

„BME-Hochschulpreis 2014“

**Sieger Kategorie „Uni-Abschlussarbeiten“: Andreas Rudi
Karlsruher Institut für Technologie**

Ein Entscheidungsunterstützungssystem für intermodale Frachttransportplanung unter Berücksichtigung von Treibhausgasemissionen

Die erhöhte Nachfrage nach Transportdienstleistungen, insbesondere im Frachtverkehr, führt zu steigenden Transportemissionen mit enormen Auswirkungen auf die Umwelt. Um die Freisetzung dieser Emissionen zu mindern, fördern politische Entscheidungsträger die Nutzung von intermodalen Transportketten. Der flexible aber nicht unbedingt umweltfreundliche Einsatz des Straßengüterverkehrs kann mit umweltfreundlicheren Transportarten wie dem See- und Eisenbahnverkehr kombiniert werden. Der zugrundeliegende Gedanke ist die Nutzung von Vorteilen verschiedener Transportarten in einem integrierten Transportservice. Dabei basiert die Bewertung und Selektion intermodaler Routen auf diversen Schlüsselkriterien, wie den entstehenden Treibhausgasemissionen, den resultierenden Transportkosten und der benötigten Transportzeit. Diese Routenwahl stellt die größte Herausforderung in der Entwicklung von intermodalen Transportnetzwerken dar. Das Ziel der Arbeit ist die Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems für die intermodale Planung des Frachtverkehrs bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Emissionsminderungspotenzialen sowie der Integration ökonomischer Kriterien. Die Struktur der Arbeit orientiert sich dabei an der Zielsetzung, Transportemissionen im Frachtverkehr zu reduzieren und unterteilt sich folglich in die Kernthemen der Kalkulation von Treibhausgasemissionen sowie dem Design von Transportnetzwerken durch mathematische Modellierungstechniken. Dabei werden bisher existierende Vorgehensweisen und Standards zur Berechnung von Emissionen untersucht und mit Hinblick auf eine praxisnahe Umsetzung in einer Modellformulierung bewertet. Die anschließende Literaturrecherche knüpft an dieser Umsetzung an, stellt zahlreiche Ansätze zum Design von Transportnetzwerken vor, insbesondere im intermodalen Verkehr, und schafft dadurch die Grundlage für die anschließende Modellformulierung und Realisierung in einem Entscheidungsunterstützungssystem.

Der Kern des Entscheidungsunterstützungssystems ist ein implementiertes Model zur Lösung eines Mehrprodukt-Netzwerkflussproblems mit Kapazitäten und mehreren Entscheidungskriterien. Der Materialfluss spiegelt den gewöhnlichen Transport von Komplettladungen im Fernstreckenverkehr wider. Zwei Prozesse werden hierbei betrachtet: der reine Transport der Ladung und das Umladen der Ladung während des Wechsels der Transportart und/oder des Transportdienstleisters an vordefinierten Umschlagplätzen (sog. Terminals). Die resultierende Zielfunktion minimiert die Anzahl an transportierten oder umgeschlagenen Komplettladungen, bewertet mit normierten und gewichteten Kriterien (CO₂-Äquivalente, Kosten, Zeit) unter Bezugnahme des gebundenen Kapitals beim Transport und Umschlag. Dabei berücksichtigt das Model Kapazitäten der Transportdienstleister sowie vorgegebene Routen. Während die Bewertung monetärer Faktoren wie der Transportkosten und des ge-

bundenen Kapitals trivial ist, verlangt die Berechnung von Transportemissionen fortgeschrittene Methoden. Diese Berechnungsmethoden variieren sowohl in der Praxis als auch in der Anzahl der publizierten Richtlinien, Standards und Kalkulationsvorgaben. Auf Grundlage des europäischen Standards EN 16258 zur Berechnung von Treibhausgasemissionen in der Logistik und der Nutzung bekannter Emissionsdatenbanken wurde eine Methode gefunden, um Transportemissionen als ein Entscheidungskriterium zu integrieren. Zahlreiche Kategorien und Klassen diverser Transportarten werden bei der detaillierten Kalkulation der Emissionsfaktoren und Energieverbräuche berücksichtigt. Die finale Methode der Emissionskalkulation in Kombination mit den Kosten und der Dauer des Transports ermöglicht die Bewertung unterschiedlicher Transportmöglichkeiten und erlaubt die Generierung optimierter Lösungsalternativen als Entscheidungshilfe.

Eine anschließende Fallstudie validiert die Anwendung des Entscheidungsunterstützungssystems. Dabei nutzt die Fallstudie reale Daten eines Automobilzulieferers und analysiert – basierend auf mehr als 100 Modellläufen – die Effekte eines Optimierungsmodells mit unterschiedlichen Gewichtungen der Kriterien und der Einführung von zusätzlichen Verkehrsträgern im Vergleich zu einer Status-quo-Situation. Hierbei fokussiert die Analyse die Entdeckung von CO₂-Minderungsmaßnahmen auf Grundlage einer zielorientierten Optimierung der Transportkette sowie der Identifikation konfliktärer Zielkriterien. Ergebnis: Der Status quo kann im Hinblick auf die Transportkosten um 3,0 Prozent reduziert werden – bei gleichzeitiger Einhaltung einer vorgeschriebenen Transportzeit und fast gleichbleibenden Transportemissionen (+0,6 Prozent).

Während die geschilderten Ergebnisse die Berücksichtigung gleich bewerteter Kriterien wiedergeben, ermöglicht die Priorisierung der CO₂-Äquivalente erhebliche Minderungen im Ausstoß von Transportemissionen. Dabei erfolgt die Reduzierung der Emissionen jedoch auf Kosten von verlängerten Transportzeiten und/oder erhöhten Transportkosten. Mit dieser Beobachtung wurde eine klare Korrelation zwischen den betrachteten Kriterien ermittelt. Diese Zusammenhänge zwischen den ausgestoßenen Emissionen, den anfallenden Kosten und der Dauer des Transportes ändern sich jedoch, wenn kapitalgebundene Kosten integriert werden. Aufbauend auf einer Sensitivitätsanalyse werden im Abschluss der Arbeit die Auswirkungen variierender kapitalgebundener Kosten auf die Wahl der Route, des Transportdienstleisters und der Transportart analysiert. Ergebnis: Gerade mit erhöhtem Wert des zu transportierenden Gutes ändern sich die Zusammenhänge der Zielkriterien, so dass mit erhöhtem gebundenem Kapital das Zeitkriterium hervorgehoben wird. In Bezug auf unterschiedliche Güterkategorien wurde ferner festgestellt, dass bei schweren Gütern im Vergleich zu voluminösen Produkten die Wechselbeziehungen zwischen den Emissionen und den Kosten des Transportes signifikanter ausgeprägt sind. Abgesehen von schnell umzusetzenden Potenzialen zur Senkung der Transportemissionen, wie dem Einsatz zusätzlicher Transportdienstleister, wurde der sogenannte Lang-LKW (Euro-Combi) als ein zukünftiges Transportmittel identifiziert. Mit dem Einsatz von Lang-

LKWs könnten in der vorliegenden Fallstudie die Transportemissionen und -kosten um bis zu 15 Prozent gesenkt werden.

Fazit

Die Unternehmen sind heute auf Grund steigender Treibstoffpreise als Folge der Verknappung fossiler Rohstoffe sowie durch ein wachsendes öffentliches Umweltbewusstsein damit konfrontiert, nachhaltig zu handeln. Das Resultat ist die Berücksichtigung ökologischer Aspekte neben den klassischen wirtschaftlichen Zielen bei der Planung von Transportnetzwerken. Das entwickelte und in der Arbeit beschriebene Entscheidungsunterstützungssystem vereinheitlicht diese Ziele und erlaubt zudem die Bereitstellung von Emissionsverbräuchen für die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks von Produkten sowie zur Erstellung von Kohlenstoffbilanzen.

Zusammenfassend leistet die Arbeit einen Beitrag zur Forschung in der Transportarten-, Routen- und Dienstleisterauswahl, und liefert interessante Ergebnisse für die Planung von Transportnetzwerken. Gerade mit zunehmender globaler Beschaffung und Distribution von Gütern steigen sowohl die Transportnachfrage als auch die Forderung nach nachhaltigen Prozessen. Im Spannungsfeld zwischen ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten muss ein Unternehmen entweder die Transporteffizienz steigern, bspw. durch den Einsatz von Lang-LKWs, oder die Nutzung umweltfreundlicher Transportarten fördern. Dafür müssen sich der Straßen-, See- und Schienenverkehr ergänzen. Um dies zu erreichen, ist eine gemeinschaftliche Transportpolitik notwendig, die Interdependenzen zwischen der Umwelt und dem Transport bzw. des wirtschaftlichen Wachstums und der Nachhaltigkeit vereinheitlicht.