Literaturverzeichnis

Absi, N. und Kedad-Sidhoum, S. (2008): The multi-item capacitated lot-sizing problem with setup times and shortage costs. In: European Journal of Operational Research. Bd. 185, S. 1351–1374.

Adam, D. (1988): Aufbau und Eignung klassischer PPS-Systeme. In: D. Adam (Hrsg.), Fertigungssteuerung I: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. Gabler, Wiesbaden, S. 5–21.

Akartunalı, K. und Miller, A.J. (2009): A heuristic approach for big bucket multilevel production planning problems. In: European Journal of Operational Research. Bd. 193, S. 396–411.

Aksen, D.; Altinkemer, K. und Chand, S. (2003): The single-item lot-sizing problem with immediate lost sales. In: European Journal of Operational Research. Bd. 147, S. 558–566.

Almada-Lobo, B.; Klabjan, D.; Carravilla, M.A. und Oliveira, J.F. (2007): Single machine multi-product capacitated lot sizing with sequence-dependent setups. In: International Journal of Production Research. Bd. 45, S. 4873–4894.

Bahl, H.C.; Ritzman, L.P. und Gupta, J.N.D. (1987): Determining lot sizes and resource requirements: A review. In: Operations Research. Bd. 35, S. 329–345.

Barany, I.; van Roy, T.J. und Wolsey, L.A. (1984): Strong formulations for multi-item capacitated lot sizing. In: Management Science. Bd. 30, S. 1255–1261.

Barbarosoglu, G. und Özdamar, L. (2000): Analysis of solution space-dependent performance of simulated annealing: The case of the multi-level capacitated lot sizing problem. In: Computers & Operations Research. Bd. 27, S. 895–903.

Beasley, J.E. (1995): Lagrangean relaxation. In: C.R. Reeves (Hrsg.), Modern heuristic techniques for combinatorial problems. McGraw-Hill, London, S. 243–303.

Belvaux, G. und Wolsey, L.A. (2000): bc-prod: A specialized branch-and-cut system for lot-sizing problems. In: Management Science. Bd. 46, S. 724–738.

Belvaux, G. und Wolsey, L.A. (2001): Modelling practical lot-sizing problems as mixed-integer programs. In: Management Science. Bd. 47, S. 993–1007.

Berretta, R.; França, P.M. und Armentano, V.A. (2005): Metaheuristic approaches for the multilevel resource-constrained lot-sizing problem with setup and lead times. In: Asia-Pacific Journal of Operational Research. Bd. 22, S. 261–286.

Berretta, R. und Rodrigues, L.F. (2004): A memetic algorithm for a multistage capacitated lot-sizing problem. In: International Journal of Production Economics. Bd. 87, S. 67–81.

Billington, P.J.; McClain, J.O. und Thomas, L.J. (1983): Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP systems: Review, formulation and problem reduction. In: Management Science. Bd. 39, S. 1126–1141.

Billington, P.J.; McClain, J.O. und Thomas, L.J. (1986): Heuristics for multilevel lot-sizing with a bottleneck. In: Management Science. Bd. 32, S. 989–1006.

Blackburn, J.D. und Millen, R.A. (1984): Simultaneous lot-sizing and capacity planning in multi-stage assembly processes. In: European Journal of Operational Research. Bd. 16, S. 84–93.

Blum, C. und Roli, A. (2003): Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. In: ACM Computing Surveys. Bd. 35, S. 268–308.

Boctor, F.F. und Poulin, P. (2005): Heuristics for the *n*-product, *m*-stage, economic lot sizing and scheduling problem with dynamic demand. In: International Journal of Production Research. Bd. 43, S. 2809–2828.

Bourjolly, J.M.; Ding, K.; Gopalakrishnan, M.; Gramani, M.C.N. und Mohan, S. (2001): On a tactical/operational production planning problem in supply chain management: Balancing inventory and setup costs. In: J. de Sousa (Hrsg.), Proceedings of the 4th Metaheuristics International Conference. Porto, S. 569–571.

Brahimi, N.; Dauzère-Pérès, S.; Najid, N.M. und Nordli, A. (2006): Single item lot sizing problems. In: European Journal of Operational Research. Bd. 168, S. 1–16.

Buschkühl, L. (2008): Multi-level capacitated lotsizing with setup carryover. Kölner Wissenschaftsverlag, Köln.

Buschkühl, L.; Sahling, F.; Helber, S. und Tempelmeier, H. (2008): Dynamic capacitated lot-sizing problems – A classification and review of solution approaches. In: Operations Research Spectrum, S. 1–31. DOI 10.1007/s00291-008-0150-7.

de Carvalho, J.M.V. (2002): LP models for bin packing and cutting stock problems. In: European Journal of Operational Research. Bd. 141, S. 253–273.

Chen, H. und Chu, C. (2003): A Lagrangian relaxation approach for supply chain planning with order/setup costs and capacity constraints. In: Journal of Systems Science and Systems Engineering. Bd. 12, S. 98–110.

Clark, A.R. und Armentano, V.A. (1995): A heuristic for a resource-capacitated multi-stage lot-sizing problem with lead times. In: Journal of the Operational Research Society. Bd. 46, S. 1208–1222.

Corsten, H. und Gössinger, R. (2008): Einführung in das Supply Chain Management. Oldenbourg, München et al., 2. Aufl.

DeMatteis, J.J. (1968): An economic lot-sizing technique, part I – The part-period algorithm. In: IBM Systems Journal. Bd. 7, S. 30–38.

Deneubourg, J.L.; Aron, S.; Goss, S. und Pasteels, J.M. (1990): The self-organizing exploratory pattern of the Argentine ant. In: Journal of Insect Behavior. Bd. 3, S. 159–168.

Denizel, M.; Altekin, F.T.; Süral, H. und Stadtler, H. (2008): Equivalence of the LP relaxations of two strong formulations for the capacitated lot-sizing problem with setup times. In: Operations Research Spectrum. Bd. 30, S. 773–785.

Derstroff, M.C. (1995): Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen. Physica-Verlag, Heidelberg.

Dillenberger, C.; Escudero, L.F.; Wollensak, A. und Zhang, W. (1993): On solving a large-scale resource allocation problem in production planning. In: G. Fandel; T. Gulledge und A. Jones (Hrsg.), Operations research in production planning and control. Springer, Berlin et al., S. 105–119.

Dillenberger, C.; Escudero, L.F.; Wollensak, A. und Zhang, W. (1994): On practical resource allocation for production planning and scheduling with period overlapping setups. In: European Journal of Operational Research. Bd. 75, S. 275–286.

Dixon, P.S. und Silver, E.A. (1981): A heuristic solution procedure for the multi-item, single-level, limited capacity, lot-sizing problem. In: Journal of Operations Management. Bd. 2, S. 23–39.

Domschke, W. (1997): Logistik: Rundreisen und Touren. Oldenbourg, München et al., 4. Aufl.

Domschke, W. und Drexl, A. (2007): Einführung in Operations Research. Springer, Berlin et al., 7. Aufl.

Domschke, W.; Scholl, A. und Voß, S. (1997): Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte. Springer, Berlin et al., 2. Aufl.

Dorigo, M. und Stützle, T. (2003): The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, applications, and advances. In: F. Glover und G.A. Kochenberger (Hrsg.), Handbook of metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass. et al., S. 251–285.

Dorigo, M. und Stützle, T. (2004): Ant colony optimization. MIT Press, Cambridge, Mass. et al.

Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.O.; Stadtler, H. und Tempelmeier, H. (1994): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung. Bd. 46, S. 1022–1045.

Drexl, A. und Kimms, A. (1997): Lot sizing and scheduling – Survey and extensions. In: European Journal of Operational Research. Bd. 99, S. 221–235.

Eppen, G.D. und Martin, R.K. (1987): Solving multi-item capacitated lot-sizing problems using variable redefinition. In: Operations Research. Bd. 35, S. 832–848.

Evans, J.R. (1985): An efficient implementation of the Wagner-Whitin algorithm for dynamic lot-sizing. In: Journal of Operations Management. Bd. 5, S. 229–235.

Federgruen, A. und Tzur, M. (1991): A simple forward algorithm to solve general dynamic lot sizing models with n periods in $O(n \log n)$ or $O(n)$ time. In: Management Science. Bd. 37, S. 909–925.

Fink, A. und Rothlauf, F. (2006): Heuristische Optimierungsverfahren in der Wirtschaftsinformatik. Arbeitspapier. Department of Information Systems 1, University of Mannheim.

Fisher, M.L. (1985): An applications oriented guide to Lagrangian relaxation. In: Interfaces. Bd. 15, S. 10–21.

Fleischmann, B. (1988): Operations-Research-Modelle und -Verfahren in der Produktionsplanung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft. Bd. 58, S. 347–372.

Fleischmann, B. (2008): Distribution and transport planning. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl., S. 231–246.

Fleischmann, B. und Meyr, H. (2003): Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems. In: A.G. de Kok und S.C. Graves (Hrsg.), Handbooks in operations research and management science: Supply chain management: Design, coordination and operation. Bd. 11. Elsevier, Amsterdam et al., S. 457–523.

Florian, M.; Lenstra, J.K. und Kan, A.H.G.R. (1980): Deterministic production planning: Algorithms and complexity. In: Management Science. Bd. 26, S. 669–679.

Förster, A.; Haase, K. und Tönnies, M. (2006): Ein modellgestützter Ansatz zur mittelfristigen Produktions- und Ablaufplanung für eine Brauerei. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft. Bd. 76, S. 1255–1274.

França, P.M.; Armentano, V.A.; Berretta, R.E. und Clark, A.R. (1997): A heuristic method for lot-sizing in multi-stage systems. In: Computers & Operations Research. Bd. 24, S. 861–874.

Fündeling, C.U. und Trautmann, N. (2005): Belegungsplanung einer Make&Pack-Anlage: Eine Fallstudie aus der Konsumgüterindustrie. In: H.O. Günther; D. Mattfeld und L. Suhl (Hrsg.), Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support. Physica-Verlag, Heidelberg, S. 223–233.

Garey, M. und Johnson, D. (1979): Computers and intractability: A guide to the theory of $\mathcal{NP}$-completeness. Freeman, New York, NY.

Gendreau, M. (2003): An introduction to tabu search. In: F. Glover und G.A. Kochenberger (Hrsg.), Handbook of metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass. et al., S. 37–54.

Geoffrion, A.M. (1974): Lagrangean relaxation for integer programming. In: Mathematical Programming Study. Bd. 2, S. 82–114.

Glover, F. (1986): Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. In: Computers & Operations Research. Bd. 13, S. 533–549.

Goddard, W. (2008): Introducing the theory of computation. Jones and Bartlett, Sudbury, Mass.

Goetschalcks, M. und Fleischmann, B. (2008): Strategic network design. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl., S. 117–132.

Goffin, J.L. (1977): On convergence rates of subgradient optimization methods. In: Mathematical Programming. Bd. 13, S. 329–347.

Gomory, R.E. (1963): An all-integer integer programming algorithm. In: J.F. Muth und G.L. Thompson (Hrsg.), Industrial scheduling. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, S. 193–206.

Gopalakrishnan, M.; Ding, K.; Bourjolly, J.M. und Mohan, S. (2001): A tabu-search heuristic for the capacitated lot-sizing problem with set-up carryover. In: Management Science. Bd. 47, S. 851–863.

Gopalakrishnan, M.; Miller, D.M. und Schmidt, C. (1995): A framework for modelling setup carryover in the capacitated lot sizing problem. In: International Journal of Production Research. Bd. 33, S. 1973–1988.

Groff, G.K. (1979): A lot sizing rule for time-phased component demand. In: Production & Inventory Management. Bd. 20, S. 47–53.

Grünert, T. (1998): Multi-level sequence-dependent dynamic lotsizing and scheduling. Shaker Verlag, Aachen.

Günther, H.O. (2005): Supply chain management and advanced planning systems: A tutorial. In: H.O. Günther; D.C. Mattfeld und L. Suhl (Hrsg.), Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support. Physica-Verlag, Heidelberg, S. 3–40.

Günther, H.O.; Grunow, M. und Neuhaus, U. (2006): Realizing block planning concepts in make-and-pack production using MILP modelling and SAP APO©. In: International Journal of Production Research. Bd. 44, S. 3711–3726.

Günther, H.O. und Tempelmeier, H. (2007): Produktion und Logistik. Springer, Berlin et al., 7. Aufl.

Gupta, D. und Magnusson, T. (2005): The capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times. In: Computers & Operations Research. Bd. 32, S. 727–747.

Gupta, Y.P. und Keung, Y. (1990): A review of multi-stage lot-sizing models. In: International Journal of Operations & Production Management. Bd. 10, S. 57–73.

Gutierrez, E.; Hernández, W. und Süer, G.A. (2001): Genetic algorithms in capacitated lot sizing decisions. In: Proceedings of the Computing Research Conference 2001. Mayagüez, Puerto Rico, S. 1–4.

Haase, K. (1994): Lotsizing and scheduling for production planning. Lecture notes in economics and mathematical systems, Nr. 408. Springer, Berlin et al.

Haase, K. (1996): Capacitated lot-sizing with sequence dependent setup costs. In: Operations Research Spektrum. Bd. 18, S. 51–59.

Haase, K. (1998): Capacitated lot-sizing with linked production quantities of adjacent periods. In: A. Drexl und A. Kimms (Hrsg.), Beyond manufacturing resource planning (MRP II): Advanced models and methods for production planning. Springer, Berlin et al., S. 127–146.

Haase, K. und Kimms, A. (2000): Lot sizing and scheduling with sequence-dependent setup costs and times and efficient rescheduling opportunities. In: International Journal of Production Economics. Bd. 66, S. 159–169.

Haase, K. und Kohlmorgen, U. (1995): Parallel genetic algorithm for the capacitated lot-sizing problem. In: P. Kleinschmidt; A. Bachem; U. Derigs; D. Fischer; U. Leopold-Wildburger und R. Möhring (Hrsg.), Operations research proceedings 1995. Springer, Berlin et al., S. 370–375.

Harris, F.W. (1913): How many parts to make at once. In: Factory, the Magazine of Management. Bd. 10, S. 135–136, 152. Neudruck in: Operations Research (1990). Bd. 38, S. 947–950.

Harrison, T.P. und Lewis, H.S. (1996): Lot sizing in serial assembly systems with multiple constrained resources. In: Management Science. Bd. 42, S. 19–36.

Helber, S. (1994): Kapazitätsorientierte Losgrößenplanung in PPS-Systemen. Metzler & Poeschel, Verlag für Wissenschaft und Forschung, Stuttgart.

Helber, S. (1995): Lot sizing in capacitated production planning and control systems. In: Operations Research Spektrum. Bd. 17, S. 5–18.

Helber, S. und Sahling, F. (2009): A fix-and-optimize approach for the multi-level capacitated lot sizing problem. In: International Journal of Production Economics, S. 1–10. DOI 10.1016/j.ijpe.2009.08.022.

Henderson, D.; Jacobsen, S.H. und Johnson, A.W. (2003): The theory and practice of simulated annealing. In: F. Glover und G.A. Kochenberger (Hrsg.), Handbook of metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass. et al., S. 287–319.

Hindi, K.S. (1996): Solving the CLSP by a tabu search heuristic. In: Journal of the Operational Research Society. Bd. 47, S. 151–161.

Hoitsch, H.J. und Lingnau, V. (2007): Kosten- und Erlösrechnung: Eine controllingorientierte Einführung. Springer, Berlin et al., 6. Aufl.

Hung, Y.F. und Chien, K.L. (2000): A multi-class multi-level capacitated lot sizing model. In: Journal of the Operational Research Society. Bd. 51, S. 1309–1318.

Hung, Y.F. und Hu, Y.C. (1998): Solving mixed integer programming production planning problems with setups by shadow price information. In: Computers & Operations Research. Bd. 25, S. 1027–1042.

ILOG (2006): ILOG CPLEX 10.0 – User's manual. ILOG S.A.

Jacobs, F.R. und Khumawala, B.M. (1982): Multi-level lot sizing in material requirements planning: An empirical investigation. In: Computers & Operations Research. Bd. 9, S. 139–144.

Jans, R. und Degraeve, Z. (2007): Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches. In: European Journal of Operational Research. Bd. 177, S. 1855–1875.

Johnson, D.S. und Papadimitriou, C.H. (1985): Computational complexity. In: E.L. Lawler; J.K. Lenstra; A.H.G.R. Kan und D.B. Shmoys (Hrsg.), The traveling salesman problem – A guided tour of combinatorial optimization. Wiley, Chichester, W. Sussex et al., S. 37–85.

Karimi, B.; Ghomi, S.M.T.F. und Wilson, J.M. (2003): The capacitated lot sizing problem: A review of models and algorithms. In: Omega. Bd. 31, S. 365–378.

Karmarkar, U.S. und Schrage, L. (1985): The deterministic dynamic product cycling problem. In: Operations Research. Bd. 33, S. 326–345.

Katok, E.; Lewis, H.S. und Harrison, T.P. (1998): Lot sizing in general assembly systems with setup costs, setup times, and multiple constrained resources. In: Management Science. Bd. 44, S. 859–877.

Kilger, C. und Meyr, H. (2008): Demand fulfilment and ATP. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl., S. 181–198.

Kilger, C. und Wagner, M. (2008): Demand planning. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl., S. 133–160.

Kimms, A. (1996a): Competitive methods for multi-level lot sizing and scheduling: Tabu search and randomized regrets. In: International Journal of Production Research. Bd. 34, S. 2279–2298.

Kimms, A. (1996b): Multi-level, single-machine lotsizing and scheduling (with initial inventory). In: European Journal of Operational Research. Bd. 89, S. 86–99.

Kimms, A. (1997): Multi-level lot sizing and scheduling: Methods for capacitated, dynamic, and deterministic models. Physica-Verlag, Heidelberg.

Kirkpatrick, S.; Gelatt, C.D. und Vecchi, M.P. (1983): Optimization by simulated annealing. In: Science. Bd. 220, S. 671–680.

Krarup, J. und Bilde, O. (1977): Plant location, set covering and economic lot size: An $O(mn)$-algorithm for structured problems. In: L. Collatz; G. Meinardus und W. Wetterling (Hrsg.), Numerische Methoden bei Optimierungsaufgaben Band 3 – Optimierung bei graphentheoretischen und ganzzahligen Problemen. Birkhäuser, Basel et al., S. 155–180.

Kuik, R.; Salomon, M.; van Wassenhove, L.N. und Maes, J. (1993): Linear programming, simulated annealing and tabu search heuristics for lotsizing in bottleneck assembly systems. In: IIE Transactions. Bd. 25, S. 62–72.

Küpper, H.U. und Helber, S. (2004): Ablauforganisation in Produktion und Logistik. Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 3. Aufl.

Land, A.H. und Doig, A.G. (1960): An automatic method of solving discrete programming problems. In: Econometrica. Bd. 28, S. 497–520.

Maes, J.; McClain, J.O. und van Wassenhove, L.N. (1991): Multilevel capacitated lotsizing complexity and LP-based heuristics. In: European Journal of Operational Research. Bd. 53, S. 131–148.

Maes, J. und van Wassenhove, L. (1988): Multi-item single-level capacitated dynamic lot-sizing heuristics: A general review. In: Journal of the Operational Research Society. Bd. 39, S. 991–1004.

Merz, P. (2000): Memetic algorithms for combinatorial optimization problems: Fitness landscapes and effective search strategies. Dissertation. Fachbereich Elektrotechnik und Informatik, Universität Siegen. http://www.ub.uni-siegen.de/epub/diss/merz.htm.

Meyr, H. (2000): Simultaneous lotsizing and scheduling by combining local search with dual reoptimization. In: European Journal of Operational Research. Bd. 120, S. 311–326.

Meyr, H. (1999): Simultane Losgrößen- und Reihenfolgeplanung für kontinuierliche Produktionslinien: Modelle und Methoden im Rahmen des Supply Chain Management. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.

Méndez, C.A. und Cerdá, J. (2002): An MILP-based approach to the short-term scheduling of make-and-pack continuous production plants. In: Operations Research Spectrum. Bd. 24, S. 403–429.

Moorkanat, J. (2000): Studies in certain resource loading, scheduling and production control problems in multi-stage production control problems in multi-stage production inventory systems. Dissertation. Indian Institute of Technology, Bombay.

Mühlenbein, H. (2003): Genetic algorithms. In: E. Aarts und J.K. Lenstra (Hrsg.), Local search in combinatorial optimization. John Wiley, New York, S. 137–171.

Nissen, V. (1994): Evolutionäre Algorithmen: Darstellung, Beispiele, betriebswirtschaftliche Anwendungsmöglichkeiten. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.

Özdamar, L. und Barbarosoglu, G. (1999): Hybrid heuristics for the multi-stage capacitated lot sizing and loading problem. In: Journal of the Operational Research Society. Bd. 50, S. 810–825.

Özdamar, L. und Barbarosoglu, G. (2000): An integrated Lagrangean relaxation-simulated annealing approach to the multi-level multi-item capacitated lot sizing problem. In: International Journal of Production Economics. Bd. 68, S. 319–331.

Özdamar, L.; Birbil, Ş. I. und Portmann, M.C. (2002): Technical note: New results for the capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times. In: Production Planning & Control. Bd. 13, S. 2–10.

Özdamar, L. und Bozyel, M.A. (2000): The capacitated lot sizing problem with overtime decisions and setup times. In: IIE Transactions. Bd. 32, S. 1043–1057.

Pitakaso, R.; Almeder, C.; Doerner, K.F. und Hartl, R.F. (2006): Combining population-based and exact methods for multi-level capacitated lot-sizing problems. In: International Journal of Production Research. Bd. 44, S. 4755–4771.

Pochet, Y. und Wolsey, L.A. (1991): Solving multi-item lot-sizing problems using strong cutting planes. In: Management Science. Bd. 37, S. 53–67.

Pochet, Y. und Wolsey, L.A. (2006): Production planning by mixed integer programming. Springer, New York, NY.

Quadt, D. und Kuhn, H. (2008): Capacitated lot-sizing with extensions: A review. In: 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research. Bd. 6, S. 61–83.

Reeves, C. (2003): Genetic algorithms. In: F. Glover und G.A. Kochenberger (Hrsg.), Handbook of metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass. et al., S. 55–82.

Rohde, J.; Meyr, H. und Wagner, M. (2000): Die Supply Chain Planning Matrix. In: PPS Management. Bd. 5, S. 10–15.

Rohde, J. und Wagner, M. (2008): Master planning. In: H. Stadtler und C. Kilger (Hrsg.), Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl., S. 161–179.

Rosling, K. (1986): Optimal lot-sizing for dynamic assembly systems. In: S. Axsäter; C. Schneeweiss und E. Silver (Hrsg.), Multi-stage production planning and inventory control. Springer, Berlin et al., S. 119–131.

Rossi, H. (2005): Ein heuristisches Dekompositionsverfahren für mehrstufige Losgrößenprobleme. Dissertation. Fachbereich Wirtschaftswissenschaft, Freie Universität Berlin. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/receive/FUDISS_thesis_000000001757.

Sahling, F.; Buschkühl, L.; Helber, S. und Tempelmeier, H. (2009): Solving a multi-level capacitated lot sizing problem with multi-period setup carry-over via a fix-and-optimize heuristic. In: Computers & Operations Research. Bd. 36, S. 2546–2553.

Salomon, M. (1991): Deterministic lotsizing models for production planning. Lecture notes in economics and mathematical systems, Nr. 355. Springer, Berlin et al.

Salomon, M.; Kroon, L.G.; Kuik, R. und van Wassenhove, L.N. (1991): Some extensions of the discrete lotsizing and scheduling problem. In: Management Science. Bd. 37, S. 801–812.

Salomon, M.; Kuik, R. und van Wassenhove, L.N. (1993): Statistical search methods for lotsizing problems. In: Annals of Operations Research. Bd. 41, S. 453–468.

Sandi, C. (1979): Subgradient optimization. In: N. Christofides; A. Mingozzi; P. Toth und C. Sandi (Hrsg.), Combinatorial optimization. Wiley, Chichester et al., S. 73–91.

Schelper, S. (2007): Entwicklung und Lösung eines mehrstufigen Losgrößenproblems mit parallel arbeitenden Maschinen und reihenfolgeabhängigen Rüstkosten. Diplomarbeit. Leibniz Universität Hannover, Fachgebiet Planung und Steuerung von Lager- und Transportsystemen.

Schneider, H.M.; Buzacott, J.A. und Rücker, T. (2005): Operative Produktionsplanung und -steuerung: Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen. Oldenbourg, München et al.

Scholl, A. (2008): Modellierung logistischer Systeme. In: D. Arnold; H. Isermann; A. Kuhn; K. Furmans und H. Tempelmeier (Hrsg.), Handbuch Logistik. Springer, Berlin et al., 3. Aufl., S. A 2.1–A 2.2.

Schweitzer, M. und Küpper, H.U. (2008): Systeme der Kosten- und Erlösrechnung. Vahlen, München, 9. Aufl.

Silver, E.A. und Meal, H.C. (1969): A simple modification of the EOQ for the case of a varying demand rate. In: Production & Inventory Management. Bd. 10, S. 62–65.

Silver, E.A. und Meal, H.C. (1973): A heuristic for selecting lot size quantities for the case of a deterministic time-varying demand rate and discrete opportunities for replenishment. In: Production & Inventory Management. Bd. 14, S. 64–74.

Sox, C.R. und Gao, Y. (1999): The capacitated lot sizing problem with setup carry-over. In: IIE Transactions. Bd. 31, S. 173–181.

Stadtler, H. (1996a): Mixed integer programming model formulations for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing. In: European Journal of Operational Research. Bd. 94, S. 561–581.

Stadtler, H. (1996b): On the equivalence of LP bounds provided by the shortest route and the simple plant location model formulation for dynamic multi-item multi-level capacitated lot-sizing. Arbeitspapier. Technische Hochschule Darmstadt. Schriften zur Quantitativen Betriebswirtschaftslehre, Nr. 5/96.

Stadtler, H. (1997): Reformulations of the shortest route model for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing. In: Operations Research Spektrum. Bd. 19, S. 87–96.

Stadtler, H. (2003): Multilevel lot sizing with setup times and multiple constrained resources: Internally rolling schedules with lot-sizing windows. In: Operations Research. Bd. 51, S. 487–502.

Stadtler, H. (2005): Supply chain management and advanced planning – Basics, overview and challenges. In: European Journal of Operational Research. Bd. 163, S. 575–588.

Stadtler, H. und Kilger, C. (2008): Supply chain management and advanced planning: Concepts, models, software and case studies. Springer, Berlin et al., 4. Aufl.

Stadtler, H. und Sürie, C. (2000): Description of MLCLSP test instances. Arbeitspapier. Technische Universität Darmstadt. http://www.bwl.tu-darmstadt.de/bwl1/forschung/ti_mlclsp/ti_mlclsp.php?FG=bwl1.

Staggemeier, A.T. und Clark, A.R. (2001): A survey of lot-sizing and scheduling models. In: Proceedings of the 23rd Annual Symposium of the Brazilian Operational Research Society. Campos do Jordao SP, Brazil, S. 938–947.

Stammen-Hegener, C. (2002): Simultane Losgrößen- und Reihenfolgeplanung bei ein- und mehrstufiger Fertigung. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.

Suhl, L. und Mellouli, T. (2006): Optimierungssysteme: Modelle, Verfahren, Software, Anwendungen. Springer, Berlin et al.

Sürie, C. (2005): Time continuity in discrete time models: New approaches for production planning in process industries. Lecture notes in economics and mathematical systems, Nr. 552. Springer, Berlin et al.

Sürie, C. und Stadtler, H. (2003): The capacitated lot-sizing problem with linked lot sizes. In: Management Science. Bd. 49, S. 1039–1054.

Taha, H.A. (2003): Operations research: An introduction. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 7. Aufl.

Tempelmeier, H. (1995): Auftragsgrößenplanung bei Werkstattproduktion – Ein weißer Fleck in der PPS-Landschaft. In: G. Bot; T. Christ und B. Suchanek (Hrsg.), Das Potential der Lean-Techniken in der Kraftfahrzeugwirtschaft: Aktuelle Entwicklungen der Material-Logistik in Theorie und Praxis. VDA, Karlsruhe, S. 1–20.

Tempelmeier, H. (2008): Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen. Springer, Berlin et al., 7. Aufl.

Tempelmeier, H. und Buschkühl, L. (2009): A heuristic for the dynamic multi-level capacitated lotsizing problem with linked lotsizes for general product structures. In: Operations Research Spectrum. Bd. 31, S. 385–404.

Tempelmeier, H. und Derstroff, M. (1993): Mehrstufige Mehrprodukt-Losgrößenplanung bei beschränkten Ressourcen und genereller Erzeugnisstruktur. In: Operations Research Spektrum. Bd. 15, S. 63–73.

Tempelmeier, H. und Derstroff, M. (1996): A Lagrangean-based heuristic for dynamic multilevel multiitem constrained lotsizing with setup times. In: Management Science. Bd. 42, S. 738–757.

Tempelmeier, H. und Helber, S. (1994): A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing for general product structures. In: European Journal of Operational Research. Bd. 75, S. 296–311.

Trigeiro, W.W. (1987): A dual-cost heuristic for the capacitated lot sizing problem. In: IIE Transactions. Bd. 19, S. 67–72.

Trigeiro, W.W.; Thomas, L.J. und McClain, J.O. (1989): Capacitated lot sizing with setup times. In: Management Science. Bd. 35, S. 353–366.

Wagelmans, A.; van Hoesel, S. und Kolen, A. (1992): Economic lot sizing: An $O(n \log n)$ algorithm that runs in linear time in the Wagner-Whitin case. In: Operations Research. Bd. 40, S. 145–156.

Wagner, H.M. und Whitin, T.M. (1958): Dynamic version of the economic lot size model. In: Management Science. Bd. 5, S. 89–96.

Wolsey, L.A. (1995): Progress with single-item lot-sizing. In: European Journal of Operational Research. Bd. 86, S. 395–401.

Xie, J. und Dong, J. (2002): Heuristic genetic algorithms for general capacitated lot-sizing problems. In: Computers & Mathematics with Applications. Bd. 44, S. 263–276.

Yang, G. (2005): Produktionsplanung in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken: Ein integrierter hierarischer Ansatz in der chemischen Industrie. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden.

Zäpfel, G. und Altmann, J. (1978): Losgrößenplanung: Problemstellung und Problemklassen. In: WISU. Bd. 11, S. 529–532.

Anhang

A Ausführliche Modellformulierung für ein Unterproblem des MLCLSP bei der Fix&Optimize-Heuristik

Aufgrund der vorübergehenden Fixierung der Rüstzustände $\overline{\gamma}_{kt}$ verringert sich die Kapazität cp_{mt} auf Maschine m in Periode t um die bereits fixierten Rüstzeiten:

$$\widehat{cp}_{mt} = cp_{mt} - \sum_{\substack{k \in \mathcal{K}_m \\ (k,t) \in \mathcal{KT}_{\gamma}^{fix}}} ts_k \cdot \overline{\gamma}_{kt} \qquad \forall m,t.$$

Mit der zusätzlichen Notation aus Tabelle A.1 kann das MLCLSP-SUB alternativ mathematisch folgendermaßen modelliert werden:

Tab. A.1: Ergänzende Notation für das MLCLSP-SUB

Parameter	
$\widehat{cp}_{mt}$	verfügbare Kapazität von Maschine m in Periode t nach Abzug der bereits fixierten Rüstzeiten

Modell MLCLSP-SUB:

$$\begin{aligned}\min Z = & \underbrace{\sum_{(k,t) \in \mathcal{KT}_{\gamma}^{opt}} sc_k \cdot \gamma_{kt}}_{\text{variabler Rüstkostenterm}} + \underbrace{\sum_{(k,t) \in \mathcal{KT}_{\gamma}^{fix}} sc_k \cdot \overline{\gamma}_{kt}}_{\text{fixierter Rüstkostenterm}} + \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t \in \mathcal{T}} hc_k \cdot Y_{kt} \\ & + \sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{t \in \mathcal{T}} oc_m \cdot O_{mt}\end{aligned} \tag{A.1}$$

unter Beachtung der Restriktionen

$$Y_{k,t-1} + Q^P_{k,t-vp_k} - \sum_{i \in \mathcal{N}_k} a_{ki} \cdot Q^P_{it} - Y_{kt} = d_{kt} \qquad \forall k,t \tag{A.2}$$

$$\sum_{k\in\mathcal{K}_m} tp_k \cdot Q^P_{kt} + \sum_{\substack{k\in\mathcal{K}_m \\ (k,t)\in\mathcal{KT}^{opt}_\gamma}} ts_k \cdot \gamma_{kt} \leq \widehat{cp}_{mt} + O_{mt} \qquad \forall m,t \quad \text{(A.3)}$$

$$Q^P_{kt} \leq b_{kt} \cdot \overline{\gamma}_{kt} \qquad \forall (k,t) \in \mathcal{KT}^{fix}_\gamma \quad \text{(A.4)}$$

$$Q^P_{kt} \leq b_{kt} \cdot \gamma_{kt} \qquad \forall (k,t) \in \mathcal{KT}^{opt}_\gamma \quad \text{(A.5)}$$

$$O_{mt}, Q^P_{kt}, Y_{kt} \geq 0 \qquad \forall k,m,t \quad \text{(A.6)}$$

$$\gamma_{kt} \in \{0,1\} \qquad \forall (k,t) \in \mathcal{KT}^{opt}_\gamma \quad \text{(A.7)}$$

Veränderungen treten im Vergleich zur Standardmodellformulierung[317] bei der Zielfunktion sowie bei den Restriktionen auf, in denen die Rüstzustandsvariablen γ_{kt} enthalten sind. Es wird zwischen zwei Fällen unterschieden. Im ersten Fall werden die optimal zu lösenden Binärvariablen berücksichtigt, im zweiten Fall die vorübergehend fixierten Rüstzustände. In der Zielfunktion (A.1) enthält der erste Rüstkostenterm die binären Rüstzustandsvariablen γ_{kt}, die optimal gelöst werden. Der zweite Rüstkostenterm berücksichtigt konstante Rüstkosten bedingt durch die Fixierung der Rüstzustände $\overline{\gamma}_{kt}$. Auch bei den Kapazitätsrestriktionen (A.3) erfolgt eine Anpassung. Einerseits werden die Rüstzeiten für die zu optimierenden Rüstzustandsvariablen γ_{kt} berücksichtigt. Durch den Parameter $\hat{cp}_{mt}$ werden andererseits die Rüstzeiten für die bereits fixierten Rüstzustände erfasst.

Bei den ursprünglichen Restriktionen (3.5) für das MLCLSP wird nicht zwischen den beiden Teilmengen $\mathcal{KT}^{opt}_\gamma$ und $\mathcal{KT}^{fix}_\gamma$ unterschieden. Aus diesem Grund werden diese für die Formulierung des MLCLSP-SUB in die Bedingungen (A.4) und (A.5) aufgeteilt. Bei den Lagerbilanzgleichungen (A.2) ist keine Anpassung erforderlich. Den Abschluss bilden die Nichtnegativitätsbedingungen (A.6) sowie die Binärbedingungen (A.7), wobei letztere auf die Menge $\mathcal{KT}^{opt}_\gamma$ beschränkt sind.

317 Vgl. Abschnitt 3.2 auf S. 23ff.

B Ergänzende numerische Ergebnisse der Fix&Optimize-Heuristik zur Lösung des MLCLSP

B.1 Ergebnisse der ressourcenorientierten Dekomposition

Für eine geeignete Auswahl der Parameterkombination (λ, θ) wurde in Untersuchungen der Einfluss der Länge des Planungsfensters λ auf die Lösungsgüte und Rechenzeit bei der ressourcenorientierten Dekomposition analysiert. Darüber hinaus wurde für eine gegebene Planungsfensterlänge λ der Einfluss des Parameters θ analysiert, der die Anzahl der Perioden angibt, um die das Planungsfenster jeweils verschoben wird. Die Ergebnisse dieser numerischen Untersuchungen sind in Tabelle B.1 für einen Durchlauf der RoD und in Tabelle B.2 für den mehrfachen Durchlauf dargestellt.

Mit zunehmender Länge des Planungsfensters λ werden gleichzeitig mehr Binärvariablen in einem Unterproblem betrachtet, daher steigt erwartungsgemäß sowohl beim einfachen als auch beim mehrfachen Durchlauf der RoD die Lösungsgüte an. Es wird dadurch allerdings auch mehr Rechenzeit benötigt. Je kleiner der Parameter θ gewählt wird, desto mehr Unterprobleme werden in einer Iteration der RoD betrachtet. Aus diesem Grund nimmt ebenfalls die Laufzeit zu. Gleichzeitig ist auch die Lösungsgüte höher, umso kleiner der Wert für θ gewählt wird, da die Abhängigkeiten der einzelnen Perioden untereinander genauer untersucht werden.

Bei den größeren Problemklassen ab der Problemklasse C konnten ab einem Planungsfenster von acht Perioden nicht alle Unterprobleme optimal gelöst werden, da die verwendete Rechnerarchitektur nicht ausreichte. Aus diesem Grund wurde für diese Problemklassen ein Zeitlimit von zehn Sekunden für jedes Unterproblem gewählt. Obwohl nicht mehr alle Unterprobleme optimal gelöst werden konnten, sind die Ergebnisse mit einem Planungsfenster bestehend aus acht Perioden dennoch besser als die Ergebnisse mit einem Planungsfenster von vier Perioden. Erwartungsgemäß nimmt aber auch die benötigte Rechenzeit deutlich zu. Da bereits bei der Parameterkombination $(\lambda = 8, \theta = 4)$ ein deutlicher Anstieg der Laufzeit zu verzeichnen war, wurden weitere Parameterkombinationen für diese Problemklassen nicht weiter betrachtet.

Als geeignete Wahl für die Länge des Planungsfensters λ hat sich für alle Problemklassen hinsichtlich der Lösungsgüte und der damit verbundenen Laufzeit ein Planungsfenster bestehend aus vier Perioden erwiesen $(\lambda = 4)$. Für alle Problemklassen konnten die zugehörigen Unterprobleme optimal gelöst werden. Wenn das Planungsfenster jeweils nur um eine Periode verschoben wurde ($\theta = 1$), konnte eine höhere Lösungsgüte erzielt werden als bei einem Planungsfenster, das jeweils um zwei Perioden verschoben wurde. Aufgrund der höheren Anzahl der zu untersuchenden Unterprobleme stieg jedoch die benötigte Rechenzeit im Verhältnis zur erzielten Lösungsgüte besonders bei den größeren Problemklassen zu sehr an. Aus diesem Grund wurde jeweils nur die Kombination ($\lambda = 4$, $\theta = 2$) bei den numerischen Untersuchungen verwendet.

B.2 Ergebnisse weiterer Varianten der F&O-Heuristik für das MLCLSP

Aus Gründen der Vollständigkeit sind im Folgenden die Ergebnisse der Varianten beginnend mit der RoD bei einfachem Durchlauf in Tabelle B.3 und bei mehrfachem Durchlauf in Tabelle B.4 dargestellt, die nicht in den numerischen Untersuchungen im Abschnitt 5.5 betrachtet wurden. Für die RoD wurden die folgenden Varianten definiert:

Variante 5: Erst RoD, dann PoD

Variante 6: Erst RoD, dann PzoD

Variante 7: Erst RoD, dann PoD und dann PzoD

Variante 8: Erst RoD, dann PzoD und dann PoD

Darüber hinaus sind in Tabelle B.5 die Ergebnisse bei einfachem Durchlauf und in Tabelle B.6 bei mehrfachem Durchlauf der Varianten beginnend mit der PzoD dargestellt. Mit der PzoD als Startdekomposition wurden die restlichen vier Varianten 9 bis 12 definiert:

Variante 9: Erst PzoD, dann PoD

Variante 10: Erst PzoD, dann RoD

Variante 11: Erst PzoD, dann PoD und dann RoD

Variante 12: Erst PzoD, dann RoD und dann PoD

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keine der vorgestellten Varianten die im Kapitel 5 untersuchten Varianten dominiert.

Tab. B.1: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei einfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = 1$) der ressourcenorientierten Dekomposition

λ	θ	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
		Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
4	1	4,26	26,76	100,00	3,17	4,67	27,41	100,00	3,58
4	2	4,75	27,33	100,00	3,46	5,06	27,88	100,00	4,30
4	4	9,94	33,61	100,00	0,88	10,78	34,97	100,00	1,09
8	1	2,80	25,06	100,00	16,53	3,07	25,51	100,00	14,40
8	2	2,80	25,05	100,00	8,53	3,20	25,68	100,00	7,89
8	4	2,89	25,16	100,00	4,36	3,30	25,78	100,00	3,91
8	8	5,43	28,25	100,00	2,35	6,44	29,70	100,00	2,26
12	1	2,55	24,77	100,00	254,90	2,64	24,98	100,00	185,28
12	2	2,58	24,81	100,00	121,69	2,58	24,90	100,00	100,37
12	4	2,54	24,76	100,00	66,91	2,64	24,99	100,00	53,22
12	6	2,69	24,94	100,00	42,90	2,73	25,11	100,00	35,77
12	12	4,16	26,72	100,00	15,02	4,30	27,05	100,00	11,16
		Problemklasse C				**Problemklasse D**			
4	1	5,97	22,79	100,00	20,21	14,60	24,27	98,61	13,97
4	2	6,97	23,95	100,00	19,28	14,32	23,68	95,83	7,85
4	4	8,68	25,97	100,00	4,91	15,65	25,39	98,61	3,87
8	4	4,95	21,64	100,00	125,07	13,56	23,38	98,61	85,59
		Problemklasse E							
4	1	13,97	25,93	100,00	43,88				
4	2	14,18	26,17	100,00	23,15				
4	4	14,74	26,82	100,00	13,15				
8	4	13,66	25,59	100,00	166,80				

Anmerkung: Bei den größeren Problemklassen ab der Klasse C konnten nicht mehr alle Unterprobleme mit einer Planungsfensterlänge von acht Perioden optimal gelöst werden, da die vorhandene Rechenkapazität nicht ausgereicht hat. Aus diesem Grund wurde ein Zeitlimit von zehn Sekunden je Unterproblem eingeführt.

Tab. B.2: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei mehrfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = \infty$) der ressourcenorientierten Dekomposition

λ	θ	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
		Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
4	1	1,69	23,71	100,00	4,39	1,47	23,52	100,00	4,69
4	2	2,28	24,39	100,00	4,95	1,92	24,07	100,00	5,29
4	4	6,44	29,45	100,00	1,26	6,43	29,63	100,00	1,61
8	1	1,48	23,50	100,00	19,30	1,14	23,17	100,00	16,42
8	2	1,32	23,29	100,00	9,75	1,08	23,08	100,00	9,05
8	4	1,38	23,36	100,00	5,16	1,23	23,26	100,00	4,53
8	8	3,21	25,58	100,00	2,75	3,34	25,87	100,00	2,83
12	1	1,33	23,31	100,00	264,68	0,86	22,81	100,00	190,15
12	2	1,27	23,24	100,00	125,89	0,85	22,80	100,00	102,64
12	4	1,24	23,18	100,00	69,17	0,92	22,89	100,00	55,80
12	6	1,32	23,29	100,00	44,35	0,95	22,93	100,00	36,81
12	12	2,11	24,23	100,00	15,57	2,10	24,36	100,00	11,71
		Problemklasse C				**Problemklasse D**			
4	1	0,54	16,65	100,00	24,21	2,13	10,87	100,00	15,90
4	2	1,14	17,34	100,00	24,03	2,10	10,80	100,00	12,69
4	4	4,29	20,98	100,00	6,50	3,95	12,78	100,00	4,64
8	4	0,25	16,32	100,00	131,39	1,74	10,40	100,00	86,31
		Problemklasse E							
4	1	2,94	13,88	100,00	49,36				
4	2	3,55	14,58	100,00	26,48				
4	4	4,57	15,73	100,00	14,87				
8	4	2,88	13,82	100,00	168,86				

Anmerkung: Bei den größeren Problemklassen ab der Klasse C konnten nicht mehr alle Unterprobleme mit einer Planungsfensterlänge von acht Perioden optimal gelöst werden, da die vorhandene Rechenkapazität nicht ausgereicht hat. Aus diesem Grund wurde ein Zeitlimit von zehn Sekunden je Unterproblem eingeführt.

Tab. B.3: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei einfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = 1$) für die Varianten beginnend mit der ressourcenorientierten Dekomposition

	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
	Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
RoD	4,75	27,33	100,00	3,46	5,06	27,88	100,00	4,30
Var 5	3,01	25,30	100,00	4,59	3,06	25,52	100,00	6,37
Var 6	2,53	24,71	100,00	5,17	2,36	24,63	100,00	11,10
Var 7	2,30	24,43	100,00	6,75	2,12	24,36	100,00	15,38
Var 8	2,21	24,33	100,00	7,79	2,10	24,33	100,00	9,99
	Problemklasse C				**Problemklasse D**			
RoD	6,97	23,95	100,00	19,28	14,32	23,68	95,83	7,85
Var 5	2,62	19,05	100,00	34,12	6,40	15,72	100,00	14,53
Var 6	1,97	18,31	100,00	29,77	3,77	12,68	100,00	28,13
Var 7	1,42	17,68	100,00	58,08	2,86	11,69	100,00	43,67
Var 8	1,20	17,44	100,00	77,14	2,35	11,11	100,00	38,59
	Problemklasse E							
RoD	14,18	26,17	100,00	23,15				
Var 5	5,63	16,87	100,00	37,71				
Var 6	4,56	15,69	100,00	55,58				
Var 7	3,65	14,71	100,00	80,76				
Var 8	3,16	14,16	100,00	96,26				

Tab. B.4: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei mehrfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = \infty$) für die Varianten beginnend mit der ressourcenorientierten Dekomposition

	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
	Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
RoD	2,28	24,39	100,00	4,95	1,92	24,07	100,00	5,29
Var 5	1,83	23,86	100,00	5,67	1,71	23,84	100,00	8,88
Var 6	1,45	23,41	100,00	6,83	1,17	23,17	100,00	13,63
Var 7	1,42	23,37	100,00	9,17	1,10	23,07	100,00	17,65
Var 8	1,41	23,36	100,00	10,66	1,13	23,12	100,00	13,84
	Problemklasse C				**Problemklasse D**			
RoD	1,14	17,34	100,00	24,03	2,10	10,80	100,00	12,69
Var 5	0,84	17,01	100,00	45,92	1,72	10,37	100,00	29,30
Var 6	0,43	16,54	100,00	38,54	1,44	10,09	100,00	46,55
Var 7	0,47	16,58	100,00	66,87	1,44	10,08	100,00	51,58
Var 8	0,44	16,56	100,00	84,70	1,41	10,01	98,61	45,32
	Problemklasse E							
RoD	3,55	14,58	100,00	26,48				
Var 5	3,44	14,44	100,00	48,60				
Var 6	2,56	13,50	100,00	67,45				
Var 7	2,48	13,40	100,00	96,21				
Var 8	2,50	13,42	100,00	112,50				

Tab. B.5: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei einfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = 1$) für die Varianten beginnend mit der prozessorientierten Dekomposition

	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
	Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
PzoD	4,85	27,61	100,00	1,89	5,31	28,31	100,00	2,60
Var 9	4,00	26,60	100,00	2,41	3,97	26,68	100,00	3,49
Var 10	2,71	24,93	100,00	3,99	2,52	24,82	100,00	4,88
Var 11	2,41	24,56	100,00	4,01	2,24	24,47	100,00	7,58
Var 12	2,45	24,62	100,00	5,38	2,15	24,37	100,00	8,13
	Problemklasse C				**Problemklasse D**			
PzoD	2,62	19,09	100,00	24,79	2,91	11,73	100,00	14,39
Var 9	2,41	18,85	100,00	39,34	2,66	11,46	100,00	24,09
Var 10	0,69	16,83	100,00	58,05	1,55	10,23	100,00	27,97
Var 11	0,67	16,80	100,00	80,12	1,49	10,16	100,00	44,15
Var 12	0,66	16,80	100,00	40,98	1,49	10,16	100,00	43,53
	Problemklasse E							
PzoD	7,78	19,24	100,00	37,96				
Var 9	4,17	15,28	100,00	51,64				
Var 10	4,02	15,08	100,00	50,87				
Var 11	3,10	14,09	100,00	76,11				
Var 12	2,96	13,93	100,00	74,27				

Tab. B.6: Ergebnisse der F&O-Heuristik für das MLCLSP bei mehrfachem Durchlauf ($\ell^{\max} = \infty$) für die Varianten beginnend mit der prozessorientierten Dekomposition

	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]	DAOS [%]	DAUS [%]	Zul [%]	Zeit [s]
	Problemklasse A$^+$				**Problemklasse B$^+$**			
PzoD	3,37	25,80	100,00	2,35	3,12	25,61	100,00	3,88
Var 9	3,12	25,52	100,00	3,11	2,69	25,08	100,00	6,63
Var 10	1,83	23,88	100,00	5,57	1,28	23,29	100,00	9,87
Var 11	1,73	23,75	100,00	5,37	1,29	23,31	100,00	8,96
Var 12	1,78	23,82	100,00	7,51	1,23	23,23	100,00	10,30
	Problemklasse C				**Problemklasse D**			
PzoD	4,40	21,12	100,00	8,10	7,10	16,33	100,00	9,42
Var 9	3,09	19,63	100,00	11,86	4,03	12,98	100,00	11,85
Var 10	1,51	17,77	100,00	16,37	2,99	11,82	100,00	13,13
Var 11	1,64	17,94	100,00	23,43	2,47	11,25	100,00	20,02
Var 12	0,97	17,15	100,00	32,12	2,00	10,72	100,00	21,57
	Problemklasse E							
PzoD	2,76	13,72	100,00	46,99				
Var 9	2,72	13,68	100,00	72,80				
Var 10	2,22	13,10	100,00	73,39				
Var 11	2,22	13,10	100,00	108,82				
Var 12	2,24	13,13	100,00	102,01				

C Ablauf der Fix&Optimize-Heuristik für Modellerweiterungen des MLCLSP

Ergänzend zum Ablauf der F&O-Heuristik für das MLCLSP[318] sind an dieser Stelle die Algorithmen zur Lösung des MLCLSP-L und des MLCLSD-PM-ML dargestellt. Algorithmus C.1 beschreibt den Ablauf der F&O-Heuristik zur Lösung des MLCLSP-L und Algorithmus C.2 den Ablauf zur Lösung des MLCLSD-PM-ML.

318 Vgl. Algorithmus 5.5 auf S. 84.

Setze $\ell := 0$
wiederhole
  Setze $\ell := \ell + 1$
  Setze $Z^{alt} := Z^{neu}$
  für *jede Dekomposition* $d \in \mathcal{D}_v$ *der aktuell betrachteten Variante* v
    für *jedes Unterproblem* $s \in \mathcal{S}_d$
      Bestimme $\mathcal{KT}_{\gamma}^{opt}$ und $\mathcal{KT}_{\omega}^{opt}$
      Setze $\mathcal{KT}_{\gamma}^{fix} := \mathcal{KT} \backslash \mathcal{KT}_{\gamma}^{opt}$
      Setze $\mathcal{KT}_{\omega}^{fix} := \mathcal{KT} \backslash \mathcal{KT}_{\omega}^{opt}$
      Bestimme Z^* für das MLCLSP-L-SUB
      wenn $\sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{t \in \mathcal{T}} O_{mt}^* = 0$ **dann**
        Setze $KapZul^{neu} :=$'$true$'
      sonst
        Setze $KapZul^{neu} :=$'$false$'
      wenn $(Z^* < Z^{alt}) \wedge (KapZul^{neu} \vee [\neg KapZul^{neu} \wedge \neg KapZul])$ **dann**
        für alle $(k,t) \in \mathcal{KT}_{\gamma}^{opt}$
          Setze $\overline{\gamma}_{kt} := \gamma_{kt}^*$
        für alle $(k,t) \in \mathcal{KT}_{\omega}^{opt}$
          Setze $\overline{\omega}_{kt} := \omega_{kt}^*$
        Setze $Z^{neu} := Z^*$
        wenn $KapZul^{neu}$ **dann**
          $KapZul :=$'$true$'
      Setze $\mathcal{KT}_{\gamma}^{opt} := \emptyset$
      Setze $\mathcal{KT}_{\omega}^{opt} := \emptyset$
bis $(\ell = \ell^{max})$ *oder* $(Z^{neu} = Z^{alt})$

Alg. C.1: Ablauf der F&O-Heuristik zur Lösung des MLCLSP-L

Setze $\ell := 0$
wiederhole
  Setze $\ell := \ell + 1$
  Setze $Z^{alt} := Z^{neu}$
  für *jede Dekomposition* $d \in \mathcal{D}_v$ *der aktuell betrachteten Variante* v
    für *jedes Unterproblem* $s \in \mathcal{S}_d$
      Bestimme $\mathcal{IKTM}_\delta^{opt}$ und $\mathcal{KTM}_\omega^{opt}$
      Setze $\mathcal{IKTM}_\delta^{fix} := \mathcal{IKTM} \backslash \mathcal{IKTM}_\delta^{opt}$
      Setze $\mathcal{KTM}_\omega^{fix} := \mathcal{KTM} \backslash \mathcal{KTM}_\omega^{opt}$
      Bestimme Z^* für das MLCLSD-PM-ML-SUB
      wenn $\sum_{m \in \mathcal{M}} \sum_{t \in \mathcal{T}} O_{mt}^* = 0$ **dann**
        Setze $KapZul^{neu}$:=‘$true$’
      sonst
        Setze $KapZul^{neu}$:=‘$false$’
      wenn $(Z^* < Z^{alt}) \wedge (KapZul^{neu} \vee [\neg KapZul^{neu} \wedge \neg KapZul])$ **dann**
        für alle $(i,k,t,m) \in \mathcal{IKTM}_\delta^{opt}$
          Setze $\overline{\delta}_{iktm} := \delta_{iktm}^*$
        für alle $(k,t,m) \in \mathcal{KTM}_\omega^{opt}$
          Setze $\overline{\omega}_{ktm} := \omega_{ktm}^*$
        Setze $Z^{neu} := Z^*$
        wenn $KapZul^{neu}$ **dann**
          $KapZul$:=‘$true$’
      Setze $\mathcal{IKTM}_\delta^{fix} := \emptyset$
      Setze $\mathcal{KTM}_\omega^{fix} := \emptyset$
bis $(\ell = \ell^{max})$ *oder* $(Z^{neu} = Z^{alt})$

Alg. C.2: Ablauf der F&O-Heuristik zur Lösung des MLCLSD-PM-ML

D Parameter der Testinstanzen für das MLCLSD-PM-ML

Für die bei der Evaluation der F&O-Heuristik zur Lösung des MLCLSD-PM-ML verwendeten Problemklassen sind in Tabelle D.1 die übrigen konstanten Parameter gegeben.

Tab. D.1: Gegebene Parameterwerte für die beiden Problemklassen für das MLCLSD-PM-ML

cf_l	$=$	200	$\forall l$	tp_{km}	$=$	1	$\forall k,m$
g_k	$=$	1	$\forall k$	fc_{21}	$=$	500	
oc_m	$=$	10000	$\forall m$	vf_k	$=$	1	$\forall k$
pc_m	$=$	1	$\forall m \in \mathcal{M}_1$	vp_k	$=$	1	$\forall k \in \mathcal{K}_v$
pc_m	$=$	1,5	$\forall m \in \mathcal{M}_2$	vp_k	$=$	0	$\forall k \in \mathcal{K}_g \cup \mathcal{K}_s$

Darüber hinaus sind in den Tabellen D.2 bis D.4 die Werte für die Nachfrageprofile der Problemklasse 1 und in den Tabellen D.5 bis D.7 die Nachfragewerte der Problemklasse 2 dargestellt.

Tab. D.2: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 1 der Problemklasse 1 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11/21	2/12/22	3/13/23	4/14/24	5/15/25	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
G1	0	35	32	53	57	60	44	51	38	37
	56	62	58	47	51	44	61	60	50	62
	42	48	43	63	50					
G2	0	74	104	123	136	99	107	112	86	110
	108	118	113	126	115	88	78	73	108	77
	86	102	102	92	126					
S1	0	86	119	136	125	110	101	111	94	109
	103	104	105	100	119	116	113	84	65	81
	104	105	93	99	95					
S2	0	62	64	89	97	94	59	93	61	70
	86	84	89	76	89	68	90	89	72	89
	80	79	61	95	74					
S3	0	109	136	176	193	159	151	163	124	147
	164	180	171	173	166	132	139	133	158	139
	128	150	145	155	176					
S4	0	86	119	136	125	110	101	111	94	109
	103	104	105	100	119	116	113	84	65	81
	104	105	93	99	95					

Tab. D.3: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 2 der Problemklasse 1 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11/21	2/12/22	3/13/23	4/14/24	5/15/25	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
G1	0	90	111	116	103	139	152	146	165	164
	145	195	162	264	207	204	136	136	159	155
	164	119	131	114	117					
G2	0	72	60	88	79	116	89	97	87	96
	171	144	135	119	114	138	105	123	95	80
	110	83	75	69	79					
S1	0	127	123	157	130	183	156	164	160	186
	278	255	222	248	206	256	211	195	178	158
	211	163	131	136	147					
S2	0	145	174	185	154	206	219	213	238	254
	252	306	249	393	299	322	242	208	242	233
	265	199	187	181	185					
S3	0	53	39	60	61	85	65	68	59	54
	132	111	92	70	86	101	65	86	66	58
	79	56	53	47	0					
S4	0	19	21	28	18	31	24	29	28	42
	39	33	43	49	28	37	40	37	29	22
	31	27	22	22	0					

Tab. D.4: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 3 der Problemklasse 1 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11/21	2/12/22	3/13/23	4/14/24	5/15/25	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
G1	0	80	66	95	79	104	85	156	223	239
	161	193	250	236	263	179	179	221	162	109
	148	116	122	95	89					
G2	0	45	47	50	66	71	76	104	122	159
	159	137	150	178	130	139	109	154	112	104
	125	84	74	69	42					
S1	0	84	84	86	130	141	135	189	218	268
	258	254	279	323	257	243	209	262	190	166
	204	149	138	122	88					
S2	0	119	103	131	143	174	144	241	319	348
	260	310	379	381	390	283	279	329	240	171
	227	181	186	148	135					
S3	0	33	33	34	40	48	51	72	84	119
	133	94	101	119	93	95	72	105	85	84
	101	62	54	51	0					
S4	0	12	14	16	26	23	25	32	38	40
	26	43	49	59	37	44	37	49	27	20
	24	22	20	18	0					

Tab. D.5: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 1 der Problemklasse 2 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8	9	10
G1	0	441	396	486	462	447	390	489	465	447
	399	447	495	465	441	444	486			
G2	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
G3	0	294	264	324	308	298	260	326	310	298
	266	298	330	310	294	296	324			
G4	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
G5	0	390	362	416	396	400	354	432	424	402
	362	400	418	414	400	400	430			
G6	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
G7	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
G8	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
V1	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
V2	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
V3	0	40	33	43	41	43	32	42	42	41
	39	38	45	38	35	46	42			
V4	0	20	18	21	21	19	19	17	23	19
	18	22	17	24	21	18	23			
V5	0	27	27	34	30	27	31	34	30	27
	30	26	37	28	31	28	33			
V6	0	60	54	64	62	60	48	70	60	62
	46	63	66	65	60	56	64			
V7	0	20	19	21	14	21	21	22	21	21
	20	19	19	21	19	19	23			
V8	0	28	30	25	30	30	26	31	36	31
	28	32	25	31	34	33	30			
V9	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
V10	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
V11	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
V12	0	195	181	208	198	200	177	216	212	201
	181	200	209	207	200	200	215			
V13	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
V14	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
V15	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			
V16	0	147	132	162	154	149	130	163	155	149
	133	149	165	155	147	148	162			

Tab. D.6: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 2 der Problemklasse 2 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8	9	10
G1	0	312	306	426	450	492	468	618	594	567
	477	495	495	405	342	318	336			
G2	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
G3	0	208	204	284	300	328	312	412	396	378
	318	330	330	270	228	212	224			
G4	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
G5	0	276	278	364	384	440	424	546	542	508
	432	442	418	360	308	284	298			
G6	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
G7	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
G8	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
V1	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
V2	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
V3	0	28	25	38	40	47	38	53	54	52
	47	42	45	33	27	33	29			
V4	0	14	14	18	20	21	23	21	29	24
	21	24	17	21	16	13	16			
V5	0	19	21	30	29	30	37	43	38	34
	36	29	37	24	24	20	23			
V6	0	43	42	56	61	66	58	89	77	79
	55	70	66	57	47	40	44			
V7	0	14	14	18	13	23	25	28	27	26
	24	21	19	18	14	13	16			
V8	0	20	23	22	29	33	31	39	46	39
	33	35	25	27	26	23	21			
V9	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
V10	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
V11	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
V12	0	138	139	182	192	220	212	273	271	254
	216	221	209	180	154	142	149			
V13	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
V14	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
V15	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			
V16	0	104	102	142	150	164	156	206	198	189
	159	165	165	135	114	106	112			

Tab. D.7: Nachfrage d_{kt} für das Nachfrageprofil 3 der Problemklasse 2 MLCLSD-PM-ML

k/t	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8	9	10
G1	0	231	249	384	450	528	519	708	687	645
	534	531	495	369	279	234	240			
G2	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
G3	0	154	166	256	300	352	346	472	458	430
	356	354	330	246	186	156	160			
G4	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
G5	0	204	228	328	384	472	472	626	626	580
	484	474	418	330	254	210	212			
G6	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
G7	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
G8	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
V1	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
V2	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
V3	0	21	21	34	40	51	43	61	62	59
	52	45	45	30	22	24	21			
V4	0	10	11	16	20	22	25	24	34	27
	24	26	17	19	13	9	11			
V5	0	14	17	27	29	32	41	49	44	39
	40	31	37	22	20	15	16			
V6	0	32	34	51	61	71	64	102	89	90
	62	75	66	52	38	30	32			
V7	0	10	12	16	13	25	28	32	31	30
	27	22	19	17	12	10	11			
V8	0	15	19	20	29	35	35	45	53	45
	37	38	25	25	22	17	15			
V9	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
V10	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
V11	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
V12	0	102	114	164	192	236	236	313	313	290
	242	237	209	165	127	105	106			
V13	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
V14	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
V15	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			
V16	0	77	83	128	150	176	173	236	229	215
	178	177	165	123	93	78	80			