

Integrierte, zweistufige Methodik zur Kostensoptimierung volatiler Distributionssysteme am Beispiel der Bauzulieferindustrie

Integrated Two-stage Methodology for the Cost Optimization of Volatile Distribution Systems in the Building Supplies Industry

Kai Philipp Bauer, Denise Pohlig, Andreas Linder, Veronika Haase,
ifp Prof. Dr.-Ing. Joachim Milberg, Institut für Produktion und Logistik GmbH &
Co. KG, Garching b. München (Germany), kai-philipp.bauer@ifpconsulting.de,
denise.pohlig@ifpconsulting.de, andreas.linder@ifpconsulting.de,
veronika.haase@ifpanalytics.de

Abstract: Using an exemplary application in the building supplies industry, the article describes a two-stage methodology, which has been developed to simulate and optimize volatile distribution systems including connecting transports between the supplying production sites. In the first stage, the distribution task is abstracted by an enhanced tabu search algorithm. In the second step, this abstracted distribution task is incorporated into a simulation model using the software IBM ILOG LogicNet Plus. In a subsequent series of simulation studies, a cost optimized setup of the distribution is being determined. The methodology generates good results with less than 0,1 % gap to the as-is total costs and more than 10 % in total cost savings by the optimized network setup.

1 Einleitung und Motivation

Der steigende Wettbewerbsdruck zwingt Unternehmen, mehr Kundenservice anzubieten und gleichzeitig die Kosten zu senken. Die optimale Gestaltung eines Distributionssystems ist hierbei erfolgsentscheidend. Unternehmen können dabei mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert sein:

- Produkte mit geringer Wertdichte weisen einen hohen Transportkostenanteil auf.
- Viele Belieferungspunkte reduzieren die Größe der Belieferungsgebiete und erhöhen zusammen mit dem hohen Service Level den Transportmitteleinsatz.
- Kundenspezifische Produkte und ein volatiles Bestellverhalten verringern die effektive Auslastung der eingesetzten Transportfahrzeuge und erschweren die Tourenplanung.
- Integrierte Werksverkehre erfordern aufeinander abgestimmte Fahrpläne und erschweren so die Lösungsfindung.

Diese Herausforderungen treffen auch in der Bauzulieferindustrie zu. Die Bauzulieferindustrie versorgt die ausführenden Baufirmen mit Roh-, Halbfertig- und Fertigprodukten, z. B. Fenster und Betonprodukte. Die Distributionskosten in dieser Branche betragen oftmals 10 %-20 % gemessen am Umsatz. Da der Verkauf über Fachhändler, die Lieferung aber oftmals auf die Baustelle erfolgt, ergibt sich eine ebenso komplexe wie kostenaufwendige Distributionsaufgabe.

Das Tagesgeschäft in der Bauzulieferindustrie folgt oftmals dem Takt der Baustelle und unterliegt deshalb einer starken Volatilität, sodass operative und taktische Distributionsplanung im Widerspruch zum klassischen hierarchischen Planungsansatz nach Arnold (2008, S. 425 ff.) integriert erfolgen müssen.

In dieser Arbeit wird ein simulationsbasierter Ansatz zur Standortsuche in volatilen Distributionssystemen entwickelt, der taktische und operative Planung integriert. Ziel ist es, unter Berücksichtigung sowohl operativer als auch taktischer Ziele einen geeigneten Standort für ein Distributionszentrum zu finden. Anhand eines Anwendungsbeispiels aus der Bauzulieferindustrie wird gezeigt, dass der entwickelte Ansatz gute Ergebnisse in der Optimierung der Transport- und Standortkosten erzielt. Das Anwendungsbeispiel umfasst ein Distributionsnetzwerk mit mehrstufiger Belieferung über Cross Docks mit mehr als 5.000 Distributionspunkten.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Die grundlegende Problemstellung der Standortsuche wird in der Wissenschaft unter dem Begriff Location Routing Problem (LRP) behandelt. Ein guter Überblick über dieses Forschungsfeld findet sich in Prodhorn (2014) und Nagy (2007). Besonders häufig wird dabei die Tabu Search Methode angewendet (Prins 2007; Ting 2013; Escobar 2013). Für das Location Routing Problem existieren jedoch noch keine umfänglichen Softwareprogramme am Markt.

Im speziellen Fall der Standortsuche für die Distribution werden vielfach Simulationsstudien zur Bewertung von alternativen Konfigurationen mehrstufiger Distributionsnetzwerke verwendet. Dabei unterscheidet sich die Simulation mehrstufiger Distributionsnetzwerke von gängigen Simulationsmodellen in der Literatur. Im hier beschriebenen Anwendungsfall wird die Simulation mit einer Routenoptimierung sowie der Planung der Werksverkehre kombiniert, um kosteneffiziente Routenführung zu ermöglichen.

Arnaout (2010) simuliert den Materialfluss von Distributionszentren zum Kunden über Cross Docks, wobei Kundenlieferungen in Cross Docks konsolidiert werden. Galbreth (2008) vergleicht mit Hilfe einer Simulation die direkte Belieferung der Kunden mit der Belieferung über Cross Docks. Cooper (2014) beschreibt eine ereignis-diskrete Simulation zur Entscheidung über zusätzliche Cross Dock Standorte.

Die beschriebenen Simulationsansätze beziehen sich ausschließlich auf die Distributionsstruktur und gehen nicht auf die branchenspezifischen Lieferanforderungen der Bauzulieferindustrie in Form von Servicelevel und Volatilität des Bestellverhaltens ein. Des Weiteren ist im speziellen Anwendungsfall dieses Beitrags die Abhängigkeit der Distributionsstruktur vom Produktionsnetzwerk zu berücksichtigen, welche die Anbindung aller Produktionsstandorte zueinander im Nachsprung innerhalb desselben Logistiknetzwerks erfordert.

Die am Markt gängigen Softwareprogramme zur Gestaltung komplexer Supply Chain Netzwerke (z. B. IBM ILOG LogicNet Plus) ermöglicht die integrierte Darstellung von Produktions- und Distributionsstruktur bei vergleichsweise geringem Implementierungsaufwand. Diese Planungsprogramme basieren jedoch in der Regel auf dem Hub-Location Problem (HLP). Ein guter Überblick über dieses Forschungsfeld findet sich in Campbell (2012) und Farahani (2013). Da das HLP dem hierarchischen Planungsansatz folgt, kann keine integrierte Transportroutenplanung erfolgen, wodurch eine zweistufige Vorgehensweise notwendig wird.

3 Simulationsstudie zur Kostenoptimierung volatiler Distributionssysteme am Beispiel der Bauzulieferindustrie

Um die spezifische Problemstellung mit Hilfe der Branchensoftware IBM ILOG LogicNet Plus zu lösen, hat ifp consulting ein zweistufiges Vorgehen zur Modellbildung und anschließenden Kostenoptimierung volatiler Distributionssysteme in Form einer Simulationsstudie entwickelt (vgl. Abb. 1).

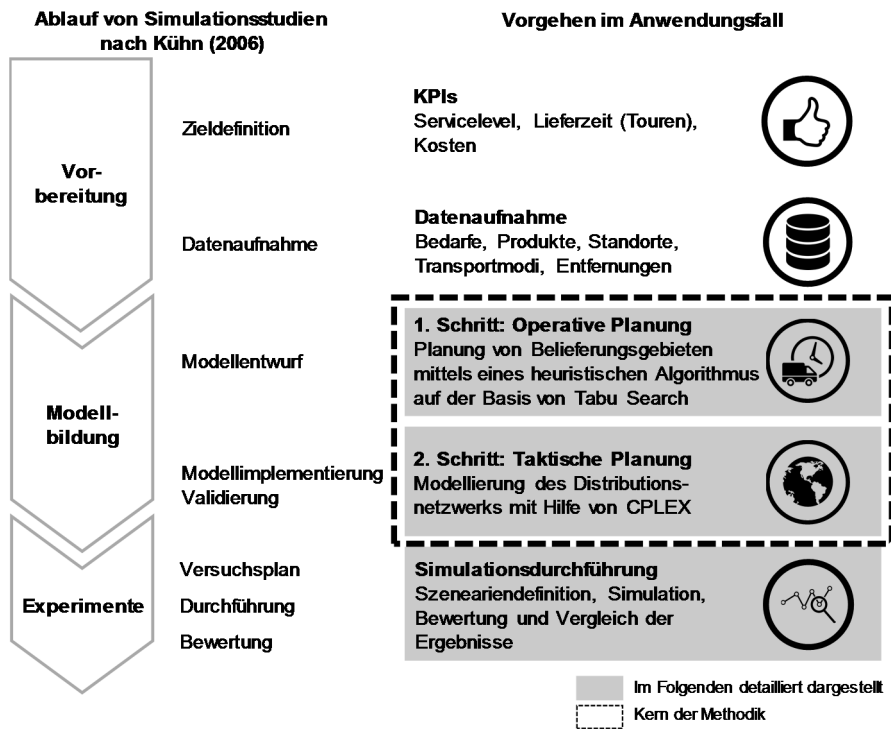


Abbildung 1: Zweistufiges Vorgehen für die integrierte Standortsuche

Zunächst wird anhand des definierten Umfangs des Simulationsmodells eine geeignete, integrierte Datenbasis geschaffen. Im Anwendungsfall werden zu diesem Zweck alle Kundenbestellungen im Zeitraum eines Jahres betrachtet.

Anschließend werden im Rahmen der Abstraktion der Problemstellung mit Hilfe eines selbstentwickelten Optimierungsprogramms Belieferungsgebiete (Schritt 1) festgelegt, welche die Transportrouten repräsentieren. In Schritt 2 erfolgt die Modellierung und anschließende Lösung der Distributionsaufgabe durch Simulation. Abschließend werden Simulationsstudien in Form von Standortvariation und Bedarfsänderungen durchgeführt, die bewertet und verglichen werden.

3.1 Schritt 1: Operative Planung

Die Ebene der operativen Planung ist nicht Bestandteil des Hub-Location Problem und kann daher mit gängigen Softwareprogrammen zur strategischen Distributionsplanung und Standortsuche abgebildet werden.

Die im Anwendungsfall sehr volatilen Kundenbedarfe erfordern jedoch eine integrierte Simulation. Dieser Forderung wird in einer neuartigen Methode der Tourenplanung nachgekommen, die mittels Tabu Search geeignete Belieferungsgebiete auf abstrahierter Ebene der Landkreise definiert (Jain 2001).

Tabu Search ist ein iteratives, metaheuristisches Verfahren auf Basis einer Local Search Heuristik, das Lösungen für komplexe Optimierungsprobleme sucht und lokale Optima mittels einer Tabuliste umgeht (Gendreau 2003). Die Einsatzmöglichkeit für Tabu Search im LRP ist groß: Während einige Ansätze sowohl die Location als auch die Routing Entscheidung mit Hilfe der Tabu Search lösen, fokussieren andere Ansätze darauf, eine Neuordnung der Kunden zu bestimmen.

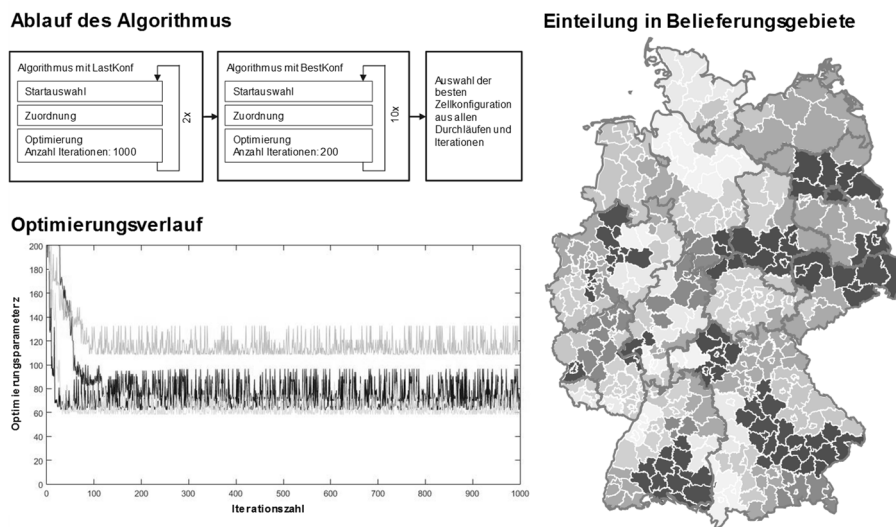


Abbildung 2: Vorgehen und Ergebnis der Metaheuristik zur Bestimmung von Belieferungsgebieten

Ziel der entwickelten Metaheuristik ist es, die Landkreise in geographisch zusammenhängende Belieferungsgebiete gleicher Belieferungsintensität einzuteilen. Für jeden Distributionspunkt wird hierzu zunächst eine dimensionslose Kundenbelieferungskennzahl (K-BKZ) bestimmt. Diese setzt sich aus der Anzahl der

Lieferungen und dem gelieferten Produktvolumen zusammen und repräsentiert damit die begrenzenden Faktoren Fahrzeit und Transportvolumen der Distributionstouren.

Die Distributionspunkte werden dem jeweiligen Landkreis zugeordnet, dessen Landkreisbelieferungskennzahl (L-BKZ) durch Summierung der K-BKZ gebildet wird. Die L-BKZ bildet zusammen mit den Geokoordinaten der Landkreismittelpunkte sowie einer Nachbarschaftsmatrix die Eingangsdaten der Metaheuristik.

Mithilfe der k-center-Methode wird nun eine zufällige Initiallösung generiert, in der die Landkreise zu einer Anzahl an zusammenhängenden, kompakten Clustern zusammengefasst und die Clustersummen der L-BKZ gebildet werden. Anschließend werden mittels Tabu-Search zufällig Kreise zwischen Clustern getauscht und die empirische Standardabweichung der Clustersummen der neuen Aufteilung kalkuliert. Durch wiederholtes Vorgehen erfolgt unter Berücksichtigung der Kompaktheit über mehrere Tausend Iterationen eine Einteilung in homogene Belieferungsgebiete. Im Anwendungsbeispiel wurden die 401 Landkreise und kreisfreien Städte Deutschlands in 62 Belieferungsgebiete aufgeteilt (vgl. Abb. 2) und erfolgreich mit dem Kunden validiert.

3.2 Schritt 2: Aufbau und Parametrisierung des Simulationsmodells

Im Rahmen der Modellierung werden die aufgenommenen Daten und die ermittelten Belieferungsgebiete in die Simulationsumgebung von IBM LogicNet Plus überführt, wie Abbildung 3 zeigt.

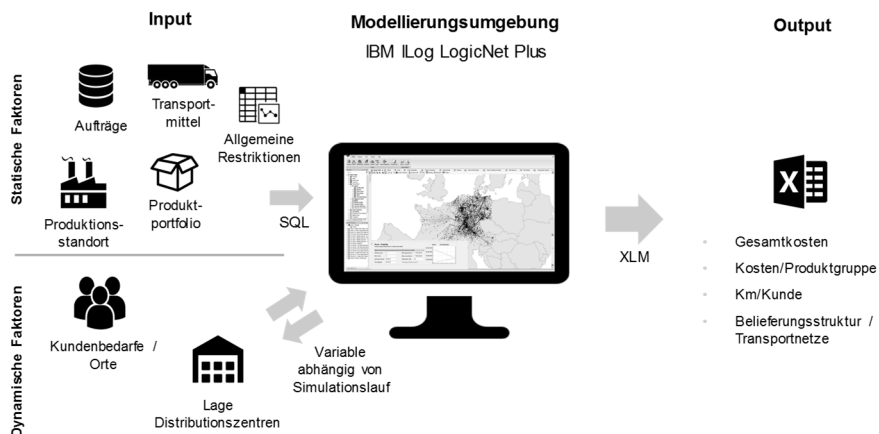


Abbildung 3: Vorgehen für Aufbau und Parametrisierung des Simulationsmodells

Bei der Modellierung des Transportnetzwerks ergibt sich aufgrund der Distribution in Touren die Herausforderung, dass in IBM LogicNet Plus Transporte nur als Direktverkehre modelliert werden können. Die Vereinfachung von Transportrouten zu Direktverkehren stellt jedoch eine unzureichende Näherung der Realität dar (Salhi und Rand 1993). Daher wird die Distributionsstruktur in der Form modelliert, dass die Verteilung innerhalb der Belieferungsgebiete von der Anfahrt zum Belieferungsgebiet getrennt wird. Für die Anfahrt in das Belieferungsgebiet erfolgt die

Bestimmung die realen Straßenkilometer über eine Integration der Google Maps API. Anschließend werden die Transportkosten pro Kunde und Belieferung innerhalb eines Belieferungsgebietes in Anlehnung an Daganzo (1984) ermittelt. Dabei wird die pro Kunde und Belieferung anfallende Fahrtstrecke unter Berücksichtigung der Größe des Belieferungsgebiets sowie der Anzahl der Stopps pro Tour bestimmt.

$$Distanz \text{ pro Kunde} = \sqrt{\frac{\text{Fläche}(\text{Beliieferungsgebiet})}{\emptyset \text{Anzahl Stopps pro Tour}}} \quad (1)$$

Zudem wird berücksichtigt, dass alle fünf Produktionsstandorte durch einen mit den Distributionstransporten verschränkten Werksverkehr täglich miteinander zu verbinden sind. Dies beinhaltet insbesondere die enge zeitliche Koordination der Ankunfts- und Abfahrtszeiten. Der Freiheitsgrad des Optimierungsmodells besteht in der Zuordnung der Belieferungsgebiete zu einem Distributionsstandort sowie der Auswahl des geeigneten Eintrittspunktes. Die Modellierung der beschriebenen Netzwerkstruktur wird abschließend im Anwendungsbeispiel validiert. Dazu wurden die Gesamtkosten des Netzwerks mit den Ist-Kosten abgeglichen. Dabei wurde im ersten Schritt eine Abweichung von nur 3,4 % zum Ist-Zustand gemessen. Nach anschließender Kalibrierung des Modells konnte diese Abweichung auf 0,1 % reduziert werden.

3.3 Durchführung der Simulationsstudie

Im Rahmen der Durchführung der Simulationsexperimente wird wie in Abb. 4 dargestellt vorgegangen:

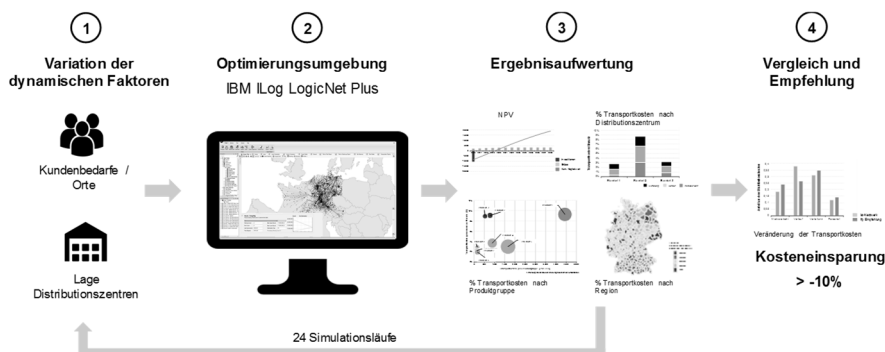


Abbildung 4: Vorgehen in der Durchführung der Simulationsstudie

Mögliche Distributionsstandorte werden anhand logistischer, wirtschaftlicher und unternehmensspezifischer Kriterien festgelegt. Anhand dieser Kriterien entsteht ein Versuchsplan, der 12 mögliche Standorte umfasst. Anschließend werden die Transportrelationen zwischen Produktions- und Distributionsstandorten, sowie zwischen Distributionsstandorten und Kunden abgebildet und die dazugehörigen Transportkosten parametrisiert. Die Parametrisierung der Kosten umfasst Standort-, Lohn- und Transportkosten. Für die Standort- und Lohnkosten werden regionale Kostenunterschiede gemäß der amtlichen Statistik sowie Erfahrungswissen von ifp

consulting berücksichtigt. Die Transportkosten werden distanzabhängig auf Basis unternehmensinterner Daten bestimmt. Anschließend werden Simulationsversuche in Form von Änderungen der Distributionsstandorte sowie der Kundenbedarfe auf ein Zukunftsszenario durchgeführt. Zur simulativen Optimierung wird das entwickelte Modell in ein mathematisches Gleichungssystem überführt und mit Hilfe von CPLEX gelöst. Die Ergebnisse der simulativen Optimierung der einzelnen Szenarien umfassen Transportkosten für den Optimierungszeitraum sowie die notwendigen Standortkapazitäten. Anhand der Verteilung der Transportkosten zwischen Werksverkehren, Verteiltouren und Anfahrten in die Belieferungsgebiete sowie der resultierenden Standortkosten für Aufbau und Betrieb der jeweiligen Standortalternative werden die Szenarien bewertet und verglichen. Die Gesamtkosten in Form von Standort- und Transportkosten bilden anschließend die quantitative Grundlage für die Handlungsempfehlung zur Standortwahl für das neue Distributionszentrum.

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

In diesem Beitrag wird eine Methodik beschrieben, welche volatile Distributionssysteme unter Einbezug der verbindenden Werksverkehre zwischen den Produktionswerken simuliert und optimiert. Hierzu wurde ein zweistufiges Vorgehen entwickelt, welches im ersten Schritt zunächst eine geeignete Abstraktion der volatilen Belieferung mittels Tabu Search vornimmt. Im zweiten Schritt erfolgt, basierend auf der zuvor abstrahierten Distributionsaufgabe und mit Hilfe des Softwareprogramms IBM ILOG LogicNet Plus, die Simulation des Distributionsystems mit dem Ziel, eine kostenoptimale Standortkonfiguration zu ermitteln.

Durch die entwickelte Methodik können im Anwendungsbeispiel die Gesamtkosten, insbesondere die Transport- und Lagerkosten, für den Ist-Zustand im ersten Versuch auf kleiner 0,1 % Abweichung bestimmt und somit das Simulationsmodell und die Abstraktion mittels Tabu Search validiert werden. Ferner konnte durch die Simulation eine umfangreiche Kostentransparenz auf Kunden- und Produktebene erzielt werden.

In der Simulationsstudie wird ein Potential von Gesamtkosten größer 10 % ermittelt werden. Dabei werden zwei neue Distributionsstandorte identifiziert, welche sich an bereits bestehende Produktionsstandorte anschließen, sodass auch der Werksverkehr wie gefordert im Nachsprung abgebildet werden kann. Das Vorgehen führt zu sehr guten und genauen Ergebnissen bei hoher Kundenakzeptanz. Die Kosten zur Durchführung der simulativen Optimierung werden durch die ermittelten Einsparungen in zwei Wochen amortisiert. Zukünftig kann die Methodik um weitere geografische Regionen mit ihren jeweiligen administrativen Gebietsaufteilungen erweitert werden.

Literatur

- Arnaout, G.; Rodriguez-Velasquez, E.; Rabadi, G.; Musa, R.: Modeling cross-docking operations using discrete event simulation. In: Barjis, J.; Narasipuram, M. M.; Rabadi, G.; Ralyté, J.; Plebani, P. (Hrsg.): Proceedings of the 6th International Workshop on Enterprise & Organizational Modeling and Simulation (EOMAS), Hammamet (Tunesien), 2010, S. 113-120.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer 2008.

- Bruns, A. D.: Zweistufige Standortplanung unter Berücksichtigung von Tourenplanungsaspekten: primale Heuristiken und lokale Suchverfahren. Dissertation Universität St. Gallen, Institut für Operations Research und Computational Finance, Difo-Druck GmbH: Bamberg 1998.
- Campbell, J. F.; O'Kelly, M. E.: Twenty-five years of hub location research. *Transportation Science* 46 (2012) 2, S. 153-169.
- Cooper, K.; Wikum, E.; Tew, J.: Evaluating cost-to-serve for a retail supply chain. In: Tolk, A.; Yilmaz, L.; Diallo, S. Y.; Ryzhov, I. O.; Buckley, S.; Miller, J. A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference (WSC)*, Savannah (USA), 2014, S. 1955-1964.
- Daganzo, C. F.: The length of tours in zones of different shapes. *Transportation Research Part B: Methodological* 18 (1984) 2, S. 135-145.
- Escobar, J. W.; Linfati, R.; Toth, P.: A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem. *Computers and Operations Research* 40 (2013) 1, S. 70-79.
- Farahani, R. Z.; Hekmatfar, M.; Arabani, A. B.; Nikbakhsh, E.: Hub location problems: A review of models, classification, solution techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering* 64 (2013) 4, S. 1096-1109.
- Galbreth, M. R.; Hill, J. A.; Handley, S.: An investigation of the value of cross-docking for supply chain management. *Journal of Business Logistics* 29 (2008) 1, S. 225-239.
- Gendreau, M.: An introduction to tabu search. In: Glover, F.; Kochenberger, G. A. (Hrsg.): *Handbook of metaheuristics*. New York: Springer 2003, S. 37-54.
- Hemmelmayr, V. C.; Cordeau, J. F.; Crainic, T. G.: An adaptive large neighborhood search heuristic for two-echelon vehicle routing problems arising in city logistics. *Computers & operations research* 39 (2012) 12, S. 3215-3228.
- Jain, S.; Workman, R. W.; Collins, L. M.; Ervin, E. C.; Lathrop, A. P.: Development of a high-level supply chain simulation model. In: Peters, B. A.; Smith, J. S.; Medeiros, D. J.; Rohrer, M. W. (Hrsg.): *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference (WSC)*, Arlington (USA), 09.-12. Dezember 2001, IEEE Computer Society, S. 1129-1137.
- Kühn, W.: *Digitale Fabrik: Fabriksimulation für Produktionsplaner*. München: Hanser 2006.
- Nagy, G.; Salhi, S.: Location-routing: Issues, models and methods. *European Journal of Operational Research* 177 (2007) 2, S. 649-672.
- Prins, C.; Prodhon, C.; Ruiz, A.; Soriano, P.; Wolfler-Calvo, R.: Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative Lagrangean relaxation-granular tabu search heuristic. *Transportation Science* 41 (2007) 4, S. 470-483.
- Prodhon, C.; Prins, C.: A survey of recent research on location-routing problems. *European Journal of Operational Research* 238 (2014) 1, S. 1-17.
- Salhi, S.; Rand, G. K.: Incorporating vehicle routing into the vehicle fleet composition problem. *European Journal of Operational Research* 66 (1993) 3, S. 313-330.
- Ting, C.-J.; Chen, C.-H.: A multiple ant colony optimization algorithm for the capacitated location routing problem. *International Journal of Production Economics* 141 (2013) 1, S. 34-44.
- Vincent, F. Y.; Lin, S. W.; Lee, W.; Ting, C.-J.: A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem. *Computers & Industrial Engineering* 58 (2010) 2, S. 288-299.