

# Bestimmung des Einsparungspotentials einer kooperativen Holzbiomassebeschaffung für Kraftwärmekopplungsanlagen anhand konkreter Beispielskooperationen

(Mit 1 Abbildung und 3 Tabellen)

PETER RAUCH<sup>1),✉</sup>

(Angenommen Juni 2010)

## SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Beschaffung; Holzbiomasse; Kraftwärmekopplungsanlagen (KWK); Kooperation; Transportkosten.*

*Procurement; forest fuel; combined heat and power plants (CHP); transportation cost.*

## 1. EINFÜHRUNG

Das österreichische Ökostromgesetz 2002 stimulierte den Neubau von Biomasse Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) und induzierte damit einen rasanten Anstieg der Energieholznachfrage. Die Beschaffung der Holzbiomasse erweist sich nun, auch infolge einer geringen Holzmobilisierung im Inland, als schwieriger und kostspieliger als ursprünglich angenommen. Als Beschaffung werden hier jene marktbezogene Aktivitäten von Energieerzeugern verstanden, die dem Unternehmen den benötigten, aber nicht selbst hergestellten Brennstoff (Holzbiomasse) verfügbar machen (vgl. ARNOLD, 1995). Die derzeit noch verfügbaren Importmengen stammen fast ausschließlich aus Ländern, in denen mittlerweile auch die Nutzung von erneuerbaren Energieträgern gefördert wird. Außerdem besteht eine direkte Rohstoffkonkurrenz mit der Zellstoff-, Papier- und Plattenindustrie und zukünftig werden innovative Produkte wie WPC (wood plastic composites) oder BtL (biomass to liquid) diese wahrscheinlich weiter anheizen. Aufgrund der periodisch instabilen Biomasseversorgung bereits bestehender KWK werden Investitionen in den Neubau meist schon in der Planungsphase wieder auf Eis gelegt (SÜSS, 2007), da die Brennstoffbeschaffung für zusätzliche KWK nicht ausreichend gesichert werden kann.

Das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse wird vor allem hinsichtlich operativer Fragestellungen intensiv beforscht. Die Weiterentwicklung der operativen Prozesse der Bereitstellung von Energieholz, Innovationen und Verbesserungen von Maschinen und Verfahren sowie die bessere Abstimmung der einzelnen Prozessschritte (Fällen, Rücken, Hacken, Transportieren) bilden wesentliche Forschungsschwerpunkte zu denen umfangreiche Literatur sowie zahlreiche Studien vorliegen (vgl. NOON und DALY, 1996; ALLEN et al., 1998; PARIKKA, 2000; ASIKAINEN et al., 2001; RANTA, 2002; WITTKOPF, 2003; HAKKILA, 2004; JOHANSSON et al., 2006, KÜHMAIER et al., 2007).

Zur weiteren Effizienzsteigerung in der Biomassebereitstellung bedarf es eines Ansatzes, der die gesamte Bereitstellungskette vom Wald bis zum Werk ganzheitlich umfaßt (ALLEN et al., 1998), wobei vor allem durch ein optimiertes Design des Versorgungsnetzwerkes beträchtliche Kosteneinsparungen erreicht werden können (CHAN und CHUNG, 2004). Das Versorgungsnetzwerk Holzbiomasse besteht aus Versorgungsknoten (forstliche Reviere, Terminals) und Nachfrageknoten (KWK, Heizwerke), die über verschiedene technische Bereitstellungsketten miteinander verbunden

werden. ERIKSON und BJÖRHEDEN (1989) entwickelten ein entsprechendes Lineares Programmierungs (LP) – Modell zur kostenoptimalen Auslegung eines Versorgungsnetzwerkes für ein KWK, das über einen zentralen Terminal von sieben Forstgebieten versorgt wird.

Aktuellere LP-Modelle zur Optimierung des Designs des Versorgungsnetzwerkes beinhalten meist mehrere KWK und Terminals, größere Regionen sowie mehrere Transportmodi. NOON und DALY (1996) kalkulierten mittels eines GIS-basierten Modells die Einstands- sowie die Transportkosten für Holzbiomasse, die in Kohlekraftwerken in Tennessee, Alabama und Kentucky zugeführt wird. Die Ergebnisse unterstreichen die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit einer Mitverfeuerung von Holzbiomasse vom Standort des jeweiligen KWK, vor allem aufgrund des Biomassepotentials des Einzugsgebietes sowie der Beschaffungskosten frei Werk.

RANTA (2002) kombinierte ein GIS-Modell zur Bestimmung des Biomassepotentials und der Beschaffungskosten mit einem LP-Modell, um die direkten Lieferungen von Energieholz aus Endnutzungen zu KWK zu optimieren. Entscheidungen bezüglich Holzerte, direkter oder indirekter Lieferungen sowie hinsichtlich des zu wählenden Transportmodus wurden in das LP-Modell von GUNNARSSON et al. (2004) einbezogen, um ein optimales Design der Versorgung von 7 KWK mit Schlagabraum und Sägenebenprodukten zu entwerfen. GRONALT und RAUCH (2007) evaluierten für das Bundesland Salzburg unterschiedliche Terminalstandorte und -arten anhand der Beschaffungskosten und beziehen saisonale Schwankungen in der Bereitstellung von Holzbiomasse sowie im Bedarf der KWK bei der Dimensionierung der Lagerflächen für Energieholz und des vorzuhaltenden Sicherheitsbestandes bei einem gewünschten Servicelevel des Terminals ein. RAUCH et al. (2007) entwickelten ein LP-Modell, um ein operatives Versorgungsnetzwerk für 28 KWK optimal zu gestalten, das 42 Lieferregionen, 2 Lieferarten (direkte Lieferung oder Lieferung über Terminal), 3 verschiedenen Terminalarten sowie 38 Terminals als Gestaltungsparameter umfasst. Die optimale Lösung verwendet lediglich 19 der 38 vorgeschlagenen Terminals, da Direktlieferungen von den Regionen zu den KWK fast 60% der Gesamtnachfrage decken.

Auch Standorts- und Technologieentscheidungen für KWK werden durch LP-Modelle unter Einbeziehung der Biomasseversorgungs-kosten (FREPPAZ et al., 2004) sowie unter Maximierung des Nettoertrages des zu errichtenden KWK (FROMBO et al., 2009) unterstützt.

Analysen der Kosten für den Transport von Holzbiomasse zu KWK zeigen, dass infolge einer nicht optimalen Ressourcenallokation höhere Transportdistanzen zu bewältigen sind und entsprechend höhere Transportkosten anfallen (MÖLLER und NIELSEN, 2007). Die Ressourcenallokation ist daher der wesentliche Hebel für eine Kostensenkung durch Kooperation in der Biomassebeschaffung.

Die erwähnten LP-Modelle zur Minimierung der Beschaffungskosten unterstellen implizit die Kooperation aller beteiligten KWK und lassen bestehende Kooperationshindernisse wie Konkurrenz

<sup>1)</sup> Dr. PETER RAUCH, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Produktionswirtschaft und Logistik, Feistmantelstraße 4, 1180 Wien.

✉ E-Mail: peter.rauch@boku.ac.at

oder strategische Bestrebungen der einzelnen Unternehmen nach einer möglichst selbstständigen Rohstoffversorgung außer Acht. Die Implementierung einer Kooperation für eine große Zahl von involvierten KWK, deren Betreiber teils divergierende Interessenslagen haben, erscheint unrealistisch und ist bis dato auch nicht erfolgt. Seitens der Forschung fehlt bisher die Abschätzung des realen Einsparungspotentials eines optimierten, kooperativen Versorgungsnetzwerkes im Vergleich zur gängigen singulären Beschaffung.

Diese Arbeit entwickelt einen Ansatz zur Bestimmung des Einsparungspotentials von kooperativer Biomassebeschaffung und kalkuliert dieses für konkrete Beispielskooperationen.

## 2. METHODEN

Um das Einsparungspotential einer kooperativen Biomasseversorgung zu bestimmen, werden die Transportkosten der Biomasseversorgung für nicht kooperierende KWK, die singulär die den Brennstoff beschaffen, sowie für kooperierende KWK kalkuliert. Die Differenz zwischen den Transportkosten bei singulärer Beschaffung und den minimalen Transportkosten, die sich ergeben, wenn die von den Kooperationspartner eingekauften Mengen kostenoptimal den einzelnen KWK zugeteilt werden, spiegelt das Einsparungspotential einer Kooperation, den monetären Kooperationsgewinn, wider. Um das konkrete Einsparungspotential einer Kooperation kalkulieren zu können, kooperieren 7 der größten KWK Österreichs (Abbildung 1) in verschiedenen, fiktiven Varianten miteinander.

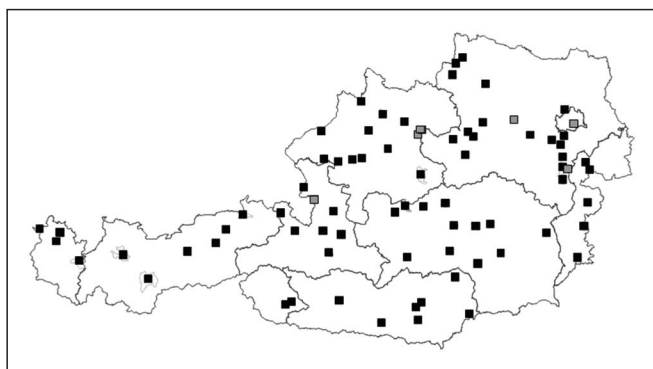


Abb. 1

KWK-Übersicht für Österreich (Kooperationspartner in grau).  
CHPs in Austria (cooperation partners in grey).

### 2.1 Transportkostenmodell

Das Transportkostenmodell (RAUCH et al., 2010) beinhaltet die Kosten für das System LKW und Fahrer und differenziert zwischen Stand- und Fahrzeiten, wobei Be- und Entladezeiten für gehackte bzw. ungehackte Holzbiomasse, die Kosten für die jeweils zurückgelegte Distanz sowie Mautkosten für die Benützung mautpflichtiger Strassen berücksichtigt werden. Der im Modell inkludierte Leerfahrtanteil beträgt 50%. Die Kosten und Leistungen diverser, in der Lieferkette üblicherweise eingesetzter LKW-Arten (z.B. Rungen-LKW und Schubboden-LKW) basieren auf den Erfahrungswerten mehrerer KWK-Betreiber und die Transportdistanzen werden mittels GIS bestimmt.

Mithilfe des Transportkostenmodells werden die für die Matrizen der Heuristiken bzw. des LP-Modells notwendigen Transportkosten kalkuliert bzw. anschließend die Transportkosten entsprechend den Materialströmen der Lösungen der Heuristiken bzw. des LP-Modells bestimmt.

### 2.2 Heuristiken zur Abschätzung der aktuellen Beschaffungsströme

Da die Daten zu den Lieferanten der Biomasse sowie die aktuellen Transportkosten von den Verantwortlichen als Betriebsgeheimnis erachtet werden, ist eine möglichst realitätsnahe Abschätzung der von den KWK in den einzelnen Regionen gekauften Holzbiomasse-Volumina erforderlich. In den Heuristiken erfolgt die Beschaffung der Holzbiomasse unter Berücksichtigung der verfügbaren Biomassepotentiale der 85 Bezirksforstinspektionen Österreichs sowie der Importpotentiale der direkt angrenzenden Nachbarstaaten (untergliedert in 9 Regionen) und unter Konkurrenz durch insgesamt 74 KWK. Anhand dreier verschiedener Handlungsmaximen wird die singuläre Beschaffung unter Konkurrenz mittels Heuristiken simuliert. Als Nachbildung realer Beschaffungssituationen werden dazu folgende Entscheidungslogiken verwendet: Kostenminimum der Gesamtkosten, Marktmacht und Attraktivität einer Region.

Bei der Heuristik „H1 – Kostenminimum der Gesamtkosten“ erfolgt die Zuteilung der Lieferung von den Beschaffungsregionen zu einem der 74 KWK entsprechend der Summe aus Transport- und Betriebskosten, beginnend mit der Beschaffungsregion-KWK-Kombination mit der geringsten Summe. Die Heuristik H1 geht von der Annahme aus, daß bei der Versorgung eines KWK zuerst jene Regionen gewählt werden, die die geringsten Kosten verursachen. Die Einbeziehung der Betriebskosten ermöglicht die Berücksichtigung der Kostenvorteile infolge von Skaleneffekten (economies of scale) für KWK mit hohem Biomassebedarf. Die jeweiligen Betriebskosten sind entsprechend der Betriebsgröße und Technologie gemäß den Kalkulationen von CAPUTO et al. (2005) angesetzt worden.

Zuerst wird in der Rechenlogik die Beschaffungsregion-KWK-Kombination mit der niedrigsten Summe aus Transport- und Betriebskosten aus der Matrix ausgewählt. Die Matrix führt in den Zeilen die KWK und in den Spalten die Beschaffungsregionen. Wenn der Bedarf des ausgewählten KWK das Angebot der ausgewählten Beschaffungsregion übersteigt, wird der noch ungedeckte Bedarf kalkuliert und die Spalte der Beschaffungsregion für den weiteren Berechnungsvorgang gesperrt. Falls das Angebot den Bedarf übersteigt, wird das am Markt verbleibende Angebot der Beschaffungsregion kalkuliert und die Zeile des KWK gesperrt. Im nächsten Schritt wird die Beschaffungsregion-KWK-Kombination mit der zweitniedrigsten Summe aus Transport- und Betriebskosten ausgewählt und die Rechenlogik verfährt abermals wie oben beschrieben. Die Rechenlogik, die analog zum Matrixminimumverfahren, das als Heuristik für die Lösung von Transportproblemen eingesetzt wird, funktioniert, wird sinngemäß solange fortgesetzt, bis der Bedarf aller KWK gedeckt ist.

Die Heuristik „H2 – Marktmacht“ unterstellt, daß sich infolge der Höhe der Nachfrage eine entsprechende Marktstellung ergibt, die es dem größten Abnehmer ermöglicht, seinen Bedarf zuerst aus den hinsichtlich der Transportkosten günstigsten Regionen vollständig zu decken. Danach folgt der zweitgrößte Abnehmer und deckt ebenso seinen Bedarf. Die Rechenprozedur endet, sobald der Bedarf aller Abnehmer gedeckt ist.

Die Heuristik „H3 – Attraktivität einer Region“ spiegelt die Einstellung vieler Manager wider, daß Regionen mit großen Potential und geringer Entfernung zum KWK als die Attraktivsten angesehen werden. Die Attraktivität einer Region wird über den Quotient aus Potential der Region und Entfernung der Region zum KWK bestimmt. Beginnend mit der attraktivsten Kombination wird hier in absteigender Reihenfolge die Versorgung festgelegt, die Rechenlogik funktioniert analog zur Heuristik H1.

Die Startmatrizen beinhalten die Transportkosten zwischen den Beschaffungsregionen und den KWK und sowie für die Heuristik 1

zusätzlich die Betriebskosten der KWK. Die Rechenlogiken der Heuristiken ist in Visual Basic for Applications (VBA)/Excel von Microsoft implementiert worden. Als Ergebnis liefert jede Heuristik eine Anschließung der aktuellen Materialströme zwischen den Beschaffungsregionen und den KWK.

### 2.3 LP Modell zum Design der Biomasseversorgung

Das Ziel der Kooperation ist die Senkung der Transportkosten für Holzbiomasse durch optimale Allokation der gemeinsam beschafften Ressourcen mithilfe eines LP-Modelles. Folgende Daten werden für das LP-Modell benötigt: Holzbiomassebedarf der KWK, von den Kooperationspartnern in den Regionen beschaffte Volumina, die jeweiligen Distanzen zwischen Forst und KWK sowie die Transportkosten. Das LP-Modell zur Minimierung der Transportkosten für die kooperative Holzbiomassebeschaffung wird wie folgt formuliert:

#### Variablen- und Parameterdeklaration

- $x_{ij}$  = Bedarfsanteil, der von Region  $i$  zu KWK  $j$  transportiert wird
- $c_{ij}$  = Transportkosten von Region  $i$  zu KWK  $j$ ,
- $d_j$  = jährlicher Bedarf im KWK  $j$
- $s_i$  = Jahressumme der in der Region  $i$  von den Kooperationspartnern gekauften Holzbiomasse

Zielfunktion: Transportkosten minimieren

$$(1) \text{Transportkosten} = \sum_i \sum_j d_j c_{ij} x_{ij}$$

#### Nebenbedingungen

- (2)  $\sum_{ij} d_j x_{ij} \leq d_j, \forall j$
- (3)  $\sum_{ij} d_j x_{ij} = s_i, \forall i$
- (4)  $x_{ij} \geq 0$

Nebenbedingung (2) stellt sicher, daß der Bedarf in den einzelnen KWK gedeckt wird. Die Beschränkung der von einer Region lieferbaren Holzbiomasse-Volumina auf die in der Region gekaufte Menge erfolgt in Nebenbedingung (3). Bedarfsanteile dürfen nicht negativ sein, damit keine negativen Volumina transportiert werden. Dies gewährleistet die Nichtnegativitätsbedingung der Nebenbedingung (4).

Die Lösung des LP-Modells erfolgt mit Hilfe von Software zur Linearen Optimierung (XpressMP).

Der Vergleich der Transportkosten für die singuläre Beschaffung mit den in einer Kooperation erzielten Transportkosten ermöglicht die Bestimmung des monetären Kooperationsgewinnes bzw. des Einsparungspotentials. Um eine möglichst realistische Einschätzung der aktuellen Stoffströme und Transportkosten zu erhalten, werden die Ergebnisse der drei Heuristiken gemittelt.

### 3. ERGEBNISSE

Die Qualität der Ergebnisse der Heuristiken konnte in einem Projekt mit einem nationalen Energieversorgungsunternehmen überprüft werden. Die realen Beschaffungsströme des Energieversorgungsunternehmens erwiesen sich dabei als größtenteils kongruent mit jenen, die von den Heuristiken im Durchschnitt ausgewiesen wurden.

Bei einer Kooperation von fünf KWK ergibt der Vergleich der minimal möglichen Transportkosten (LP) mit dem Mittelwert der Heuristiken (MW H) ein Einsparungspotential von 24% gegenüber der Ist-Situation (Tabelle 1). Die Lösung des LP Modells gibt dabei mit ca. 8 Mio. € an Gesamttransportkosten das gemeinsam erzielbare Optimum vor.

Die zweite Kooperationsgemeinschaft besteht aus drei KWK in Ostösterreich, die aufgrund ihrer räumlichen Nähe prädestiniert für

eine Kooperation erscheinen. Der durchschnittliche Kooperationsgewinn von 19% ergibt sich allerdings bei Mehrkosten für das KWK 6 (Tabelle 2). Hier zeigt sich, daß die Summe der Transportkosten für die Kooperation der KWK zwar minimal und auch deutlich geringer ist als die Summe der Transportkosten bei singulärer Beschaffung, aber im Einzelfall infolge der Kooperation sich auch höhere Transportkosten für ein KWK ergeben können.

Unterstellt man etwa aufgrund eines Konkurrenzverhältnisses in einer anderen Sparte, daß obige Kooperation nicht zustande kommt, so läßt sich eine reduzierte Kooperation von zwei KWK, in der eine solche nicht besteht, zumindest andenken. Diese Koopera-

Tab. 1

**Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in 1.000 €) für die singuläre Beschaffung (H1, H2, H3 bzw. MW H) sowie für die Kooperation von 5 KWK (LP) und der Kooperationsgewinn (Einsparungspotential) in %.**

**Wood fuel transportation costs (in 1,000 €) for independent (H1, H2, H3 and mean H; MW H), as well as for cooperative forest fuel procurement (LP) of 5 CHPs and cooperation benefits (in %).**

					Kooperation	
	H1	H2	H3	MW H	LP	Gewinn
KWK 1	3.455	3.615	3.131	3.400	2.738	19%
KWK 2	2.575	2.389	2.227	2.397	1.818	24%
KWK 3	2.139	2.116	2.002	2.086	1.537	26%
KWK 4	1.329	1.484	1.426	1.413	1.107	22%
KWK 5	1.217	1.297	1.206	1.240	793	36%
<b>Summe</b>	<b>10.715</b>	<b>10.901</b>	<b>9.992</b>	<b>10.536</b>	<b>7.993</b>	<b>24%</b>

Tab. 2

**Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in 1.000 €) für die singuläre Beschaffung (H1, H2, H3 bzw. MW H) sowie für die Kooperation von 3 KWK (LP) und der Kooperationsgewinn (Einsparungspotential) in %.**

**Wood fuel transportation costs (in 1,000 €) for independent (H1, H2, H3 and mean H; MW H), as well as for cooperative forest fuel procurement (LP) of 3 CHPs and cooperation benefits (in %).**

					Kooperation	
	H1	H2	H3	MW H	LP	Gewinn
KWK 1	3.455	3.615	3.131	3.400	2.740	19%
KWK 6	617	585	663	622	665	-7%
KWK 7	453	419	714	529	291	45%
<b>Summe</b>	<b>4.525</b>	<b>4.619</b>	<b>4.508</b>	<b>4.551</b>	<b>3.696</b>	<b>19%</b>

Tab. 3

**Transportkosten der Holzbiomassebeschaffung (in 1.000 €) für die singuläre Beschaffung (H1, H2, H3 bzw. MW H) sowie für die Kooperation von 2 KWK (LP) und der Kooperationsgewinn (Einsparungspotential) in %.**

**Wood fuel transportation costs (in 1,000 €) for independent (H1, H2, H3 and mean H; MW H), as well as for cooperative forest fuel procurement (LP) of 2 CHPs and cooperation benefits (in %).**

					Kooperation	
	H1	H2	H3	MW H	LP	Gewinn
KWK 1	3.455	3.615	3.131	3.400	3.106	9%
KWK 7	453	419	714	529	291	45%
<b>Summe</b>	<b>3.908</b>	<b>4.034</b>	<b>3.845</b>	<b>3.929</b>	<b>3.397</b>	<b>14%</b>

tion generiert zwar einen geringeren Kooperationsgewinn, stellt aber mit einem durchschnittlichen Einsparungspotential von 14% auch noch eine lukrative Strategieoption dar (Tabelle 3).

Von den drei Heuristiken generiert die Heuristik H3 für die drei KWK mit den höchsten Biomassebedarfen sowie für ein weiteres KWK mit mittlerem Biomassebedarf die jeweils geringsten Transportkosten. Die Heuristik H2 erzielt für die 2 KWK mit dem geringsten Biomassebedarf die besten Ergebnisse, während die Heuristik H1 nur für ein KWK mit mittlerem Biomassebedarf die geringsten Transportkosten aufweist.

#### 4. FAZIT

Die kooperative Beschaffung von Holzbiomasse für KWK und die optimale Allokation der Versorgungsströme trägt zur Verringerung der Transportkosten bei. Die aktuellen Transportkosten liegen im Vergleich mit den Kosten der durch Kooperation ermöglichten optimalen Versorgung deutlich höher (mindestens 14%). Der erzielbare Kooperationsgewinn nimmt mit der Anzahl der Kooperationspartner zu, ist aber nicht gleichmäßig verteilt. Bei der Variante mit drei Partnern entstehen durch die Kooperation für einen Partner sogar Mehrkosten in der Höhe von 50.000 €, während die Summe der Transportkosten um ca. 855.000 € gesenkt werden können. Entsprechende Kompensationen zwischen den Kooperationspartnern sind also notwendig. Eine Möglichkeit, den Kooperationsgewinn zwischen den Kooperationspartnern aliquot aufzuteilen, ist durch Ausgleichszahlungen den Kooperationsgewinn für alle auf den prozentuellen Durchschnittswert aller Kooperationspartner zu senken bzw. zu heben. Beschaffungsk Kooperationen stoßen auch auf Vorbehalte, etwa daß die Kooperation unter regulären Versorgungsbedingungen zwar gut funktionieren, bei Auftreten einer Rohstoffknappheit aber keine kooperative Ressourcenallokation mehr erfolgen könnte.

Dennoch stellt die Kooperation zwischen KWK in Form von Partnerschaften oder Allianzen eine wesentliche Strategie dar, um in Zukunft die Beschaffung von Holzbiomasse effizienter zu gestalten und die Wettbewerbsfähigkeit der holzbasierten Energieerzeugung zu steigern.

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit entwickelt einen Ansatz zur Bestimmung des Einsparungspotentials von Kooperationen in der Biomassebeschaffung und kalkuliert dieses für konkrete Beispielskooperationen. Als potentielle Kooperationspartner werden 7 der größten KWK Österreichs herangezogen (Abbildung 1), die in fiktiven Varianten miteinander kooperieren. Da die Unternehmen ihre Lieferanten und deren Liefermengen als Betriebsgeheimnis hüten, müssen die singulär in den jeweiligen Lieferregionen beschafften Mengen anhand von Heuristiken geschätzt werden. Für die kooperative Biomasseversorgung wird die von den Kooperationspartnern singulär beschaffte Holzbiomasse mittels Linearer Programmierung den einzelnen KWK so zugeteilt, daß infolge optimaler Ressourcenallokation die Summe der Transportkosten minimiert wird. Die Differenz zwischen der Summe der Transportkosten bei singulärer Beschaffung und der Summe der Transportkosten bei Kooperation spiegelt das Einsparungspotential einer Kooperation wider. Das durchschnittliche Einsparungspotential liegt für eine Kooperation der fünf größten KWK bei 24% der Transportkosten (Tabelle 1), Kooperationen mit weniger Partnern weisen geringere Einsparungen auf (bei 3 Partnern durchschnittlich 19% bzw. bei 2 Partnern durchschnittlich 14%; vgl. Tabelle 2 bzw. Tabelle 3). Innerhalb einer Kooperation erzielen die beteiligten KWK unterschiedlich hohe Einsparungen, in Ausnahmefälle kann es für einzelne Partner sogar zu erhöhten Transportkosten kommen (vgl. Tabelle 2: KWK 6). Kompensationen zwischen den Koopera-

tionspartner sind deshalb notwendig, um die Kooperation aufrecht erhalten zu können. Der Kooperationsgewinn für jedes einzelne KWK könnte beispielsweise durch aliquote Ausgleichszahlungen auf den prozentuellen Durchschnittswert aller Kooperationspartner gesenkt bzw. gehoben werden.

#### 6. Abstract

Title of the paper: *Estimating savings by cooperative energy wood procurement for combined heating plants (CHPs).*

This paper presents a method for estimating savings by cooperative forest fuels procurement and calculates them for concrete cooperation examples of CHPs. As potential cooperation partners, seven of the biggest Austrian CHPs (Figure 1) are shown to be cooperating in fictional variants. Since CHPs maintain their suppliers and supplied volumes as business secrets, the actual procured forest fuels volumes per supply region were assessed using heuristics. Three different heuristics simulated the behavior of a manager supplying a single CHP under competition for forest fuels with the other 73 major Austrian CHPs. In the case of cooperative forest fuels procurement, volumes procured by the cooperation partners were allocated by means of a Linear Programming Model (LP) in order to minimize total transportation costs. Savings through cooperation were calculated as the difference between the sum of total transportation costs of all partners with and without cooperation.

Average savings for a cooperation of the five biggest CHPs are 24% of the total transportation costs (Table 1). Cooperations with fewer partners face lower savings (19% for three partners and 14% for two partners; cf. Table 2 and Table 3). Individual savings within the cooperation vary, whereby a single partner can have even higher transportation costs than without cooperation (cf. Table 2, CHP 6). Hence, compensation of different savings is essential in order to equitably allocate cooperation benefits amongst all partners. For example, through compensation payments, savings for each partner can be increased or decreased to the percental average savings of the whole cooperation. Cooperation between CHPs affords an opportunity to efficiently allocate forest fuels supply and profit from the resulting transportation cost savings. Therefore, cooperation proves to be a significant measure in improving efficiency in forest fuel procurement and strengthening the competitiveness of wood-based power generation.

#### 7. Acknowledgements

Der Autor dankt dem Programm „Energiesysteme der Zukunft“, einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), für die finanzielle Unterstützung dieser Forschungsarbeit.

#### 8. Literatur

- ALLEN, J., M. BROWNE, A. HUNTER, J. BOYD und H. PALMER (1998): Logistics management and cost of biomass fuel supply. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* Vol. 28 (6): 463–477.
- ARNOLD, U. (1995): *Beschaffungsmanagement*. Schäffer-Poeschel-Verlag, Stuttgart.
- ASIKAINEN, A., T. RANTA und J. LAITILA (2001): Large-Scale Forest Fuel Procurement. In: PELKONEN, P., HAKKILA, P., KARJALAINEN, T., SCHLAMADINGER, B. (eds.): *Woody Biomass as an Energy Source*. *EFI Proceedings* 39, 73–78.
- CAPUTO, A., M. PALUMBO, P. M. PELAGAGGE und F. SCACCHIA (2005): Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables. *Biomass & Bioenergy* 28: 35–51.
- CHAN, F. T. S. und S. H. CHUNG (2004): Multi-criteria genetic optimization for distribution networks problems. *Int J Adv Manuf Technol* 24: 517–532.
- ERIKSON, L. und R. BJÖRHEDEN (1989): Optimal storing, transport and processing for a forest-fuel supplier. *European Journal of Operations Research*. 43(1): 26–33.
- FREPPAZ, D., R. MINCIARDI, M. ROBBA, M. ROVATTI, R. SACILE und A. TARMASSO (2004): Optimizing forest biomass exploitation for energy supply at a regional level. *Biomass & Bioenergy* 26(1): 15–25.

- FROMBO, F., R. MINICARDI, M. ROBBA, F. ROSSO und R. SACILE (2009): Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass & Bioenergy* **33**(3): 372–383.
- GRONALT, M. and P. RAUCH (2007): Designing a regional forest fuel network. *Biomass & Bioenergy* **31**(6): 393–402.
- GUNNARSSON, H., M. RÖNNQUIST und J. LUNDRÉN (2004): Supply chain modelling of forest fuels. *European Journal of Operations Research* **158**: 103–123.
- HAKKILA, P. (2004): Developing technology for large-scale production of forest chips. Wood Energy Technology Programme 1999–2003. Technology Programme Report 6/2004, TEKES.
- JOHANSSON, J., J. LISS, T. GULLBERG und R. BJORHEDEN (2006): Transport and handling of forest energy bundles – advantages and problems. *Biomass and Bioenergy* **30**(4): 334–341.
- KÜHMAIER, M., C. KANZIAN, F. HOLZLEITNER und K. STAMPFER (2007): Wertschöpfungskette Waldhackgut. Optimierung von Ernte, Transport und Logistik. Eigenverlag, Wien, 282.
- MÖLLER, B. und P. NIELSEN (2007): Analyzing transport costs of Danish forest wood chip resources by means of continuous cost surfaces. *Biomass & Bioenergy* **31** (5): 291–298.
- NOON, C. und M. DALY (1996): GIS-Based Biomass Resource Assessment with BRAVO. *Biomass and Bioenergy* **10**(2-3): 101–109.
- PARIKKA, M. (2000): Biosims – a method for the calculation of woody biomass for fuel in Sweden. *Ecological Engineering* **16**: 73–82.
- RANTA, T. (2002): Logging residues from regeneration fellings for biofuel production – a GIS-based availability and supply cost analysis. *Acta Universitatis Lappeenrantaensis* 128.
- RAUCH, P., M. GRONALT und H. HÄUSLMAYER (2007): „BioLog I. Überregionales Logistik- und Versorgungsnetzwerk für Holz-Biomasse“. Schriftenreihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ 51, bmvt, 89.
- RAUCH, P., M. GRONALT und P. HIRSCH (2010): Co-operative forest fuel procurement strategy and its saving effects on overall transportation costs. *Scandinavian Journal of Forest Research* **25**(3): 251–261.
- SÜSS, W. (2007): Interaction and Conflicts in Wood Supply and Policy Measures. Experience from Vienna-Simmering and other ÖBf supplied CHPs. In: HETSCH S. (ed.): Geneva Timber and Forest Discussion Papers 48. Mobilizing Wood Resources: Can Europe's Forests Satisfy the Increasing Demand for Raw Material and Energy under Sustainable Forest Management? Workshop Proceedings, 11–12.
- WITTKOPF, S., U. HÖMER und S. FELLER (2003). Bereitstellungsverfahren für Hackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. LWF.

## Mortalitätsschätzungen in strukturreichen Mischbeständen im Bundesstaat Durango, Mexiko

Aus dem Technischen Institut El Salto, Durango, Mexiko

(Mit 5 Abbildungen und 5 Tabellen)

B. VARGAS-LARRETA<sup>1),✉</sup>, CH. WEHENKEL<sup>2)</sup> und J. J. CORRAL-RIVAS<sup>3)</sup>

(Angenommen Juni 2010)

### SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Logistisches Modell; Konkurrenz; Überleben, Mortalität, Pinus, Quercus, Durango.*

*Logistic model; competition; survival; Mortality; Pinus, Quercus; Durango.*

### 1. EINLEITUNG

Zu den schwierigsten Aufgaben der waldwachstumskundlichen Modellforschung gehört ein besseres Verständnis und die darauf aufbauenden Modelle der natürlichen Absterbevorgänge der Waldbäume (BUCHMAN, 1979; HAMILTON, 1986; ÁVILA und BURKHART, 1992; GADOW, 2005). Das liegt u.a. daran, dass der Absterbeprozess aufgrund der grossen Komplexität von Waldökosystemen in vielfältiger Weise verlaufen kann (CLUTTER und ALLISON, 1974; GLOVER und HOOL, 1979). Bäume üben Konkurrenz aus, indem sie mit ihren Kronen und Wurzeln ober- und unterirdisch verfügbaren Wuchsraum besetzen (GADOW, 2005). Die Dichte beeinflusst das Bestandesklima, insbesondere die räumliche Verteilung von Licht

und Temperatur. Darauf reagieren die Bäume wiederum durch individuelles Wachstum.

Die Schätzung der Sterbewahrscheinlichkeit von Bäumen als Folge nachbarschaftlicher Konkurrenz ist ein wesentlicher Bestandteil der Waldwachstumsforschung. Die Mortalitätswahrscheinlichkeit kann sich aufgrund der Baumgrösse, Baumvitalität, Baumart, Dichte, Artmischung, Standort und vorhandenem Wuchsraum verändern (PEET und CHRISTENSEN, 1987; OLIVER und LARSON, 1990). In einem vollbestockten Bestand ist nur Wachstum von Bäumen möglich, wenn andere absterben. Allerdings ist die maximal mögliche Bestockung in der Regel nicht bekannt.

Es gibt verschiedene Ansätze, um die Baumsterblichkeit zu modellieren. Zum Beispiel unterscheiden GLOVER und HOOL (1979) den physiologisch basierten Ansatz und die empirische Mortalitätswahrscheinlichkeit im Vergleich mit einer Zufallszahl. HAWKES (2000) erwähnt eine deterministische und stochastische Modellstrategie. Die deterministischen Modelle berücksichtigen den Tod von Bäumen, der eintritt, wenn ein Schwellenwert überschritten ist. Stochastische Modelle orientieren sich an Eintrittswahrscheinlichkeiten und klassifizieren einen Baum als tot oder lebend aufgrund eines Vergleiches mit den Werten eines Zufallsgenerators.

Ein wichtiger Aspekt in der Abschätzung von Baumsterblichkeiten ist, dass ein Baum prinzipiell nur zwei Zustände annehmen kann – tot oder lebend. Es können zur Schätzung Exponential-, Weibull- und Gamma-Verteilungen genutzt werden (MOSER, 1972; SOMERS et al., 1980; KOBE und COATES, 1997). Allerdings finden logistische Funktionen am häufigsten Verwendung (MONSERUD, 1976; HAMILTON, 1986; MURPHY und GRANEY, 1998; MONSERUD und STERBA,

<sup>1)</sup> Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico s/n. 34942 El Salto, Durango, Mexiko.

<sup>2)</sup> Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Km 5.5 Carretera Mazatlán, 34120 Durango, Mexiko.

<sup>3)</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango s/n, Col. Valle del Sur, 34120 Durango, Mexiko.

✉ Korrespondierender Autor: BENEDICTO VARGAS-LARRETA.  
E-Mail: [bvargas@itelsalto.edu.mx](mailto:bvargas@itelsalto.edu.mx)