

Kostenvorteile einer Kooperation und die Bestimmung der Systemkosten im Versorgungsnetzwerk Holz-Biomasse

Cost advantages of cooperative forest fuel supply

Manfred GRONALT und Peter RAUCH

Zusammenfassung

In Österreich wird seit dem Ökostromgesetz 2002 der Einsatz von Waldbiomasse zur Energieerzeugung in besonderem Maße gefördert. Eine Reihe von neu gebauten Biomassekraftwerken führt zu einem erheblichen Mehrbedarf an Brennstoff, auch in Form von Waldhackgut. Dieser Beitrag entwirft für einen regionalen Wirtschaftsraum (Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland und Wien) ein kooperatives Versorgungssystem für Waldhackgut und legt die daraus erzielbaren Kostenvorteile gegenüber unabhängig optimierten Liefernetzen dar. Der Nutzen des vorgestellten Ansatzes liegt in der ganzheitlichen Koordination und Minimierung der Transporte zwischen Wald, Versorgungsknoten (Holzterminals zum Hacken oder Umschlagen) und Kraftwerken. Weitere Synergieeffekte können mit Produktionsunternehmen der Holz- bzw. Papierindustrie, die freie Kapazitäten (Hacker, Lager, Umschlaginfrastruktur) einsetzen können, genutzt werden.

Schlagerworte: Logistik, Holzbiomasse, kooperative Versorgung

Summary

In Austria the use of bio fuels has been promoted by law (Ökostromgesetz) in the year 2002. Several bio fuel fired power plants have been built resulting in a strongly increased demand for fuel and especially for forest fuel. This article presents the design of a cooperative forest fuel supply network for an area including five Federal States of Austria (Salzburg, Upper Austria, Lower Austria, Burgenland and Vienna) and outlines resulting cost advantages compared to uncoordinated procurement. Coordination as well as minimizing transports between forest, terminals and power plants and synergies with enterprises of the forest-based industry offering free capaci-

ties for chipping, storing and manipulation of forest fuels are the main benefits of the presented cooperative supply network.

Keywords: logistics, forest fuel, cooperative supply

1. Einleitung und Problemstellung

Weltweit dringt immer stärker in das Bewusstsein, dass die fossilen Energieträger langsam zur Neige gehen. Andererseits benötigen bevölkerungsreiche Länder wie China und Indien gerade jetzt fossile Energieträger für ihre wirtschaftliche Entwicklung. Vor diesem Hintergrund ist die Verwendung von erneuerbaren Energieträgern ein komplementäres Konzept zur Sicherung der Energieversorgung. Diese Energieträger weisen jedoch erhebliche Bereitstellungskosten auf, sodass einer optimierten Zulieferung große Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

In Österreich wurde mit dem Ökostromgesetz 2002 der Einsatz von Waldbiomasse zur Energieerzeugung besonders gefördert. Eine Reihe von neu gebauten Biomassekraftwerken (KWK) führt zu einem erheblichen Mehrbedarf an Brennstoff, auch in Form von Waldhackgut.

Für einen regionalen Wirtschaftsraum (Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland und Wien) wird ein kooperatives Versorgungssystem für Waldhackgut entworfen und die daraus erzielbaren Kostenvorteile gegenüber unabhängig optimierten Liefernetzen dargelegt.

Zunächst muss für die betrachteten Regionen das frei verfügbare Potenzial an Waldhackgut bestimmt werden. Das mobilisierbare Potenzial an Waldbiomasse wird dem erwarteten Bedarf der künftigen Energieerzeugung auf regionaler und überregionaler Ebene gegenübergestellt, um so potenzielle Versorgungslücken offenlegen zu können. Mittels linearer Proprogrammierung (Transportmodell) werden optimale Versorgungslinien für alle KWKs des betrachteten Wirtschaftsraumes abgeleitet. Nach dieser taktischen Zuordnung der Liefergebiete zu den Kraftwerken erfolgt in der operativen Optimierung das konkrete Design der Lieferkette.

Ein umfassendes Kostenmodell, das Transportkosten und Systemkosten der Terminals beinhaltet, wird zum Vergleich verschiedener Versorgungslinien entwickelt, und für die Standortentscheidungen der zu errichtenden Terminals werden Isokostenvergleichsrechnungen angestellt.

Der Nutzen des vorgestellten Ansatzes liegt in der ganzheitlichen Koordination und Minimierung der Transporte zwischen Wald, Versorgungsknoten (Holzterminals zum Hacken oder Umschlagen) und Kraft-

werken. Weitere Synergieeffekte können auftreten, wenn Produktionsunternehmen der Holz- bzw. Papierindustrie freie Kapazitäten (Hacker, Lager, Umschlaginfrastruktur) einsetzen.

2. Struktur eines Versorgungsnetzwerks für Waldhackgut

Abbildung 1 zeigt schematisch die Struktur der Versorgungskette. Das Waldhackgut kann entweder direkt zu lokalen Heizwerken oder über ein Terminal mit Hackfunktion zum Kraftwerk transportiert werden, wobei das Terminal auch am Standort des Kraftwerks (KWK) sein kann.

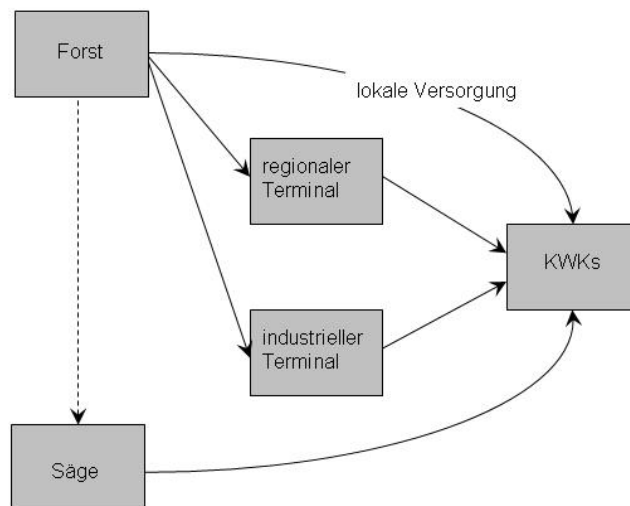


Abb. 1 Versorgungsnetzwerk Wald-Biomasse

Die prinzipiellen Versorgungslinien lassen sich wie folgt beschreiben (siehe Gronalt und Rauch, 2005):

- Direkte Lieferungen im gehackten Zustand aus dem Forst zum Kraftwerk; dies wird vor allem für Klein- und Kleinstmengen nach wie vor möglich sein.
- Lieferungen zu einem regional angesiedelten Holzterminal; das Hacken wird von einem mobilen Hacker übernommen. Damit Kleinwaldbesitzer sich an der Versorgung der Werke beteiligen können, wird der in kleinen Mengen im Kleinwald anfallende Brennstoff in regionalen Logistikterminals gesammelt, aufbereitet und gelagert, um den entstehenden Bedarf in den Biomassekraftwerken vor Ort bedienen zu können.

- Lieferungen zu einem industrienah angesiedelten Holzterminal; das Hacken wird von einem industriellen, stationären Hacker übernommen.
- Lieferungen von Sägenebenprodukten.

3. Entwurf des Versorgungsnetzwerks

Zur Bestimmung einer taktisch und operativ optimalen Versorgung des Wirtschaftsraumes wurde ein mehrstufiges Vorgehen gewählt. Auf der ersten Stufe wird das freie Potenzial ermittelt. Auf der zweiten Stufe wird mit Hilfe eines sequentiellen Optimierungsansatzes das Design der Lieferkette bestimmt. Dabei wird zunächst nach Berechnung des mobilisierbaren Potentials für den Bedarf der KWKs auf taktischer Ebene mittels LP die kostenoptimale Lieferantenregion- und Mengenzuordnung festgelegt. Basierend auf dieser LP-Lösung wird anhand der vorher kalkulierten Systemkosten für verschiedene Terminals bzw. für direkte Werkslieferungen das operativ optimale Lieferkettendesign entworfen.

Die Ermittlung des freien Potentials an Holz-Biomasse

Zur Bestimmung des Potentials der Steigerung des Energieholzaufkommens für den betrachteten Wirtschaftsraum kann auf die aktuellen Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur 2000–2002 (Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, 2004) zurückgegriffen werden. Die Berechnungen werden für den Wirtschaftswald sowie für den Schutzwald in Ertrag durchgeführt.

Mehrere Autoren haben das Energieholzpotential Österreichs bzw. der einzelnen Bundesländer bestimmt (Jonas, 2000; Jonas und Haneder, 2001; Streißelberger et al., 2003). Als implizite Prämisse setzen ihre Berechnungen voraus, dass innerhalb eines bestimmten Zeitraumes (10 Jahre) jeder einzelne Waldbesitzer seine Nutzungsmöglichkeiten zur Gänze realisieren wird. Diese Grundannahme ignoriert die Tatsache, dass es in Österreich Waldbesitzertypen gibt, die ihren Wald vor allem als Erholungsort schätzen (Kvarda, 2005) oder gar nicht Holz nutzen wollen (Hogl et al., 2005). Ein Beispiel, wie bei der Bestimmung des Energieholzpotenzials zusätzlich auch Konkurrenz durch andere Nutzungsformen des Materials in die Berechnungen inkludiert werden kann, geben Junginger et al. (2001).

In diesem Beitrag wird die Methodik zur Bestimmung des Energieholzpotenzials entsprechend den aktuellen Entwicklungen in der Holzernte sowie der Ausformung adaptiert. Das Energieholzpotenzial ist in einem mehrstufigen Verfahren zu ermitteln. Zuerst wird das theoretisch nutzbare und nachhaltig verfügbare Energieholzpotenzial kalkuliert. Davon wird anschließend jener Teil eruiert, der unter den gegebenen naturräumlichen

Gegebenheiten auch tatsächlich zumindest kostendeckend geerntet werden kann. Dieses theoretische Potenzial wird abschließend mit einem Mobilisierungsfaktor bereinigt, um zu berücksichtigen, dass nicht jeder Eigentümer rein betriebswirtschaftliche Interessen verfolgt bzw. seine Nutzungsreserven auch tatsächlich im kalkulierten Zeitraum erntet oder ernten lässt. Die Schätzung der jeweiligen Mobilisierungsrate erfolgt in enger Kooperation mit forstlichen Praktikern, die dafür umfangreiche Hintergrundstudien bzw. Spezialkenntnisse der forstwirtschaftlichen Gegebenheiten einfließen lassen können.

Das theoretisch nachhaltig nutzbare Potenzial an zusätzlichem Energieholz (Gross technical potential = GTP) aus dem Wald ergibt sich aus der Aktivierung der Durchforstungsreserven und der kompletten Nutzung des jährlichen Zuwachses. Der Astanteil wird abhängig vom Stammvolumen mithilfe eines durchschnittlichen Faktors von 12,5% bestimmt (Dietrich et al., 2002). Tatsächlich variiert dieser Faktor von Bestand zu Bestand v.a. abhängig von Bonität und waldbaulicher Behandlung. Der Astanteil wird jeweils für Energie- und Nutzholz berechnet, da er von beiden Sortimenten bei entsprechender Holzertetechnik zur Verfügung gestellt werden kann.

Vom theoretisch nachhaltig nutzbaren Potenzial ausgehend wird das technisch mögliche und wirtschaftlich nutzbare Potenzial (Net supply potential = NSP) durch Korrekturen für unzugängliche Flächen, Seilgelände und Flächen für teil- und hochmechanisierte Verfahren bestimmt. Die Daten hierfür stammen aus einer Sonderauswertung der Österreichischen Waldinventur (Büchsenmeister, 2006). Die Anteile an Energieholz bei unterschiedlichen Ernte- und Pflegemaßnahmen sind durch eine Reihe von Praktikern ebenso angeschätzt und aufeinander abgestimmt worden wie die zu erwartende Mobilisierungsrate in den Bundesländern, die jeweils getrennt für die Positionen Abbau der Pflegerückstände, Steigerung der Nutzungsintensität, Äste, Wipfel aus der Gesamtnutzung sowie Gesundschnitte eruiert wird. Durch Berücksichtigung der realen Mobilisierung kann ausgehend vom technisch möglichen und wirtschaftlich nutzbaren Steigerungspotenzial für Energieholz das tatsächlich verfügbare Potenzial bestimmt werden (Net available potential = NAP).

Der zusätzliche Bedarf an Waldhackgut ab 2006 wird für die neuen Heiz- und Heizkraftwerke berechnet bzw. abgeschätzt. Hier basieren die Daten auf Angaben der Betreiber bzw. auf Planungs- und Einreichdaten bei den zuständigen Abteilungen bzw. auf Berechnungen von Energieagenturen.

Die Gegenüberstellung des Bedarfes an Waldhackgut angegeben in Schüttraummeter (Srm) in Tabelle 1 mit dem verfügbaren Steigerungspotenzial der Region zeigt frei verfügbare Potenziale bzw. eventuelle regionale Bedarfsunterdeckungen auf. Die Ergebnisse sind mit drei verschie-

denen Mobilisierungsraten (pessimistisch, realistisch und optimistisch) erzielt worden, wobei die realistische Mobilisierungsrate auf Schätzungen von Praktikern beruht und regional schwankt.

Tab.1: Angebot und Nachfrage für Waldhackgut im Wirtschaftsraum

Bundesland	Mehrbedarf in 1.000 Srm	Steigerungspotenzial in 1.000 Srm			Freies Potenzial in 1.000 Srm		
		Pessimistisch	realistisch	Optimistisch	Pessimistisch	realistisch	Optimistisch
Salzburg	502	312	486	722	-190	-16	219
Niederösterreich	1.762	351	704	1.057	-1.411	-1.058	-705
Oberösterreich	528	220	511	860	-308	-17	331
Wien	600	3	6	10	-597	-594	-590
Burgenland	1.009	72	143	213	-937	-866	-796
gesamter Wirtschaftsraum	4.402	1.132	1.850	2.862	-3.270	-2.552	-1.540

Die im realistischen Szenario kalkulierte Unterdeckung des Wirtschaftsraumes mit Waldhackgut könnte gegebenenfalls durch Importe aus den angrenzenden Staaten gedeckt werden. Während im westlichen Teil des Wirtschaftsraumes die Nachfragesteigerung durch das noch vorhandene Steigerungspotenzial abgedeckt werden kann, entsteht im östlichen Teil ein Defizit in Höhe von 2,5 Mio. Srm.

Kostenminimale Aufteilung der Holz-Biomasse

Hinsichtlich der Kosten einzelner Prozess-Schritte in der Bereitstellung von Energieholz bzw. der Versorgung eines einzelnen Werkes existiert umfangreiche Literatur (vgl. Erikson und Björheden, 1989; Allen et al., 1998; Hudson und Hudson, 2000; Asikainen et al., 2001; Van Belle et al., 2003; Björnstad, 2004), während für die kooperative Versorgung mehrerer Werke erst in jüngster Zeit und sehr begrenzt Arbeiten zur Verfügung stehen (vgl. Gronalt und Rauch, 2005). Wir wollen in diesem Aufsatz die Vorteile einer kooperativen Lösung gegenüber einer einzelbetrieblich orientierten herausarbeiten.

Mittels linearer Programmierung (LP) werden die Transportkosten für das gesamte Projektgebiet (45 KWks, 38 Lieferregionen Inland, 4 Ausland) auf taktischer Ebene optimiert und die so ermittelten, niedrigsten Gesamttransportkosten dienen als Vergleichswert zur realen Versorgungssituation,

die mittels Heuristiken abgebildet wird. Folgende Eingangsdaten werden für das Modell benötigt:

- Regionen / Angebot der Regionen,
- KWKs / Nachfrage der KWKs,
- Distanzen / Distanzmatrix sowie
- Transportkostenmodell / Transportkostenmatrix.

Die Lösung des LP-Problems erfolgt mit Hilfe von Standardsoftware zur Linearen Optimierung (XpressMP). Im LP-Modell wird die Transportmenge von ungehacktem und gehacktem Brennstoff zu den Terminals bzw. den Werken mittels eines entsprechenden Mischkostensatzes im Verhältnis 1:1 abgebildet. Die Transportkosten und -leistungen unterschiedlicher in der Lieferkette eingesetzter Transportmittel und -behältnisse basieren auf den Erfahrungswerten mehrerer Unternehmen der Holz- und Papierindustrie.

4. Der Kostenvorteil kooperativer Versorgungsnetze

Eine realitätsnahe Bestimmung der tatsächlichen Einzugsgebiete der KWKs ist erforderlich, um die Effekte der Kooperation, die eine Umsetzung der optimalen Lösung beinhaltet, bewerten zu können. Da nicht für alle 45 KWKs die Lieferverhältnisse abgefragt werden können bzw. viele Werke ihre Lieferantendaten als vertraulich erachten, wird anhand dreier verschiedener Handlungsmaximen die tatsächliche Entscheidungsfindung eines für die Brennstoffversorgung Verantwortlichen mittels Heuristiken nachgebildet. Die Eingangsdaten für die Heuristiken sind gleich wie oben. Als Nachbildung realer Versorgungs- und Entscheidungssituationen werden folgende Entscheidungslogiken verwendet:

- Kostenminimum der Gesamtkosten (total operating costs inkl. Transportkosten),
- Marktmacht und
- Attraktivität einer Region.

Bei der Heuristik „Kostenminimum der Gesamtkosten“ erfolgt die Einteilung der Lieferung von den Lieferbezirken zu den Abnehmern entsprechend der Gesamtkosten, beginnend mit der Lieferanten- Abnehmerkombination mit dem geringsten Gesamtkostenwert. Die Heuristik „Marktmacht“ unterstellt, dass sich zuerst der größte Abnehmer kostengünstigst versorgt, gefolgt vom Nächstkleineren usw. Die Attraktivität einer Region wird über den Quotient aus Angebotsmenge und Entfernung zum Abnehmer bestimmt. Beginnend mit der attraktivsten Kombination wird hier in absteigender Reihenfolge die Versorgung festgelegt. Die Rechenlogik der Heuristiken ist in Visual Basic for Applications (VBA)/ Excel von Microsoft implementiert.

Die Bewertung der anhand der drei Heuristiken bestimmten, tatsächlichen Versorgungssituation mit den Transport- und Systemkosten ermöglicht im Vergleich mit den Kosten der im LP-Modell bestimmten optimalen Versorgung des Wirtschaftsraumes die wertmäßige Illustration der Effekte der Kooperation (siehe Abbildung 2). Die durchschnittliche Versorgungsentfernung ergibt sich als volumengewichteter Durchschnitt der Transportdistanz von den Versorgungsregionen zu den Abnehmern.

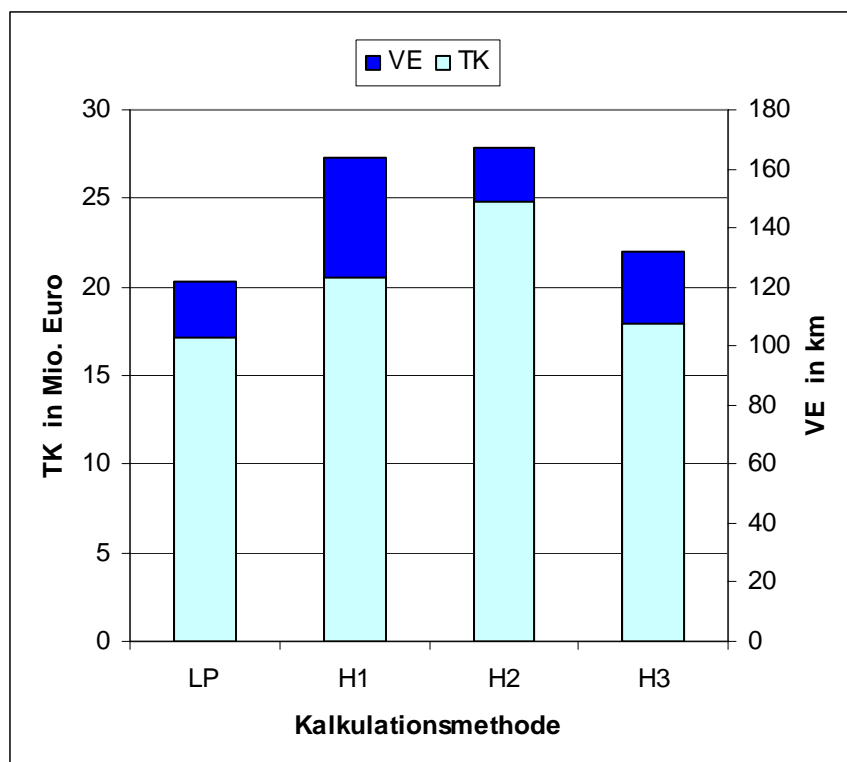


Abb. 2 Gesamte Transportkosten (TK) und durchschnittliche Versorgungsentfernung (VE) für die kostenminimale Lösung (LP) und den drei Heuristiken (H1, H2, H3)

Für die Heuristik „Kostenminimum der Gesamtkosten“ ergeben sich gegenüber der optimalen taktischen Versorgung des Wirtschaftsraumes hinsichtlich Gesamtkosten bzw. durchschnittlicher Transportentfernung um 20 bzw. 34% höhere Werte. Die mittels der Heuristik „Marktmacht“ abgebildete Strategie erreicht um 45 bzw. 37% schlechtere Ergebniswerte. Lediglich die dritte Versorgungsstrategie erreicht unter der Einbeziehung von Mengen

und Entfernungen ein relativ ansprechendes Ergebnis von lediglich 5% an Mehrkosten und 8% an höherer Transportentfernung gegenüber der LP-Lösung.

Während für die oben ausgeführte Analyse aggregierte Mengenflüsse betrachtet wurden, wird im Folgenden die konkrete Struktur eines Versorgungsnetzwerks herangezogen. Für eine gegebene Mengenaufteilung werden nun im nächsten Schritt die Kosten der konkreten Lieferkette Forst-Terminal-Kraftwerk ermittelt.

5. Bestimmung der Systemkosten im Versorgungsnetzwerk Holz-Biomasse

Abbildung 3 zeigt bereits schematisch das Netzwerk der untersuchten Varianten, die zum Design der Versorgungskette der 45 KWKs miteinander kombiniert eingesetzt werden können. Das Energieholz bzw. Waldhackgut kann entweder direkt zu lokalen Heizwerken oder über Terminals transportiert werden. Terminals gleichen die saisonal bedingten Schwankungen hinsichtlich der Brennstoffnachfrage der Werke und den Liefermöglichkeiten der Forstwirtschaft aus (Gunnarsson et al., 2004). Für die Bewertung der Logistiksysteme werden nun die Systemkosten für die Terminal-Varianten (Industrielles Terminal mit Produktionsholz-Synergien, industrielles Terminal ohne Synergien mit Produktionsholz sowie Regionales Terminal mit mobilem Hacker) ermittelt.

Industrielles Terminal mit Produktionsholz-Synergien

Standorte der Holzindustrie verfügen vielfach über einen leistungsfähigen stationären Hacker, der nicht zur Gänze mit dem Eigenbedarf des Werkes (Produktionsholz) ausgelastet ist. Aufgrund der vergleichsweise günstigen Hackkosten dieser Anlage, die sich aufgrund der Synergieeffekte mit dem Produktionsholz ergeben, soll bewertet werden, ob und in welchem Umkreis zusätzliche Abnehmer von einem solchem Werk aus mit Waldhackgut versorgt werden könnten bzw. ob die Eigenversorgung dieser Werke über ein eigenes Terminal mit mobilem Hacker günstiger wäre. Zur Klärung dieser Frage werden die Systemkosten für die Anlieferung von Waldhackgut zum Endabnehmer ohne anfallende Holzerntekosten, da diese zu sehr abhängig von den eingesetzten Verfahren und den vorhandenen Gelände- und Bestandesverhältnissen variieren, in Betracht gezogen. Die Systemkosten werden ohne Gewinnspanne angesetzt.

Industrielles Terminal ohne Synergien mit Produktionsholz

Wenn keine Synergieeffekte mit Produktionsholz und über zum Teil bereits bestehende Anlagen gegeben sind, dann bedingt der Bau eines industriellen Terminals mit stationärem Hacker auf „die grüne Wiese“ wesentlich höhere Kosten. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung für ein industrielles Terminal mit einem Jahresdurchsatz von 300.000 Srm, das als reiner Brennstoffversorger konzipiert ist, weist Kosten in der Spannweite von 7,00-10,00 Euro/Srm bei einem Abschreibungszeitraum von 14 Jahren aus.

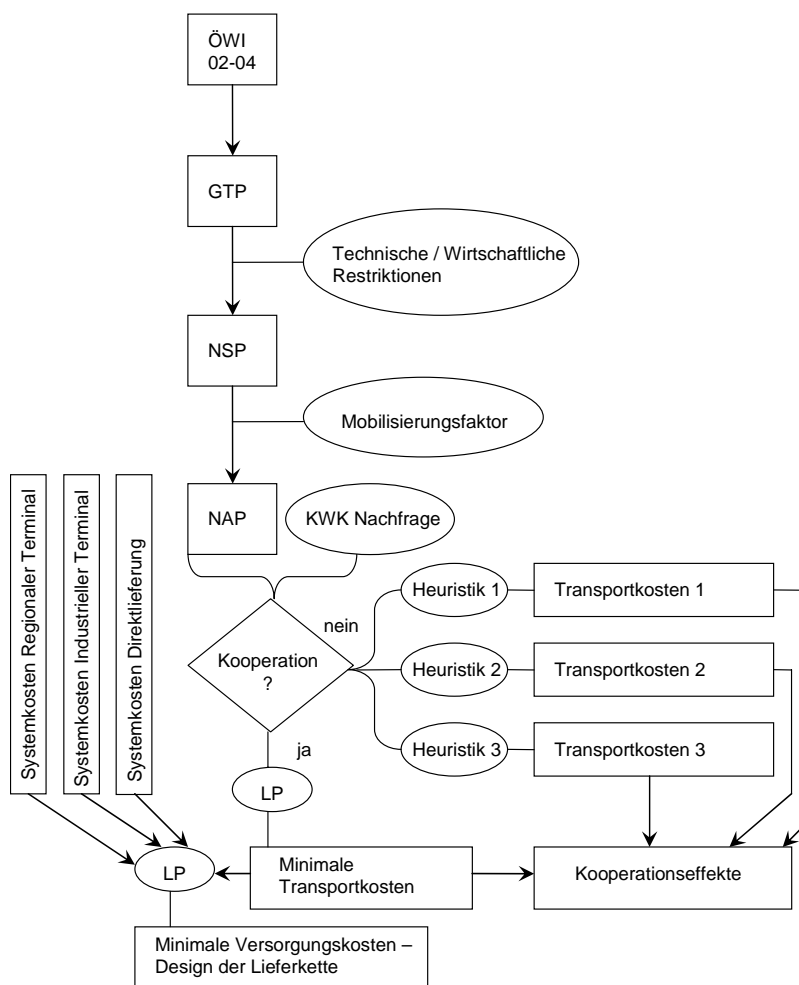


Abb. 3: Datenflussdiagramm zur Bestimmung des freien Potenzials

Regionales Terminal mit mobilem Hacker

Bei einem kalkulierten Jahresumschlag von 20.000 Srm liegen die geplanten Investitionskosten bei 60.000 Euro. Die Systemkosten umfassen für den Erfüllungsort „frei stationärem Hacker“ folgende Positionen: Holztransport vom Polter an der Forststraße zum stationären Hacker inklusive Roadpricing-Anteil und Hackkosten für den stationären Hacker inklusive der Infrastrukturkosten für den Hacker. Für den Erfüllungsort „frei mobiler Hacker“: Holztransport vom Polter an der Forststraße zum Terminal, Hacken mit mobilem Hacker und die Infrastrukturkosten für das Terminal.

Die Systemkosten für Waldhackgut frei Lager des Abnehmers umfassen zusätzlich noch die Kosten des Transportes des Waldhackgutes vom Hackort zum Abnehmer inklusive der Roadpricing-Kosten (Tab. 2). Die Transportkosten und die im Jahresschnitt erreichbaren Transportauslastungen basieren auf Kosten- und Leistungsdaten verschiedener Unternehmen der Holzindustrie.

Tab. 2: In den Berechnungen verwendete KostenvARIABLEN

Variable	Wert	Einheit
Jährlicher Umschlag	20.000	Srm
Abschreibungszeitraum Terminal	20	Jahre
Infrastrukturkosten Terminal	0,32	Euro/Srm
Personalkosten Terminal	0,50	Euro/Srm
Hackkosten mobiler Hacker	2,50	Euro/Srm
	4,00	Euro/Srm
Hackkosten stationärer Hacker ohne Synergie	8,50	Euro/Srm
Produktionsholz		
% Anteil road pricing km	70	% der Gesamtstrecke
Kosten road pricing	0,273	Euro/km
Systemkosten LKW + Fahrer	40,70	Euro/h
Ladezeit Faserholz	2,00	h
Ladezeit Hackgut in LKW -Aufbau	1,00	h
Ladezeit Waldhackgut in Container	0,50	h
durchschnittliche Ladung Rundholz LKW	26	fm/LKWfuhre
durchschnittliche Ladung Rundholz LKW	65	Srm/LKWfuhre
Fahrtkosten LKW	0,87	Euro/km
mittlere Transportentfernung zum stationären Hacker	90,00	km
durchschnittliche Ladung Container	72,00	Srm
Umrechnungsfaktor fm in Srm	3	
durchschnittliche Ladung Hackgut LKW	80,00	Srm

Ausgehend von diesen Kosten können nun die Lieferungen zum Terminal (Systemkosten frei Hacker) und die Kosten für Lieferungen zum Heizwerk

bestimmt in Abhängigkeit der verwendeten Terminalausstattung und der Entfernungen berechnet werden.

Die Systemkosten frei Hacker

Die Systemkosten frei Hacker sind für einen stationären Hacker mit Synergie-Produktionsholz für den in Betracht kommenden Einzugsbereich von Waldhackgut immer wesentlich geringer als die eines regionalen Terminals. Holzindustrien mit freien Hackkapazitäten versorgen sich selbst über den stationären Hacker am günstigsten. Abnehmer in deren Nähe können ebenfalls günstiger als über einen eigenen Terminal versorgt werden, wobei die wirtschaftliche Entfernung zum Standort der jeweiligen Holzindustrie stark von der mittleren Transportentfernung, aus der sich die Holzindustrie mit Waldhackholz versorgen kann, sowie von der Entfernung zum Abnehmer abhängt.

Die Systemkosten für ein Terminal mit stationärem Hacker, das keinerlei Synergieeffekte mit einem produzierenden Unternehmen hat, liegen für alle Einzugsbereichvarianten deutlich höher als die eines regionalen Terminals mit mobilem Hacker.

Die Systemkosten frei Werk des Abnehmers

Anhand der Systemkosten-Isolinien können nun für unterschiedliche Terminaltypen und variierende Systemkosten die entsprechenden Transportentfernungen in der Beschaffung bzw. der Distribution des Brennstoffes ermittelt werden. In Abbildung 4 werden mögliche Transportentfernungen beim Einsatz eines Terminals mit mobilem Hacker (rT) bzw. stationärem Hacker (iT) gegenübergestellt. Die Isolinien zeigen die Summe der Kosten für Be- und Entladen, Transporte und Hacken an.

Anhand der Isolinie können für ein konkretes Terminal bei fixierten Systemkosten die damit erreichbaren Transportentfernungen in der Beschaffung und der Distribution ermittelt werden. Weiters kann für ein Terminal mit gegebener Transportentfernung in der Beschaffung die zu bestimmten Systemkosten maximal mögliche Distributionsentfernung für Waldhackgut abgeleitet werden. Für existierende Terminal-Abnehmer Konstellationen kann die maximal mögliche Beschaffungsentfernung abgelesen werden, dies wiederum ermöglicht die Kalkulation der über ein Terminal wirtschaftlich verfügbaren maximalen Brennstoffmenge. So sieht man bspw., dass bei Systemkosten von 5 Euro/Srm das industrielle Terminal Rohstoff aus bis zu 50 km beschaffen und für eine Region mit 90 km Entfernung hacken kann. Der Aktionsradius (50 bzw. 20 km) für einen mobilen Hacker ist hingegen wesentlich geringer.

Hiermit sind die notwendigen Eingangsdaten für die Lineare Optimierung des Lieferkettendesigns für den betrachteten Wirtschaftsraum bestimmt. Die Erstellung des dazu notwendigen Modells sowie die Implementierung und Lösung desselben steht noch aus. Für praktische Problemstellungen lassen sich aber schon mit dem oben gezeigten Isokostenvergleich Standortalternativen ausloten.

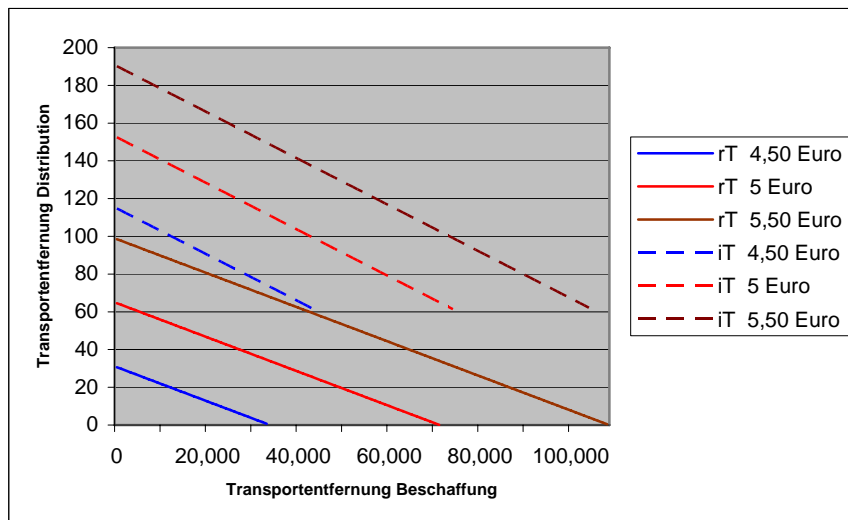


Abb. 4: Systemkosten-Isolinien für regionale (rT) und industrielle (iT) Terminals

6. Schlussfolgerungen

Die kooperative Versorgung aller neu entstehenden KWKs mit Waldhackgut weist deutliche Einsparungspotenziale gegenüber der derzeitigen Situation, wo jedes Werk ein eigenständiges Versorgungssystem aufbaut, auf. Die Abschätzung der Höhe der direkten Einsparungspotenziale im Bereich der Transportkosten ist im vorliegenden Vergleich der LP-Lösung mit den drei Heuristiken wahrscheinlich deutlich zu gering ausgefallen, da die Heuristiken ein streng rationales Vorgehen aller Beteiligten widerspiegeln. Infolge der dargestellten, regional unterschiedlichen Konkurrenzsituation zwischen den einzelnen KWK um Waldhackgut sowie zusätzlich noch zwischen energetischen und stofflichen Verwertern werden die tatsächlichen Einzugsgebiete, vor allem für die sehr großen Anlagen, deutlich über den ursprüng-

lich geplanten liegen müssen, um die quantitative Versorgung sicherzustellen.

Zukünftiger Forschungsbedarf besteht in der operationalen Umsetzung der auf taktischer Ebene erzielten Ergebnisse, das heißt, verschiedene Arten von Logistikterminals (zentrale/industrielle bzw. regionale Terminals) werden für die berechneten Versorgungslinien derart miteinander kombiniert, dass die Bioenergiewerke dieses Wirtschaftsraumes möglichst kostengünstig und sicher beliefert werden können.

Danksagung

Vorliegende Forschungsergebnisse wurden im Rahmen der Programmlinie "Energiesysteme der Zukunft" - einer Kooperation des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie mit der Forschungsförderungsgesellschaft - dankenswerterweise gefördert.

Literatur

- ALLEN, J., BROWN, E. M., HUNTER, A., BOYD, J., PALMER, H. (1998): Logistics management and costs of biomass fuel supply. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 28, 6, S. 1-10.
- ASIKAINEN, A., RANTA, T., LAITILA, J. (2001): Large-scale forest fuel procurement. In: PELKONEN P., HAKKILA P., KARJALAINEN T. SCHLAMADINGER B. (eds.): *Woody Biomass as an Energy Source - Challenges in Europe*. EFI Proceedings, 39, S. 73-78.
- BJORNSTAD, E. (2004): An engineering economics approach to the estimation of forest fuel supply in North-Trondelag county, Norway. *Journal of Forest Economics*, 10, 4, S. 161-188.
- BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD (2004): Ergebnisse der Österreichischen Waldinventur 2000 - 2002. verfügbar unter: <http://web.bfw.ac.at/i7/oewi.oewi0002>.
- BÜCHSENMEISTER, R. (2006): Ertragswaldflächen nach Hangneigung. Sonderauswertung. Schriftliche Mitteilung vom 24.3.2006.
- DIETRICH, H.-P., RASPE, St., SCHWARZMEIER, M., ILG, S. (2002): Biomasse- und Nährstoffinventuren zur Ermittlung von Ernteentzügen an drei bayerischen Fichtenstandorten. In: DIETRICH H.-P., RASPE St. UND PEUHSLER M. (Hrsg.): *Inventur von Biomasse und Nährstoffvorräten in Waldbeständen*. Forstliche Forschungsberichte München, 186/2002.
- ERIKSON, L., BJÖRHEDEN, R. (1989): Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operations Research* 43, 1, S. 26-33.
- GRONALT, M., RAUCH, P. (2005): Designing a regional forest fuel supply network. In: *FINBIO Proceedings of Bioenergy 2005: International Bioenergy in Wood Industry*. Conference and Exhibition, 12.-15.9.2005, Jyväskylä, Finland, S. 271-274.

- GUNNARSSON, H., RÖNNQUIST, M., LUNDGREN, J. (2004): Supply chain modelling of forest fuel. *European Journal of Operations Research* 158, 1, S. 103-123.
- Hogl K., Pregernig M., Weiß G. (2005): What is New about New Forest Owners? A Typology of Private Forest Ownership in Austria. *Small -scale forest economics, management and policy* (4): 3, 325-342.
- HUDSON B., HUDSON B. (2000): Wood fuel supply chain in the United Kingdom. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30, 1/2, S. 94-107.
- JONAS, A. (2000): Potenzial-Studie Forst und Grundlagen der Forst- und Holzwirtschaft. In: *Nachhaltige Bioenergiestrategie für Österreich, Band 1, NÖ LWK.*
- JONAS, A., HANEDER, H. (2001): *Energie aus Holz. 8. überarb. Auflage, NÖ LWK.*
- JUNGINGER, M., FAAIJ, A., VAN DEN BROEK, R., KOOPMANS, A., HULSCHE, R. W. (2001): Fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects in developing countries. Electricity generation from agricultural and forest residues in Northern Thailand. *Biomass and Bioenergy* 21, 4, S. 259-275.
- KVARDA, M. (2005): ‚Non-agricultural forest owners‘ in Austria – A new type of forest ownership. *Forest Policy and Economics*, 6, 5, S. 459-467.
- STREIBELBERGER, J., JONAS, A., KIRTZ, M., NEUBAUER, J., HABERHAUER, O., HLAVKA, M. (2003): *Potenziale für biogene Rohstoffe zur energetischen Nutzung. Argar Plus.*
- VAN BELLE, J.-F., TEMMERMANN, M., SCHENKE, L. Y. (2003): Three level procurement of forest residues for power plant. *Biomass and Bioenergy* 24, 4-5, S. 401-409.

Anschrift der Verfasser

*Univ. Prof. Dr. Manfred Gronalt und Univ. Ass. Dr. Peter Rauch
Institut für Produktionswirtschaft und Logistik
Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien
Feistmantelstr. 4, 1180 Wien, Österreich
eMail: manfred.gronalt@boku.ac.at, peter.rauch@boku.ac.at*

