

Literaturverzeichnis

Vorbemerkungen:

- Alle Quellen werden im Literaturverzeichnis wie folgt aufgeführt: In der ersten Zeile wird der *Referenztitel* der Quelle angegeben. Er entspricht der Form, die im Text Verwendung findet, wenn auf die Quellen hingewiesen wird.
- Bei der Vergabe der Referenztitel wird bei *einem* Autor dessen Nachname, gefolgt von dem Erscheinungsjahr der Quelle in Klammern, verwendet. Existieren *zwei* oder *drei* Autoren, werden diese getrennt von einem Schrägstrich („/“) aufgeführt. Bei mindestens *vier* Autoren werden nur die ersten drei Autoren mit dem Zusatz „et al.“ aufgeführt.
- Zu Internetquellen wird die dafür verantwortliche Instanz aufgeführt. Dies können sowohl natürliche als auch juristische Personen sein. Zu den Internetquellen werden die zum Zugriffsdatum gültige Internetadresse (URL) und das Zugriffsdatum angegeben.

AASTRUP/HALLDÓRSSON (2008)

AASTRUP, J.; HALLDÓRSSON, Á.: Epistemological role of case studies in logistics – A critical realist perspective. In: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 38 (2008), No. 10, S. 746-763.

AKCA (2008)

AKCA, N.: Auktionen zur nationalen Reallokation von Treibhausgas-Emissions-rechten und Treibhausgas-Emissionsgutschriften auf Unternehmensebene – Ein spieltheoretischer nicht-kooperativer Modellierungs- und Lösungsansatz für das Reallokationsproblem. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Duisburg-Essen, Campus Essen. Gabler-Verlag: Wiesbaden 2008.

AKCA/BRUNS/FROMEN et al. (2012)

AKCA, N.; BRUNS, A.S.; FROMEN, B.; ZELEWSKI, S. (Hrsg.): Case-Study-Guide – Grundlagen – Anschauungsbeispiele – Hinweise für Seminararbeiten. Logos-Verlag: Berlin 2012.

ALICKE (1999)

ALICKE, K.: Modellierung und Optimierung von mehrstufigen Umschlagssystemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe (TH): Karlsruhe 1999.

A. S. Kuhlmann, *Konstruktion und Implementierung eines Optimierungsmodells für den Kombinierten Güterverkehr*, Information – Organisation – Produktion, DOI 10.1007/978-3-658-02473-4, © Springer Fachmedien Wiesbaden 2013

ALICKE (2002)

ALICKE, K.: Modeling and optimization of the intermodal terminal *Mega Hub*. In: OR Spectrum, Vol. 24 (2002), S. 1-17.

ÁLVAREZ (2006)

ÁLVAREZ, J. F.: A heuristic for vessel planning in a reach stacker terminal. In: Journal of Maritime Research, Vol. III (2006), No. 1, S. 3-16.

AMBROSINO/SCIOMACHEN/TANFANI (2006)

AMBROSINO, D.; SCIOMACHEN, A.; TANFANI, E.: A decomposition heuristics for the container ship stowage problem. In: Journal of Heuristics, Vol. 12 (2006), S. 211-233.

ASL/SADEGHI/MAKHMALBAF (2011)

ASL, V. M.; SADEGHI, S. A.; MAKHMALBAF, MR. O.: A stochastic hybrid algorithm for multi-depot and multi-product routing problem with heterogenous vehicles. In: Journal of American Science, Vol. 7 (2011), No. 9, S. 1006-1015.

AVRIEL/PENN/SHPIRER et al. (1998)

AVRIEL, M.; PENN, M.; SHPIRER, N.; WITTEBOON, S.: Stowage planning for container ships to reduce the number of shifts. In: Annals of Operations Research, Vol. 76 (1998), S. 55-71.

AZI/GENDREAU/POTVIN (2010)

AZI, N.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y.: An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. In: European Journal of Operational Research, Vol. 202 (2010), No. 3, S. 756-763.

BAIRD (2006)

BAIRD, A. J.: Optimising the container transshipment hub location in northern Europe. In: Journal of Transport Geography, Vol. 14 (2006), S. 195-214.

BALDACCI/MINGOZZI (2009)

BALDACCI, R.; MINGOZZI, A.: A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems. In: Mathematical Programming, Vol. 120 (2009), No. 2, S. 347-380.

BALDACCI/TOTH/VIGO (2010)

BALDACCI, R.; TOTH, P.; VIGO, D.: Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. In: OR Spectrum, Vol. 175 (2010), No. 1, S. 213-245.

BALLIS/GOLIAS (2002)

BALLIS, A.; GOLIAS, J.: Comparative evaluation of existing and innovative rail–road freight transport terminals. In: *Transportation Research Part A*, Vol. 36 (2002), S. 593-611.

BARTH (2002)

BARTH, H.-J.: *Klima: Eine Einführung in die Dynamik der Atmosphäre*. University Press: Paderborn 2002.

BECKMANN (2007)

BECKMANN, K.: *Logistik*. Merkur-Verlag Rinteln: Rinteln 2007.

BENKER (2003)

BENKER, H.: *Mathematische Optimierung mit Computeralgebrasystemen*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2003.

BIANCHESSI/RIGHINI (2007)

BIANCHESSI, N.; RIGHINI, G.: Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery. In: *Computer & Operations Research*, Vol. 34 (2007), No. 2, S. 578-594.

BISH/CHEN/LEONG et al. (2005)

BISH, E. K.; CHEN, F. Y.; LEONG, Y. T.; NELSON, B. L.; CHEONG NG, J. W.; SIMCHI-LEVI, D.: Dispatching vehicles in a mega container terminal. In: *OR Spectrum*, Vol. 27 (2005), S. 491-506.

BOCK (2004)

BOCK, S.: *Echtzeitfähige Steuerung von Speditionsnetzwerken – Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien zur effizienten Durchführung von Transporten*. Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Paderborn. Gabler-Verlag: Wiesbaden 2004.

BORGWARDT (2001)

BORGWARDT, K. H.: *Optimierung – Operations – Research Spieltheorie – Mathematische Grundlagen*. Birkhäuser-Verlag: Basel, Boston, Berlin 2001.

BOSTEL/DEJAX (1998)

BOSTEL, N.; DEJAX, P.: Models and Algorithms for Container Allocation Problems on Trains in a Rapid Transshipment Shunting Yard. In: *Transportation Science*, Vol. 32 (1998), No. 4, S. 370-379.

BOYSEN (2008)

BOYSEN, N.: Über die Synchronisierung von Güterströmen in der Umschlagslogistik. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Vol. 78 (2008), H. 12, S. 1285-1315.

BRAUN (2007)

BRAUN, S.: Die Prozesskostenrechnung – Ein fortschrittliches Kostenrechnungssystem? 4. Auflage, Verlag Wissenschaft & Praxis: Sternenfels 2007.

BRISKORN/DREXL/HARTMANN (2007)

BRISKORN, D.; DREXL, A.; HARTMANN, S.: Inventory-based dispatching of automated guided vehicles on container terminals. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): *Container Terminals and Cargo Systems*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 195-214.

BRONSTEIN/SEMENDJAJEW/MUSIOL et al. (2008)

BRONSTEIN, I. N.; SEMENDJAJEW, K. A.; MUSIOL, G.; MÜHLIG, H.: *Taschenbuch der Mathematik*. 7. Auflage. Verlag Harri Deutsch: Frankfurt am Main 2008.

BRUNS (2011 a)

BRUNS, A. S.: Förderung Kombiniertes Verkehre zur Reduzierung von CO₂-Emissionen. In: ZELEWSKI, S.; JENE, S. (Hrsg.): *Kooperationen zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen: Grundlagen – Konzepte – Praxisanwendungen*. Band 1. Logos-Verlag: Berlin 2011, S. 587-626.

BRUNS (2011 b)

BRUNS, A. S.: Modeling and Optimization of Transshipment and Waiting Times at Hubs. In: BLECKER, T.; JAHN, C.; KERSTEN, W. (Hrsg.): *Maritime Logistics in the Global Economy – Current Trends and Approaches*. Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 2011, 08.-09.09.2009 an der TU Hamburg-Harburg. Eul-Verlag: Lohmar, Köln 2011, S. 283-297.

BRUNS/ZELEWSKI (2012)

BRUNS, A. S.; ZELEWSKI, S.: Development and implementation of an optimization model to minimize the transshipment duration of goods at a hub. In: GRUBBSTROM, R. W.; HINTERHUBER, H. H. (Hrsg.): Proceedings of the Seventeenth International Working Seminar on Production Economics. 20.-24.02.2012 in Innsbruck. Eigenverlag: Innsbruck 2012, S. 127-138.

BUER/PANKRATZ (2010)

BUER, T.; PANKRATZ, G.: Solving a bi-objective winner determination problem in a transportation procurement auction. In: Logistics Research, Vol. 2 (2010), S. 65-78.

BUKOLD (1996)

BUKOLD, S.: Kombiniertes Verkehr Schiene/Straße in Europa: Eine vergleichende Studie zur Transformation von Gütertransportsystemen. Europäischer Verlag der Wissenschaften Peter Lang: Frankfurt am Main 1996.

BULLNHEIMER/HARTL/STRAUSS (1997)

BULLNHEIMER, B.; HARTL, R. F.; STRAUSS, S.: Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem. In: O.V.: 2nd International Conference on Metaheuristics – MIC97, 21.-24.07. 1997 in Sophia-Antipolis. Department of Management Science, University of Vienna: Wien 1997, o.S.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2013 a)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: Weltklimagipfel im südafrikanischen Durban. Im Internet unter der URL: „<http://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/internationale-klimapolitik/un-klima-konferenzen/un-klimakonferenz-in-durban-cop-17/>“, letzter Zugriff am 21.02. 2013.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2013 b)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT: UN-Klimakonferenz (COP17/CMP18) in Doha, Katar vom 26. November bis 7. Dezember 2012. Im Internet unter der URL: „<http://www.bmu.de/detailansicht/artikel/un-klimakonferenz-cop18-cmp18-in-doha-katar-vom-26-november-bis-7-dezember-2012/>“, letzter Zugriff am 21.02. 2013.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2001)

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN: Bericht des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen zum Kombinierten Verkehr: Berlin 2001.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2009)

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN: Richtlinie (Verwaltungsvorschrift) zur Förderung von Umschlagsanlagen des Kombinierten Verkehrs: Berlin 2009.

BURKHARDT (1988)

BURKHARDT, M.: Volkswirtschaftliche Wirkungen des Kombinierten Verkehrs Straße/ Schiene. Dokumentation der Ergebnisse des Forschungsprojekts Kombiniertes Verkehr, FKV-Schriftenreihe, Band 2. Verlag für Publikationen im Kombinierten Verkehr: Neu-Isenburg 1988.

CAMPBELL (1994)

CAMPBELL, J. F.: Integer programming formulations of discrete hub location problems. In: European Journal of Operations Research, Vol. 72 (1994), S. 387-405.

CARLSSON/GE/SUBRAMANIAM et al. (2009)

CARLSSON, J.; GE, D.; SUBRAMANIAM, A.; YE, Y.: Solving Min-Max Multi-Depot Vehicle Routing Problem. In: PARDALOS, P. M.; COLEMAN, T. F. (Hrsg.): Lectures on Global Optimization. Fields Institute Communications, Vol. 55 (2009), S. 31-47.

CHANDRAN/RAGHAVAN (2008)

CHANDRAN, B.; RAGHAVAN, S.: Modeling and Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem on Trees. In: GOLDEN, B.; RAGHAVAN, S.; WASIL, E. (Hrsg.): The Vehicle Routing Problem – Latest Advances and New Challenges. Springer Science + Business Media: New York 2008, S. 239-261.

CHEN/FU/LIM (2004)

CHEN, P.; FU, C.; LIM, A.: Port Yard Storage Optimization. In: IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 1 (2004), No. 1, S. 26-37.

CHEN/WU (2006)

CHEN, J.-F.; WU, T.-H.: Vehicle routing problem with simultaneous deliveries and pickups. In: Journal of the Operational Research Society, Vol. 57 (2006), No. 5, S. 579-587.

COLLETTE/SIARRY (2003)

COLLETTE, Y.; SIARRY, P.: Multiobjective Optimization – Principles and Case Studies. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2003.

COOPER/KAPLAN (1991)

COOPER, R.; KAPLAN, R. S.: The Design of Cost Management Systems. Prentice-Hall-Verlag: New Jersey 1991.

CORDEAU/GENDREAU/LAPORTE (1997)

CORDEAU, J. F.; GENDREAU, M.; LAPORTE, G.: A Tabu Search Heuristic for Periodic and Multi-Depot Vehicle Routing Problems. In: Networks: An International Journal, Vol. 30 (1997), No. 2, S. 105-120.

CORDEAU/LAPORTE/LEGATO et al. (2005)

CORDEAU, J.-F.; LAPORTE, G.; LEGATO, P.; MOCCIA, L.: Models and Tabu Search Heuristics for the Berth Allocation Problem. In: Transportation Science, Vol. 39 (2005), No. 4, S. 526-538.

CORSTEN, HA./CORSTEN, HI./SARTOR (2005)

CORSTEN, HA.; CORSTEN, HI.; SARTOR, C.: Operations Research – Eine problemorientierte Einführung. Verlag Frank Vahlen: München 2005.

DAGANZO (1989)

DAGANZO, C. F.: The crane scheduling problem. In: Transportation Research B, Vol. 23 B (1989), No. 3, S. 159-175.

DEKKER/VOOGD/VAN ASPEREN (2006)

DEKKER, R.; VOOGD, P.; VAN ASPEREN, E.: Advanced methods for container stacking. In: OR Spectrum, Vol. 28 (2006), S. 563-586.

DEMPE/SCHREIER (2006)

DEMPE, S.; SCHREIER, H.: Operations Research – Deterministische Modelle und Methoden. Teubner-Verlag: Wiesbaden 2006.

DERIGS/DÖHMER (2008)

DERIGS, U.; DÖHMER, T.: Indirect search for the vehicle routing problem with pickup and delivery and time windows. In: OR Spectrum, Vol. 30 (2008), No. 1, S. 149-165.

DINKELBACH (1969)

DINKELBACH, W.: Sensitivitätsanalyse und parametrische Programmierung. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 1969.

DOMSCHKE/DREXL (2011)

DOMSCHKE, W.; DREXL, A.: Einführung in Operations Research. 8. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2011.

DUBROVSKY/LEVITIN/PENN (2002)

DUBROVSKY, O.; LEVITIN, G.; PENN, M.: A Genetic Algorithm with a Compact Solution Encoding for the Container Ship Stowage Problem. In: Journal of Heuristics, Vol. 8 (2002), S. 585-599.

DUFF (2008)

DUFF, P. A.: Case Study Research in Applied Linguistics. Lawrence Erlbaum Associates: New York 2008.

DUINKERKEN/DEKKER/KURSTJENS et al. (2007)

DUINKERKEN, M. B.; DEKKER, R.; KURSTJENS, S. T. G. L.; OTTJES, J. A.; DELLAERT, N. P.: Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the Maasvlakte container terminals. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 37-61.

DUISBURG INTERMODAL TERMINAL (2012)

DUISBURG INTERMODAL TERMINAL: Homepage des Duisburg Intermodal Terminals. Im Internet unter der URL: „<http://www.dit-du.de/>“, letzter Zugriff am 02.01.2013.

DUL/HAK (2008)

DUL, J.; HAK, T.: Case Study Methodology in Business Research. Elsevier Ltd.: London 2008.

EHRMANN (2012)

EHRMANN, H.: Logistik. 7. Auflage, NWB-Verlag: Herne 2012.

EICKEMEIER (1997)

EICKEMEIER, S.: Kombiniertes Ladungsverkehr: Produktionsorientierte Strategiekonzepte für die Deutsche Bahn AG. Europäischer Verlag der Wissenschaften Peter Lang: Frankfurt am Main 1997.

EISENBAHN-BUNDESAMT (2009)

EISENBAHN-BUNDESAMT: Verlagerungen von Verkehren auf die Schiene. Gleisanschlussförderung in Deutschland – Direkter Zugang zum Schienennetz. Vortrag im Rahmen des Workshops MAEKAS – Auf der Schiene zum Erfolg: Essen 2009.

ELLET (2008)

ELLET, W.: Das Fallstudien-Handbuch der Harvard Business School Press. Haupt-Verlag: Bern, Stuttgart, Wien 2008.

ELLINGER/BEUERMANN/LEISTEN (2003)

ELLINGER, T.; BEUERMANN, G.; LEISTEN, R.: Operations Research – Eine Einführung. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2003.

EUROPA – ZUSAMMENFASSUNGEN DER EU-GESETZGEBUNG (2012)

EUROPA – ZUSAMMENFASSUNGEN DER EU-GESETZGEBUNG: Das Programm Marco Polo II. Im Internet unter der URL: „http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/124465_de.htm“, letzter Zugriff am 02.01.2013.

EUROPÄISCHES PARLAMENT (2006)

EUROPÄISCHES PARLAMENT: Verordnung (EG) Nr. 1692/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 2006 zur Aufstellung des zweiten „Marco Polo“-Programms über die Gewährung von Finanzhilfen der Gemeinschaft zur Verbesserung der Umweltfreundlichkeit des Güterverkehrssystems („Marco Polo II“) und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1382/2003. Im Internet unter der URL: „http://www.marcopolo-programm.de/pdf/VO_1692_2006-v_06_10_24-MarcoPolo_II.pdf“, letzter Zugriff am 02.01.2013.

EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT (1998)

EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORT (ECMT): Report on the current state of combined transport in Europe. OECD-Publications: Paris 1998.

FANDEL/FEY/HEUFT et al. (2009)

FANDEL, G.; FEY, A.; HEUFT, B.; PITZ, T.: Kostenrechnung. 3. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2009.

FENG/HUANG (2003)

FENG, C.-M.; HUANG, H.-H.: Modelling the intermodal logistics between intercity rail and city truck. In: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5 (2003), S. 2313-2326.

FERREIRA/SIGUT (1995)

FERREIRA, L.; SIGUT, J.: Modelling intermodal freight terminal operations. In: Road and Transport Research Journal, Vol. 4 (1995), S. 1-18.

FORST/HOFFMANN (2012)

FORST, W.; HOFFMANN, D.: Funktionstheorie erkunden mit MAPLE®. 2. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MATERIALFLUSS UND LOGISTIK (2007)

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MATERIALFLUSS UND LOGISTIK: Schlussbericht für den Zeitraum: 01.03.2004 bis 31.10.2006. Forschungsthema: Entwicklung von regional orientierten Gütertransportkonzepten unter Ausnutzung der Möglichkeiten des Kombinierten Verkehrs.

FRIEDL (2010)

FRIEDL, B.: Kostenrechnung – Grundlagen, Teilrechnungen und Systeme der Kostenrechnung. Oldenbourg-Verlag: München 2010.

FROYLAND/KOCH/MEGOW et al. (2008)

FROYLAND, G.; KOCH, T.; MEGOW, N.; DUANE, E.; WREN, H.: Optimizing the landside operation of a container terminal. In: OR Spectrum, Vol. 30 (2008), S. 53-75.

GAL (1973)

GAL, T.: Betriebliche Entscheidungsprobleme, Sensitivitätsanalyse und Parametrische Programmierung. Walter de Gruyter Verlag: Berlin, New York 1973.

GAN/WANG/LI et al. (2012)

GAN, X.; WANG, Y.; LI, S.; NIU, B.: Vehicle Routing Problem with Time Windows and simultaneous Delivery and Pick-Up Service Based on MCPSO. In: Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2012, S. 1-11.

GAIDZIG (1999)

GAIDZIG, M.: Probleme und Perspektiven des nationalen Kombinierten Verkehrs. In: SCHRIFTENREIHE DER DEUTSCHEN VERKEHRSWISSENSCHAFTLICHEN GESELLSCHAFT E.V. (Hrsg.): Die Zukunft des Kombinierten Verkehrs – was ist zu tun? Reihe B 223 Seminar, Kurs IV/99: Hannover 1999, S. 15-30.

GAMBARDELLA/RIZZOLI/ZAFFALON (1998)

GAMBARDELLA, L. M.; RIZZOLI, A. E.; ZAFFALON, M.: Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal. In: Simulation, Vol. 71 (1998), No. 2, S. 107-116.

GERRING (2007)

GERRING, J.: Case Study Research – Principles and Practices. Cambridge University Press: Cambridge 2007.

GILAT (2011)

GILAT, A.: MATLAB® - An Introduction with Applications. 4. Auflage, Verlag John Wiley & Sons, Inc.: New York 2011.

GOHOUT (2009)

GOHOUT, W.: Operations Research – Einige ausgewählte Gebiete der linearen und nichtlinearen Optimierung. 4. Auflage. Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2009.

GOODCHILD (2007)

GOODCHILD, A.: Crane double cycling in container ports: planning methods and evaluation. In: Transportation Research B, Vol. 41 B (2007), No. 8, S. 875-891.

GÖPFERT/NEHSE (1990)

GÖPFERT, A.; NEHSE, R.: Vektoroptimierung – Theorie, Verfahren und Anwendungen. Teubner-Verlagsgesellschaft: Leipzig 1990.

GÖTZE (2010)

GÖTZE, U.: Kostenrechnung und Kostenmanagement. 5. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2010.

GRUNOW/GÜNTHER/LEHMANN (2007)

GRUNOW, M.; GÜNTHER, H.-O.; LEHMANN, M.: Strategies for dispatching AGVs at automated seaport container terminals. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 155-178.

GUAN/CHEUNG (2004)

GUAN, Y.; CHEUNG, R. K.: The berth allocation problem: models and solution methods. In: OR Spectrum, Vol. 26 (2004), S. 75-92.

GUDDAT (1979)

GUDDAT, J.: Parametrische Optimierung und Vektoroptimierung. In: LOMMATZSCH, K. (Hrsg.): Anwendungen der linearen parametrischen Optimierung. Birkhäuser-Verlag: Basel, Stuttgart 1979, S. 54-75.

GÜNTHER/HEPTNER (2007)

GÜNTHER, W.A.; HEPTNER, K.: Technische Innovationen für die Logistik. HUSS-Verlag: München 2007.

HAN/LEE/CHEW et al. (2008)

HAN, Y.; LEE, L. H.; CHEW, E. P.; TAN, K. C.: A yard storage strategy for minimizing traffic congestion in a maritime container transshipment hub. In: OR Spectrum, Vol. 30 (2008), S. 697-720.

HARTMANN (2004)

HARTMANN, S.: A general framework for scheduling equipment and manpower at container terminals. In: OR Spectrum, Vol. 26 (2004), S. 51-74.

HILLIER/LIEBERMAN (2002)

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.: Operations Research. Einführung. 5. Auflage. Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2002.

HORVÁTH & PARTNER GMBH (1998)

HORVÁTH & PARTNER GMBH: Prozeßkostenmanagement – Methodik und Anwendungsfelder. 2. Auflage, Verlag Franz Vahlen: München 1998.

IMAI/NISHIMURA/PAPADIMITRIOU (2001)

IMAI, A.; NISHIMURA, E.; PAPADIMITRIOU, S.: The dynamic berth allocation problem for container port. In: *Transportation Research Part B*, Vol. 35 (2001), S. 401-417.

IRNICH (2000)

IRNICH, S.: A multi-depot pickup and delivery problem with a single hub and heterogeneous vehicles. In: *European Journal of Operational Research*, Vol. 122 (2000), No. 1, S. 310-328.

JAHN (2004)

JAHN, J.: *Vector Optimization – Theory, Applications, and Extensions*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2004.

JEHLE (1980)

JEHLE, C.-U.: *Kombinierter Verkehr: Erster Teil: Organisatorisch-Technische Entwicklung*. Verlag Duncker & Humblot: Berlin 1980.

JENKINS (1982)

JENKINS, L.: Parametric mixed integer programming: An application to solid waste management. In: *Management Science*, Vol. 28 (1982), No. 11, S. 1270-1284.

JOOS-SACHSE (2006)

JOOS-SACHSE, T.: *Controlling, Kostenrechnung und Kostenmanagement – Grundlagen, Instrumente, Neue Ansätze*. 4. Auflage, Gabler-Verlag: Wiesbaden 2006.

KALLRATH (2013)

KALLRATH, J.: *Gemischt-ganzzahlige Optimierung: Modellierung in der Praxis*. 2. Auflage, Vieweg-Verlag: Braunschweig, Wiesbaden 2013.

KAPLAN/COOPER (1999)

KAPLAN, R.S.; COOPER, R.: *Prozesskostenrechnung als Managementinstrument*. Campus-Verlag GmbH: Frankfurt am Main 1999.

KAUFMANN (1998)

KAUFMANN, S.: *Mathematica – kurz und bündig*. Birkhäuser-Verlag: Basel 1998.

KAUSMANN/LOMMATZSCH/NOŽIČKA (1976)

KAUSMANN, U.; LOMMATZSCH, K.; NOŽIČKA, F.: Lineare parametrische Optimierung. Akademie-Verlag: Berlin 1976.

KILIAN (2010)

KILIAN, A.: Programmieren mit Wolfram Mathematica®. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2010.

KILLE/SCHMIDT (2008)

KILLE, C.; SCHMIDT, N.: Wirtschaftliche Rahmenbedingungen des Güterverkehrs. Studie zum Vergleich der Verkehrsträger im Rahmen des Logistikprozesses in Deutschland. Fraunhofer IRB Verlag: Nürnberg 2008.

KIM (1997)

KIM, K. H.: Evaluation of the number of rehandles in container yards. In: Computers & Industrial Engineering, Vol. 32 (1997), No. 4, S. 701-711.

KIM/JEON/RYU (2007)

KIM, K. H.; JEON, S. M.; RYU, K. R.: Deadlock prevention for automated guided vehicles in automated container terminals. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 243-263.

KIM, K. H./KIM, H. B. (1999)

KIM, K. H.; KIM, H. B.: Segregating space allocation models for container inventories in port container terminals. In: International Journal of Production Economics, Vol. 59 (1999), S. 415-423.

KIM, K. H./KIM, H. B. (2002)

KIM, K. H.; KIM, H. B.: The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. In: Transportation Research B, Vol. 36 B (2002), S. 821-835.

KIM, K. H./KIM, K. Y. (1999)

KIM, K. H.; KIM, K. Y.: An Optimal Routing Algorithm for a Transfer Crane in Port Container Terminals. In: Transportation Science, Vol. 33 (1999), No. 1, S. 17-33.

KISTNER (2003)

KISTNER, K.-P.: Optimierungsmethoden – Einführung in die Unternehmensforschung für Wirtschaftswissenschaftler. 3. Auflage, Physica-Verlag: Heidelberg 2003.

KLEIN/SCHTEITER (1988)

KLEIN, H. L.; SCHEITER, S.: Die Marktchancen des Kombinierten Verkehrs. Dokumentation der Ergebnisse des Forschungsprojekts Kombiniertes Verkehr, FKV-Schriftenreihe, Band 1. Verlag für Publikationen im Kombinierten Verkehr: Neu-Isenburg 1988.

KOCH (1997)

KOCH, J.: Die Entwicklung des Kombinierten Verkehrs. Gabler-Verlag: Wiesbaden 1997.

KOMBIVERKEHR (2012 a)

Kombiverkehr: Varianten des KV. Im Internet unter der URL: „http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Wissen/Kombinierter_Verkehr/Varianten_des_KV/“, letzter Zugriff am 31.12.2012.

KOMBIVERKEHR (2012 b)

KOMBIVERKEHR: Vorteile. Im Internet unter der URL: „http://www.kombiverkehr.de/web/Deutsch/Startseite/Wissen/Kombinierter_Verkehr/Vorteile/“, letzter Zugriff am 31.12.2012, o. S. (S. 1-2 gemäß eigener Paginierung).

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2001)

KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN: Weissbuch: Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft. Brüssel 2001, S. 1-146.

KOOP/MOOCK (2008)

KOOP, A.; MOOCK, H.: Lineare Optimierung – eine anwendungsorientierte Einführung in Operations Research. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2008.

KOZAN/PRESTON (1999)

KOZAN, E.; PRESTON, P.: Genetic algorithm to schedule container transfers at multimodal terminals. In: International Transactions in Operational Research, Vol. 6 (1999), S. 311-329.

KOZAN/PRESTON (2006)

KOZAN, E.; PRESTON, P.: Mathematical modelling of container transfers and storage locations at seaport terminals. In: OR Spectrum, Vol. 28 (2006), S. 519-537.

KREITMAIR/BLAAS/WESTPHAL et al. (2004)

KREITMAIR, G.; BLAAS, S.; WESTPHAL, P.; RABIEN, J.: Intermodal – Technologien für den Umschlag Straße/Schiene. Eigenverlag Stetter-Consulting und Süddeutsche Consultants: Augsburg 2004.

KUBIAK/YAVUZ (2008)

KUBIAK, W.; YAVUZ, M.: Just-in-Time Smoothing Through Batching. In: Manufacturing & Service Operations Management, Vol. 10 (2008), No. 3, S. 506-518.

KUMMER (2010)

KUMMER, S.: Einführung in die Verkehrswirtschaft. 2. Auflage, Facultas Verlags- und Buchhandels AG: Wien 2010.

LAPORTE (1992)

LAPORTE, G.: The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. In: European Journal of Operational Research, Vol. 59 (1992), No. 3, S. 345-358.

LEE/CHEW/TAN et al. (2006)

LEE, L. H.; CHEW, E. P.; TAN, K. C.; HAN, Y.: An optimization model for storage yard management in transshipment hubs. In: OR Spectrum, Vol. 28 (2006), S. 539-560.

LEGATO/MAZZA (2001)

LEGATO, P.; MAZZA, R. M.: Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. In: European Journal of Operational Research, Vol. 133 (2001), S. 537-547.

LEHMANN/GRUNOW/GÜNTHER (2007)

LEHMANN, M.; GRUNOW, M.; GÜNTHER, H.-O.: Deadlock handling for realtime control of AGVs at automated container terminals. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 215-241.

LINDO SYSTEMS INC. (2006)

LINDO SYSTEMS INC.: Lingo – User’s Guide. Lindo Systems, Inc.: Chicago 2006.

LIU/WAN/WANG (2006)

LIU, J.; WAN, Y.-W.; WANG, L.: Quay crane Scheduling at Container Terminals to Minimize the Maximum Relative Tardiness of Vessel Departures. In: Naval Research Logistics, Vol. 53 (2006), S. 60-74.

MACHA (2010)

MACHA, R.: Grundlagen der Kosten- und Leistungsrechnung. Verlag Franz Vahlen: München 2010.

MARCO-POLO KONTAKTSTELLE NIEDERSACHSEN (2012)

MARCO-POLO KONTAKTSTELLE NIEDERSACHSEN: Das Programm. Im Internet unter der URL: „<http://www.marcopolo-programm.de/programm.de.htm>“, letzter Zugriff am 31.12.2012.

MARTIN (2009)

MARTIN, H.: Transport- und Lagerlogistik – Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 7. Auflage, Vieweg+Teubner-Verlag: Wiesbaden 2009.

MATTFELD/ORTH (2006)

MATTFELD, D. C.; ORTH, H.: The allocation of storage space for transshipment in vehicle distribution. In: OR Spectrum, Vol. 28 (2006), S. 681-703.

MEERSMANS/DEKKER (2001)

MEERSMANS, P. J. M.; DEKKER, R.: Operations Research supports container handling. Econometric Institute Report EI 2001-22, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute: Rotterdam 2001.

MEERSMANS/WAGELMANS (2001a)

MEERSMANS, P. J. M.; WAGELMANS, A. P. M.: Effective algorithms for integrated scheduling of handling equipment at automated container terminals. Econometric Institute Report ERS 2001-36-LIS, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute: Rotterdam 2001.

MEERSMANS/WAGELMANS (2001b)

MEERSMANS, P. J. M.; WAGELMANS, A. P. M.: Dynamic scheduling of handling equipment at automated container terminals. Econometric Institute Report ERS 2001-69-LIS, Erasmus University Rotterdam, Econometric Institute: Rotterdam 2001.

MICHALK/MEIMBRESSE (2012)

MICHALK, P.; MEIMBRESSE, B.: Development of Intermodal Train Concepts as a Method for Sustainable Regional Development. In: GOLINSKA, O.; HAJDUL, M. (Hrsg.): Sustainable Transport. New Trends and Business Practices. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012, S. 273-294.

MOHAPATRA/DUTTA (1990)

MOHAPATRA, P. K. J.; DUTTA, R. K.: An Intermodal Investment Decision Model in the Transport Sector. In: OMEGA, International Journal of Management Science, Vol. 18 (1990), No. 2, S. 203-212.

MÖLLER (1996)

MÖLLER, L.: Multimodaler Verkehr – eine technische Herausforderung. In: VDI-GESELLSCHAFT FAHRZEUG- UND VERKEHRSTECHNIK (Hrsg.): Innovative Umschlagsysteme an der Schiene. Tagung Düsseldorf, 6. und 7. Mai 1996, VDI Berichte 1274. VDI-Verlag: Düsseldorf 1996, S. 29-40.

MOON/KIM (2000)

MOON, K. C.; KIM, K. H.: A Mathematical Model and a Heuristic Algorithm for Berth Planning. In: Brain Korea 21 Logistics Team. Industrial Engineering, Pusan National University: Pusan 2000, S. 31-55.

MOORTHY/TEO (2007)

MOORTHY, R.; TEO, C.-P.: Berth management in container terminals: The template design problem. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 63-86.

MÜLLER (2005)

MÜLLER, M.: Schienengebundene Linien- und Ringnetzsysteme im Hauptlauf von KEP- und Postverkehren. Tectum-Verlag: Marburg 2005.

MÜLLER-MERBACH (1992)

MÜLLER-MERBACH, H.: Operations Research – Methoden und Modelle der Optimalplanung. Verlag Franz Vahlen: München 1992.

MURILLO (2011)

MURILLO, C.: Demand and supply interactions in transport models: The case of hinterland transportation. Nomos-Verlagsgesellschaft: Baden-Baden 2011.

NEUMANN/MORLOCK (2004)

NEUMANN, K.; MORLOCK, M.: Operations Research. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag: München, Wien 2004.

NICKEL/STEIN/WALDMANN (2011)

NICKEL, S.; STEIN, O.; WALDMANN, K.-H.: Operations Research. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2011.

OELFKE (2008)

OELFKE, D.: Speditionsbetriebslehre und Logistik. Die wichtigsten Prüfungsfragen und Lösungen. 20. Auflage. Gabler-Verlag: Wiesbaden 2008.

OFFICE FOR OFFICIAL PUBLICATIONS OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (2003)

OFFICE FOR OFFICIAL PUBLICATIONS OF THE EUROPEAN COMMUNITIES: Glossary for Transport Statistics. 3. Auflage, Luxembourg 2003. Im Internet unter der URL: „http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-BI-03-002/EN/KS-BI-03-002-EN.PDF“, letzter Zugriff am 02.01.2013. S. 1-127.

O’KELLY (1987)

O’KELLY, M. E.: A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. In: European Journal of Operational Research, Vol. 32 (1987), S. 393-494.

OLFERT (2010)

OLFERT, K.: Kostenrechnung. 6. Auflage, NWB-Verlag: Herne 2010.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (2002)

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD): Benchmarking Intermodal Freight Transport. OECD-Publications: Paris 2002.

OTTJES/VEEKE/DUINKERKEN et al. (2007)

OTTJES, J. A.; VEEKE, H. P. M.; DUINKERKEN, M. B.; RIJSENBRIJ, J. C.; LODEWIJKS, G.: Simulation of a multiterminal system for container handling. In: KIM, K. H.; GÜNTHER, H.-O. (Hrsg.): Container Terminals and Cargo Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2007, S. 15-36.

PARK/KIM (2003)

PARK, Y.-M.; KIM, K. H.: A scheduling method for Berth and Quay cranes. In: OR Spectrum, Vol. 25 (2003), S. 1-23.

PARRAGH/DOERNER/HARTL (2008 a)

PARRAGH, S. N.; DOERNER, K. F.; HARTL, R. F.: A survey on pickup and delivery problems – Part I: Transportation between customers and depot. In: Journal für Betriebswirtschaft, Vol. 58 (2008), No. 1, S. 21-51.

PARRAGH/DOERNER/HARTL (2008 b)

PARRAGH, S. N.; DOERNER, K. F.; HARTL, R. F.: A survey on pickup and delivery problems – Part II: Transportation between pickup and delivery locations. In: Journal für Betriebswirtschaft, Vol. 58 (2008), No. 2, S. 81-117.

PETERING/WU/LI et al. (2009)

PETERING, M. E. H.; WU, Y.; LI, W.; GOH, M.; DE SOUZA, R.: Development and simulation analysis of real-time yard crane control systems for seaport container transshipment terminals. In: OR Spectrum, Vol. 31 (2009), S. 801-835.

PESSOA/POGGI DE ARAGAO/UCHOA (2009)

PESSOA, A.; POGGI DE ARAGAO, M.; UCHOA, E.: A Robust Branch-Cut-and-Price Algorithm for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. In: Networks, Vol. 54 (2009), No. 4, S. 167-177.

POLACEK/BENKNER/DOERNER et al. (2008)

POLACEK, M.; BENKNER, S.; DOERNER, K.F.; HARTL, R.F.: A Cooperative and Adaptive Variable Neighborhood Search for the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows. In: BuR – Business Research Official Open Access Journal of VHB, Verband der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V., Vol. 1 (2008), No. 2, S. 207-218.

POSLUSCHNY/TREUNER (2009)

POSLUSCHNY, P.; TREUNER, F.: Prozesskostenmanagement – Instrumente und Anwendungen – Mit Fallbeispielen und Übungen. Oldenbourg-Verlag. München 2009.

PRESTON/KOZAN (2001)

PRESTON, P.; KOZAN, E.: An approach to determine storage locations of container at seaport terminals. In: Computer & Operations Research, Vol. 28 (2001), S. 983-995.

RADER, JR. (2010)

RADER, JR., D.J.: Deterministic Operations Research – Models and Methods in Linear Optimization. Verlag John Wiley & Sons: Hoboken 2010.

RAHMSTORF/SHELLNHUBER (2007)

RAHMSTORF, S.; SHELLNHUBER, H. J.: Der Klimawandel – Diagnose, Prognose, Therapie. 5. Auflage, Verlag C. H. Beck: München 2007.

REIM (2009)

REIM, U.: Kombinerter Verkehr 2007 – Weiteres Wachstum im Eisenbahn-, Binnenschiffs- und Seeverkehr. In: Wirtschaft und Statistik, Vol. 6 (2009), S. 584-595.

REIM (2011)

REIM, U.: Kombinerter Verkehr 2010 – Krise gut überstanden. Auszug aus Wirtschaft und Statistik. Statistisches Bundesamt: Wiesbaden 2011, S. 762-775.

RIEDL (1996)

RIEDL, A.: Grundanforderungen an Umschlagtechnik und -terminals aus Sicht der Kombi-Operateure. In: VDI-GESELLSCHAFT FAHRZEUG- UND VERKEHRSTECHNIK (Hrsg.): Innovative Umschlagsysteme an der Schiene. Tagung Düsseldorf, 6. und 7. Mai 1996, VDI Berichte 1274. VDI-Verlag: Düsseldorf 1996, S. 13-19.

RODRIGUE (1999)

RODRIGUE, J.-P.: Globalization and the Synchronisation of Transport Terminals. In: Journal of Transport Geography, Vol. 7 (1999), S. 255-261.

ROMANO (2012)

ROMANO, A.: Classical Mechanics with *Mathematica*[®]. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012.

ROPKE/PISINGER (2006)

ROPKE, S.; PISINGER, D.: A unified heuristic for a large class of Vehicle Routing Problems. In: European Journal of Operational Research, Vol. 171 (2006), No. 3, S. 750-775.

ROSENTHAL (2006)

ROSENTHAL, R. E.: GAMS – A User's Guide. GAMS Development Corporation: Washington 2006.

ROTTER (2004)

ROTTER, H.: New operating concepts for intermodal transport: the mega hub in Hanover/Lehrte in Germany. In: Transportation Planning and Technology, Vol. 27 (2004) No. 5, S. 347-365.

RUNZHEIMER/CLEFF/SCHÄFER (2005)

RUNZHEIMER, B.; CLEFF, T.; SCHÄFER, W.: Operations Research 1 – Lineare Planungsrechnung und Netzplantechnik. Gabler-Verlag: Wiesbaden 2005.

SCHIECK (2008)

SCHIECK, A.: Internationale Logistik – Objekte, Prozesse und Infrastrukturen grenzüberschreitender Güterströme. Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2008.

SCHILDBACH/HOMBURG (2009)

SCHILDBACH, T.; HOMBURG, C.: Kosten- und Leistungsrechnung. 10. Auflage, Lucius & Lucius-Verlag: Stuttgart 2009.

SCHMIDT (2011)

SCHMIDT, A.: Kostenrechnung – Grundlagen der Vollkosten-, Deckungsbeitrags- und Plankostenrechnung sowie des Kostenmanagements. 6. Auflage, Verlag W. Kohlhammer: Stuttgart 2011.

SCHÖNEMANN/PLATTNER (2012)

SCHÖNEMANN, R.; PLATTNER, T.: Innovative Freight Transport Systems for Ports and Terminals. In: GOLINSKA, O.; HAJDUL, M. (Hrsg.): Sustainable Transport. New Trends and Business Practices. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012, S. 295-315.

SCHRAGE (2006)

SCHRAGE, L.: Optimization Modeling with LINGO. 6. Auflage, Lindo Systems Inc.: Chicago 2006.

SCHRAMM (2012)

SCHRAMM, H.-J.: Freight Forwarder's Intermediary Role in Multimodal Transport Chains. A Social Network Approach. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012.

SCHWARZE/ZAPFEL (1998)

SCHWARZE, R.; ZAPFEL, P.: Klimaschutzzertifikate ante portas – Eine Analyse der Instrumente der internationalen Klimaschutzpolitik nach Kyoto. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, Jg. 21 (1998), H. 4, S. 493-509.

SCHWEIZER (2009)

SCHWEIZER, W.: MATLAB® kompakt. 4. Auflage, Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2009.

SEIDELMANN (1969)

SEIDELMANN, C.: Kombiniertes Verkehr mit Containern. Schriftenreihe des Verbandes der Automobilindustrie e.V. (VDA) Nr. 1: Frankfurt am Main 1969.

SEIDELMANN (1971)

SEIDELMANN, C.: Kombiniertes Verkehr im Luftfrachtdienst. Dissertation, Rechts- und Staatswissenschaftliche Fakultät der Philipps-Universität zu Marburg: Frankfurt/Main 1971.

SHINGAREVA/LIZÁRRAGA-CELAYA (2009)

SHINGAREVA, I.; LIZÁRRAGA-CELAYA, C.: Maple and Mathematica – A Problem Solving Approach for Mathematics. 2. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2009.

SONDERMANN (1991)

SONDERMANN, K.-U.: Systemlösungen im Kombinierten Verkehr: Rahmenbedingungen – Entwicklungen – Forderungen – Potentiale. Ruhr-Forschungsinstitut für Innovations- und Strukturpolitik e.V.: Sprockhövel 1991.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2004)

STATISTISCHES BUNDESAMT: Pressemitteilung Nr. 460 vom 02.11.2004.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2012 a)

STATISTISCHES BUNDESAMT: Verkehrsleistung, Güterbeförderung. Im Internet unter der URL: „<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Tabellen/Gueterbefoerderung.html>“, letzter Zugriff am 31.12.2012.

STATISTISCHES BUNDESAMT (2012 b)

STATISTISCHES BUNDESAMT: Güterverkehr 2011: Transportaufkommen steigt um 6,5 %. Pressemitteilung vom 2. Februar 2012 – 38/12. Im Internet unter der URL: „https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2012/02/PD12_038_463.html“, letzter Zugriff am 31.12.2012.

STEENKEN (1992)

STEENKEN, D.: Fahrwegoptimierung am Containerterminal unter Echtzeitbedingungen. In: OR Spectrum, Vol. 14 (1992), S. 161-168.

STEENKEN/WINTER/ZIMMERMANN (2001)

STEENKEN, D.; WINTER, T.; ZIMMERMANN, U. T.: Stowage and Transport Optimization in Ship Planning. In: GRÖTSCHEL, M.; KRUMKE, S. O.; RAMBAU, J. (Hrsg.): Online Optimization of Large Scale Systems. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2001, S. 731-745.

STEGER (2010)

STEGER, J.: Kosten- und Leistungsrechnung – Einführung in das betriebswirtschaftliche Rechnungswesen, Grundlagen der Vollkosten-, Teilkosten-, Plankosten- und Prozesskostenrechnung. 5. Auflage, Oldenbourg-Verlag: München 2010.

STUDIENGESELLSCHAFT FÜR DEN KOMBINIERTEN VERKEHR E.V. (2008)

STUDIENGESELLSCHAFT FÜR DEN KOMBINIERTEN VERKEHR E.V.: Geschäftsbericht 2008.

SWANBORN (2010)

SWANBORN, P.: Case Study Research – What, Why and How? SAGE Publications Ltd.: Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC 2010.

SUHL/MELLOULI (2009)

SUHL, L.; MELLOULI, T.: Optimierungssysteme – Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. 2. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2009.

TAHA (2011)

TAHA, H. A.: Operations Research – An Introduction. 9. Auflage, Pearson Education-Verlag: New Jersey 2011.

TALEB-IBRAHIMI/DE CASTILHO/DAGANZO (1993)

TALEB-IBRAHIMI, M.; DE CASTILHO, B.; DAGANZO, C. F.: Storage space vs handling work in container terminals. In: Transportation Research B, Vol. 27 B (1993), No. 1, S. 12-32.

THE EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORTS (1995)

THE EUROPEAN CONFERENCE OF MINISTERS OF TRANSPORTS: Combined Transport: Hearing of Combined Transport Organisations and Companies. ECMT: Paris 1995.

THOMAS (2011)

THOMAS, G.: How to do Your Case Study – A guide for students and researchers. SAGE Publications Ltd.: Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC 2011.

TROTT (2004)

TROTT, M.: The Mathematica GuideBook for Programming. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2004.

UIRR (2013)

UIRR: CO₂-Reduzierung durch Kombinierten Verkehr. Studie im Rahmen des PACT-Projekts. Im Internet unter der URL: „<http://www.uirr.com/de/media-centre/leaflet-and-studies/mediacentre/57-ct-an-important-tool-for-the-reduction-of-co2-emissions.html>“, letzter Zugriff am 02.01.2013.

UNGER/DEMPE (2010)

UNGER, T.; DEMPE, S.: Lineare Optimierung – Modell, Lösung, Anwendung. Vieweg+Teubner-Verlag: Wiesbaden 2010.

UN-KLIMARAHMENKONVENTION (2009 a)

UN-KLIMARAHMENKONVENTION: Copenhagen Accord. Conference vom 18.12.2009.

UN-KLIMARAHMENKONVENTION (2009 b)

UN-KLIMARAHMENKONVENTION: Copenhagen United Nations Climate Change Conference ends with political agreement to cap temperature rise, reduce emissions and raise finance. Pressemitteilung vom 19. Dezember 2009. Im Internet unter der URL: „http://unfccc.int/files/press/news_room/press_releases_and_advisories/application/pdf/pr_cop15_20091219.pdf“, letzter Zugriff am 02.01.2013, S. 1-2.

VAHRENKAMP/KOTZAB (2012)

VAHRENKAMP, R.; KOTZAB, H.: Logistik: Management und Strategien. 7. Auflage, Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2012.

VAMANAN/WANG/BATTA et al. (2004)

VAMANAN, M.; WANG, Q.; BATTA, R.; SZCZERBA, R. J.: Integration of COTS software products ARENA & CPLEX for an inventory/logistics problem. In: Computer & Operations Research Vol. 31 (2004), S. 533-547.

VAN HEE/WIJBRANDS (1988)

VAN HEE, K. M.; WIJBRANDS, R. J.: Decision support system for container terminal planning. In: European Journal of Operational Research, Vol. 34 (1988), S. 262-272.

VIS/ROODBERGEN (2009)

VIS, I. F. A.; ROODBERGEN, K. J.: Scheduling of Container Storage and Retrieval. In: Operations Research, Vol. 57 (2009), No. 2, S. 456-467.

VON STORCH/GÜSS/HEIMANN (1999)

VON STORCH, H.; GÜSS, S.; HEIMANN, M.: Das Klimasystem und seine Modellierung. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 1999.

VRENKEN/MACHARIS/WOLTERS (2005)

VRENKEN, H.; MACHARIS, C.; WOLTERS, P.: Intermodal Transport in Europe. European Intermodal Association: Brüssel 2005.

WASSAN/NAGY/AHMADI (2008)

WASSAN, N. A.; NAGY, G.; AHMADI, S.: A heuristic method for the vehicle routing problem with mixed deliveries and pickups. In: Journal of Scheduling, Vol. 11 (2008), No. 2, S. 149-161.

WENGER (1993)

WENGER, H.: Zur Zukunft des Kombinierten Verkehrs. In: INSTITUT FÜR VERKEHRSWISSENSCHAFT AN DER UNIVERSITÄT MÜNSTER (Hrsg.): Schwerpunktthema: Kombiniertes Verkehr: Chancen und Probleme des intermodalen Verkehrs. Ausgabe Nr. 6: Münster 1993, S. 9-13.

WERNERS (2008)

WERNER, B.: Grundlagen des Operations Research. 2. Auflage. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2008.

WESTERMANN (2011)

WESTERMANN, T.: Mathematische Probleme lösen mit MAPLE®. 4. Auflage, Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2011.

WESTERMANN (2012)

WESTERMANN, T.: Ingenieurmathematik kompakt mit Maple. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York 2012.

WINSTON (2004)

WINSTON, W.L.: Operations Research – Application and Algorithms. 4. Auflage, Verlag Brooks/Cole: Belmont 2004.

WITTENBRINK (2011)

WITTENBRINK, P.: Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr – Grundlagen – Optimierungspotenziale – Green Logistics. Gabler-Verlag: Wiesbaden 2011.

WOLFRAM (1999)

WOLFRAM, S.: The Mathematica® Book. 4. Auflage, Cambridge University Press: New York 1999.

YIN (2003)

YIN, R. K.: Applications of Case Study Research. 2. Auflage, SAGE Publications Ltd.: Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC 2003.

YIN (2009)

YIN, R. K.: Case Study Research – Design and Methods. 4. Auflage, SAGE Publications Ltd.: Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC 2003.

YUN/CHOI (1999)

YUN, W. Y.; CHOI, Y. S.: A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. In: International Journal of Production Economics, Vol. 59 (1999), S. 221-230.

ZÄPFEL/BÖGL (2008)

ZÄPFEL, G.; BÖHL, M.: Multi-Period vehicle routing and crew scheduling with outsourcing options. In: International Journal of Production Economics, Vol. 113 (2008), S. 980-996.

ZELEWSKI/SAUR (2009)

ZELEWSKI, S., SAUR, A.: Vermeidung von Leerfahrten für Eisenbahnverkehrsunternehmen durch "intelligente" Nachfragebündelung – eine Beurteilung der ökonomischen und ökologischen Effizienz. Projektbericht des Instituts für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, MAEKAS-Projektbericht Nr. 8. Eigenverlag: Essen 2009.

ZHANG/IOANNOU/CHASSIAKOS (2002)

ZHANG, J.; IOANNOU, P. A.; CHASSIAKOS, A.: Intelligent Transportation System for Container Movement between Inland Port and Terminals. METRANS Transportation Center: Los Angeles 2002.

ZHANG/WAN/LIU et al. (2002)

ZHANG, C.; WAN, Y.-W.; LIU, J.; LINN, R. J.: Dynamic crane deployment in container storage yards. In: Transportation Research B, Vol. 36 B (2002), S. 537-555.

ZIMMERMANN/STACHE (2001)

ZIMMERMANN, W.; STACHE, U.: Operations Research – Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung. Oldenbourg-Verlag: München, Wien 2001.

ZIU/LIM (2006)

ZIU, Y.; LIM, A.: Crane scheduling with non-crossing constraints. In: Journal of the Operations Research Society, Vol. 57 (2006), S. 1464-1471.

ZYNGIRGIS (2005)

ZYNGIRDIS, I.: Optimizing container movements using one and two automated stacking cranes. Naval Postgraduate School: Monterey, California 2005.

Anhang

Anhang A1: LINGO-Modell zur Minimierung der Umschlagdauer¹

MODEL:

SETS:

la) Grundmengen im OR-Modell;

Standardgut;

list die Menge der Standardgüter im OR-Modell mit

Standardgut = $\{SG_1, SG_2, \dots, SG_M\}$ und dem zugeordneten Index $m = 1, \dots, M$;

Gefahrgut;

list die Menge der Gefahrgüter im OR-Modell mit

Gefahrgut = $\{GG_1, GG_2, \dots, GG_N\}$ und dem zugeordneten Index $n = 1, \dots, N$;

Ressource;

list die Menge der Ressourcen im OR-Modell mit

Ressource = $\{RE_1, RE_2, \dots, RE_K\}$ und dem zugeordneten Index $k = 1, \dots, K$;

Transportmittel;

list die Menge der an- und abgehenden Transportmittel im OR-Modell mit

Transportmittel = $\{TM_1, TM_2, \dots, TM_L\}$ und dem zugeordneten Index $l = 1, \dots, L$;

Startpunkt;

list die Menge der Startpunkte der ankommenden Transportmittel im OR-Modell mit

Startpunkt = $\{SP_1, SP_2, \dots, SP_R\}$ und dem zugeordneten Index $r = 1, \dots, R$;

Lagereingang;

list die Menge der Eingangspunkte in das Lager im OR-Modell mit

Lagereingang = $\{LE_1, LE_2, \dots, LE_Q\}$ und dem zugeordneten Index $q = 1, \dots, Q$;

Lagerausgang;

list die Menge der Ausgangspunkte aus dem Lager im OR-Modell mit

Lagerausgang = $\{LA_1, LA_2, \dots, LA_P\}$ und dem zugeordneten Index $p = 1, \dots, P$;

¹ Um Bestandteile der computergestützten Modellformulierung von den Formeln der mathematischen Modellformulierung klar unterscheiden zu können, wird eine besondere Darstellungskonvention eingeführt: Formeln der mathematischen Modellformulierung werden wie „normaler“ Text mittels des Standard-Schrifttyps „Times New Roman“ in 12-Punkt-Größe dargestellt. Bestandteile der computergestützten Modellformulierung werden davon durch den Schrifttyp „Arial“ in 10-Punkt-Größe abgehoben.

Zielpunkt;

list die Menge der Zielpunkte der abgehenden Transportmittel im OR-Modell mit

Zielpunkt = $\{ZP_1, ZP_2, \dots, ZP_S\}$ und dem zugeordneten Index $s = 1, \dots, S$;

lb) abgeleitete Grundmengen im OR-Modell;

lb1) Transportstrecken im OR-Modell;

Koordinate1_x(Startpunkt): x_{start} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Startpunkte im OR-Modell;

Koordinate2_y(Startpunkt): y_{start} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Startpunkte im OR-Modell;

Koordinate3_x(Lagereingang): x_{Lein} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Lagereingangspunkte im OR-Modell;

Koordinate4_y(Lagereingang): y_{Lein} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Lagereingangspunkte im OR-Modell;

Koordinate5_x(Lagerausgang): x_{Laus} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Lagerausgangspunkte im OR-Modell;

Koordinate6_y(Lagerausgang): y_{Laus} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Lagerausgangspunkte im OR-Modell;

Koordinate7_x(Zielpunkt): x_{ziel} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Zielpunkte im OR-Modell;

Koordinate8_y(Zielpunkt): y_{ziel} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Zielpunkte im OR-Modell;

Transportstrecke1(Startpunkt,Zielpunkt): TS_{start_ziel} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Start- zum Zielpunkt im OR-Modell;

Transportstrecke2(Startpunkt,Lagereingang): TS_{start_Lein} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Startpunkt zum Lagereingang im OR-Modell;

Transportstrecke3(Lagereingang,Lagerausgang): TS_{Lein_Laus} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Lagereingang zum Lagerausgang im OR-Modell;

Transportstrecke4(Lagerausgang,Zielpunkt): TS_{Laus_ziel} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Lagerausgang zum Zielpunkt im OR-Modell;

Ib2) Transportmengen im OR-Modell;

Umschlagmenge_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): y_stan ;

Ispezifiziert die Umschlagmenge an Standardgütern im OR-Modell;

Umschlagmenge_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): y_gef ;

Ispezifiziert die Umschlagmenge an Gefahrgütern im OR-Modell;

Ib3) (frühest mögliche) Ankunfts-/Abfahrts- und zwischenzeitliche Fertigstellungszeitpunkte im OR-Modell;

Ankunftszeitpunkt_ankommend1(Standardgut,Transportmittel): $AnZStart_stan$;

Ispezifiziert die Ankunftszeitpunkte der Standardgüter der ankommenden Transportmittel im OR-Modell;

Ankunftszeitpunkt_ankommend2(Gefahrgut,Transportmittel): $AnZStart_gef$;

Ispezifiziert die Ankunftszeitpunkte der Gefahrgüter der ankommenden Transportmittel im OR-Modell;

Abfahrtszeitpunkt_abgehend1(Standardgut,Transportmittel): $AbZZiel_stan$;

Ispezifiziert die Abfahrtszeitpunkte der Standardgüter der abgehenden Transportmittel im OR-Modell;

Abfahrtszeitpunkt_abgehend2(Gefahrgut,Transportmittel): $AbZZiel_gef$;

Ispezifiziert die Abfahrtszeitpunkte der Gefahrgüter der abgehenden Transportmittel im OR-Modell;

Ic3) "Zeitpunkt"-Entscheidungsvariablen, welche die unterschiedlichen Zeitpunkte im Umschlagterminal modellieren;¹

Anfangszeitpunkt_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): AZ_stan ;

Idie Entscheidungsvariable nimmt Werte größer oder gleich 0 an, um den jeweiligen Anfangszeitpunkt der Bearbeitung eines Standardguts anzuzeigen;

Anfangszeitpunkt_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): AZ_gef ;

Idie Entscheidungsvariable nimmt Werte größer oder gleich 0 an, um den jeweiligen Anfangszeitpunkt der Bearbeitung eines Gefahrguts anzuzeigen;

Anfangszeitpunkt_LE_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): $AZLE_stan$;

Idie Entscheidungsvariable nimmt Werte größer oder gleich 0 an, um den jeweiligen Anfangszeitpunkt der Bearbeitung am Lagereingang eines Standardguts anzuzeigen;

Anfangszeitpunkt_LA_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): $AZLA_stan$;

1 Die „Zeitpunkt“-Entscheidungsvariablen mussten bereits an dieser Stelle aufgeführt werden und nicht nach c2) „Umschlag“-Entscheidungsvariablen – wie es sinngemäß der Fall wäre –, da ansonsten von LINGO die Fehlermeldung „No feasible solution found.“ angegeben wurde.

lDie Entscheidungsvariable nimmt Werte größer oder gleich 0 an, um den jeweiligen Anfangszeitpunkt der Bearbeitung am Lagerausgang eines Standardguts anzuzeigen;

fAnfangszeitpunkt_LE_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): FALE_stan;

Spezifiziert die frühest möglichen Anfangszeitpunkte der Bearbeitung der Standardgüter nach dem Transport zum Lagereingang im OR-Modell;

fAnfangszeitpunkt_LA_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): FALA_stan;

Spezifiziert die frühest möglichen Anfangszeitpunkte der Bearbeitung der Standardgüter nach dem Transport zum Lagerausgang im OR-Modell;

ZwischenFZP_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): ZFZ_stan;

Spezifiziert die zwischenzeitlichen Fertigstellungszeitpunkte der Standardgüter im OR-Modell;

ZwischenFZP_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): ZFZ_gef;

Spezifiziert die zwischenzeitlichen Fertigstellungszeitpunkte der Gefahrgüter im OR-Modell;

lb4) Umschlagzeiten im OR-Modell;

Umschlagzeit_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_stan_ind;

Spezifiziert die Umschlagzeiten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Umschlagzeit1_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_stan_ind1;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 1 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Startpunkt zum Lagereingang im OR-Modell;

Umschlagzeit2_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_stan_ind2;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 2 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Lagereingang zum Lagerausgang im OR-Modell;

Umschlagzeit3_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_stan_ind3;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 3 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Lagerausgang zum Zielpunkt im OR-Modell;

Umschlagzeit_Gefahrgut_dir(Gefahrgut,Transportmittel): UZ_gef_dir;

Spezifiziert die Umschlagzeiten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb5) Wartezeiten im OR-Modell;

Wartezeit_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): WZ_stan_ind;

list die Menge der Wartezeiten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Wartezeit_Gefahrgut_dir(Gefahrgut,Transportmittel): WZ_gef_dir;

list die Menge der Wartezeiten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb6) Umschlagdauern im OR-Modell;

Umschlagdauer_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): UD_stan;

list die Menge der Umschlagdauern der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Umschlagdauer_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): UD_gef;

list die Menge der Umschlagdauern der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb7) ressourcenabhängige Größen im OR-Modell;

Geschwindigkeit(Ressource): vel;

lspezifiziert die Geschwindigkeit der Ressourcen im OR-Modell;

Kapazitaet_quantitativ(Ressource): Kap_quan;

lquantitative Kapazität der Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für Standard- und Gefahrgüter im OR-Modell;

Kapazitaet_zeit(Ressource): Kap_zeit;

lzeitliche Kapazität einer Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für Standard- und Gefahrgüter im OR-Modell;

lc) Entscheidungsvariablen im OR-Modell;

lc1) Transport-Entscheidungsvariablen, die sicherstellen, dass die Güter im Umschlagterminal "überhaupt" transportiert werden;

Transportentscheidung1(Standardgut,Transportmittel): x_stan;

ldie Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Standardgut m, das mit einem Transportmittel l angeliefert wurde, im Umschlagterminal transportiert wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

Transportentscheidung2(Gefahrgut,Transportmittel): x_gef;

ldie Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Gefahrgut n, das mit dem Transportmittel l angeliefert wurde, im Umschlagterminal transportiert wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

lc2) Umschlag-Entscheidungsvariablen, welche die unterschiedlichen Umschlagarten im Umschlagterminal modellieren;

Umschlagentscheidung1(Standardgut,Transportmittel,Startpunkt,Lagereingang,Lagerausgang,Zielpunkt,Ressource): Um_stan_ind;

ldie Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Standardgut m eines Transportmittels l im Umschlagterminal mit Hilfe einer Ressource k indirekt umgeschlagen wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

Umschlagentscheidung2(Gefahrgut,Transportmittel,Startpunkt,Zielpunkt,Ressource): Um_gef_dir;

Die Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Gefahrgut n eines Transportmittels l im Umschlagterminal mit Hilfe einer Ressource k direkt umgeschlagen wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

ENDSETS

DATA:

Ressource = RE1 RE2;

!spezifiziert die unterschiedlichen Ressourcen, mit

RE1 = Reach-Stacker mit Personaleinsatz

RE2 = Transportfahrzeug mit Personaleinsatz;

vel = 150 130;

!spezifiziert die Geschwindigkeit der unterschiedlichen Ressourcen,

gemessen in Meter pro Minute (m/min) für die Bearbeitung eines Containers;

Startpunkt = SP1 SP2 SP3;

!gibt die Startpunkte im Umschlagterminal an;

Zielpunkt = ZP1 ZP2 ZP3;

!gibt die Zielpunkte im Umschlagterminal an;

Standardgut = SG1;

!gibt das Standardgut im Umschlagterminal an;

Gefahrgut = GG1 GG2 GG3;

!gibt die Gefahrgüter im Umschlagterminal an;

Transportmittel = TM1 TM2 TM3;

!spezifiziert die unterschiedlichen Transportmittel mit

TM1 = Lastkraftwagen

TM2 = Zug

TM3 = Schiff;

	!TM1	TM2	TM3;	
y_stan =	1	15	30;	!SG1;

!gibt die umzuschlagenden Mengen des Standardguts mit seinen verschiedenen Transportmitteln an;

	!TM1	TM2	TM3;	
y_gef =	1	12	18	!GG1;
	2	10	30	!GG2;
	1	10	10;	!GG3;

!gibt die umzuschlagende Mengen der verschiedenen Gefahrgüter mit ihren Transportmitteln an;

	!TM1	TM2	TM3;	
AnZStart_stan =	10	11	12;	!SG1;

Igibt die verschiedenen Ankunftszeitpunkte der ankommenden Transportmittel des Standardguts an;

	!TM1	TM2	TM3;	
AnZStart_gef =	1	2	3	!GG1;
	4	5	6	!GG2;
	7	8	9;	!GG3;

Igibt die verschiedenen Ankunftszeitpunkte der ankommenden Transportmittel der Gefahrgüter an;

	!TM1	TM2	TM3;	
AbZZiel_stan = 700	700	800;		!SG1;

Igibt die verschiedenen Abfahrtszeitpunkte der abgehenden Transportmittel des Standardguts an;

	!TM1	TM2	TM3;	
AbZZiel_gef =	360	370	480	!GG1;
	390	400	410	!GG2;
	300	450	440;	!GG3;

Igibt die verschiedenen Abfahrtszeitpunkte der abgehenden Transportmittel der Gefahrgüter an;

Lagereingang = LE1;

Igibt den Lagereingangspunkt an;

Lagerausgang = LA1;

Igibt den Lagerausgangspunkt an;

!	RE1	RE2;
Kap_quan =	1000	800;

Iquantitative Kapazität der einzelnen Ressourcen für Standard- und Gefahrgüter, gemessen in Containern;

!	RE1	RE2;
Kap_zeit =	154000	140000;

Izeitliche Kapazität der einzelnen Ressourcen für Standard- und Gefahrgüter, gemessen in Minuten;

!	SP1	SP2	SP3;
x_start =	5	8	9;
y_start =	7	3	10;

Igibt die Koordinaten der Startpunkte an;

!	ZP1	ZP2	ZP3;
x_ziel =	100	600	1100;
y_ziel =	1200	1300	1400;

Igibt die Koordinaten der Zielpunkte an;

x_Lein = 400;

y_Lein = 400;

Igibt die Koordinaten des Lagereingangspunktes an;

x_Laus = 300;

y_Laus = 300;

Igibt die Koordinaten des Lagerausgangspunktes an;

ENDDATA

!Die nachfolgenden @FOR-Funktionen implementieren in kompakter Form die Binär-Restriktionen, sodass für die ersten vier Entscheidungsvariablen nur die Werte 0 oder 1 zulässig sind.

Für die letzten vier Entscheidungsvariablen sind alle positiven Werte zulässig, die größer oder gleich null sind.;

@FOR(Transportentscheidung1(m,l): @BIN(x_stan(m,l));
!Nebenbedingung (26);

@FOR(Transportentscheidung2(n,l): @BIN(x_gef(n,l));
!Nebenbedingung (27);

@FOR(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): @BIN(Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k));
!Nebenbedingung (28);

@FOR(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): @BIN(Um_gef_dir(n,l,r,s,k));
!Nebenbedingung (29);

@FOR(Anfangszeitpunkt_Standardgut(m,l): AZ_stan(m,l)>=0;
!Nebenbedingung (30);

@FOR(Anfangszeitpunkt_Gefahrgut(n,l): AZ_gef(n,l)>=0;
!Nebenbedingung (31);

@FOR(Anfangszeitpunkt_LE_Standardgut(m,l): AZLE_stan(m,l)>=0;
!Nebenbedingung (32);

@FOR(Anfangszeitpunkt_LA_Standardgut(m,l): AZLA_stan(m,l)>=0;
!Nebenbedingung (33);

!Definition der Zielfunktion als Minimierung der Umschlagdauer der Standard- und Gefahrgüter;

!Das folgende Konstrukt dient zur Implementierung der Formel der ersten Zielfunktion

$$UD(X_{m,l}^{stan}, X_{n,l}^{gef}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}, Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir})$$

$$= \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(X_{m,l}^{stan} * Y_{m,l}^{stan} * WZ_{m,l}^{stan.ind} (AZ_{m,l}^{stan}, AnZStart_{m,l}^{stan}, AZLE_{m,l}^{stan}, FALE_{m,l}^{stan}, AZLA_{m,l}^{stan}, FALA_{m,l}^{stan}, AbZZiel_{m,l}^{stan}, ZFZ_{m,l}^{stan}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}) \right)}_{\text{Wartezeiten der Standardgüter}}$$

$$\begin{aligned}
 & \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(X_{m,l}^{\text{stan}} * Y_{m,l}^{\text{stan}} * UZ_{m,l}^{\text{stan.ind}} \left(SP_r, LE_q, LA_p, ZP_s, Vel_k, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} \right) \right)}_{\text{Umschlagzeiten der Standardgüter}} \\
 & + \underbrace{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(X_{n,l}^{\text{gef}} * Y_{n,l}^{\text{gef}} * WZ_{n,l}^{\text{gef.dir}} \left(AZ_{n,l}^{\text{gef}}, AnZStart_{n,l}^{\text{gef}} \right), \right. \\
 & \quad \left. AbZZiel_{n,l}^{\text{gef}}, ZFZ_{n,l}^{\text{gef}}, Um_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} \right)}_{\text{Wartezeiten der Gefahrgüter}} \\
 & + \underbrace{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(X_{n,l}^{\text{gef}} * Y_{n,l}^{\text{gef}} * UZ_{n,l}^{\text{gef.dir}} \left(SP_r, ZP_s, Vel_k, Um_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} \right) \right)}_{\text{Umschlagzeiten der Gefahrgüter}} \rightarrow \min!;
 \end{aligned}$$

Min = @SUM(Transportentscheidung1(m,l): x_stan(m,l) * @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l) * WZ_stan_ind(m,l))) + @SUM(Transportentscheidung1(m,l): x_stan(m,l) * @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l) * UZ_stan_ind(m,l))) + @SUM(Transportentscheidung2(n,l): x_gef(n,l) * @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l) * WZ_gef_dir(n,l))) + @SUM(Transportentscheidung2(n,l): x_gef(n,l) * @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l) * UZ_gef_dir(n,l)));

!Das folgende Konstrukt dient zur Implementierung der Formel der zweiten Zielfunktion

$$\begin{aligned}
 & SL^{\text{nor}} \left(X_{m,l}^{\text{stan}}, X_{n,l}^{\text{gef}}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}}, Um_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} \right) \\
 & = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * X_{m,l}^{\text{stan}} * Y_{m,l}^{\text{stan}} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * X_{n,l}^{\text{gef}} * Y_{n,l}^{\text{gef}}}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Y_{m,l}^{\text{stan}} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L Y_{n,l}^{\text{gef}}} \geq sl;
 \end{aligned}$$

und sl ∈ [0;1]

!(@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * x_stan(m,l) * y_stan(m,l)) + @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * x_gef(n,l) * y_gef(n,l))) / (@SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l)) + @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l))) >= 1;¹

Teil1 = @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * x_stan(m,l) * y_stan(m,l));

Teil2 = @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * x_gef(n,l) * y_gef(n,l));

Teil3 = @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l)) + @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l));

1 Die als Restriktion veränderte Service-Level-Zielfunktion wird in vier einzelne Teile aufgespalten. Dies hat zum einen den Vorteil, dass im Lösungsreport die einzelnen Teile anschaulich dargestellt werden. Zum anderen wird die LINGO-Fehlermeldung „No feasible solution found.“, dass angeblich für alle Parameter außer sl = 1 keine Lösung gefunden werden kann, umgangen.

Teil4 = (Teil1 + Teil2) / Teil3;

Teil4 >= 1;

!Nebenbedingungen der Realisierung;

$$\begin{aligned} \sum_l X_{m,l}^{\text{stan}} \leq 1 & \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L \\ \text{Nebenbedingung (5a)} \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): x_stan(m,l) <= 1));

$$\begin{aligned} \sum_l X_{n,l}^{\text{gef}} \leq 1 & \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L \\ \text{Nebenbedingung (5b)} \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrgut(n): @FOR(Transportmittel (l): x_gef(n,l) <= 1));

!Nebenbedingungen der Zeit;

$$\begin{aligned} \sum_l WZ_{m,l}^{\text{stan}} + \sum_l UZ_{m,l}^{\text{stan}} = \sum_l UD_{m,l}^{\text{stan}} & \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L \\ \text{Nebenbedingung (6)} \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): WZ_stan_ind(m,l) + UZ_stan_ind(m,l) = UD_stan(m,l)));

$$\begin{aligned} \sum_l WZ_{n,l}^{\text{gef}} + \sum_l UZ_{n,l}^{\text{gef}} = \sum_l UD_{n,l}^{\text{gef}} & \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L \\ \text{Nebenbedingung (7)} \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrgut(n): @FOR(Transportmittel(l): WZ_gef_dir(n,l) + UZ_gef_dir(n,l) = UD_gef(n,l)));

$$\begin{aligned} \sum_l UZ_{m,l}^{\text{stan.ind}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\sum_{m,l,r,q,p,s,k} Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \begin{pmatrix} TS(SP_r, LE_q) * Vel_k^{-1} \\ + TS(LE_q, LA_p) * Vel_k^{-1} \\ + TS(LA_p, ZP_s) * Vel_k^{-1} \end{pmatrix} \right) \\ \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L \end{aligned}$$

Nebenbedingung (8)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_start_Lein(r,q) * (1/vel(k)) + TS_Lein_Laus(q,p) * (1/vel(k)) + TS_Laus_ziel(p,s) * (1/vel(k)))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind1}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (9a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind1(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_start_Lein(r,q) * (1/vel(k)))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind2}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (9b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind2(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_Lein_Laus(q,p) * (1/vel(k)))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind3}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{LA}_p, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (9c)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind3(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_Laus_ziel(p,s) * (1/vel(k)))));

$$! \text{UZ}_{n,l}^{\text{gef.dir}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right)$$

$$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (10)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrentgut(n): @FOR(Transportmittel(l): UZ_gef_dir(n,l) = @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * TS_start_ziel(r,s) * (1/vel(k)))));

$$! \text{FALE}_{m,l}^{\text{stan}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{AZ}_{m,l}^{\text{stan}} + \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind1}} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (11a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): FALE_stan(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (AZ_stan(m,l) + UZ_stan_ind1(m,l))));

$$! \text{FALA}_{m,l}^{\text{stan}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{AZLE}_{m,l}^{\text{stan}} + \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind2}} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (11b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): FALA_stan(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (AZLE_stan(m,l) + UZ_stan_ind2(m,l))));

$$! \text{ZFZ}_{m,l}^{\text{stan}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{AZLA}_{m,l}^{\text{stan}} + \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind3}} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (11c)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): ZFZ_stan(m,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (AZLA_stan(m,l) + UZ_stan_ind3(m,l))));

$$! \text{ZFZ}_{n,l}^{\text{gef}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \left(\text{AZ}_{n,l}^{\text{gef}} + \text{UZ}_{n,l}^{\text{gef.dir}} \right) \right)$$

$$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (12)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahregut(n): @FOR(Transportmittel(l): ZFZ_gef(n,l) =

@SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * (AZ_gef(n,l) + UZ_gef_dir(n,l))));

$$WZ_{m,l}^{\text{stan.ind}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * ((AZ_{m,l}^{\text{stan}} - AnZStart_{m,l}^{\text{stan}}) + (AZLE_{m,l}^{\text{stan}} - FALE_{m,l}^{\text{stan}}) + (AZLA_{m,l}^{\text{stan}} - FALA_{m,l}^{\text{stan}}) + (AbZZiel_{m,l}^{\text{stan}} - ZFZ_{m,l}^{\text{stan}}))$$

$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$

Nebenbedingung (13)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): WZ_stan_ind(m,l) = @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * ((AZ_stan(m,l) - AnZStart_stan(m,l)) + (AZLE_stan(m,l) - FALE_stan(m,l)) + (AZLA_stan(m,l) - FALA_stan(m,l)) + (AbZZiel_stan(m,l) - ZFZ_stan(m,l))));

$$WZ_{n,l}^{\text{gef.dir}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * ((AZ_{n,l}^{\text{gef}} - AnZStart_{n,l}^{\text{gef}}) + (AbZZiel_{n,l}^{\text{gef}} - ZFZ_{n,l}^{\text{gef}}))$$

$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$

Nebenbedingung (14)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrengut(n): @FOR(Transportmittel(l): WZ_gef_dir(n,l) = @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * ((AZ_gef(n,l) - AnZStart_gef(n,l)) + (AbZZiel_gef(n,l) - ZFZ_gef(n,l))));

$$\forall AbZZiel_{m,l}^{\text{stan}} \geq ZFZ_{m,l}^{\text{stan}} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (15)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m):@FOR(Transportmittel(l): AbZZiel_stan(m,l) >= ZFZ_stan(m,l));

$$\forall AnZStart_{m,l}^{\text{stan}} \leq AZ_{m,l}^{\text{stan}} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (16)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): AnZStart_stan(m,l) <= AZ_stan(m,l));

$$\forall AZLE_{m,l}^{\text{stan}} \geq FALE_{m,l}^{\text{stan}} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (17)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): AZLE_stan(m,l) >= FALE_stan(m,l));

$$!AZLA_{m,l}^{stan} \geq FALA_{m,l}^{stan} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (18)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): AZLA_stan(m,l) >= FALA_stan(m,l)));

$$!AbZZiel_{n,l}^{gef} \geq ZFZ_{n,l}^{gef} \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (19)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrengut(n): @FOR(Transportmittel(l): AbZZiel_gef(n,l) >= ZFZ_gef(n,l)));

$$!AnZStart_{n,l}^{gef} \leq AZ_{n,l}^{gef} \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (20)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrengut(n): @FOR(Transportmittel(l): AnZStart_gef(n,l) <= AZ_gef(n,l)));

!Nebenbedingungen des Platzes;

$$!TS(SP_r, ZP_s) = \sqrt{(xSP_r - xZP_s)^2 + (ySP_r - yZP_s)^2} \quad \forall r = 1, \dots, R; \forall s = 1, \dots, S$$

Nebenbedingung (21a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Startpunkt(r): @FOR(Zielpunkt(s): TS_start_ziel(r,s) = ((x_start(r) - x_ziel(s))^2 + (y_start(r) - y_ziel(s))^2)^0.5));

$$!TS(SP_r, LE_q) = \sqrt{(xSP_r - xLE_q)^2 + (ySP_r - yLE_q)^2} \quad \forall r = 1, \dots, R; \forall q = 1, \dots, Q$$

Nebenbedingung (21b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Startpunkt(r): @FOR(Lagereingang(q): TS_start_Lein(r,q) = ((x_start(r) - x_Lein(q))^2 + (y_start(r) - y_Lein(q))^2)^0.5));

$$!TS(LE_q, LA_p) = \sqrt{(xLE_q - xLA_p)^2 + (yLE_q - yLA_p)^2} \quad \forall q = 1, \dots, Q; \forall p = 1, \dots, P$$

Nebenbedingung (21c)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Lagereingang(q): @FOR(Lagerausgang(p): TS_Lein_Laus(q,p) = ((x_Lein(q) - x_Laus(p))^2 + (y_Lein(q) - y_Laus(p))^2)^0.5);

$$TS(LA_p, ZP_s) = \sqrt{(xLA_p - xZP_s)^2 + (yLA_p - yZP_s)^2} \quad \forall p = 1, \dots, P; \forall s = 1, \dots, S$$

Nebenbedingung (21d)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Lagerausgang(p): @FOR(Zielpunkt(s): TS_Laus_ziel(p,s) = ((x_Laus(p) - x_ziel(s))^2 + (y_Laus(p) - y_ziel(s))^2)^0.5);

Nebenbedingungen des Umschlags;

$$\sum_{l=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind} \leq X_{m,l}^{stan} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, 3$$

Nebenbedingung (22)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) = x_stan(m,l));

$$\sum_{l=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir} \leq X_{n,l}^{gef} \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (23)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrentug(n): @FOR(Transportmittel(l): @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) = x_gef(n,l));

Nebenbedingungen der Kapazität;

$$\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind} * Y_{m,l}^{stan} \leq Kap_k^{quan} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (24a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * y_stan(m,l) <= Kap_quan(k));

$$\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S Um_{n,l,i,k,r,s}^{gef.dir} * Y_{n,l}^{gef} \leq Kap_k^{quan} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (24b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * y_gef(n,l)) <= Kap_quan(k);

$$\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \left(\text{Um}_{m.l.r.q.p.s.k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Vel}_k^{-1} + \text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right) \\ + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \left(\text{Um}_{n.l.r.s.k}^{\text{gef.dir}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right) \\ \leq \text{Kap}_k^{\text{zeit}} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (25)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (@SUM(Transportstrecke2(r,q): TS_start_Lein(r,q)) * (1/vel(k)) + @SUM(Transportstrecke3(q,p): TS_Lein_Laus(q,p)) * (1/vel(k)) + @SUM(Transportstrecke4(p,s): TS_Laus_ziel(p,s)) * (1/vel(k)))) + @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * @SUM(Transportstrecke1(r,s): TS_start_ziel(r,s)) * (1/vel(k))) <= Kap_zeit(k));

END

Anhang A2: LINGO-Modell zur Minimierung der Umschlagkosten

MODEL:

SETS:

la) Grundmengen im OR-Modell;

Standardgut;

list die Menge der Standardgüter im OR-Modell mit

Standardgut = $\{SG_1, SG_2, \dots, SG_M\}$ und dem zugeordneten Index $m = 1, \dots, M$;

Gefahrgut;

list die Menge der Gefahrgüter im OR-Modell mit

Gefahrgut = $\{GG_1, GG_2, \dots, GG_N\}$ und dem zugeordneten Index $n = 1, \dots, N$;

Ressource;

list die Menge der Ressourcen im OR-Modell mit

Ressource = $\{RE_1, RE_2, \dots, RE_K\}$ und dem zugeordneten Index $k = 1, \dots, K$;

Transportmittel;

list die Menge der an- und abgehenden Transportmittel im OR-Modell mit

Transportmittel = $\{TM_1, TM_2, \dots, TM_L\}$ und dem zugeordneten Index $l = 1, \dots, L$;

Startpunkt;

list die Menge der Startpunkte der ankommenden Transportmittel im OR-Modell mit

Startpunkt = $\{SP_1, SP_2, \dots, SP_R\}$ und dem zugeordneten Index $r = 1, \dots, R$;

Lagereingang;

list die Menge der Eingangspunkte in das Lager im OR-Modell mit

Lagereingang = $\{LE_1, LE_2, \dots, LE_Q\}$ und dem zugeordneten Index $q = 1, \dots, Q$;

Lagerausgang;

list die Menge der Ausgangspunkte aus dem Lager im OR-Modell mit

Lagerausgang = $\{LA_1, LA_2, \dots, LA_P\}$ und dem zugeordneten Index $p = 1, \dots, P$;

Zielpunkt;

list die Menge der Zielpunkte der abgehenden Transportmittel im OR-Modell mit

Zielpunkt = $\{ZP_1, ZP_2, \dots, ZP_S\}$ und dem zugeordneten Index $s = 1, \dots, S$;

lb) abgeleitete Grundmengen im OR-Modell;

lb1) Transportstrecken im OR-Modell;

Koordinate1_x(Startpunkt): x_{start} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Startpunkte im OR-Modell;

Koordinate2_y(Startpunkt): y_{start} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Startpunkte im OR-Modell;

Koordinate3_x(Lagereingang): x_{Lein} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Lagereingangspunkte im OR-Modell;

Koordinate4_y(Lagereingang): y_{Lein} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Lagereingangspunkte im OR-Modell;

Koordinate5_x(Lagerausgang): x_{Laus} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Lagerausgangspunkte im OR-Modell;

Koordinate6_y(Lagerausgang): y_{Laus} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Lagerausgangspunkte im OR-Modell;

Koordinate7_x(Zielpunkt): x_{ziel} ;

Spezifiziert die x-Koordinate der Zielpunkte im OR-Modell;

Koordinate8_y(Zielpunkt): y_{ziel} ;

Spezifiziert die y-Koordinate der Zielpunkte im OR-Modell;

Transportstrecke1(Startpunkt,Zielpunkt): TS_{start_ziel} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Start- zum Zielpunkt im OR-Modell;

Transportstrecke2(Startpunkt,Lagereingang): TS_{start_Lein} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Startpunkt zum Lagereingang im OR-Modell;

Transportstrecke3(Lagereingang,Lagerausgang): TS_{Lein_Laus} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Lagereingang zum Lagerausgang im OR-Modell;

Transportstrecke4(Lagerausgang,Zielpunkt): TS_{Laus_ziel} ;

Spezifiziert die Transportstrecke im Umschlagterminal vom Lagerausgang zum Zielpunkt im OR-Modell;

lb2) Transportmengen im OR-Modell;

Umschlagmenge_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): y_{stan} ;

Spezifiziert die Umschlagmenge an Standardgütern im OR-Modell;

Umschlagmenge_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): y_{gef} ;

Spezifiziert die Umschlagmenge an Gefahrgütern im OR-Modell;

lb3) Umschlagzeiten im OR-Modell;

Umschlagzeit_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_{stan_ind} ;

Spezifiziert die Umschlagzeiten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Umschlagzeit1_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_{stan_ind1} ;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 1 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Startpunkt zum Lagereingang im OR-Modell;

Umschlagzeit2_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_{stan_ind2} ;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 2 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Lagereingang zum Lagerausgang im OR-Modell;

Umschlagzeit3_Standardgut_ind(Standardgut,Transportmittel): UZ_{stan_ind3} ;

Spezifiziert die Umschlagzeiten Teil 3 der indirekt umzuschlagenden Standardgüter vom Lagerausgang zum Zielpunkt im OR-Modell;

Umschlagzeit_Gefahrgut_dir(Gefahrgut,Transportmittel): UZ_{gef_dir} ;

Spezifiziert die Umschlagzeiten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb4) Kraftstoffkosten im OR-Modell;

Kraftstoffkosten_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): KK_{stan_ind} ;

Spezifiziert die Kraftstoffkosten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Kraftstoffkosten_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): KK_{gef_dir} ;

Spezifiziert die Kraftstoffkosten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb5) Personalkosten im OR-Modell;

Personalkosten_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): PK_{stan_ind} ;

Spezifiziert die Personalkosten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Personalkosten_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): PK_{gef_dir} ;

Spezifiziert die Personalkosten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb6) Umschlagkosten im OR-Modell;

Umschlagkosten_Standardgut(Standardgut,Transportmittel): UK_{stan} ;

list die Menge der Umschlagkosten der indirekt umzuschlagenden Standardgüter im OR-Modell;

Umschlagkosten_Gefahrgut(Gefahrgut,Transportmittel): UK_{gef} ;

list die Menge der Umschlagkosten der direkt umzuschlagenden Gefahrgüter im OR-Modell;

lb7) ressourcenabhängige Größen im OR-Modell;

Geschwindigkeit(Ressource): vel ;

!spezifiziert die Geschwindigkeit der Ressourcen im OR-Modell;

Kapazitaet_quantitativ(Ressource): Kap_quan ;

!quantitative Kapazität der Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für Standard- und Gefahrgüter im OR-Modell;

Kapazitaet_zeit(Ressource): Kap_zeit ;

!zeitliche Kapazität einer Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für Standard- und Gefahrgüter im OR-Modell;

Kosten_Kraftstoffverbrauch(Ressource): $Kspit$;

!Kosten des Kraftstoffverbrauchs einer Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für den Umschlag von einem Container eines Standard- oder Gefahrguts;

Kosten_Personal(Ressource): $Kperso$;

!Personalkosten einer Ressource k eines einzelnen Umschlagterminals für den Umschlag von einem Container eines Standard- oder Gefahrguts;

lc) Entscheidungsvariablen im OR-Modell;

lc1) Transport-Entscheidungsvariablen, die sicherstellen, dass die Güter im Umschlagterminal "überhaupt" transportiert werden;

Transportentscheidung1(Standardgut,Transportmittel): x_stan ;

!die Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Standardgut m , das mit einem Transportmittel l angeliefert wurde, im Umschlagterminal transportiert wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

Transportentscheidung2(Gefahrgut,Transportmittel): x_gef ;

!die Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Gefahrgut n , das mit einem Transportmittel l angeliefert wurde, im Umschlagterminal transportiert wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

lc2) Umschlag-Entscheidungsvariablen, welche die unterschiedlichen Umschlagarten im Umschlagterminal modellieren;

Umschlagentscheidung1(Standardgut,Transportmittel,Startpunkt,Lagereingang,Lagerausgang,Zielpunkt,Ressource): Um_stan_ind ;

!die Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Standardgut m eines Transportmittels l im Umschlagterminal mit Hilfe einer Ressource k indirekt umgeschlagen wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

Umschlagentscheidung2(Gefahrgut,Transportmittel,Startpunkt,Zielpunkt,Ressource): Um_gef_dir;
 Idie Entscheidungsvariable nimmt den Wert 1 an, wenn ein Gefahrgut n eines Transportmittels l im Umschlagterminal mit Hilfe einer Ressource k direkt umgeschlagen wird, sonst nimmt sie den Wert 0 an;

ENDSETS

DATA:

Ressource = RE1 RE2;

!spezifiziert die unterschiedlichen Ressourcen, mit

RE1 = Reach-Stacker mit Personaleinsatz

RE2 = Transportfahrzeug mit Personaleinsatz;

vel = 150 130;

!spezifiziert die Geschwindigkeit der unterschiedlichen Ressourcen,
 gemessen in Meter pro Minuten (m/min) für den Umschlag eines Containers;

Ksprit = 0.0005 0.0003;

!spezifiziert die Kraftstoffkosten gemessen in Euro pro Meter für den Transport eines Containers eines Standard- oder Gefahrguts;

Kperso = 0.5 0.4;

!spezifiziert die Personalkosten eines Kranführers bzw. Transportfahrzeugfahrers gemessen in Minuten für den Transport eines Containers eines Standard- oder Gefahrguts;

Startpunkt = SP1 SP2 SP3;

!gibt die Startpunkte im Umschlagterminal an;

Zielpunkt = ZP1 ZP2 ZP3;

!gibt die Zielpunkte im Umschlagterminal an;

Standardgut = SG1;

!gibt das Standardgut im Umschlagterminal an;

Gefahrgut = GG1 GG2 GG3;

!gibt die Gefahrgüter im Umschlagterminal an;

Transportmittel = TM1 TM2 TM3;

!spezifiziert die unterschiedlichen Transportmittel mit

TM1 = Lastkraftwagen

TM2 = Zug

TM3 = Schiff;

	!TM1	TM2	TM3;	
y_stan =	1	15	30;	!SG1;

!gibt die umzuschlagenden Mengen des Standardguts mit seinen verschiedenen Transportmitteln an;

	!TM1	TM2	TM3;	
y_gef =	1	12	18	!GG1;
	2	10	30	!GG2;
	1	10	10;	!GG3;

!gibt die umzuschlagende Mengen der verschiedenen Gefahrgüter mit ihren Transportmitteln an;

Lagereingang = LE1;

!gibt den Lagereingang an;

Lagerausgang = LA1;

!gibt den Lagerausgang an;

!	RE1	RE2;
Kap_quan =	80	20;

!quantitative Kapazität der einzelnen Ressourcen für Standard- und Gefahrgüter, gemessen in Containern;

!	RE1	RE2;
Kap_zeit =	1540	1400;

!zeitliche Kapazität der einzelnen Ressourcen für Standard- und Gefahrgüter, gemessen in Minuten;

!	SP1	SP2	SP3;
x_start =	5	8	9;
y_start =	7	3	10;

!gibt die Koordinaten der Startpunkte an;

!	ZP1	ZP2	ZP3;
x_ziel =	100	600	1100;
y_ziel =	1200	1300	1400;

!gibt die Koordinaten der Zielpunkte an;

x_Lein = 400;

y_Lein = 400;

!gibt die Koordinaten des Lagereingangspunktes an;

x_Laus = 300;

y_Laus = 300;

!gibt die Koordinaten des Lagerausgangspunktes an;

ENDDATA

!Die nachfolgenden @FOR-Funktionen implementieren in kompakter Form die Binär-Restriktionen, sodass für die Entscheidungsvariablen nur die Werte 0 oder 1 zulässig sind.;

@FOR(Transportentscheidung1(m,l):	@BIN(x_stan(m,l));	!Nebenbedingung (20);
@FOR(Transportentscheidung2(n,l):	@BIN(x_gef(n,l));	!Nebenbedingung (21);
@FOR(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k):	@BIN(Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k));	!Nebenbedingung (22);
@FOR(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k):	@BIN(Um_gef_dir(n,l,r,s,k));	!Nebenbedingung (23);

!Definition der Zielfunktion als Minimierung der Umschlagkosten der Standard- und Gefahrgüter;

!Das folgende Konstrukt dient zur Implementierung der Formel der ersten Zielfunktion

$$\begin{aligned}
 & UK(X_{m,l}^{stan}, X_{n,l}^{gef}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}, Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir}) \\
 &= \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K (X_{m,l}^{stan} * Y_{m,l}^{stan} * KK_{m,l}^{stan.ind}(SP_r, LE_q, LA_p, ZP_s, Ksp_{r,k}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}))}_{\text{Kraftstoffkosten der Standardgüter}} \\
 &+ \underbrace{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K (X_{m,l}^{stan} * Y_{m,l}^{stan} * PK_{m,l}^{stan.ind}(UZ_{m,l}^{stan.ind1}, UZ_{m,l}^{stan.ind2}, UZ_{m,l}^{stan.ind2}, Kperso_k, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}))}_{\text{Personalkosten der Standardgüter}} \\
 &+ \underbrace{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K (X_{n,l}^{gef} * Y_{n,l}^{gef} * KK_{n,l}^{gef.dir}(SP_r, ZP_s, Ksp_{r,k}, Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir}))}_{\text{Kraftstoffkosten der Gefahrgüter}} \\
 &+ \underbrace{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K (X_{n,l}^{gef} * Y_{n,l}^{gef} * PK_{n,l}^{gef.dir}(UZ_{n,l}^{gef.dir}, Kperso_k, Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir}))}_{\text{Personalkosten der Gefahrgüter}} \rightarrow \min!;
 \end{aligned}$$

Min = @SUM(Transportentscheidung1(m,l): x_stan(m,l) * @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l) * KK_stan_ind(m,l))) + @SUM(Transportentscheidung1(m,l): x_stan(m,l) * @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l) * PK_stan_ind(m,l))) + @SUM(Transportentscheidung2(n,l): x_gef(n,l) * @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l) * KK_gef_dir(n,l))) + @SUM(Transportentscheidung2(n,l): x_gef(n,l) * @SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l) * PK_gef_dir(n,l)));

!Das folgende Konstrukt dient zur Implementierung der Formel der zweiten Zielfunktion

$$\begin{aligned}
 & SL^{nor} (X_{m,l}^{stan}, X_{n,l}^{gef}, Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind}, Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir}) \\
 & = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind} * X_{m,l}^{stan} * Y_{m,l}^{stan} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir} * X_{n,l}^{gef} * Y_{n,l}^{gef}}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L Y_{m,l}^{stan} + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L Y_{n,l}^{gef}} \geq sl;
 \end{aligned}$$

und $sl \in [0;1]$

```

!(@SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * x_stan(m,l) * y_stan(m,l))
+ @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * x_gef(n,l) * y_gef(n,l)))
/(@SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l)) +
@SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l))) >= 1;

```

```

Teil1 = @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * x_stan(m,l) *
y_stan(m,l));

```

```

Teil2 = @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * x_gef(n,l) * y_gef(n,l));

```

```

Teil3 = @SUM(Umschlagmenge_Standardgut(m,l): y_stan(m,l)) +
@SUM(Umschlagmenge_Gefahrgut(n,l): y_gef(n,l));

```

```

Teil4 = (Teil1 + Teil2) / Teil3;

```

```

Teil4 >= 1;

```

!Nebenbedingungen der Realisierung;

$$\begin{aligned}
 & \sum_l X_{m,l}^{stan} \leq 1 \qquad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{Nebenbedingung (5a)}
 \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

```

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): x_stan(m,l) <= 1 ));

```

$$\begin{aligned}
 & \sum_l X_{n,l}^{gef} \leq 1 \qquad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{Nebenbedingung (5b)}
 \end{aligned}$$

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

```

@FOR(Gefahrgut(n): @FOR(Transportmittel (l): x_gef(n,l) <= 1 ));

```

!Nebenbedingungen der Zeit;

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \begin{pmatrix} \text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Vel}_k^{-1} \\ + \text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Vel}_k^{-1} \\ + \text{TS}(\text{LA}_p, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \end{pmatrix} \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (6)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind(m,l) =
 @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_start_Lein(r,q) *
 (1/vel(k)) + TS_Lein_Laus(q,p) * (1/vel(k)) + TS_Laus_ziel(p,s) * (1/vel(k))))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind1}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (7a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind1(m,l) =
 @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_start_Lein(r,q) *
 (1/vel(k))))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind2}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (7b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind2(m,l) =
 @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_Lein_Laus(q,p) *
 (1/vel(k))))));

$$! \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind3}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{LA}_p, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (7c)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): UZ_stan_ind3(m,l) =
 @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (TS_Laus_ziel(p,s) *
 (1/vel(k)))));

$$! \text{UZ}_{n,l}^{\text{gef.dir}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right)$$

$$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (8)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrengut(n): @FOR(Transportmittel(l): UZ_gef_dir(n,l) = @SUM(Umschlagentscheidung2
 (n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * TS_start_ziel(r,s) * (1/vel(k)))));

!Nebenbedingungen der Kosten;

$$! \text{KK}_{m,l}^{\text{stan}} + \text{PK}_{m,l}^{\text{stan}} = \text{UK}_{m,l}^{\text{stan}} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (9)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): KK_stan_ind(m,l) + PK_stan_ind(m,l) =
 UK_stan(m,l));

$$! \text{KK}_{n,l}^{\text{gef}} + \text{PK}_{n,l}^{\text{gef}} = \text{UK}_{n,l}^{\text{gef}} \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (10)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrengut(n): @FOR(Transportmittel(l): KK_gef_dir(n,l) + PK_gef_dir(n,l) = UK_gef(n,l));

$$! \text{KK}_{m,l}^{\text{stan.ind}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\begin{array}{l} \text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Ksprit}_k \\ + \text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Ksprit}_k \\ + \text{TS}(\text{LA}_p, \text{ZP}_s) * \text{Ksprit}_k \end{array} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (11)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): KK_stan_ind(m,l) =
 @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) *
 (TS_start_Lein(r,q) * Ksprit(k) + TS_Lein_Laus(q,p) * Ksprit(k) + TS_Laus_ziel(p,s) * Ksprit(k)))));

$$! \text{KK}_{n,l}^{\text{gef.dir}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) * \text{Ksprit}_k \right)$$

$$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (12)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrentug(n): @FOR(Transportmittel(l): $\text{KK}_{\text{gef.dir}}(n,l) = @\text{SUM}(\text{Umschlagentscheidung2}(n,l,r,s,k): \text{Um}_{\text{gef.dir}}(n,l,r,s,k) * (\text{TS}_{\text{start_ziel}}(r,s) * \text{Ksprit}(k))));$

$$! \text{PK}_{m,l}^{\text{stan.ind}} = \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\begin{array}{l} \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind1}} * \text{Ksprit}_k \\ + \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind2}} * \text{Ksprit}_k \\ + \text{UZ}_{m,l}^{\text{stan.ind3}} * \text{Ksprit}_k \end{array} \right) \right)$$

$$\forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (13)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): $\text{PK}_{\text{stan.ind}}(m,l) = @\text{SUM}(\text{Umschlagentscheidung1}(m,l,r,q,p,s,k): \text{Um}_{\text{stan.ind}}(m,l,r,q,p,s,k) * (\text{UZ}_{\text{stan.ind1}}(m,l) * \text{Kperso}(k) + \text{UZ}_{\text{stan.ind2}}(m,l) * \text{Kperso}(k) + \text{UZ}_{\text{stan.ind3}}(m,l) * \text{Kperso}(k))));$

$$! \text{PK}_{n,l}^{\text{gef.dir}} = \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K \left(\text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \text{UZ}_{n,l}^{\text{gef.dir}} * \text{Kperso}_k \right)$$

$$\forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (14)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrentug(n): @FOR(Transportmittel(l): $\text{PK}_{\text{gef.dir}}(n,l) = @\text{SUM}(\text{Umschlagentscheidung2}(n,l,r,s,k): \text{Um}_{\text{gef.dir}}(n,l,r,s,k) * (\text{UZ}_{\text{gef.dir}}(n,l) * \text{Kperso}(k))));$

!Nebenbedingungen des Platzes;

$$! \text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) = \sqrt{(x\text{SP}_r - x\text{ZP}_s)^2 + (y\text{SP}_r - y\text{ZP}_s)^2}$$

$$\forall r = 1, \dots, R; \forall s = 1, \dots, S$$

Nebenbedingung (15a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Startpunkt(r): @FOR(Zielpunkt(s): $\text{TS}_{\text{start_ziel}}(r,s) = ((x_{\text{start}}(r) - x_{\text{ziel}}(s))^2 + (y_{\text{start}}(r) - y_{\text{ziel}}(s))^2)^{0.5});$

$$\sqrt[!]{TS(SP_r, LE_q)} = \sqrt{(xSP_r - xLE_q)^2 + (ySP_r - yLE_q)^2} \quad \forall r = 1, \dots, R; \forall q = 1, \dots, Q$$

Nebenbedingung (15b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Startpunkt(r): @FOR(Lagereingang(q): TS_start_Lein(r,q) = ((x_start(r) - x_Lein(q))^2 + (y_start(r) - y_Lein(q))^2)^0.5));

$$\sqrt[!]{TS(LE_q, LA_p)} = \sqrt{(xLE_q - xLA_p)^2 + (yLE_q - yLA_p)^2} \quad \forall q = 1, \dots, Q; \forall p = 1, \dots, P$$

Nebenbedingung (15c)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Lagereingang(q): @FOR(Lagerausgang(p): TS_Lein_Laus(q,p) = ((x_Lein(q) - x_Laus(p))^2 + (y_Lein(q) - y_Laus(p))^2)^0.5));

$$\sqrt[!]{TS(LA_p, ZP_s)} = \sqrt{(xLA_p - xZP_s)^2 + (yLA_p - yZP_s)^2} \quad \forall p = 1, \dots, P; \forall s = 1, \dots, S$$

Nebenbedingung (15d)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Lagerausgang(p): @FOR(Zielpunkt(s): TS_Laus_ziel(p,s) = ((x_Laus(p) - x_ziel(s))^2 + (y_Laus(p) - y_ziel(s))^2)^0.5));

Nebenbedingungen des Umschlags;

$$\sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{m,l,r,q,p,s,k}^{stan.ind} = X_{m,l}^{stan} \quad \forall m = 1, \dots, M; \forall l = 1, \dots, 3$$

Nebenbedingung (16)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Standardgut(m): @FOR(Transportmittel(l): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) = x_stan(m,l));

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{k=1}^K Um_{n,l,r,s,k}^{gef.dir} = X_{n,l}^{gef} \quad \forall n = 1, \dots, N; \forall l = 1, \dots, L$$

Nebenbedingung (17)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Gefahrentgut(n): @FOR(Transportmittel(l): @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) = x_gef(n,l));

!Nebenbedingungen der Kapazität;

$$\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \sum_{m,l,r,q,p,s,k} \text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * Y_{m,l}^{\text{stan}} \leq \text{Kap}_k^{\text{quan}} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (18a)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * y_stan(m,l)) <= Kap_quan(k));

$$\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{n,l,i,k,r,s} \text{Um}_{n,l,i,k,r,s}^{\text{gef.dir}} * Y_{n,l}^{\text{gef}} \leq \text{Kap}_k^{\text{quan}} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (18b)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * y_gef(n,l)) <= Kap_quan(k));

$$\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{q=1}^Q \sum_{p=1}^P \sum_{s=1}^S \left(\sum_{m,l,r,q,p,s,k} \text{Um}_{m,l,r,q,p,s,k}^{\text{stan.ind}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{LE}_q) * \text{Vel}_k^{-1} + \text{TS}(\text{LE}_q, \text{LA}_p) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right) + \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \left(\sum_{n,l,r,s,k} \text{Um}_{n,l,r,s,k}^{\text{gef.dir}} * \left(\text{TS}(\text{SP}_r, \text{ZP}_s) * \text{Vel}_k^{-1} \right) \right) \leq \text{Kap}_k^{\text{zeit}} \quad \forall k = 1, \dots, K$$

Nebenbedingung (19)

Der folgende LINGO-Ausdruck setzt o.a. Formel um;

@FOR(Ressource(k): @SUM(Umschlagentscheidung1(m,l,r,q,p,s,k): Um_stan_ind(m,l,r,q,p,s,k) * (@SUM(Transportstrecke2(r,q): TS_start_Lein(r,q)) * (1/vel(k)) + @SUM(Transportstrecke3(q,p): TS_Lein_Laus(q,p)) * (1/vel(k)) + @SUM(Transportstrecke4(p,s): TS_Laus_ziel(p,s)) * (1/vel(k)))) + @SUM(Umschlagentscheidung2(n,l,r,s,k): Um_gef_dir(n,l,r,s,k) * @SUM(Transportstrecke1(r,s): TS_start_ziel(r,s)) * (1/vel(k))) <= Kap_zeit(k));

END