

# Optimierung des Rundholztransportes durch Reduktion der Last- und Leerfahrtstrecken

Thomas Smaltschinski  
Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft  
Albert-Ludwigs-Universität  
Werthmannstr. 6  
79085 Freiburg  
thsm@gmx.de

**Abstract:** Die gesamte Fahrstrecke beim Holztransport lässt sich deutlich verringern, wenn eine Reduktion der Leerfahrtstrecke durch Rückfracht erfolgen kann. Dies gilt nur für *nicht konkurrierende Produkte* von Holzsortimenten. *Konkurrierende Produkte* müssen zuvor durch Lösung des sogenannten Transportproblems optimal auf die Zielorte verteilt werden. Dadurch verändern sie sich rechnerisch zu *nicht konkurrierenden Produkten*. Für einen Pool von konkurrierenden und nicht konkurrierenden Holzlosen können Transportproblem und Rückfracht miteinander kombiniert werden. Das Transportproblem und die Leerfahrtreduktion durch Rückfracht konnten in Bayern für konkurrierende Produkte und in Baden Württemberg für nicht konkurrierende Produkte an je 1 Mio. m<sup>3</sup> Holz angewendet werden. Daraus ergab sich eine Reduktion der gesamten Transportstrecke um 10 bis 17 %.

## 1 Einleitung und Problemstellung

Der Holztransport vom Wald zum Verbraucher ist der letzte Prozess der Holzbereitstellungskette. Die beteiligten Akteure beim Transport sind der Waldeigentümer, der Käufer und der Spediteur, die sich im Idealfall stetig über den Status des Transportprozesses informieren. Das Transportgeschehen in einer Region in einem bestimmten Zeitfenster erfolgt für viele Holzlose mit unterschiedlichen Sortimenten, die zu verschiedenen Kunden mit unterschiedlichen Ansprüchen transportiert werden müssen. Die Optimierung der Transportstrecke liegt in den Händen der einzelnen Spediteure, die bei unvollständiger Information zu keiner Kooperation hinsichtlich der Routenoptimierung oder einer Leerfahrtreduktion kommen können.

Für die weiteren Überlegungen ist die Unterscheidung der transportierten Holzprodukte von Bedeutung. Diese bilden die zwei Klassen *konkurrierende* und *nicht konkurrierende Produkte*. *Konkurrierende Produkte* sind in ihrer Art so ähnlich oder vergleichbar, dass sie auf mehrere Abnehmer verteilt werden können. *Nicht konkurrierende Produkte* lassen sich durch ihre speziellen Eigenschaften nur einem einzigen darauf spezialisierten Abnehmer zuordnen.

Diese Unterscheidung ist auch für die gleich zu behandelnde Transportoptimierung durch Rückfracht und die Lösung des sogenannten „Transportproblems“ (TP) [Hi41] von Bedeutung. Beide Methoden führen zu einer Reduktion der Transportstrecken, wobei die CO<sub>2</sub>-Emissionen propor-

tional verringert werden. Grundlage für die nachfolgenden Optimierungsrechnungen ist die Berechnung kürzester Routen auf dem Straßennetz [Di59]. Dazu müssen die öffentlichen Strassen und Waldwege als gerichteter Graph vorliegen. Derzeit wird in Deutschland das Waldwegenetz nach dem GEODAT-Standard<sup>1</sup> kategorisiert und topologisch mit dem öffentlichen Straßennetz zusammengeführt. Alle nachfolgenden Berechnungen wurden mit der Software ArcGIS 9.3 der Fa. ESRI durchgeführt.

## 2 Rückfrachten und Transportproblem

Die Anwendung von Rückfracht ist ein bekanntes und altes Vorgehen. Schon die HANSE im Mittelalter praktizierte die Rückfracht. Ein Schiff fuhr von Lübeck beladen mit handwerklichen Erzeugnissen nach Novgorod und kehrte von dort zurück, beladen mit Getreide, Fellen und Holz. Leerfahrten eines Transportmittels waren schon immer zu teuer.

Dieses Rückfrachtprinzip wird vor allem im überregionalen Transport angewandt. Hier fließen zwischen den Orten der Produktion und des Verbrauchs große Warenströme und die geographische Lage dieser Orte ist so, dass sich wie im Beispiel der HANSE die Leerfahrt reduzieren lässt. Im regionalen Verkehr mit Transportdistanzen unter 200 km wird hingegen selten und eher zufällig mit Rückfracht gearbeitet.

Das Prinzip der Rückfracht lässt sich formalisieren. In Abb.1 sind zwei Werke als Vierecke sowie zwei Holzlose als Kreise in rot und grün dargestellt. Die Leerfahrten sind gestrichelt und die Laststrecken durchgezogen gezeichnet. In Abb. 1 links ist der Fall der Normalfracht dargestellt, bei dem die Akteure nicht kooperieren.

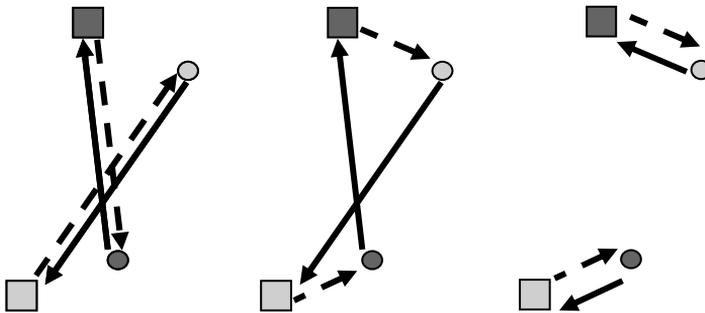


Abbildung 1: Normalfracht (links), Rückfracht (Mitte) und TP mit Tausch der Holzlose (rechts), Quadrate und Kreise entsprechen Werken und Holzlosen

Das führt dazu, dass die Strecken für Last- und Leerfahrten gleich lang sind. In der Mitte von Abb. 1 ist der Fall der Rückfracht bei Kooperation der Akteure dargestellt. Der LKW startet beim grünen Werk, fährt zum roten Holzlos, dann weiter zum roten Werk und über das grüne Holzlos zum roten Werk zurück. Eine

<sup>1</sup> [http://www.kwf-online.de/deutsch/arbeit/geodat/geodat\\_index.htm](http://www.kwf-online.de/deutsch/arbeit/geodat/geodat_index.htm)

Rückfracht führt zu einer Verringerung der Leerfahrtstrecke, wenn die Summen der Fahrtstrecken folgende allgemeine Ungleichung erfüllen: Summe Laststrecken > Summe Leerfahrtstrecken.

Die gleichen Zusammenhänge gelten für  $n > 2$  Werke. Dabei müssen nur von allen Holzlosen zu allen Werken die kürzesten Wege berechnet werden. Die Längen dieser Strecken füllen dann eine Distanzmatrix. Kombinatorische Optimierung über alle möglichen Rückfrachtrouten liefert die maximale Leerfahrtreduktion.

Rückfrachten sind nur sinnvoll für *nicht konkurrierende Produkte*. Sind in Abb. 1 das rote und grüne Holzlos *konkurrierende Produkte* und die beiden Sägewerke kooperieren, dann hätte eine Rückfracht zwar Vorteile, wäre aber nicht die optimale Lösung. Die kürzeste Fahrroute entsteht beim Tausch der Holzlose (Abb. 1 rechts). Dies berührt den Kern des sogenannten Transportproblems (TP): Man verteile die Mengen der Holzlose mit Rücksicht auf den Bedarf so auf die Werke, dass die Summe der Transportstrecken minimal wird. Die Lösung lässt sich über heuristische Verfahren annähern oder via lineare Optimierung exakt berechnen [Da66, Do95]. Dies führt zu zwei weiteren wichtigen Effekten. Nach einer optimalen Aufteilung sind keine Rückfrachten mehr möglich. Die optimal zugeordneten Produkte können für weitere Berechnungen wie *nicht konkurrierende Produkte* behandelt werden.

Die Leerfahrtreduktion durch Rückfracht konnte für Holzlose aus dem Südwesten Deutschlands nachträglich berechnet werden. Dabei waren 3 Sägewerke und ein Zellstoffwerk beteiligt. Die Holzlose hatten ein Holzvolumen von knapp 1 Mio. m<sup>3</sup>. Es handelte sich ausschließlich um nicht konkurrierende Produkte. Insgesamt wurden rechnerisch 5,46 Mio. km an Last- und Leerfahrtstrecke zurückgelegt. Nach Berechnung der Rückfrachten konnte die Leerfahrtstrecke um 0,93 Mio. km gesenkt werden. Dies bedeutet eine Einsparung von rund 34 % bei der Leerfahrtstrecke und dementsprechend von 17 % bei der gesamten Fahrstrecke.

Eine zweite Nachkalkulation behandelte 950.000 m<sup>3</sup> Holzlose der Bayerischen Staatsforsten AöR. Die Holzlose bestanden alle aus konkurrierenden Sortimenten und waren durch die örtlichen Revierleiter Werken zugeteilt worden. Eine Neuuzuordnung dieser Holzlose zu Zielwerken durch Lösung des Transportproblems ergab eine Reduktion der gesamten Fahrstrecke um 10%.

### **3 Rückfracht in Kombination mit dem Transportproblem**

Die Leerfahrtreduktion durch Rückfracht lässt sich mit dem TP zu einem optimierten Verfahren kombinieren. Dazu wurde ein fiktiver Datensatz von Holzlosen und Werken erzeugt mit drei Werken, die einen Bedarf von 10.440 m<sup>3</sup>, 8.400 m<sup>3</sup> und 9.080 m<sup>3</sup> hatten. Die verfügbaren Holzlose waren den Werken zugeordnet und bestanden aus 15.120 m<sup>3</sup> konkurrierender Produkte.

In der Simulation wurde zunächst eine normale Rückfrachtkalkulation durchgeführt (Fall 1). Danach wurde die Rückfracht nur für die nicht konkurrierenden Produkte (Fall 2) und für die konkurrierenden Produkte berechnet (Fall 3). Für die konkurrierenden Produkte wurde die optimale

Zuordnung auf die Werke berechnet. Die Rückfrachtkalkulation (Fall 4) ergibt, wie zu vermuten war, keine Rückfrachten mehr. Für diese optimale Aufteilung der konkurrierenden Holzlose zusammen mit den nicht konkurrierenden wurden die Rückfrachten kalkuliert (Fall 5). Die Ergebnisse dieser Kalkulationen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Simulationsergebnisse der Transportoptimierung

Fall	Normal- strecke (km)	Optimierte Strecke (km)	Ersparnis (%)	
1	<b>452.639</b>	358.276	20,8	
2	218.561	168.447	22,9	
3	234.02	195.319	16,5	
4	156.364	156.364	0,0	<b>Ersparnis (34,40%)</b>
5	370.778	<b>297.100</b>	19,9	

Für Fall 1 lässt sich die gesamte Transportstrecke um 21 % reduzieren. Die Rückfrachtkalkulation nicht konkurrierender Holzlose (Fall 2) bewirkt eine Reduktion um 23 % und die konkurrierender eine Reduktion um 16 % (Fall 3). Die Lösung des TP (Fall 4) zeigt den Einfluss einer optimierten Aufteilung. Bei totaler Kooperation und Tausch der Holzlose ergibt sich bei Fall 5 gegenüber Fall 1 eine Reduktion der Fahrtstrecke um 34%.

#### 4 Schlussbemerkung

Die Transportstrecke beim Rundholztransport lässt sich durch eine optimale Aufteilung von Holzlosen und anschließender Leerfahrtreduktion durch Rückfracht deutlich reduzieren. Bei gleichem Transportvolumen sinken die Transportkosten, der Straßenverkehr wird entlastet, das Holz ist in kürzerer Zeit beim Abnehmer und die CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Holztransport lassen sich ohne technische Veränderungen an den Fahrzeugen um bis zu 17% reduzieren. Diese Reduktion kann nur dann erreicht werden, wenn Holzerzeuger und Holzkäufer auf breiter Basis kooperieren. Der stetige Druck steigender Transportkosten durch höhere Ölpreise dürfte die Bereitschaft der Akteure zur Kooperation insgesamt fördern.

#### Literaturverzeichnis

- [Da66] DANTZIG, G.: Linear inequalities and related systems. Princeton Univ. Press, Princeton. 1966
- [Di59] DIJKSTRA, E. W.: A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik. 1: 269–271 1959
- [Do95] DOMSCHKE, W.: Logistik: Transport. R. Oldenburg Verlag GmbH, München. 1995
- [Hi41] HITCHCOCK, F.L.. The distribution of a product from several sources to numerous localities. J. Math. Phys. 20: 224-230. 1941