krausenboeck, B. & Göldner, A. (2000): Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von Waldhackschnitzeln. Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Nummer 21. 105 S.
- Wippermann, J. (2001): Kombinierte Güterverkehre für den Holztransport. In: FORMEC 2000. 34. Internationales Symposium Mechanisierung der Waldarbeit. Landwirtschaftliche Universität Warschau Forstwissenschaftliche Fakultät Lehrstuhl für Forstbenutzung (Hrsg.) 198-207
- Wittkopf, S.; Hömer, U.; Feller, St. (2003): Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): Berichte aus der LWF Nr. 38, 82 S.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., Mencuccini, M. (2005): Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. Silva Fennica Monographs 4. 63 p.

6.2 Mündliche und schriftliche Mitteilungen

- Asikainen, A. (2007): Mündliche Informationen zur Logistiksteuerung.
- Konheisner, G. (2006): Wasserrechtliche Bestimmungen zu Holzlagerplätzen. Information per Email (guenther.konheisner@noel.gv.at), 13.06.2006.
- Nemestothy, K. (2006a): Mündliche Informationen zu Biomasseheizwerken in Niederösterreich.
- ÖBf AG (2006): Mündliche Informationen zum Vortransport von Schlagabraum.
- Patzl, F. (2006): Mündliche Informationen zu Biomasseheizwerken in Niederösterreich.
- Patzl, F. (2007): Schriftliche Informationen zu Biomasseheizwerken in Niederösterreich.
- Pretterhofer, P. (2006): Holzhandel – Transporte GmbH.
- Starchl, H. (2005): Hackmaschinenbau, in A-8741 Weißkirchen in Steiermark
- Teier, K. (2005): Transport, in A-2201 Hagenbrunn IG
- Timmer, Chr. (2005): Holzeinkäufer bei Papierholz Austria, in A-9413 Frantschach-St. Gertraud
- Wanek-Pusset, P. (2005): Geschäftsführer von INNOFREIGHT Logistics GmbH

6.3 Zitierte Normen

- ÖNORM M 7132 (1986): Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff. Begriffsbestimmungen und Merkmale. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), 9 S.
- ÖNORM M 7133 (1993): Hackgut für energetische Zwecke. Anforderungen und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), 7 S.
- ÖNORM CEN/TS 13853 (2004): Wechselbehälter für den kombinierten Verkehr. Stapelbare Wechselbehälter Typ C 745-S16. Abmessungen, Konstruktionsanforderungen und Prüfung, 24 S.
- ÖNORM EN 284 (1992): Wechselbehälter der Klasse C. Maße und allgemeine Anforderungen, 12 S.
- DIN 30722 Teil 2 (1993): Abrollkipperfahrzeuge; Wechsellader-Einrichtung, Abrollbehälter. Abrollkipperfahrzeuge bis 32 t, Abrollbehälter System 1570 aus Stahl, 4 S.
- DIN 70014 Teil 1 (1977): Fahrzeuge für den Transport von Wechselbehältern. Anschlußmaße, 3 S.

6.4 Zitierte Internetseiten

Die Internetadressen wurden in der Zeit vom 15.02.05 bis 31.08.07 abgefragt

<http://www.aae.ch>
<http://www.actsag.ch>
<http://www.arbeitsinspektion.gv.at>
<http://www.asfinag.at>
<http://www.auto-henze.de>
<http://www.auva.at>
<http://www.bcs-container.de/abrollcontainer.html>
http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html
<http://www.bigbags.de>
<http://www.bigbagshop.de>
<http://www.bmvbs.de>
<http://www.boxon.com>
<http://www.brfa.de>
<http://www.bruder-spielzeug.de>
<http://www.containerhandbuch.de>
http://www.corfil.de/produkte/bigbag/big_haupt.htm
<http://www.donauschiffahrt.info>
<http://www.eltete.com/TPM/gb/bigbags.htm>
<http://www.eurea.test.bitwise.n1.jpg>
<http://www.export911.com/e911/Ship/dimen.htm>
<http://www.fahrzeugbau-hosp.at>
<http://www.forst.bayern.de>
<http://www.forstundtechnik.de>
<http://www.hackgutboerse.at>
<http://www.hb-brantner.at>
<http://www.heiseundzimmermann.de/fahrzeugbau.htm>
<http://www.holzsnitzel.at>
<http://www.infoholz.de>
<http://www.innofreight.com>
<http://www.interforst.at>
<http://www.interlok.info>
<http://www.ips.de>
<http://www.kippanhaenger-scholten.de>
<http://www.kraemer-fahrzeugbau.de>
<http://www.landwirtschaftskammer.at>
<http://www.LKW-renz.de/fahrzeuge>
<http://www.LKW-total.de/fabo>

<http://www.lograc.com>
<http://www.man-mn.com>
http://www.meili.de/pro-duktinfos/Big_Bags-6.html
<http://www.metas.ch>
<http://www.oenb.at>
<http://www.railcargo.at>
<http://www.rainbow-containers.de/News.htm>
<http://www.reisch-fahrzeugbau.de>
<http://www.riedler.com>
<http://www.ris.bka.gv.at>
<http://www.rodenberg-net.de>
<http://www.rudnik-enners.de>
http://www.sackschramm-verpackungen.de/big_bag_accessories.htm
<http://www.schutz-fahrzeugbau.de>
<http://www.sieversdorfer.de>
<http://www.sifor.at>
<http://www.waldwissen.de>
<http://www.werner-weber.com>

6.5 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptmaße für Wechselbehälter nach EN 284:1992 (EN 284:1992)	10
Abbildung 2: Abmessungen von Fahrzeug und Anhänger für den Transport von Wechselbehältern nach DIN 70014 (DIN 70014).....	11
Abbildung 3: Streckenklassen in Niederösterreich (Rail Cargo Austria, 2006).....	13
Abbildung 4: Streckenklassen in Wien (Rail Cargo Austria, 2006)	13
Abbildung 5: Ladegutsicherung beim Rundholztransport (www.railcargo.at, 2006)	15
Abbildung 6: Abmessungen, Verladeart Sicherung (RailCargo Austria, 2006).....	15
Abbildung 7: LKW-Rundholz-Transportsysteme (Linko, 2006).....	16
Abbildung 8: Links: Kurzholz-LKW mit Rungen (www.kraemer-fahrzeugbau.de), rechts: Kurzholz-LKW mit Rungenaufbau und Einsatzwänden (Institut für Forsttechnik).....	17
Abbildung 9: Schematische Zeichnung eines ausziehbaren Rungenanhängers mit ca. 5 t Eigengewicht und 27 t Höchstgewicht (Maße in mm) (www.riedler.com)	17
Abbildung 10: Rungensattelzug mit Ladekran	18
Abbildung 11: Rundholzsattelzug ohne Ladekran	18
Abbildung 12: Links: Schüttgut-LKW (www.holzschnitzel.at), rechts: Landwirtschaftlicher Kippanhänger (www.kippanhaenger-scholten.de)	19
Abbildung 13: Schematische Zeichnungen und Abmaße eines 3-Achs 1-Seiten-Kipper-LKW mit einem Ladevolumen von 43,7 m ³ (Maße in mm) (www.riedler.com)	20
Abbildung 14: Links: Abrollcontainer (www.bcs-container.de/abrollcontainer.html), rechts: Abrollkipper (Institut für Forsttechnik)	21
Abbildung 15: Schematische Zeichnung eines Abrollcontainers (http://www.rainbow-containers.de/Abroll/Detail_1.htm).....	21
Abbildung 16: Abrollkipper von links nach rechts Knick-Abrollkipper, Schub-Abrollkipper, Schub-Knick-Abrollkipper (http://www.berger-maschinen.at/co_abrollkipper.html).....	23
Abbildung 17: Links: Faltbox (Modell, verkleinert), rechts: Verdichten und Stapeln der Faltboxen (www.innofreight.com/_innofreight/2_produkte/Smartbox.php)	24
Abbildung 18: Rundholzpalette mit 16t Stapler, (Wanek-Pusset, 2005)	24
Abbildung 19: VALMETrailer (www.forstundtechnik.de)	25
Abbildung 20: Links: Wechselbrückenfahrzeug mit Wechselbrücke (www.bruder-spielzeug.de/), rechts: Zusammengeklappte und gestapelte Wechselbrücken (Strunk, 2003).....	25
Abbildung 21: Von links nach rechts: Euroflat mit Rundholz beladen, Kombi-Euroflat mit Rundholz beladen (Strunk, 2003), geschlossener Kombi-Euroflat (www.kraemer-fahrzeugbau.de)	26
Abbildung 22: Von links nach rechts: Leerer LogRac, beladener LogRac, zusammengeklappte und gestapelte LogRacs (Institut für Forsttechnik).....	27
Abbildung 23: Links: Verschiedene Big-Bag-Ausführungen (www.boxon.com), rechts: Manipulation von Big-Bags (www.boxon.com/img/bags/big_bags_produk_t_3.jpg)	27
Abbildung 24: WoodTrailer Rundholztransport und Schnittholztransport, (www.innofreight.com, 2006).....	28
Abbildung 25: WoodTrailer mit um- und aufgeklappten Rungen (www.innofreight.at, 2006)	28
Abbildung 26: Klappbare Rungen (www.innofreight.com, 2006)	28

Abbildung 27: Wechselcontainer der Firma Innofreight auf Waggon und bei Entladung mit Stapler	29
Abbildung 28: Wagenmaterial für Rundholztransport (Rail Cargo Austria, 2006).....	31
Abbildung 29: Flachwagen mit Drehgestellen und 10 hohen, festen Rungenpaaren – Rnooss-zu	31
Abbildung 30: Flachwagen mit neun Rungenpaaren und integrierten Niederbindeeinrichtungen – Snpss (www.aae.ch, 2006)	32
Abbildung 31: Containertragwagen Sgnss (www.interlok.info/SgnssPoln.htm, 2006).....	32
Abbildung 32: WoodRailer, Drehungen (www.innofreight.com, 2006)	33
Abbildung 33: Drehungensystem am Rungen-Waggon „WoodRailer“ mit umgeklappten Rungen im Vordergrund (www.innofreight.com, 2006)	33
Abbildung 34: Offener Güterwagen mit vier Achsen und Drehgestellen – Eanos (www.aae.ch, 2006).....	34
Abbildung 35: Offener Güterwagen mit vier Achsen und Drehgestellen – Eaos (www.aae.ch, 2006)	34
Abbildung 36: Kosten für den Transport von Nadelholz mit Rnooss-uz bei 125 km inkl. 15 km Vortransport mit Rungen-LKW (Linko, 2006).....	35
Abbildung 37: Schiffstypen der Binnenschifffahrt auf der Donau.....	36
Abbildung 38: Transportkosten nach Höhe des Ladevolumens	38
Abbildung 39: Transportkosten Ybbs – Krems – Wien inkl. Vortransport	38
Abbildung 40: Transportkosten Schiff inkl. Vortransport und Rungen-LKW	39
Abbildung 41: Verlade- und Holzverladebahnhöfe der Rail Cargo Austria in Wien und Niederösterreich.....	40
Abbildung 42: Umschlag mit dem ACT-System (http://www.actsag.ch/ge/material/system.pdf)	41
Abbildung 43: Mobiler-Technologie (www.railcargo.at)	41
Abbildung 44: Kostenvergleich unterschiedlicher Transportsysteme	42
Abbildung 45: Transportkostenberechnungsmodell für den LKW-Transport (Linko, 2006)	43
Abbildung 46: Transportkostenberechnungsmodell für den Eisenbahntransport (Linko, 2006)	44
Abbildung 47: Transportkostenberechnungsmodell für den Binnenschifffahrtstransport (Linko, 2006).....	44
Abbildung 48: Kostenanteile je Transportsystem.....	47
Abbildung 49: Transportkostenvergleich von Rungen-LKW und Rungensattelzug	49
Abbildung 50: Transportkosten Rungen-LKW – WoodTrailer - Rungensattelzug.....	50
Abbildung 51: Transportkosten Rungen-LKW – LogRac- Euroflat – Kombi-Euroflat.....	50
Abbildung 52: Freilandlagerung von Bäumen.....	55
Abbildung 53: Freilandlagerung von Rundholz in Poltern.....	55
Abbildung 54: Hackgutlagerung im Freien.....	56
Abbildung 55: Überdachte Lagerung von Waldhackgut.....	56
Abbildung 56: Systematisierung der Waldhackgutbereitstellungssysteme nach Ausgangsmaterial und Ort des Hackens	58
Abbildung 57: Ernte mit Seilgerät/Prozessor – Hacken – Transport mit Container-LKW	61
Abbildung 58: Hacken von Schlagabraum mit Direktbeladung in Container-LKW.....	61

Abbildung 59: Ernte mit Harvester/Forwarder - Hacken - Transport mit Schüttgut-LKW.....	62
Abbildung 60: Lagerung von Schlagabraum an der Forststraße und Hacken in bereitgestellte Schüttgut-LKW	62
Abbildung 61: Hacker Starchl 1200-800 auf LKW und LKW-Zug mit Abrollcontainern zu je 36 SRM Fassungsvermögen.....	63
Abbildung 62: Rungen-LKW ohne Bordwände, mit Stahlgitterkasten und mit Bordwänden.....	63
Abbildung 63: Vorkonzentration von Schlagabraum – Hacken - Transport mit Schüttgut-LKW	63
Abbildung 64: Bündeln von Schlagabraum – Transport mit Rungen-LKW – Hacken beim Werk...	65
Abbildung 65: Bündeln von Schlagabraum.....	65
Abbildung 66: Transport von Schlagabraum mit Container-/Rungen-LKW – Hacken beim Werk ..	66
Abbildung 67: Verdichten des Schlagabraumes mittels Stammholzabschnitt und Entladen des Abrollcontainers am Werk	66
Abbildung 68: Ernte mit Motorsäge und Traktor/Frontlader/Rückezange – Hacken – Transport mit Schüttgut-LKW	67
Abbildung 69: Traktor mit Frontlader und Rückezange (links); Hacker Eschlböck Biber 80 (rechts)	68
Abbildung 70: Ernte und Hacken mit Hackschnitzelharvester und Forwarder mit Hochkip- Container – Transport mit Abrollcontainer-LKW	68
Abbildung 71: Mobiler Hacker, Forwarder mit Hochkip-Container, Abrollcontainer	69
Abbildung 72: Hackschnitzelharvester der Firma Valmet	69
Abbildung 73: Ernte mit Traktor und Krananhänger mit Fällaggregat – Hacken – Transport mit Abrollcontainer-LKW	71
Abbildung 74: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25, Valmet Traktor und Krananhänger	71
Abbildung 75: Ernte mit Harvester/Forwarder – Hacken – Transport mit Container-LKW.....	72
Abbildung 76: Ausfuhr von Energierohholz und Wipfel sowie Hacken in Container-LKW	72
Abbildung 77: Aufbauschema des Arbonaut Fleetmanager (Sikanen et al., 2005)	75
Abbildung 78:Übersicht angebotener Software zur Abwicklung der Rundholzbeschaffungslogistik	76
Abbildung 79: Ablaufschema POLVER, (AAREHOLZ AG).....	77
Abbildung 80: Aufbau und Funktionen der Logistiksoftware FlowOpt (SKOGFORSK)	78
Abbildung 81: Funktion und Ablauf bei GeoMail (FORSTWARE)	79
Abbildung 82: Vereinfachtes, logistisches System für die Waldhackgutbereitstellung (Ranta, 2002)	80
Abbildung 83: Supply Chain Management House (Stadtler, 2005)	81
Abbildung 84: Planungsmatrix einer Wertschöpfungskette als Basis für die Entwicklung von Softwaremodulen (Stadtler, 2005)	81
Abbildung 85: Potenzial an Schlagabraum als Funktion von Distanz und optimierten Werksstandorten bei einem Bedarfsniveau von 300 GWh (Ranta, 2005)	83
Abbildung 86: Durchschnitts- und Grenzkosten für die Bereitstellung von Energieholz in Dänemark	84
Abbildung 87: Fünf alternative Produktionswege von der Rohstoffquelle zum Verbraucher zur Studie der Transport- und Aufbereitungssysteme für ein Heizwerk (Eriksson & Björheden, 1989).....	85

Abbildung 88: Eine Darstellung der möglichen Transportströme im gemischt Ganzzahligen Linearen Programmierungsmodell von Gunnarsson et al. (2004)	86
Abbildung 89: System ISO-Kostenkurven für regionale und zentrale Terminals	87
Abbildung 90: Verteilung von Biomasseheizwerken im Planungsgebiet und deren Status	90
Abbildung 91: Verteilung der Biomasseheizwerke und deren relative Brennstoffbedarf	90
Abbildung 92: Zeitstudienzyklus mit Arbeitsschritten	91
Abbildung 93: Rundholz-LKW mit Anhänger, ausgestattet mit Bordwänden aus Holz	92
Abbildung 94: Teilprozesse und Kostenermittlung für den intermodalen Transport	93
Abbildung 95: Analyse der Straßenkategorien (Ganz et al. 2005)	94
Abbildung 96: Kosten für den Bahntransport von Rundholz, umgerechnet in €/SRM	96
Abbildung 97: Kostenflächen für den Transport von Rundholz bis zum Verladebahnhof	98
Abbildung 98: Modell zur Berechnung der Kosten für den intermodalen Transport in ArcGIS	100
Abbildung 99: Gesamtmodell zur Standortbewertung	102
Abbildung 100: Mögliche Ausprägung von Bewertungskriterien für die Standortsplanung	104
Abbildung 101: Abnahme des Schalldruckpegels in Abnahme von der Schallquelle	106
Abbildung 102: Flächendeckende Eignungsbewertung für die Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes	108
Abbildung 103: Kostenaufteilung bei der Errichtung einer Lagerhalle für Hackgut	110
Abbildung 104: Codierung der Brusthöhendurchmesser Klassen (Affenzeller & Stampfer, 2007)	115
Abbildung 105: Benutzeroberfläche LogRac am Pocket-PC	117
Abbildung 106: Typischer „Operations Research Prozess“ (Gunnarsson, 2007)	119
Abbildung 107: Materialflüsse von Waldhackgut laut Modellierung	120
Abbildung 108: Grafische Darstellung des Datenflusses für die Optimierung	127
Abbildung 109: Jahr der Erstzulassung von Biomassekraftwerken in Niederösterreich und Wien und deren jährlicher Brennstoffbedarf	129
Abbildung 110: Summierter jährlicher Brennstoffbedarf von Biomassekraftwerken bis Ende 2007	130
Abbildung 111: Verteilung von Heizwerken mit hohem Bedarf an Waldhackgut	131
Abbildung 112: Häufigkeiten der Lade- und Entladezeiten in Prozent nach vier Zeitgrößenklassen in Anlehnung an Ranta und Rinne 2006	133
Abbildung 113: Transportkosten in Abhängigkeit von der Transportdistanz bei unterschiedlichem Ladevolumen	134
Abbildung 114: Leistung pro Stunde in Abhängigkeit von der Transportdistanz bei unterschiedlichem Ladevolumen	135
Abbildung 115: Kostenflächen für den Transport von Nadel-Rundholz ohne Vor- und Nachtransport	137
Abbildung 116: Kostenflächen für den Bahntransport von Hackgut	138
Abbildung 117: Kostenflächen für Vor- und Bahntransport von Nadel-Rundholz	140
Abbildung 118: Kostenflächen für Vor-, Bahn- und Nachtransport von Nadel-Rundholz	141
Abbildung 119: Kostenflächen für den Vor- und Bahntransport von Hackgut	142
Abbildung 120: Kostenflächen für den Vor-, Bahn- und Nachtransport von Hackgut	143

Abbildung 121: Kostenflächen für den Transport von Rundholz mit einem Rungen-LKW.....	145
Abbildung 122: Kostenvergleich des intermodalen Transportes mit LKW-Transport von Nadel- Rundholz.....	146
Abbildung 123: Kostenflächen für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 235 kg/SRM.....	147
Abbildung 124: Kostenvergleich des Eisenbahn- und LKW-Transport von Waldhackgut bei einer Schüttdichte von 235 kg/SRM.....	148
Abbildung 125: Kostenflächen für den Transport von Schüttgut mit einem Sattelaufleger mit Schüttgutaufbau bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM.....	149
Abbildung 126: Kostenvergleich des intermodalen Eisenbahn- und LKW-Transport von Waldhackgut bei einer Schüttdichte von 350 kg/SRM	150
Abbildung 127: Geeignete Flächen zur Errichtung und Betrieb eines Lagerplatzes für Energieholz	152
Abbildung 128: Ablaufdiagramm Zwischenlager.....	153
Abbildung 129: Rad-Lastwaage.....	154
Abbildung 130: Dynamische Achslastwaage	154
Abbildung 131: Mobile Fahrzeugwaage.....	155
Abbildung 132: Unterflur-Brückenwaage	155
Abbildung 133: Kosten für die Gewichtsbestimmung von Waldhackgut.....	156
Abbildung 134: Instrumente zur Bestimmung des Wassergehaltes des Energieholzes.....	157
Abbildung 135: Mögliche Anordnung von Energieholzpolter auf einem Lagerplatz.....	159
Abbildung 136: Beispiel für einen Lagerplatz ohne Hackgutlagerung	161
Abbildung 137: Beispiel für einen Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien.....	161
Abbildung 138: Beispiel für einen Lagerplatz mit überdachter Hackgutlagerung.....	162
Abbildung 139: Schichtung eines Lagerplatzes	163
Abbildung 140: Sickersteifen (www.metas.ch, 2007).....	164
Abbildung 141: Innerbetrieblicher Transport.....	165
Abbildung 142: Kostenverlauf unterschiedlicher Modelle für den innerbetrieblichen Transport mit Radladern.....	167
Abbildung 143: Einsatz eines mobilen Hackers	167
Abbildung 144: Übernahme und Qualitätsbestimmung am Heizwerk.....	168
Abbildung 145: Lagerkosten für einen geschotterten Lagerplatz (V1).....	170
Abbildung 146: Lagerkosten für einen teilasphalтиerten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2)	171
Abbildung 147: Lagerkosten für einen teilasphalтиerten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3)	173
Abbildung 148: Lagerkosten für einen teilasphalтиerten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V4)	174
Abbildung 149: Lagerkosten für einen asphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V5)	175
Abbildung 150: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei einem Umschlag pro Jahr	177
Abbildung 151: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr	178

Abbildung 152: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei zwölf Umschlägen pro Jahr	178
Abbildung 153: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr unter günstigen Verhältnissen.....	180
Abbildung 154: Lagerkosten für unterschiedliche Lagervarianten bei drei Umschlägen pro Jahr unter ungünstigen Verhältnissen.....	181
Abbildung 155: Produktivitäten von Hackern	183
Abbildung 156: Veränderung der Kosten beim Transport von Waldhackgut in Abhängigkeit vom Wassergehalt	185
Abbildung 157: Kosten für verschiedene Nadelholz-Schlagabraum Bereitstellungssysteme	190
Abbildung 158: Durchmesservertelung in Bestand 1 und 2	192
Abbildung 159: Arbeitszeitverteilung der Motorsägenarbeit	192
Abbildung 160: Arbeitszeitverteilung des Traktors beim Rücken.....	193
Abbildung 161: Arbeitszeitverteilung des Hackers.....	193
Abbildung 162: Bereitstellungskosten für Waldhackgut in beiden Bestände in €/atro to	194
Abbildung 163: Fällaggregat Naarva Grip 1500-25 (ohne Sammelfunktion)	197
Abbildung 164: Hacker bei der Beschickung auf einen LKW-Zug mit Abrollcontainern.....	198
Abbildung 165: Zeitverteilung bei der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklingenaggregat	199
Abbildung 166: Zeitverteilung der Arbeitsschritte beim Hacken in Lockenhaus	199
Abbildung 167: Verteilung der Arbeitsschritte für den Transport mit LKW-Container	200
Abbildung 168: Mögliche Checkliste für Detailanforderungen an eine SCM-Software in der Forstwirtschaft für die Abwicklung der Waldhackgut-/Rundholzbereitstellung	203
Abbildung 169: Darstellung der "idealen" Versorgung mit Waldhackgut der zwölf größten Heizwerke in Niederösterreich (Direkt I)	207
Abbildung 170: Verfügbarkeit des Potenzials für die gesamte Region bei optimaler Verteilung auf die Heizwerke in Abhängigkeit von den Grenz- und Durchschnittskosten sowie der Distanz zum Werk	209
Abbildung 171: Versorgungsszenario bei Potenzial II mit Belieferung von mindestens 25% des Potenzials über Terminals der Kategorie "Klein" (KL2P25)	210
Abbildung 172: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung von Terminals „Mittel“ beim Versorgungsszenario M2P10 mit einem Mindestumschlag von 10% über Terminals	214
Abbildung 173: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung von Terminals "Mittel" beim Versorgungsszenario M2P25 mit einem Mindestumschlag von 25% über Terminals	215
Abbildung 174: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung der Terminals "Mittel" beim Versorgungsszenario M2P50 mit einem Mindestumschlag von 50% über Terminals	216
Abbildung 175: Ideale Einzugsgebiete und Verteilung der Terminals "Groß" beim Versorgungsszenario G2P25 mit einem Mindestumschlag von 25% über Terminals	218
Abbildung 176: Empfehlungen für die Optimierung für die Bereitstellung von Waldhackgut	225

6.6 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Qualitätskriterium „Wassergehalt“ bei Waldhackgut	7
Tabelle 2: Maße und Gesamtgewichte für Wechselbehälter (Maße in mm) (EN 284:1992).....	10
Tabelle 3: Streckenklassen, Radsatzlast und Meterlast (www.railcargo.at, 2006)	12
Tabelle 4: Abmessungen und Leergewichte der gebräuchlichsten Container	21
Tabelle 5: Innenabmessungen von Containern im kombinierten Verkehr (www.werner-weber.com)	22
Tabelle 6: Gewichte für Abrollkipper (http://www.LKW-renz.de/fahrzeuge/)	23
Tabelle 7: Gewichte für Abrollkipper-Anhänger (http://www.LKW-total.de/fabo)	23
Tabelle 8: Wagenpreise 2006, (www.railcargo.at, 2006)	35
Tabelle 9: Fahrzeiten Binnenschifffahrt Österreich (www.donauschifffahrt.info, 2006)	36
Tabelle 10: Preisindikation (www.donauschifffahrt.info, 2006)	37
Tabelle 11: Kostenkalkulation LKW und Euroflat (Transportkostenberechnungsmodell)	45
Tabelle 12: Kosten pro Einsatzstunde (Transportkostenberechnungsmodell)	46
Tabelle 13: Stundenkosten von Fahrzeugsystemen	47
Tabelle 14: Jährliche Trockenmassenverluste bei der Holzlagerung in Haufen im Freien	54
Tabelle 15: Vergleich von Lagerungsvarianten (nach Golser et al., 2005 & v. Webenau et al., 2000)	56
Tabelle 16: Ladeflächenabmaß	91
Tabelle 17: Eingangsgrößen zur Berechnung der Transportkosten	94
Tabelle 18: Gebühren für LKW-Maut	95
Tabelle 19: Verladezeiten beim Rundholztransport	95
Tabelle 20: Verladezeiten beim MOBILER-Transport.....	95
Tabelle 21: Immissionsrichtwerte während des Tageszeitraumes	104
Tabelle 22: Straßenkategorien nach Tele Atlas MultiNet™ Shapefile 4.3 Format Specifications.	106
Tabelle 23: Durchschnittliche Durchrechnungszeiträume für Lagerplatzinfrastruktur.....	109
Tabelle 24: Durchschnittskosten bei der Befestigung eines Lagerplatzes.....	110
Tabelle 25: Durchschnittliche Kosten für den Betrieb eines Energieholzlagerplatzes	111
Tabelle 26: Jährliche Instandhaltungsaufwendungen	113
Tabelle 27: Substanzabbau bei der Lagerung von Energieholz	114
Tabelle 28: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Motorsägenarbeit	116
Tabelle 29: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte bei der Zeitstudie Rücken	116
Tabelle 30: Verwendete Arbeitsablaufabschnitte für die Zeitstudie Fallbeilklingenaggregat	116
Tabelle 31: Verwendete Arbeitstakte für die Zeitstudie Hacken	117
Tabelle 32: Verwendete Biomassefunktionen (Zianis et al., 2005).....	118
Tabelle 33: Varianten von Terminals für die Analyse des Versorgungsnetzwerkes	123
Tabelle 34: Eingangsparameter für die Kostenberechnung der skizzierten Materialströme.....	125
Tabelle 35: Bestehender und prognostizierter Brennstoffbedarf aller Biomasseheizwerke in Niederösterreich und Wien.....	131

Tabelle 36: Heizwerke mit einem jährlichen Brennstoffbedarf an Waldhackgut von mehr als 100.000 SRM	132
Tabelle 37: Durchschnittliche Prozesszeiten beim Vortransport von Schlagabraum.....	133
Tabelle 38: Durchschnittliche Prozessdistanzen beim Vortransport von Schlagabraum	134
Tabelle 39: Leistungen und Kosten in Abhängigkeit von der Transportdistanz	135
Tabelle 40: Manipulationskosten für Eisenbahntransport ohne Vor- und Nachtransport.....	137
Tabelle 41: Kosten für den Eisenbahntransport mit Eanos-Waggon	138
Tabelle 42: Manipulationskosten für Eisenbahntransport mit Vor- und ohne Nachtransport.....	139
Tabelle 43: Manipulationskosten für Eisenbahntransport mit Vor- und ohne Nachtransport.....	140
Tabelle 44: Manipulationskosten für MOBILER-Transport mit Vor- und ohne Nachtransport	141
Tabelle 45: Manipulationskosten für MOBILER-Transport mit Vor- und und Nachtransport	142
Tabelle 46: Transportkosten für Energieholz von ausgewählten Städten nach Simmering in €/SRM	144
Tabelle 47: Wald- und Pufferflächen als Ausschlusskriterium	151
Tabelle 48: Siedlungs- und Pufferflächen als Ausschlusskriterium	151
Tabelle 49: Ökologische Flächen, Wasser, Schutzgebiete und militärische Sperrgebiete als Ausschlusskriterium	151
Tabelle 50: Wiegekosten für Waldhackgut	156
Tabelle 51: Platzbedarf in m ² /SRM Energieholz je nach Umschlagshäufigkeit pro Jahr	160
Tabelle 52: Pachtkosten in €/SRM.....	160
Tabelle 53: Aufschließungskosten in €/SRM für befestigte Lagerflächen.....	162
Tabelle 54: Kosten für die Befestigung für unterschiedliche Lagerplatzvarianten	164
Tabelle 55: Kostenberechnung für den innerbetrieblichen Transport beim Einsatz unterschiedlicher Modelle.....	166
Tabelle 56: Kosten der Hackgutproduktion durch Unternehmer.....	168
Tabelle 57: Lagerplatzvarianten.....	169
Tabelle 58: Lagerkosten für einen geschotterten Lagerplatz (V1)	170
Tabelle 59: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Hackgutlagerung im Freien (V2)	172
Tabelle 60: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung im Freien (V3)	173
Tabelle 61: Lagerkosten für einen teilasphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V4)	174
Tabelle 62: Lagerkosten für einen asphaltierten Lagerplatz mit Brückenwaage und Hackgutlagerung in Halle (V5)	176
Tabelle 63: Veränderte Eingangsgrößen zur Berechnung der Lagerkosten.....	179
Tabelle 64: Produktivitäts- und Kostenvergleich von Hacken am Waldort und Hacken am Lagerplatz	183
Tabelle 65: Schüttdichte und Volumen bei 20 to für ausgewählte Baumarten in Abhängigkeit vom Wassergehalt	184
Tabelle 66: Kosten für die Bereitstellung von Waldhackgut aus Schlagabraum im Laubholz	187

Tabelle 67: Systemvergleich Schüttgut-LKW (Kanzian et al., 2006a)	189
Tabelle 68: Eingangsgrößen zur Kostenkalkulation.....	190
Tabelle 69: Stundensätze für die Kalkulation der Bereitstellungskosten	194
Tabelle 70: Bereitstellungskosten für Waldhackgut frei Werk bezogen auf verschiedene Einheiten	194
Tabelle 71: Eingesetzte Maschinen	195
Tabelle 72: Bestandesdaten der Einsatzfläche in Mauerbach.....	195
Tabelle 73: Kosten und Erlöse im Versuch Mauerbach.....	196
Tabelle 74: Systemkostenkalkulation- Traktor und Krananhänger mit Fallbeilklinge.....	200
Tabelle 75: Gesamtkosten der Energieholzbereitstellung mit Fallbeilklinge frei Werk.....	200
Tabelle 76: Überblick der gewählten Versorgungsszenarien und die verwendeten Abkürzungen	205
Tabelle 77: Bedarf, Versorgungsgrad, gewichtete mittlere Distanzen und verschiedenen Kosten (a) sowie Mengenverteilung des Potenzials aus den BFI-Bezirken (b) auf die Werke.....	208
Tabelle 78: Kennzahlen für die Heizwerke beim Versorgungsszenario KL2P25 mit Belieferung von mindestens 25% des Potenzials über Terminals "Klein"	211
Tabelle 79: Eröffnete Terminals und die optimale Distribution des Materials zu den Heizwerken beim Szenario KL2P25	212
Tabelle 80: Eröffnete Terminals beim Versorgungsszenario KL2P25 mit den Kennzahlen für den jährlichen Umschlag, Distanzen und Kosten für die Zulieferung und Distribution.....	213
Tabelle 81: Optimale Distribution von eröffneten Terminals "Groß" beim Szenario G2P25	217
Tabelle 82: Kenndaten der eröffneten Terminals "Groß" beim Szenario G2P25.....	217
Tabelle 83: Zusammenfassung ausgewählter Szenarien mit den wichtigsten Kenndaten.	219
Tabelle 84: Kommunikation & Öffentlichkeitsarbeit	248
Tabelle 85: Umrechnungstabelle für Waldhackgut (www.forst.bayern.de, 2005).	249
Tabelle 86: Wassergehaltsklassen von Hackschnitzeln (nach ÖNORM M 7133).	250
Tabelle 87: Korngrößenverteilung Energiehackgutes (nach ÖNORM M 7133).	250
Tabelle 88: Schüttdichte von Hackschnitzeln nach ÖNORM M 7133. Die Werte beziehen sich auf den wasserfreien Zustand der Hackschnitzel.	250
Tabelle 89: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell A)	278
Tabelle 90: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell B)	279
Tabelle 91: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell C).....	280
Tabelle 92: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell D).....	281
Tabelle 93: Euro Interbank Offered Rate (EURIBOR)	282
Tabelle 94: Energieholzindex für Österreich auf der Basis von 1979	283

6.7 Abkürzungsverzeichnis

A	Aschegehalt	GHz	Gigahertz
A	Asphaltierung	GIS	Geographisches Informationssystem
a	Jahr	GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
a	Annuität	GPS	Global Positioning System
ACTS	Abrollcontainer-Transportsystem	GWh	Gigawattstunde
AG	Aktiengesellschaft	h	Stunde
API	Application Programming Interface	ha	Hektar
atro	absolut trocken	HFA	Holzforschung Austria
Abs.	Absatz	HFM	Holzflussmanagement
ANF	Annuitätenfaktor	HTML	Hypertext Markup Language
BAUM	Baumverfahren	i	Zinssatz
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen	inkl.	inklusive
BFI	Bezirksforstinspektion	IRW	Immissionsrichtwert
BMLFUW	Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft	ISBN	International Standard Book Number
BGBI.	Bundesgesetzblatt	ISO	Internationale Organisation für Normung
BOKU	Universität für Bodenkultur	KFG	Kraffahrgesetz
°C	Grad Celsius	kg	Kilogramm
ca.	circa	KK	Rundkies
CHF	Schweizer Franken	km/h	Kilometer pro Stunde
cm	Zentimeter	kW	Kilowatt
cm ²	Quadratzenzimeter	kWh	Kilowattstunde
CSV	Character Separated Values	KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
dB	Dezibel	LGBI.	Landesgesetzblatt
DB	Datenbank	LK	Lastklasse
d.h.	das heißt	LKW	Lastkraftwagen
DIN	Deutsches Institut für Normung	LP	Lineare Programmierung
E	Entwässerung	m	Meter
EN	Europäische Norm	m ²	Quadratmeter
ERP	Enterprise Resource Planning	m ³	Kubikmeter
EU	Europäische Union	max.	maximal
et al.	et alteri	MB	Megabyte
e.V.	eingetragener Verein	min	Minuten
exkl.	exklusive	MIP	Mix Integer Programming Model
EZB	Europäische Zentralbank	mm	Millimeter
FM	Festmeter	MWh	Megawattstunde
G	Größe	Mwst.	Mehrwertsteuer
GesmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung	N	Norden
		n	Anzahl
		NH	Nadelholz

NÖ	Niederösterreich	SNP	Sägenebenprodukt
Nr.	Nummer	SORT	Sortimentverfahren
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen	SRM	Schüttraummeter
ÖBf	Österreichische Bundesforste	StVO	Straßenverkehrsordnung
ODBC	Open Database Connectivity	TEU	Twenty-Foot Equivalent Units
ÖK	Österreichische Karte	TJ	Terrajoule
ÖNB	Österreichische Nationalbank	TKBM	Transportkostenberechnungsmodell
ÖNORM	Österreichische Norm	TM	Trockenmasse
PC	Personal Computer	™	Trade Mark
PDA	Personal Digital Assistant	to	Tonnen
PMH ₁₅	Produktive Maschinenstunde mit Unterbrechungen < 15 Minuten	TS	Trockensubstanz
PS	Pferdestärke	Tsd.	Tausend
PSH ₁₅	Produktive Systemstunde mit Unterbrechungen < 15 Minuten	u.a.	und andere
Qtl.	Quartal	v.	von
RFID	Radio Frequency Identification	VFM	Vorratsfestmeter
RM	Raummeter	vgl.	vergleiche
S	Schüttdichte	W	Wassergehalt
S	Schotterung	WAP	Wireless Application Protocol
S.	Seite	WHG	Waldhackgut
SCM	Supply Chain Management	WLP	Warehouse Location Problem
SMS	Short Message Service	WML	Wireless Markup Language
		XML	Extensible Markup Language
		z.B.	zum Beispiel

7 Glossar

7.1 Definitionen rund ums Energieholz

Biomasse: Biomasse ist die Gesamtheit aller lebenden, toten und zersetzten Organismen und der von ihnen stammenden Substanz (Brockhaus, 1997). Biomasse stellt gespeicherte Sonnenenergie dar, die im Zuge der Photosynthese von Pflanzen erzeugt wurde.

Einschlag: Holzmenge, die im Abrechnungszeitraum erfolgswirksam genutzt wurde [fm, m³].

Energiehackgut: Hackgut, das zur energetischen Nutzung bestimmt ist.

Energieholz: Holz, das zur Energieerzeugung (Wärme und elektrischer Strom) thermisch verwertet wird. Die Unterscheidung erfolgt in Energierohholz und Schlagabraum.

Energierohholz*: Gefälltes, entwipfeltes und entastetes Holz, mit oder ohne Rinde, auch abgelängt und gespalten, jedoch nicht weiter bearbeitet und behandelt, zum Zweck der Energieerzeugung bereitgestellt.

Festmeter in Rinde (fmR): Maßeinheit für einen Kubikmeter fester Holzmasse mit Rinde.

Freies Wasser – Fasersättigungspunkt: Freies Wasser befindet sich in den Zellhohlräumen, gebundenes in den Zellwänden. Der Fasersättigungspunkt ist jene Holzfeuchte bei der Holz Trocknung, ab welcher das zu trocknende Holz kein freies Wasser sondern nur noch gebundenes Wasser enthält.

Hackgut: Maschinell zerkleinertes Holz mit oder ohne Rinde, unterteilt in Fein-, Mittel- und Grobhackgut.

Hackholz: Ganze Bäume oder Baumteile, die zur Hackguterzeugung bestimmt sind.

Hackgut: Maschinell zerkleinertes Holz mit oder ohne Rinde in der Regel mit einer Stücklänge bis 15 cm (ÖNORM M 7133).

Hackschnitzel (Feinhackgut): Hackgut, das von unbedeutenden Grobanteilen abgesehen aus Stücklängen unter 3 cm besteht (ÖNORM M 7133).

Hobelspäne: Anfallende Späne bei spanabhebender Bearbeitung von Holz (Hobeln, Fräsen).

Kappholz: Kurze Holzstücke (mit oder ohne Rinde), die beim Abschneiden der Enden von Rund- oder Schnittholz anfallen.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Anlage: Energiewandlungsanlage, die durch chemische oder physikalische Umwandlung von Energieträgern Wärme und elektrische Energie erzeugt.

Kreuzlage: Kreuzweise übereinander geschichtetes Rundholz zum Zweck der Erstellung eines Lagerpodestes.

Kuppelprodukt: Produkt, dass neben dem primär angestrebten Produkt zwangsläufig, planmäßig oder unplanmäßig, bei der Produktion anfällt. Die gemeinsame bzw. simultane Herstellung mehrerer Produkte bei einem betrieblichen Prozess.

Rinde: Organisches Zellgewebe, das von höheren Pflanzen (Bäumen, Sträuchern) an der Außenseite der Zuwachszone (Kambium) als Ummantelung des Holzkörpers gebildet wird.

Rundholz: Auf bestimmte Längen quer zur Faser mittels Trennschnitt gesägte Holzstämmen.

Sägehackgut: Hackgut das aus Holz mit oder ohne Rinde mit Hackmaschinen oder Zerspanern vorwiegend aus den äußeren Rundholzonen meist in Sägewerken oder holzverarbeitenden Betrieben erzeugt wurde.

Sägenebenprodukte (SNP)*: Gesamtheit von Schwarten, Spreißel, Kappholz, Sägehackgut, Sägespäne, Hobelspäne.

Sägespäne: Späne die beim Sägen von Holz anfallen.

Schaftholz: Oberirdisches Holz des Baumes vom Stammanlauf bis zum Baumwipfel.

Schlagabraum*: Im Zuge der Holzernte anfallendes Ast- und Wipfelmaterial sowie Waldrestholz.

Schüttdichte: Quotient aus der Masse eines lose gefüllte Schüttraummers und seinem Volumen einschließlich aller Hohlräume, bezogen auf einen bestimmten Wassergehalt (ÖNORM M 7132).

Schwarten: Beim Einschneiden von Rundholz in den Randzonen anfallende Teile, deren eine Seite ganz oder teilweise Baumwalze mit oder ohne Rinde aufweist.

Spreißel: Beim Besäumen von Schnittholz anfallende Teile, die Reste der Rundholzoberfläche mit oder ohne Rinde zeigen.

Verschmutzungsgrad: Anteil der manipulationsbedingten Fremdstoffe, angegeben in Prozent der Gesamtmasse (Holz- und/oder Rindenmasse).

Vorkonzentration: Transport von Energierohholz zu einem Zwischenlager zum Zwecke der Mengenkonzentration.

Waldhackgut (WHG): Hackgut das aus Hackholz mit Hackmaschinen meist im Wald erzeugt wurde (ÖNORM M 7132).

7.2 Maßeinheiten nach ÖNORM M 7132

Festmeter (FM): In der Forst- und Holzwirtschaft übliche Maßeinheit für 1 m³ Holz.

Raummeter (RM): Maßeinheit für geschichtete Holzteile, die unter Einschluss der Luftzwischenräume ein Gesamtvolumen von 1 m³ einnehmen.

Schüttraummeter (SRM): Maßeinheit für 1 m³ geschütteter Holzteile z. B. Hackgut.

8 Anhang

8.1 Kommunikation

Zur Information der Auftraggeber und Projektpartner war eine kontinuierliche Kommunikation vorgesehen. Der Kommunikationsprozess während des Projektverlaufs ist in Tabelle 84 angeführt.

Tabelle 84: Kommunikation & Öffentlichkeitsarbeit

Datum	Art der Veranstaltung	Partner	Ort
17.10.2005	Kick-Off-Meeting	Auftraggeber	Wien
28.02.2006	Verfahrensbesprechung	Österreichische Bundesforste	Purkersdorf
07.03.2006	1. Sitzung Steuerungsgruppe	Steuerungsgruppe Woodchip	Wien
21.03.2006	Besprechung Energieholzlogistik	ÖBf Forstverwaltung Waldviertel-Voralpen	Krems
22.03.2006	Besprechung Ermittlung Waldhackgutpotenzial	BOKU Institut für Waldwachstumsforschung	Wien
28.03.2006	Energieholzbedarf Heizwerke	Österreichische Energieagentur	Wien
05.04.2006	Besichtigung Hackplatz Simmering	Österreichische Bundesforste	Wien Simmering
06.04.2006	Besichtigung Energieholzflächen, Besprechung Durchlaufzeiten	ÖBf Forstverwaltung Waldviertel-Voralpen	Krems
19.04.2006	Erfahrungsaustausch Logistik	Paulischin GesmbH	Tribuswinkel
11.05.2006	Besprechung Energieholzlogistik & Flächenbesichtigung	Privatstiftung Fürst Esterhazy	Eisenstadt
24.05.2006	Besprechung Logistik Lagerplatz	ThyssenKrupp Serv Austria	Wien
26.06.2006	2. Sitzung Steuerungsgruppe	Steuerungsgruppe Woodchip	Wien
27.06.2006	Projektkoordination Logistik	BOKU Institut für Produktionswirtschaft und Logistik	Wien
22.08.2006	Einsatzmöglichkeiten Siebanlagen	Komptech GmbH	Wien
25.08.2006	Einsatzmöglichkeiten GPS im Wald	Satcon GmbH	Wien
08.11.2006	MOBILER Schüttguttransporte	ÖBB	Wien
23.11.2006	3. Sitzung Steuerungsgruppe	Steuerungsgruppe Woodchip	Purkersdorf
11.09.2007	4. Sitzung Steuerungsgruppe	Steuerungsgruppe Woodchip	Wien

Zusätzlich gab es noch zahlreiche Kontakte im Zuge der Erhebung von Bereitstellungsverfahren, der Datenerhebung für die Zwischenlagerung und Logistikoptimierung.

8.2 Qualitätsmerkmale für Waldhackgut

Tabelle 85: Umrechnungstabelle für Waldhackgut (www.forst.bayern.de, 2005).

Einheit		Holzart	Wassergeh. [%]	Srm	t	t atro	MWh
1 Srm	Hackschnitzel- Volumen	Fi	15	1,00	0,20	0,17	0,876
			30	1,00	0,25	0,17	0,847
			45	1,00	0,31	0,17	0,819
		Bu	15	1,00	0,32	0,27	1,298
			30	1,00	0,39	0,27	1,252
			45	1,00	0,49	0,27	1,180
1 t	Hackschnitzel- Frischgewicht	Fi	15	5,00	1,00	0,85	4,380
			30	4,00	1,00	0,68	3,388
			45	3,20	1,00	0,55	2,621
		Bu	15	3,10	1,00	0,85	4,024
			30	2,60	1,00	0,69	3,255
			45	2,10	1,00	0,55	2,478
1 t atro	Hackschnitzel- Trockensubstanz	Fi	15	5,88	1,18	1,00	5,151
			30	5,88	1,47	1,00	4,980
			45	5,88	1,82	1,00	4,816
		Bu	15	3,70	1,18	1,00	4,803
			30	3,70	1,44	1,00	4,632
			45	3,70	1,81	1,00	4,366
1 MWh		Fi	15	1,14	0,228	0,194	1,00
			30	1,18	0,295	0,200	1,00
			45	1,22	0,382	0,208	1,00
		Bu	15	0,77	0,248	0,208	1,00
			30	0,8	0,307	0,215	1,00
			45	0,85	0,403	0,229	1,00

Tabelle 86: Wassergehaltsklassen von Hackschnitzeln (nach ÖNORM M 7133).

Klasse	Grenzwert (Wassergehalt in %)	Bezeichnung
w 20	< 20	lufttrocken
w 30	20 - 29	lagerbeständig
w 35	30 - 34	beschränkt lagerbeständig
w 40	35 - 39	feucht
w 50	40 - 49	erntefrisch

Tabelle 87: Korngrößenverteilung Energiehackgutes (nach ÖNORM M 7133).

Gesamtmasse 100%			Hackgut - Größenklasse		
			G 30	G 50	G 100
			fein	mittel	grob
Grobanteil max. 20% der Gesamtmasse	Einzelstücke	Querschnitt max. [cm ²]	3	5	10
		Länge max. [cm]	8,5	12	25
	Grob-Nenn-Maschenweite [mm]		16	31,5	63
Hauptanteil 60% bis 100% der Gesamtmasse	Mittelsieb-Nenn-Maschenweite [mm]		2,8	5,6	11,2
Feinanteil (inkl. Feinstanteil) max. 20% der Gesamtmasse	Feinsieb-Nenn-Maschenweite [mm]		1	1	1
Feinstanteil max. 4% der Gesamtmasse					

Tabelle 88: Schüttdichte von Hackschnitzeln nach ÖNORM M 7133. Die Werte beziehen sich auf den wasserfreien Zustand der Hackschnitzel.

Klasse	Grenzwert (Schüttdichte in kg TS/m ³)	Bezeichnung	Baumarten
S 160	< 160	geringe Schüttdichte	(Fichte, Tanne, Pappel, Weide)
S 200	160 - 199	mittlere Schüttdichte	(Kiefer, Lärche, Birke, Erle)
S 250	> 200	hohe Schüttdichte	(Buche, Eiche, Robinie)

8.3 Beurteilung von Transportsystemen

Um die einzelnen Transportsysteme einheitlich beschreiben und übersichtlich darstellen zu können, wurde ein Beurteilungsbogen entwickelt, mit dem im Wesentlichen folgende Kategorien erfasst wurden:

- **Gerätekombination**
- **Technische Daten**
 - o Anschaffungskosten
 - o Ladevolumen
 - o Leergewicht
 - o Lastgewicht
- **Varianten**
 - o Entleerung der Behälter
 - o Mit und ohne Anhänger/ein oder mehrere Wechselbehälter
 - o Mit Ladekran oder mit Fremdbeladung
- **Stärken und Schwächen**
 - o Bedarf an Arbeitskräften
 - o Einbindung der Trocknung in den Transport
 - o Kundenorientierung
 - o Standzeiten
 - o Anforderungen an Straßen und Platzverhältnisse
 - o Möglichkeit zur Holzsortierung
 - o Anfälligkeit des Transportsystems auf Störungen
- **Einsatzbereich**
 - o Eignung für den Transport von Hackschnitzeln oder Hackholz
 - o Eignung für kombinierten Verkehr
 - o Einsatzbereich bei kurzen oder längeren Transportentfernungen

Die Anschaffungspreise, Nutzlasten, Leergewichte etc. für ein Transportmittel variieren je nach Ausführung und Hersteller erheblich. Die in den folgenden Beurteilungsbögen angegebenen Daten sind daher lediglich als Richtwerte zu verstehen.

8.3.1 LKW-Transport

8.3.1.1 Landwirtschaftliches Zugfahrzeug mit Kippanhänger

Geräte-kombination	Landwirtschaftliches Zugfahrzeug und Kippanhänger	 (www.fahrzeughbau-hosn.at)
Technische Daten	Anschaffungskosten: Gesamtgewicht: Leergewicht (Anhänger): Nutzlast: Ladevolumen:	Allradtraktor (90-110 kW): 61.200-75.000 € Kippanhänger: ca. 15-20.000 € Gesamt: ca. 76.200-95.000 € 8.000-24.000 kg 4.000-5.000 kg ca. 5-14 t 12-20 m³
Varianten	• Anhänger: Tandem-, Zweiachs-, Dreiachs-3-Seitenkippanhänger • Landwirtschaftliches Zugfahrzeug: Schlepper oder Unimog • Beladung: Durch Lader oder direkt durch den Hacker • Bei Einsatz mehrerer Kippanhänger ist rotierendes System möglich (Reduzierung der Standzeiten)	
Stärken	• Geringe Ansprüche an die Platz- und Straßenverhältnisse (kann auch bei schwierigen Bedingungen fahren) • Holzsortierung aufgrund des kleinen Ladevolumens möglich • Geringer Organisationsaufwand und flexibler Einsatz	
Schwächen	• Schneller und starker Anstieg der Kosten bei zunehmender Transportentfernung aufgrund des geringen Ladevolumens und der geringen Fahrgeschwindigkeit von 25-40 km/h • Aufgrund des geringen Ladevolumens, Standzeiten des Hackers beim Hacken in den Anhänger,	
Einsatzbereich	• Transport von Restholz (Astmaterial, Wipfel) und Hackschnitzel • Geringes Transportvolumen • Kurze Transportentfernungen • Eigener, auszulastender Fuhrpark • Leistungsschwächere Hacker (vor allem bei Hacken in Anhänger)	
Quellen	Plath (1992), Stampfer et al. (1997), Wittkopf et al. (2003) www.fahrzeughbau-hosp.at, www.schutz-fahrzeughbau.de; www.auto-henze.de; www.kippanhaenger-scholten.de; www.reisch-fahrzeughbau.de; www.brfa.de www.sieversdorfer.de; www.hb-brantner.at/	

8.3.1.2 Landwirtschaftliches Zugfahrzeug und Rungen-Anhänger mit Ladekran

Geräte-kombination	Landwirtschaftliches Zugfahrzeug und Rungen-Anhänger mit Ladekran	
Technische Daten	Anschaffungskosten: Leergewicht (Anhänger): Nutzlast:	(www.heiseundzimmermann.de/fahrzeugbau.htm) Allradtraktor (90-110 kW): 61.200-75.000 € Rungen-Anhänger mit Ladekran 13-25.000 € Gesamt: 74.200-100.000 € ca. 2.500-3.000 kg ca. 5-15 t
Varianten	• Anhänger: Zweiachs-, Dreiachs-Rungenanhänger • Landwirtschaftliches Zugfahrzeug: Schlepper oder Unimog	
Stärken	• Geringe Ansprüche an die Platz- und Straßenverhältnisse (kann auch bei schwierigen Bedingungen fahren) • Holzsortierung aufgrund des kleinen Ladevolumens möglich • Geringer Organisationsaufwand und flexibler Einsatz	
Schwächen	• Schneller und starker Anstieg der Kosten bei zunehmender Transportentfernung aufgrund des geringen Landevolumens und der geringen Fahrgeschwindigkeit von 25-40 km/h	
Einsatzbereich	• Transport von Rundholz, Restholz (Astmaterial, Wipfel) und Bündel • Bei geringem Transportvolumen • Bei kurzer Transportentfernung • Bei eigenem, auszulastendem Fuhrpark	
Quellen	Plath 1992, Stampfer et al. (1997), Wittkopf et al. (2003), www.riedler.com, www.heiseundzimmermann.de/fahrzeugbau.htm, www.fahrzeugbau-hosp.at, www.interforst.at	

8.3.1.3 Landwirtschaftliches Zugfahrzeug und Hakenliftanhänger

Geräte- kombination	Landwirtschaftliches Zug- fahrzeug und Hakenlift- anhänger	 (www.tarmstedterausstellung.de/besuchs/neuheiten/photos/kroeger_2.jpg)
Technische Da- ten	Anschaffungskosten	Allradtraktor (90-110 kW): 61.200-75.000 € Hakenliftanhänger (80 km/h) 25.000-30.000 € Gesamt: 86.000-105.000 €
	Leergewicht (Anhänger)	ca. 2.000-4.000 kg
	Lastgewicht	10-30 t (je nach Ausführung)
Varianten	Zugfahrzeug: • Handelsüblicher LKW mit Anhängerkupplung • Landwirtschaftliche Schlepper oder Unimogs	
Stärken	• Verzicht auf teuren Hakenlift-LKW • Unimog oder Allradtraktor in schwierigem Gelände (bei z. B. durch Regen aufgeweichte Böden) besser geeignet als Hakenlift-LKW • Flexibler Einsatz möglich	
Einsatzbereich	Transport von Containern (Länge 3,1-7,3 m), kann abgesetzte Container mit 30 t Masse laden und Euroflats oder Kombi-Euroflats transportieren.	
Quellen	Strunk (2003), www.wellink-machinetechnik.nl/DE/Bigab.htm , www.tarmstedterausstellung.de/besuchs/neuheiten/photos/kroeger_2.jpg	

8.3.1.4 Schüttgut-LKW und Schüttgut-Anhänger

Geräte- kombination	Schüttgut-LKW und Schüttgut- Anhänger	 (Institut für Forsttechnik)
Technische Da- ten	Anschaffungs- kosten	Schüttgut-LKW:: 100.000-115.000 € Schüttgut-Anhänger: 44.000 € Gesamt: 144.000-160.000 €
	Ladevolumen	LKW ca. 40 m ³ Anhänger ca. 50 m ³ Gesamt ca. 90 m ³
	Leergewicht	Anhänger: 5.400-6.800 kg LKW-Zug: 18.000-20.000 kg
	Nutzlast	ca. 20 t
Varianten	• Beladung durch Hacker oder zusätzliches Ladegerät	
Stärken	• Gekoppeltes oder entkoppeltes Arbeitssystem möglich • Großes Ladevolumen von ca. 90 SRM	
Schwächen	• LKW nur bedingt geländetauglich • Standzeit des LKW beim Beladen durch Hacker • Hoher Platzbedarf	
Einsatzbereich	• Transport von Hackschnitzeln • Bei mittleren bis weiteren Transportdistanzen • Bei größerem Transportvolumen	
Quellen	Angus-Hankin et al. (1995), www.riedler.com	

8.3.1.5

8.3.1.6 Schüttgut-LKW mit Anhänger und Ladekran – System Hohegger

Geräte-kombination	Schüttgut-LKW und Schüttgut-Anhänger mit Ladekran und Schalengreifer	 (Institut für Forsttechnik)																																		
Technische Daten	<table><tr><th colspan="2">Technische Daten</th></tr><tr><td>Type:</td><td>MAN 33-430 TGA</td></tr><tr><td>Leergewicht:</td><td>20,8 t</td></tr><tr><td>Nutzlast:</td><td>17,2 t</td></tr><tr><td>Antrieb:</td><td>6x6</td></tr><tr><td>Leistung:</td><td>430 PS</td></tr></table> <table><tr><th colspan="2">Ladevolumina</th></tr><tr><td>Motorwagen:</td><td>34 m³</td></tr><tr><td>Hänger:</td><td>47 m³</td></tr><tr><td>Gesamt:</td><td>81 m³</td></tr></table>	Technische Daten		Type:	MAN 33-430 TGA	Leergewicht:	20,8 t	Nutzlast:	17,2 t	Antrieb:	6x6	Leistung:	430 PS	Ladevolumina		Motorwagen:	34 m³	Hänger:	47 m³	Gesamt:	81 m³	<table><tr><th colspan="2">Anschaffungskosten exkl. Ust</th></tr><tr><td>Motorwagen:</td><td>98.000 €</td></tr><tr><td>Hänger:</td><td>44.000 €</td></tr><tr><td>Aufbau:</td><td>31.900 €</td></tr><tr><td>Kran incl. Schalengreifer</td><td>30.500 €</td></tr><tr><td>500 Liter</td><td></td></tr><tr><td>LKW-Zug gesamt:</td><td>204.400 €</td></tr></table>	Anschaffungskosten exkl. Ust		Motorwagen:	98.000 €	Hänger:	44.000 €	Aufbau:	31.900 €	Kran incl. Schalengreifer	30.500 €	500 Liter		LKW-Zug gesamt:	204.400 €
Technische Daten																																				
Type:	MAN 33-430 TGA																																			
Leergewicht:	20,8 t																																			
Nutzlast:	17,2 t																																			
Antrieb:	6x6																																			
Leistung:	430 PS																																			
Ladevolumina																																				
Motorwagen:	34 m³																																			
Hänger:	47 m³																																			
Gesamt:	81 m³																																			
Anschaffungskosten exkl. Ust																																				
Motorwagen:	98.000 €																																			
Hänger:	44.000 €																																			
Aufbau:	31.900 €																																			
Kran incl. Schalengreifer	30.500 €																																			
500 Liter																																				
LKW-Zug gesamt:	204.400 €																																			
Varianten	Beladung: Durch Ladekran oder direkt durch den Hacker																																			
Stärken	• Geringe Ansprüche an die Straßenverhältnisse und Witterung (6x6 Antrieb) • Geringer Platzbedarf durch die Selbstbeladung • Gekoppeltes und entkoppeltes Arbeitssystem möglich • Geringer Organisationsaufwand und flexible Einsatzplanung																																			
Schwächen	• Niedrigere Nutzlast durch Ladekran																																			
Einsatzbereich	• Transport von Waldhackgut Abgelegene und schwer erreichbare Ladeorte																																			
Quellen	Institut für Forsttechnik																																			

8.3.1.7 LKW mit Rungenaufbau mit Ladekran und Rungen-Anhänger

Geräte-kombination	LKW mit Rungenaufbau und Ladekran plus 2achsigen Rungenanhänger	 (Loschek)
Technische Daten	Anschaffungskosten	Allrad-LKW: 110.000 - 150.000 € Ladekran: 32.000 – 35.000 € Anhänger: 30.000 - 40.000 € Gesamt: 172.000 - 225.000 €
	Leergewicht	LKW mit Kran: 14.000 - 17.000 kg 2-Achs-Rungenanhänger: ca. 5.000 kg Gesamt: 19.000 - 22.000 kg
	Nutzlast	ca. 16-20 t (LKW und Anhänger)
Varianten	• LKW mit Ladekran und zwei bis drei Rungenpaare • 2achsiger Rungen-Anhänger mit vier verstellbaren Rungenpaaren • Anhänger telekopierbar auf Längen von sechs bis acht Meter • Anhänger mit einhängbaren Seitenwänden für den Transport von „losem Material“ wie Äste und Wipfel • Verdichten der Ladung mit Stahlseilen oder mit Hilfe des Ladekrans	
Stärken	• Unabhängiger, flexibler Einsatz durch den fahrzeugeigenen Ladekran	
Schwächen	• Erhöhung des Eigengewichtes durch Ladekran um circa 3,5 to • Erhöhung des Eigengewichtes durch Verstärkungen um circa 2,5 to • Erhöhung des Eigengewichtes durch Zwillingsbereifung und zusätzliche Achsen	
Einsatzbereich	• Transport von Rundholz, Bündeln und Abschnitte minderer Qualitäten, bei eingehängten Seitenwänden auch von Schlagabraum • Mittlere Transportdistanzen	
Quellen	Angus-Hankin et al. (1995), Odenthal-Kahabka (2005), Timmer (2005), www.riedler.com , www.man-mn.com	

8.3.1.8 Sattelzugmaschine mit Ladekran

Geräte- kombination	Sattelzugmaschine mit Ladekran und Sattel Auflieger mit Rungenaufbau	
Technische Daten	Anschaffungskosten	Sattelzugmaschine mit Ladekran: 100-120.000,- € Sattelauflieger: 30 - 40.000,- € Gesamt: 130 - 150.000,- €
	Leergewicht	Lkw mit Kran: 14 - 17.000 kg Sattelauflieger mit Rungen: ca 5.000 kg Gesamt: 19 - 22.000 kg
	Nutzlast	ca. 16 - 20 t (Lkw und Auflieger)
Varianten	Verwendung für Sortiment- und Langholztransport,	
Stärken	Ladekran, Lang- und Sortimentholztransport, Wechsel verschiedener Auflieger,	
Schwächen	erhöhtes Eigengewicht durch Ladekran ca. 3,5t Reduktion Nutzlast 3,5t, od 4 - 7 fm	
Einsatzbereich	Transport von Rundholz, Lang- od. Sortimentsholz mittlere bis weite Transportdistanzen	
Quellen	Institut für Forsttechnik	

8.3.1.9 Sattelzugmaschine ohne Ladekran

Geräte- kombination	Sattelzug ohne Ladekran mit Rungenaufleger	
Technische Daten	Anschaffungskosten	Sattelzugmaschine: 90-120.000,- € Sattelaufleger: 30- 40.000,- € Gesamt: 120- 160.000,- €
	Leergewicht	Sattelzugmaschine: 11 - 14.000 kg Sattelaufleger ca 5.000 kg Gesamt: 16 - 19.000 kg
	Nutzlast	ca. 25 - 28 t (Lkw und Auflieger)
Varianten	Verwendung für Sortiment- und Langholztransport,	
Stärken	Hohe Nutzlast, Wechsel verschiedener Auflieger, Vermeidung von Leerfahrten, unabhängige Zugmaschine	
Schwächen	kein Ladekran, Fremdbeladung, erhöhte Organisation, oft kein Allradantrieb, Einschränkungen bei der Ladungssuche	
Einsatzbereich	Transport von Lang- und Sortimentholzholz, große Transportdistanzen, Variation verschiedener Auflieger, Vermeidung von Leerfahrten	
Quellen	Institut für Forsttechnik	

8.3.1.10 Abrollkipper mit Abrollcontainer

Geräte- kombination	Abrollkipper und Abrollcontainer und Anhänger	
Technische Da- ten	Anschaffungs- kosten	LKW: 100.000-115.000 € Anhängen: 24.000 € Container: 2.300-4.800 € Gesamt (2 Container): 128.600-148.600 €
	Ladevolumen	LKW: 25-40 m³ LKW-Zug: ca. 60-80 m³
	Leergewicht	LKW: 11.000-12.000 kg Anhängen: 3.500-4.300 kg Container: 3.000-4.000 kg LKW-Zug (2. Container): 20.500-24.300 kg
	Nutzlast	LKW-Zug: 17,7-21,5 t
Varianten	• Entleerung über Schubbodenvorrichtung, über Heck oder durch Kippen • Beladung der Container direkt durch den Hacker oder durch zusätzliches Ladegerät	
Stärken	• Einsatz mehrerer Container ermöglicht rotierendes Transportsystem → Reduzierung von Standzeiten • Mit dem Hakenlift können sowohl Container als auch Flats unter ungünstigeren Umschlagbedingungen auf- und abgeladen werden. • Normung der Container (DIN 30722) ermöglicht gute Kooperation zwischen Unternehmen und anderen Verkehrsträgern wie der Bahn.	
Schwächen	• Der Hakenliftaufbau verteuert das Fahrzeug bei Neuanschaffung um ca. 23.000-30.000 € • Verringerung der Nutzlast um ca. 5-6 t aufgrund des hohen Eigengewichts der Container und des schweren Hakenliftaufbaus • Einsatz eines Anhängers erfordert relativ zeitaufwändige Manipulation für Auf- und Absetzen des Containers	
Einsatzbereich	• Transport von Hackschnitzel • Bei mittlerem Transportvolumen und mittleren Transportdistanzen	
Quellen	Odenthal-Kahabka (2005), Strunk (2003), Wippermann (2001), Teier (2005) Institut für Forsttechnik	

8.3.1.11 Wechselbrückenfahrzeug mit Wechselbrücken

Geräte-kombination	Wechselbrücken-fahrzeug und Wechselbrücken	 (www.rainbow-containers.de/ News.htm)
Technische Da-ten	Anschaffungs-kosten	LKW: 75.000-95.000 € Rahmenaufbau auf Basisfahrzeug: ca. 2.600 € Wechselbrücke: 3.500-5.000 € Gesamt: 81.000-102.000 €
	Leergewicht	LKW: 8.500-9.700 kg Wechselbrücke: 1.600-2.800 kg Gesamt: 10.100-12.500 kg
	Lastgewicht	Ohne Anhänger: 13.5-15,9 t
Varianten	Beladung der Wechselbrücken • direkt durch den Hacker • durch zusätzliches Ladegerät	
Stärken	• Einsatz mehrerer Wechselbrücken ermöglicht rotierendes Transportsystem → Reduzierung von Standzeiten • Einsatz stapelbarer Wechselbrücken → Reduzierung von Leerfahrten möglich • DIN-genormtes System → kompatibel in ganz Europa • Geringeres Leergewicht des Basisfahrzeugs (kein Hakenliftaufbau notwendig), • Geringerer Anschaffungspreis (Wechselbrückenrahmen ca. 20.400 € günstiger als Hakenliftaufbau)	
Schwächen	• Hoher Platzbedarf zum Abstellen der Wechselbrücken • Hoher Anspruch an Gelände und Boden. Wechselbrücken werden auf vier Stützen abgestellt. Dies erfordert ebenes Gelände und eine gute Tragfähigkeit des Bodens	
Einsatzbereich	• Transport von Hackschnitzeln • Im kombinierten Verkehr (Straße/Schiene)	
Quellen	Odenthal-Kahabka (2005), Strunk (2003), Wippermann (2001)	

8.3.1.12 LKW mit Kombi-Euroflat

Geräte-kombination	LKW mit Wechsel-träger Kombi-Euroflat	
Technische Da-ten	Anschaffungs-kosten	LKW: ca. 106.000 € Kombi-Euroflat: 2 x 24.000 € Anhänger: 21.000 € Gesamt: 175.000 €
	Nutzlast	circa 24 to (LKW und Anhänger)
	Ladevolumen	45 m³
	Leergewicht	LKW: 13.800 kg Kombi-Euroflat und Anhänger: 5.800 kg Gesamt: 19.600 kg
Varianten	• Beladung durch Forwarder, Hacker oder durch zusätzliches Ladegerät • Transport von Hackgut in geschlossenem Zustand	
Stärken	• Reduzierung von Leerfahrten durch flexible Einsatzmöglichkeiten	
Schwächen	• Hoher Organisationsaufwand, um Leerfahrten zu vermeiden • Kombi-Euroflat entspricht nicht der Norm nach DIN 284 • Hoher Anspruch an die Platzverhältnisse	
Einsatzbereich	• Transport von Rundholz in offenem Zustand • Transport von Hackschnitzeln in geschlossenem Zustand • Mittlere Transportdistanzen	
Quellen	Odenthal-Kahabka (2005), Strunk (2003)	

8.3.1.13 LKW mit Euroflat

Geräte- kombination	Lkw und Euroflat	
Technische Daten	Anschaffungskosten	LKW: 106.000,- Anhänger: 21.000,- Container: 2 * 12.000,- Gesamt: 151.000,-
	Leergewicht	LKW 12.700 kg Euroflat + Anhänger 6.700 kg Gesamt: 18.700 kg
	Nutzlast	ca. 24t (Lkw und Anhänger)
Varianten	Verwendung für Rundholztransport, Direktbeladung Forwarder	
Stärken	Direkt Beladung durch Forwarder am Lagerplatz, Reduzierung der Leerfahrten, flexible Einsatzmöglichkeiten	
Schwächen	hoher Organisationsaufwand, um Leerfahrten zu vermeiden, hoher Platzbedarf am Holzlagerplatz	
Einsatzbereich	Transport von Rundholz, Bündeln und Abschnitte minderer Qualitäten, Mittlere Transportdistanzen	
Quellen	Odenthal-Kahabka (2005), Strunk (2003)	

8.3.1.14 Sattelzugfahrzeug mit Sattelaufleger und LogRac

Geräte-kombination	Sattelzugfahrzeug mit Sattelaufleger und LogRac	
Technische Daten	Anschaffungskosten	Sattelzugmaschine: 90.000 – 120.000 € Sattelaufleger: 30.000 - 40.000 € LogRac: 6 x 15.000 € Gesamt: 210.000 - 250.000 €
	Ladevolumen	ca. 26 FM
	Leergewicht	Sattelzugmaschine: 11.000 – 14.000 kg Sattelaufleger: ca. 5.000 kg LogRac: 3.800 kg
	Nutzlast	ca. 23 to
Stärken	• Flexibler Einsatz • Faltbar, bis zu sechs leere, gefaltete LogRacs können übereinander gestapelt transportiert werden (→ Reduzierung von Leerfahrten) • Schaffung einer neuen Schnittstelle = Umschlagplatz • Kombiniertes Verkehr nach ISO Norm möglich • Höhere Nutzlast als Rundholz-LKW (kein Ladekran oder Hakenliftaufbau notwendig)	
Schwächen	• Hohe Anforderungen an die Ebenheit des Geländes und die Tragfähigkeit des Bodens → Umschlagplatz erforderlich • Relativ hohes Eigengewicht im Vergleich zum herkömmlichen Rungenaufbau ohne Ladekran	
Einsatzbereich	• Transport von Rundholz • Bei weiteren Transportentfernungen (ab ca. 80 km) • Kombiniertes Verkehr	
Quellen	Eberhardinger & Bodelschwingh (2005), Fenz & Stampfer (2005), www.lograc.com	

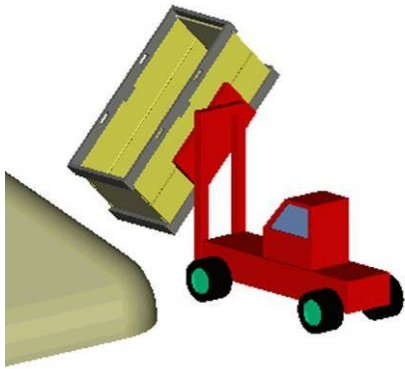
8.3.1.15 Drehungensystem WoodTrailer

Geräte- kombination	Drehungensystem Wood Trailer		
Technische Daten	Anschaffungskosten	Lkw mit Ladekran: 110-150.000,- € Anhängers: 20- 30.000,- € Gesamt: 130- 180.00,- €	
	Leergewicht	Lkw mit Kran: 14 - 17.000 kg 2-Achs-Rungenanhänger ca 5.000 kg Gesamt: 19 - 22.000 kg	
	Nutzlast	ca. 22 - 25 t (Lkw und Sattelaufleger)	
Varianten	Verwendung für Sortiment- und Langholztransport, zusätzliche Variationen durch klappbare Drehungen		
Stärken	hohe Flexibilität, Verringerung von Leerfahrten, System passt auf jeden Sattelaufleger		
Schwächen	kein Ladekran, kompliziertes Drehungensystem, höherer Preis		
Einsatzbereich	Transport von Rundholz, Bündeln und bei umgelegten Drehungen, Transport von allen anderen Güter, incl. Container weite Transportdistanzen		
Quellen	www.innofreight.com		

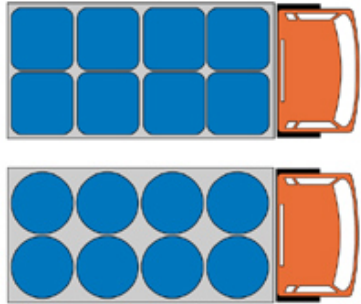
8.3.1.16 Rundholzpalette

Geräte- kombination	Rundholzpalette in Verbindung mit WoodTrailer oder WoodRailer	
Technische Daten	Anschaffungskosten	keine Angaben
	Leergewicht Ladebreite Rungenhöhe	Rundholzpalette - 520 kg 2.670 mm 2.100 mm
	Nutzlast	Rundholzlängen von 3m - 6m
Varianten	Rundholzpalette kombiniert mit WoodTainer Container auf WoodTrailer Sattelaufleger für den kombinierten Transport, integrierte Spannwinde, 2 Ösen pro Seite	
Stärken	schneller Umschlag von der Straße auf die Schiene mittels 16 t Stapler	
Schwächen	Zum Umschlag ist ein 16 t Stapler notwendig	
Einsatzbereich	Transport von Rundholz, Bündeln und Abschnitte minderer Qualitäten, hohe Transportdistanzen	
Quellen	INNOFREIGHT Speditions GmbH, www.innofreight.com	

8.3.1.17 Zugfahrzeug mit Faltbox (Prototyp)

Geräte- kombination	Zugfahrzeug und Faltbox	 (www.innofreight.com/_innofreight/2_produkte/Smartbox.php)
Technische Da- ten	Anschaffungs- kosten	Noch in Entwicklung
	Ladevolumen	45 m³
	Lastgewicht	18 t
Varianten	Beladung durch Hacker oder Lader	
Stärken	• Im leeren Zustand falt- und stapelbar → Reduzierung von Leerfahrten • Hohes Ladevolumen	
Schwächen	• Zum Manipulieren der Faltbox wird ein Stapler benötigt, dies ist auch der Fall, wenn die Faltbox im Wald manipuliert, z. B. abgestellt werden soll. • Hoher Anspruch an die Ebenheit des Geländes, damit der Stapler die Faltbox aufnehmen, bzw. absetzen kann.	
Einsatzbereich	• Transport von Industriehackschnitzel • Im kombinierten Verkehr (Straße/Schiene) • Über weite Transportdistanzen • Für Belieferung großer Werke	
Quellen	www.innofreight.com	

8.3.1.18 LKW und Big-Bags

Geräte- kombination	LKW mit Ladekran und Big-Bags	 (www.eurea.test.bitwise.n1.jpg)
Technische Da- ten	Anschaffungs- kosten	Je nach Ausführung ca. 7-11 € pro Big-Bag Für entsprechende Halterung am Hacker zum Befüllen der Big-Bags entstehen weitere Kosten
	Ladevolumen	Je nach Ausführung 0,5-3,0 m³ pro Big-Bag
	Lastgewicht	bis zu 2 t pro Big-Bag
Varianten	• Viele verschiedene Ausführungen der Big-Bags • Befüllung der Big-Bags durch Hacker. Abstellen der Big-Bags am Hackort. Transport der Big-Bags mit Schlepper (mit Greifer) zum Lagerplatz. Dort Entleerung der Big-Bags. • Oder Befüllung der Big-Bags durch den Hacker am Hackplatz • Transport der Big-Bags mit LKWs bis zum Werk	
Stärken	• Big-Bags in bis zu 7 Lagen aufeinander stapelbar. • Abfüllen kleiner Mengen möglich, damit sehr gute Kundenorientierung	
Schwächen	• Derzeit existiert keine geeignete Halterung am Hacker, in die die Big-Bags ohne zusätzlichen Mann ein- und ausgehängt werden könnten. • Ständige Unterbrechungen beim Wechseln der Big-Bags, damit Standzeiten des Hackers • Probleme bei der Entleerung der Big-Bags, da Hackschnitzel feucht sind, zusammenkleben und dann nicht mehr rieselfähig sind	
Einsatzbereich	• Bei Kleinmengen von Hackschnitzeln, • Bei leistungsschwachen Hackern, • Bei Belieferung von Kleinabnehmern.	
Quellen	Patzak (1981), (Starchl 2005), www.boxon.com , www.sifor.at , www.bigbagshop.de , www.eltete.com/TPM/gb/bigbags.htm , www.bigbags.de/haupt.htm , www.rodenberg-net.de/bb.htm , www.sackschramm-verpackungen.de/big_bag_accessories , www.meili.de/pro-dukinfos/Big_Bags-6.html , www.corfil.de/produkte/bigbag/big_haupt.htm , www.sifor.at/html/deutsch/bag/homebag.htm	

8.3.2 Eisenbahntransport

8.3.2.1 Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden und Rungen (Res)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden, Seitenwänden und Rungen → Res	
Technische Daten	Ladelänge:	18,50 m
	Ladebreite:	2,64 m
	Ladehöhe:	1,64 m
	Eigengewicht:	25 t
	Streckenklasse: Lastgrenze:	max. 55 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Waggons zum Transport von schweren und langen Erzeugnissen der Eisen- und Stahlindustrie, aber auch Rundholz. 8 Rungen auf jeder Seite (teilweise mit Seitenborden und Stirnrungen).	
Stärken	mit Stirnwänden und Seitenwänden, fährt in der günstigsten Tarifklasse	
Schwächen	Rungen müssen vor der Beladung mit Hartholzkeilen verkeilt werden, nach Verladung der Hälfte muss zwischengebunden werden, um die Rungen zusammenzuziehen, nach kompletter Verladung, Sicherung der gesamten Fracht. Die Rungen sind aus sehr weichem Eisen, können sich verbiegen!	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .w aldw issen.de	

8.3.2.2 Flachwagen mit Drehgestellen (Rs)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen, niedrigen Stirnwänden → Rs	
Technische Daten	Ladelänge: Ladebreite: Ladehöhe:	18,53 m 2,75 m 1,56 m
	Streckenklasse: Lastgrenze:	max. 56 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Waggons zum Transport von schweren und langen Erzeugnissen der Eisen- und Stahlindustrie, aber auch Rundholz. 8 Rungen auf jeder Seite (teilweise mit Seitenborden und Stirnrungen).	
Stärken	keine Stirnwände, günstigster Rundholz Rungenwagen	
Schwächen	Rungen müssen vor der Beladung mit Hartholzkeilen verkeilt werden, nach Verladung der Hälfte muss zwischengebunden werden, um die Rungen zusammenzuziehen, nach kompletter Verladung, Sicherung der gesamten Fracht. Die Rungen sind aus sehr weichem Eisen, können sich verbiegen!	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, www.waldwissen.de	

8.3.2.3 Flachwagen mit Drehgestellen (Snps)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen → Snps	
Technische Daten	Ladelänge: Ladebreite: Ladehöhe:	19,60 m 2,72 m 2,00 m
	Streckenklasse: Lastgrenze:	max. 63 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Speziell zum Transport von Rohren, Stamm- und Schnittholz. Flachwagen mit 8 Rungen auf jeder Seite, die mit einer robusten Niederbindeeinrichtung ausgerüstet sind. Die Beförderung ist nur mit eingehängten und gespannten Gurten erlaubt. Ideal für Langholz mit bis zu 19,00 m Länge.	
Stärken	keine Stirnwände, leichte beladung, robuste Niederbindeeinrichtung, schnelle Verkehre (Vmax. 120 km/h)	
Schwächen	Einsatz ist teurer als Konkurrenzwagen, keine Stirnwände → Abspannung notwendig	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .w aldwissen.de	

8.3.2.4 Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden und Rungen (Rns-z)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden und Rungen → Rns-z	
Technische Daten	Ladelänge: Ladebreite: Ladehöhe: Eigengewicht:	21,00 m 2,64 m 1,56 m 24 t
	Streckenklasse: Lastgrenze:	max. 58,5 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Waggons zum Transport von schweren und langen Erzeugnissen der Eisen- und Stahlindustrie, aber auch Rundholz. 8 Rungen auf jeder Seite (teilweise mit Seitenborden und Stirnrungen). Stirnwände 0,42 m umlegbar, 20 Seitenwand-Drehungen, versenkbare Ladeschwellen	
Stärken	mit Stirnwänden und Seitenwänden, Rungen drehbar → Ladeerleichterung, Stirnwände entfernbar	
Schwächen	Rungen müssen vor der Beladung mit Hartholzkeilen verkeilt werden, nach Verladung der Hälfte muss zwischengebunden werden, um die Rungen zusammenzuziehen, nach kompletter Verladung, Sicherung der gesamten Fracht. Die Rungen sind aus sehr weichem Eisen, können sich verbiegen!	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, www.aldwissen.de	

8.3.2.5 Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden und hohen, festen Rungen (Rnooss-uz)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen, Stirnwänden und hohen, festen Rungen → Rnooss-uz bzw. Rnoos-z, der "Rohholzbulle"	
Technische Daten	Ladelänge: Ladebreite: Ladehöhe: Eigengewicht:	21,30 - 21,60 m 2,58 m 2,067 m 26 t
	Streckenklasse: Lastgrenze:	höchste Lastgrenze bei 64 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Speziell zum Transport von Lang- und Kurzholz. Flachwagen mit 10 fixen Rungen auf jeder Seite, bei überhöhten Stirnwänden und 9 Spanngurten. Rnoos-z mit gekröpfter Stirnwand und 30 cm mehr Ladelängege	
Stärken	Verladung von Rundholz ohne Anbringung zusätzlicher Sicherungen, wenn nur bis zur Rungenhöhe ohne Zwischenräume geladen wird. Hohe Lastgrenze, zugelassen für schnelle Verkehre (Vmax. 120 km/h)	
Schwächen	Einsatz ist teurer als Konkurrenzwagen, nur beschränkte Wagonzahl vorhanden	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .w ald w issen.de	

8.3.2.6 Flachwagen mit Drehgestellen, für Containertransport (Sgnss)

Geräte- kombination	Flachwagen mit Drehgestellen, für Container und Wechselaufbauten → Sgnss	
Technische Daten	Ladelänge: Ladebreite: Eigengewicht:	18,50 m - m 20 t
	Streckenklasse: Lastgrenze:	höchste Lastgrenze bei 70 t, abhängig von der Streckenklasse
Varianten und Einsatzbereich	Speziell zum Transport von Containern nach DIN Norm, kein fester durchgehender Boden, vielfältige Kombinationsmöglichkeiten	
Stärken	Transport von Wechselcontainern und Wechselbrücken, schneller Umschlag, intermodaler Verkehr, zugelassen für schnelle Verkehre (Vmax. 120 km/h)	
Schwächen	keine Angabe	
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland	
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w . w a l d w i s s e n . d e	

8.3.2.7 Zweiachsiger Flachwagen mit Drehungen (WoodRailer)

Geräte- kombination	2 achsiger Flachwagen, für Container und Wechselaufbauten → WoodRailer		
Technische Daten	Ladelänge:	13,8 m	
	Rungenhöhe:	2,0 m	
	Eigengewicht:	13 t	
	Streckenklasse: Lastgrenze:	höchste Lastgrenze bei 32t, abhängig von der Streckenklasse	
Varianten und Einsatzbereich	Speziell zum Transport von Rundholz und Containern nach DIN Norm, kein fester durchgehender Boden, vielfältige Kombinationsmöglichkeiten innerhalb der inno freight Produktpalette		
Stärken	Transport von Rundholz, Schnittholz und Wechselcontainern, schneller Umschlag durch Kompatibilität mit Wood Trailer, Wood Tainer und Rundholzpalette, intermodaler Verkehr, Drehungensystem - leicht umlegbar, fixe Spanngurte am Wagen.		
Schwächen	Im Vergleich zu herkömmlichen Wagons, geringe Zuladung, kurze Ladelänge		
Kosten Inland	noch nicht fixiert		
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .innofreight.at		

8.3.2.8 Offener Güterwagen mit Drehgestellen (Eanos)

Geräte- kombination	Offener Güterwagen mit Drehgestellen → Eanos, Eanos			
Technische Daten		Eanos1	Eanos2	Eanos3
	Ladelänge:	14,49 m	14,49 m	12,60 m
	Ladebreite:	2,76 m	2,72 m	2,61 m
	Ladehöhe:	2,10	2,10 m	2,10 m
	Eigengewicht:	24,5 t	24,06 t	22,0 bzw. 25 t
	Streckenklasse:	max.65, 5 t		
	Lastgrenze:		max. 66 t	max. 64 t
Varianten und Einsatzbereich	Offener Kastenwagen für Schütt- und Stückgut, geeignet zur Verladung von Industrieholz, v.a. für Standardlängen bis zu 4,50 m.			
Stärken	Bei Beladung bis zur Höhe der Bordwand ist kein Abspannen erforderlich			
Schwächen	Für Standardlängen ab 5,00 m eher ungeeignet, Stauraum wird nicht voll ausgenützt. Separate Spanngurte werden benötigt. Vor Beladung Kontrolle des Laderaums auf Sauberkeit. Metallschrott wird transportiert, Reste können sich ins Holz bohren → wird bei Werksvermessung als Splitterholz aussortiert. Zusätzliche Spanngurte bei Ladung über Bordwand. Nach erfolgter Beladung lassen sich geöffnete Seitentüren nicht mehr schließen! Schwierige Entladung.			
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland			
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .w a l d w i s s e n .d e			

8.3.2.9 Offener Güterwagen mit Drehgestellen (Eaos, Eas)

Geräte- kombination	Offener Güterwagen mit Drehgestellen → Eaos, Eas			
Technische Daten		Eaos1	Eaos2	Eas
	Ladelänge:	12,79 m	12,79 m	12,79 m
	Ladebreite:	2,76 m	2,76 m	2,76 m
	Ladehöhe:	2,02	2,02 m	2,02
	Eigengewicht:	22,5 t	21,6 t (21,9)	22,0 t
	Streckenklasse: Lastgrenze:	max.		
Varianten und Einsatzbereich	Offener Kastenwagen für Schütt- und Stückgut, geeignet zur Verladung von Industrieholz und v.a. für Standardlängen bis zu 4,00 m.			
Stärken	Bei Beladung bis zur Höhe der Bordwand ist kein Abspannen erforderlich			
Schwächen	Für Standardlängen mit 4,50 m und 5,00 m eher ungeeignet, Stauraum wird nicht voll ausgenützt. Separate Spanngurte werden benötigt. Vor Beladung Kontrolle des Laderaums auf Sauberkeit. Metallschrott wird transportiert, Reste können sich ins Holz bohren → wird bei Werksvermessung als Splitterholz aussortiert. Zusätzliche Spanngurte bei Ladung über Bordwand. Nach erfolgter Beladung lassen sich geöffnete Seitentüren nicht mehr schließen!.			
Kosten Inland	siehe Tabelle Wagenpreise Nadel- Laubholz Inland			
Quellen	Rail Cargo Austria, w w w .w ald w issen.de			

8.4 Zwischenlagerung

Tabelle 89: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell A)

Annahmen: Maximale Auslastung pro Jahr 250 Tage, Anschaffungswert 60.000 €, Nutzungsdauer acht Jahre, Fixverzinsung 4 %, Personalkosten 25 €/h, Treibstoffverbrauch sieben Liter pro Stunde, Treibstoffkosten 1,00 € pro Liter

WHG in SRM pro Jahr	Nutzungsdauer Modell A [Tage]	Anzahl Lader	Kosten Anschaffung	Kosten Personal 25 €/Std.	Kosten Treibstoff 1 €/Liter	Gesamtkosten pro Jahr	Kosten je SRM
5.000	17,4	1	8.911 €	3.472 €	972 €	13.355 €	2,67 €
10.000	34,7	1	8.911 €	6.944 €	1.944 €	17.800 €	1,78 €
20.000	69,4	1	8.911 €	13.889 €	3.889 €	26.689 €	1,33 €
30.000	104,2	1	8.911 €	20.833 €	5.833 €	35.578 €	1,19 €
40.000	138,9	1	8.911 €	27.778 €	7.778 €	44.467 €	1,11 €
50.000	173,6	1	8.911 €	34.722 €	9.722 €	53.355 €	1,07 €
60.000	208,3	1	8.911 €	41.667 €	11.667 €	62.244 €	1,04 €
70.000	243,1	1	8.911 €	48.611 €	13.611 €	71.133 €	1,02 €
80.000	277,8	2	17.822 €	55.556 €	15.556 €	88.933 €	1,11 €
90.000	312,5	2	17.822 €	62.500 €	17.500 €	97.822 €	1,09 €
100.000	347,2	2	17.822 €	69.444 €	19.444 €	106.711 €	1,07 €
150.000	520,8	2	17.822 €	104.167 €	29.167 €	151.155 €	1,01 €
200.000	694,4	3	26.733 €	138.889 €	38.889 €	204.511 €	1,02 €
250.000	868,1	4	35.644 €	173.611 €	48.611 €	257.866 €	1,03 €
300.000	1041,7	4	35.644 €	208.333 €	58.333 €	302.311 €	1,01 €
350.000	1215,3	5	44.555 €	243.056 €	68.056 €	355.666 €	1,02 €
400.000	1388,9	6	53.466 €	277.778 €	77.778 €	409.022 €	1,02 €

Tabelle 90: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell B)

Annahmen: Maximale Auslastung pro Jahr 250 Tage, Anschaffungswert 90.000 €, Nutzungsdauer acht Jahre, Fixverzinsung 4 %, Personalkosten 25 €/h, Treibstoffverbrauch 8,5 Liter pro Stunde, Treibstoffkosten 1,00 € pro Liter

WHG in SRM pro Jahr	Nutzungsdauer Modell B [Tage]	Anzahl Lader	Kosten Anschaffung	Kosten Personal 25 €/Std.	Kosten Treibstoff 1 €/Liter	Gesamtkosten pro Jahr	Kosten je SRM
5.000	8,7	1	13.367 €	1.736 €	590 €	15.693 €	3,14 €
10.000	17,4	1	13.367 €	3.472 €	1.181 €	18.020 €	1,80 €
20.000	34,7	1	13.367 €	6.944 €	2.361 €	22.673 €	1,13 €
30.000	52,1	1	13.367 €	10.417 €	3.542 €	27.325 €	0,91 €
40.000	69,4	1	13.367 €	13.889 €	4.722 €	31.978 €	0,80 €
50.000	86,8	1	13.367 €	17.361 €	5.903 €	36.631 €	0,73 €
60.000	104,2	1	13.367 €	20.833 €	7.083 €	41.284 €	0,69 €
70.000	121,5	1	13.367 €	24.306 €	8.264 €	45.936 €	0,66 €
80.000	138,9	1	13.367 €	27.778 €	9.444 €	50.589 €	0,63 €
90.000	156,3	1	13.367 €	31.250 €	10.625 €	55.242 €	0,61 €
100.000	173,6	1	13.367 €	34.722 €	11.806 €	59.895 €	0,60 €
150.000	260,4	1	13.367 €	52.083 €	17.708 €	83.159 €	0,55 €
200.000	347,2	2	26.734 €	69.444 €	23.611 €	119.790 €	0,60 €
250.000	434,0	2	26.734 €	86.806 €	29.514 €	143.053 €	0,57 €
300.000	520,8	2	26.734 €	104.167 €	35.417 €	166.317 €	0,55 €
350.000	607,6	3	40.101 €	121.528 €	41.319 €	202.948 €	0,58 €
400.000	694,4	3	40.101 €	138.889 €	47.222 €	226.212 €	0,57 €

Tabelle 91: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell C)

Annahmen: Maximale Auslastung pro Jahr 250 Tage, Anschaffungswert 140.000 €, Nutzungsdauer acht Jahre, Fixverzinsung 4 %, Personalkosten 25 €/h, Treibstoffverbrauch 10 Liter pro Stunde, Treibstoffkosten 1,00 € pro Liter

WHG in SRM pro Jahr	Nutzungsdauer Modell C [Tage]	Anzahl Lader	Kosten Anschaffung	Kosten Personal 25 €/Std.	Kosten Treibstoff 1 €/Liter	Gesamtkosten pro Jahr	Kosten je SRM
5.000	5,2	1	20.794 €	1.042 €	417 €	22.252 €	4,45 €
10.000	10,4	1	20.794 €	2.083 €	833 €	23.711 €	2,37 €
20.000	20,8	1	20.794 €	4.167 €	1.667 €	26.627 €	1,33 €
30.000	31,3	1	20.794 €	6.250 €	2.500 €	29.544 €	0,98 €
40.000	41,7	1	20.794 €	8.333 €	3.333 €	32.461 €	0,81 €
50.000	52,1	1	20.794 €	10.417 €	4.167 €	35.377 €	0,71 €
60.000	62,5	1	20.794 €	12.500 €	5.000 €	38.294 €	0,64 €
70.000	72,9	1	20.794 €	14.583 €	5.833 €	41.211 €	0,59 €
80.000	83,3	1	20.794 €	16.667 €	6.667 €	44.127 €	0,55 €
90.000	93,8	1	20.794 €	18.750 €	7.500 €	47.044 €	0,52 €
100.000	104,2	1	20.794 €	20.833 €	8.333 €	49.961 €	0,50 €
150.000	156,3	1	20.794 €	31.250 €	12.500 €	64.544 €	0,43 €
200.000	208,3	1	20.794 €	41.667 €	16.667 €	79.127 €	0,40 €
250.000	260,4	1	20.794 €	52.083 €	20.833 €	93.711 €	0,37 €
300.000	312,5	2	41.588 €	62.500 €	25.000 €	129.088 €	0,43 €
350.000	364,6	2	41.588 €	72.917 €	29.167 €	143.671 €	0,41 €
400.000	416,7	2	41.588 €	83.333 €	33.333 €	158.255 €	0,40 €

Tabelle 92: Kosten für den innerbetrieblichen Transport von Waldhackgut (Modell D)

Annahmen: Maximale Auslastung pro Jahr 250 Tage, Anschaffungswert 250.000 €, Nutzungsdauer acht Jahre, Fixverzinsung 4 %, Personalkosten 25 €/h, Treibstoffverbrauch 14 Liter pro Stunde, Treibstoffkosten 1,00 € pro Liter

WHG in SRM pro Jahr	Nutzungsdauer Modell D [Tage]	Anzahl Lader	Kosten Anschaffung	Kosten Personal 25 €/Std.	Kosten Treibstoff 1 €/Liter	Gesamtkosten pro Jahr	Kosten je SRM
5.000	1,7	1	37.132 €	347 €	194 €	37.674 €	7,53 €
10.000	3,5	1	37.132 €	694 €	389 €	38.215 €	3,82 €
20.000	6,9	1	37.132 €	1.389 €	778 €	39.299 €	1,96 €
30.000	10,4	1	37.132 €	2.083 €	1.167 €	40.382 €	1,35 €
40.000	13,9	1	37.132 €	2.778 €	1.556 €	41.465 €	1,04 €
50.000	17,4	1	37.132 €	3.472 €	1.944 €	42.549 €	0,85 €
60.000	20,8	1	37.132 €	4.167 €	2.333 €	43.632 €	0,73 €
70.000	24,3	1	37.132 €	4.861 €	2.722 €	44.715 €	0,64 €
80.000	27,8	1	37.132 €	5.556 €	3.111 €	45.799 €	0,57 €
90.000	31,3	1	37.132 €	6.250 €	3.500 €	46.882 €	0,52 €
100.000	34,7	1	37.132 €	6.944 €	3.889 €	47.965 €	0,48 €
150.000	52,1	1	37.132 €	10.417 €	5.833 €	53.382 €	0,36 €
200.000	69,4	1	37.132 €	13.889 €	7.778 €	58.799 €	0,29 €
250.000	86,8	1	37.132 €	17.361 €	9.722 €	64.215 €	0,26 €
300.000	104,2	1	37.132 €	20.833 €	11.667 €	69.632 €	0,23 €
350.000	121,5	1	37.132 €	24.306 €	13.611 €	75.049 €	0,21 €
400.000	138,9	1	37.132 €	27.778 €	15.556 €	80.465 €	0,20 €

Tabelle 93: Euro Interbank Offered Rate (EURIBOR)

Euro-Geldmarktsätze				
in % p. a.				
	EURIBOR ¹⁾			
	1 Monat	3 Monate	6 Monate	12 Monate
Periodendurchschnitt ²⁾				
2003	2,35	2,33	2,31	2,34
2004	2,08	2,11	2,15	2,27
2005	2,14	2,18	2,23	2,33
2006	2,94	3,08	3,23	3,44
Jän 06	2,39	2,51	2,65	2,83
Feb 06	2,46	2,6	2,72	2,91
Mrz 06	2,63	2,72	2,87	3,11
Apr 06	2,65	2,79	2,96	3,22
Mai 06	2,69	2,89	3,06	3,31
Jun 06	2,87	2,99	3,16	3,40
Jul 06	2,94	3,10	3,29	3,54
Aug 06	3,09	3,23	3,41	3,62
Sep 06	3,16	3,34	3,53	3,72
Okt 06	3,35	3,50	3,64	3,80
Nov 06	3,42	3,60	3,73	3,86
Dez 06	3,64	3,68	3,79	3,92
	Quelle: EZB, Reuters.			
	¹⁾ Euro Interbank Offered Rate; ungewichteter Durchschnitt.			
	²⁾ Ab Juli 2005 wird die Ermittlung der Monatsdurchschnitte an die Berechnungsmodalität der EZB angepasst.			
Letzte Änderung am 01.02.2007 09:12				

Tabelle 94: Energieholzindex für Österreich auf der Basis von 1979

Quelle: Priplata, 2007

Jahr	Jahreswert	1. Quartal		2. Quartal		3. Quartal		4. Quartal	
2006	1,176	1,107	-5,87%	1,135	-3,49%	1,194	1,53%	1,268	7,82%
2005	1,052	1,029	-2,19%	1,03	-2,09%	1,059	0,67%	1,09	3,61%
2004	1,023	1,028	0,49%	1,022	-0,10%	1,018	-0,49%	1,024	0,10%
2003	1,033	1,04	0,68%	1,033	0,00%	1,031	-0,19%	1,027	-0,58%
2002	1,028	1,029	0,10%	1,021	-0,68%	1,016	-1,17%	1,045	1,65%
2001	1,026	1,019	-0,68%	1,019	-0,68%	1,029	0,29%	1,038	1,17%
2000	1,023	1,048	2,44%	1,01	-1,27%	1,01	-1,27%	1,025	0,20%
1999	1,068	1,092	2,25%	1,06	-0,75%	1,057	-1,03%	1,063	-0,47%
1998	1,06	1,041	-1,79%	1,044	-1,51%	1,061	0,09%	1,089	2,74%
1997	1,031	1,044	1,26%	1,038	0,68%	1,022	-0,87%	1,019	-1,16%
1996	1,05	1,089	3,71%	1,051	0,10%	1,029	-2,00%	1,032	-1,71%
1995	1,085	1,068	-1,57%	1,076	-0,83%	1,083	-0,18%	1,11	2,30%
1994	1,025	1,022	-0,29%	1,019	-0,59%	1,016	-0,88%	1,043	1,76%
1993	1,06	1,105	4,25%	1,057	-0,28%	1,041	-1,79%	1,035	-2,36%
1992	1,167	1,184	1,46%	1,171	0,34%	1,168	0,09%	1,14	-2,31%
Ø		0,28%		-0,74%		-0,48%		0,85%	