

Dispo 4.0 | Simulationsbasierte Optimierung von Bestellosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie

Dispo 4.0 | Simulation-based optimisation of purchase orders in consumption-based material disposition of the capital good industry

Alexander Schmid, Thomas Sobottka, Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien
(Austria), alexander.schmid@fraunhofer.at, thomas.sobottka@fraunhofer.at

Magdalena Lielacher, Wilfried Sihn, TU Wien, Wien (Austria),
e1526704@student.tuwien.ac.at, wilfried.sihn@tuwien.ac.at

Abstract: With materials planning today facing a volatile and complex market environment, the trend towards automated processes in procurement is the key to market competitiveness. Digitisation in procurement and especially algorithms for lot-sizing problems can support decisions and achieve major cost savings. Although simulation-based optimisation, based on lot-sizing algorithms, offers great potential, these digital tools are not yet widely used in industry. This paper develops a simulation-based optimisation of purchase orders and presents a case-study evaluation in the capital good industry, using 13 different lot-sizing algorithms. The results point to a significant cost savings potential for the developed approach.

1 Einleitung

1.1 Motivation & Simulationsbezug

Die Materialdisposition bzw. der operative Einkauf befindet sich in einem volatilen, komplexen Marktumfeld im Wandel. Zunehmende Globalisierung und Entwicklung des Marktes hin zu einem Individualmarkt mit kundenspezifischer Gestaltung von Produkten, ständiger Verfügbarkeit von Waren und Informationen (Wischmann und Hartmann 2018) sowie durch die fortschreitende Digitalisierung der Arbeitswelt treiben die Komplexität der Beschaffung. Eine Studie des deutschen und des österreichischen Bundesverbands Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik zeigt einen Trend zur Automatisierung operativer Prozesse im Einkauf auf (Bogaschewsky und Müller 2018). Die HTWK Leipzig zeigt in ihrer Studie, dass durch Digitalisierung der Beschaffung Einsparungen von Prozesskosten im Unternehmen um fast 50% möglich sind (Müller 2017).

Trotz des erkannten großen Nutzenpotentials der Digitalisierung und der Entwicklung einer Vielzahl von Modellen und Methoden zur Berechnung optimaler Bestelllosgrößen in den letzten Jahrzehnten (siehe Abbildung 1), wird in vielen Unternehmen noch „mit der Hand am Arm“ disponiert und über Bestelltermine und -mengen, ohne Nutzung von Verfahren zur Bestelllosgrößenberechnung, manuell entschieden (Kemmer und Sames 2015). Optimierungsverfahren und Algorithmen unterstützen Materialdisponenten/innen bei der Dispositionsentscheidung und bilden die Grundlage für eine Digitalisierung und Automatisierung der dispositiven Prozesse. Laut Minner und Stößlein (Claus et al. 2015) ist simulationsbasierte Optimierung besonders für die Optimierung und Parametrisierung von Dispositionsregeln geeignet. Durch eine simulationsbasierte Optimierung lassen sich Systemdynamik wie auch Informationsdynamiken vielfach angemessen abbilden und darstellen. Mit einer simulationsbasierten Optimierung können Arbeitsweisen und Erfahrungswerte der Materialdisponenten/innen abgebildet, bewährte Algorithmen allgemein nutzbar gemacht und die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen sichergestellt werden. Simulation kann dabei entweder als Bewertungsfunktion einer Optimierung aufgerufen werden, oder die Optimierung kann als optimierter Algorithmus in den Ablauf der Simulation integriert werden (März et al. 2011). Die Simulation ist dabei, im Kontext von Abläufen in Produktion und Logistik, typischerweise eine dynamische Discrete-Event Simulation, z.B. kombiniert mit einer Optimierung mittels Heuristiken und Metaheuristiken (Kamhuber et al. 2019), oder einer Form statischer Simulation, bzw. Terminierung auf Basis determinierten Systemverhaltens.

Dieser Anwendungsbeitrag stellt die Entwicklung eines digitalen Planungswerkzeugs für den operativen Einkauf vor, das eine produktspezifische optimierte Disposition ermöglicht. Dafür wird eine Optimierung auf Basis einer statischen Simulation als Bewertungsfunktion entwickelt. Das Nutzenpotenzial wird in einer Fallstudie evaluiert.

1.2 Zielsetzung und Forschungshypothese

Zielsetzung dieses Beitrags ist es, kostenoptimale Bestellmengen und Bestellzeitpunkte auf Artikelebene auf Grundlage zukünftig prognostizierter Bedarfe und einer Variation dispositiver Parameter zu ermitteln.

Die Entwicklung und der Einsatz einer digitalen Planungsmethode der Materialdisposition mit simulationsbasierter Optimierung und Nutzung von State-of-the-art Verfahren der Bestelllosgrößenbestimmung, unter Einbezug einer „*Total Landed Cost*“-Betrachtung (alle Kosten in Zukaufartikelbeschaffung), kann erhebliche Kostenvorteile im Praxiseinsatz gegenüber den heute praktizierten Bestelllosgrößenermittlungen in den Unternehmen der Investitionsgüterindustrie erzielen.

2 Überblick Bestelllosgrößenplanung

In einer Literaturanalyse wurde zunächst eine Übersicht der verfügbaren Losgrößenverfahren ermittelt, die Algorithmen charakterisiert und die Einsatzmöglichkeiten im betrieblichen Umfeld der Investitionsgüterindustrie evaluiert. Die Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der ermittelten Verfahren. Die

dunkelgrau markierten Verfahren wurden nach einer Häufigkeitsanalyse in der Literatur als die meist-gebrauchten Verfahren ausgewählt und in der entwickelten Planungsmethode berücksichtigt. Diese Algorithmen finden teilweise schon Anwendung in ERP-Systemen. Jedoch fehlt Verantwortungsträgern/innen in den Unternehmen eine Entscheidungsgrundlage, welche der Bestelllosgrößenverfahren für des Unternehmen die geeignetsten und wie diese zu parametrisieren sind.

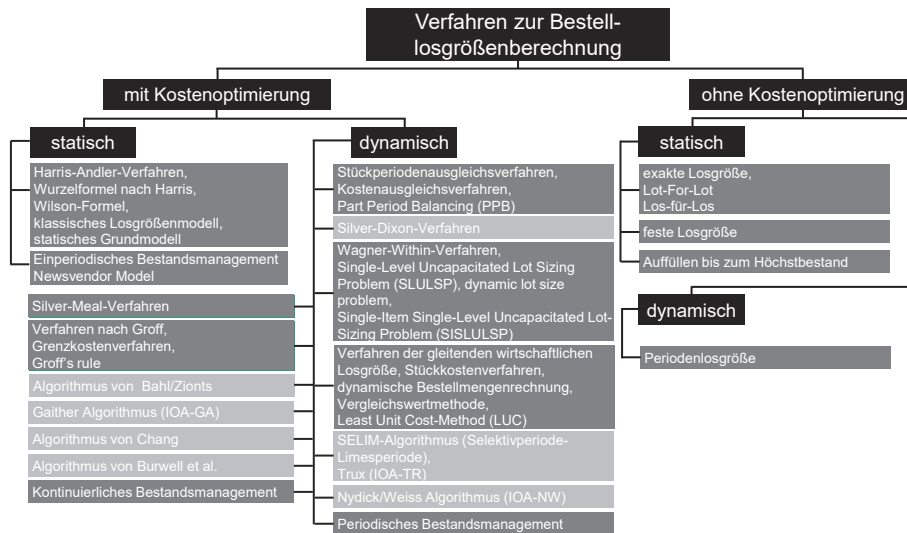


Abbildung 1: Übersicht Verfahren zur Bestelllosgrößenberechnung – eigene Darstellung als Ergebnis der Literaturanalyse (Schuh und Schmidt 2014; Zoller und Robrade 1987; Chang 2013; Brabänder 2020; Heiserich et al. 2011; Singhal und Singhal 2009; Robrade 2013; Prabhu et al. 2013; Grabner 2019)

3 Charakterisierung der Fallstudie

Der Aufbau der simulationsbasierten Optimierung gliedert sich in die folgenden drei wesentlichen Schritte:

1. Datencharakterisierung und Datenaufbereitung
2. Auswahl optimaler Bestelllosgrößenverfahren durch simulationsbasierte Optimierung
3. Optimierte Parametrisierung und prognosebasierte Simulation von Bestellmengen und -zeitpunkten

Die auf historischen Daten beruhende simulationsbasierte Optimierung und die darauffolgende, auf prognostizierenden Bedarfen folgende, Simulation wurden in einem VBA-basierten MS-Excel-Tool umgesetzt. Zielsetzung war es, dass Anwender/innen (Materialdisponent/innen, operativer Einkäufer/innen) die Planung für Artikel auf Basis einer „Total Landed Cost“-Betrachtung selbstständig durchführen können, ohne eigenes Expertenwissen im Bereich Simulation. Die Fallstudie wurde mit den dispositionsrelevanten Daten eines Unternehmens der Investitionsgüterindustrie [Branche: Erzeugung von Armaturen und Ventilen

(Branchencode: 25990 - Herstellung von sonstigen Metallwaren a.n.g)] durchgeführt. Das in einen Konzern eingebettete Unternehmen der Fallstudie hat ca. 115 Mitarbeiter, einen Jahresumsatz von 22,3 Mio.€, mit 346 Kunden aus 51 Ländern sowie ein jährliches Einkaufsvolumen von 11,5 Mio.€, 1.780 aktive Lieferanten aus 61 Ländern, und nutzt ein ERP als zentrales IT-System. Für die Fallstudie müssen die Inputdateien in einer standardisierten Form aus den verwendeten IT-Systemen des Unternehmens vorliegen und werden über eine Schnittstelle eingelesen.

4 Inputdaten und Datenaufbereitung

Im Folgenden wird, nach einer grundsätzlichen Einführung in den *Total Landed Cost* Ansatz, die Vorgehensweise der Datenerhebung sowie die Datenstruktur und Ergebnisse beschrieben.

4.1 „Total Landed Cost“ Betrachtung

Um die gesamtheitlichen Kosten des Beschaffungsprozesses für die Wahl optimaler Bestelllosgrößen ermitteln zu können, wurde das *Total Landed Cost* (TLC) Konzept herangezogen. Neben dem Kaufpreis werden ebenso Transport-, Wareneingangs-, anschließende Lager- sowie Kapital- und eventuelle Unterbestandskosten berücksichtigt. Der Vorteil von TLC ist hierbei auch das Offenlegen von versteckten und indirekten Kosten, die ohne detaillierte Analyse auf der Basis von umfassenden Daten vor der Beschaffung nicht sichtbar gewesen wären (Pumpe und Vallée 2015; Blecker et al. 2015). TLC ist ein Teilgebiet des *Total Cost of Ownership* Ansatzes, das zusätzlich zu den Kosten der Beschaffung auch jene der Nutzung und Entsorgung eines Produktes erfasst.

4.2 Vorgehensweise und Datenbeschreibung

In einem ersten Schritt werden auf Grundlage der 13 ausgewählten Bestelllosgrößenverfahren (siehe Abbildung 1) alle für die Anwendung der Algorithmen relevanten Daten (Material-, Dispositionsstammdaten, Verbrauchsdaten, Kosten etc.) identifiziert und aus den IT-Systemen des/der Anwenders/in aus der Investitionsgüterindustrie bezogen. Dabei werden insgesamt zehn verschiedene Dateien in drei unterschiedlichen Dateiformaten (.xlsx, .csv und .txt) mittels eigens entwickelter Importlogik in dem VBA-basierten MS-Excel-Tool zusammengeführt, nach Artikelnummer sortiert sowie für die weitere Nutzung aufbereitet.

4.3 Datenstruktur und Ergebnisse

In der folgenden Abbildung sind die für die simulationsbasierte Optimierung sowie prognosebasierte Simulation notwendigen Daten dargestellt. Zusätzlich zu den aufgelisteten Angaben wird die Artikel- bzw. Lieferantenummer bei jeder Datei für die korrekte Sortierung importiert.

Die Aufteilung der Daten innerhalb der Dateien sowie deren Bezeichnung erfolgte vom Unternehmen selbst auf Basis der verfügbaren Exportmöglichkeiten des ERP-Systems.

Input für simulationsbasierte Optimierung			
Dateninput 1 -Preismenge -Wareneingangszeit -Standardpreis -Höchstbestand	Dateninput 2 -Auswahl fester Lieferant -Lieferant	Dateninput 3 -Warenbewegungen vergangene 5 Jahre auf Wochenbasis	Dateninput 4 -Bezeichnung des Lieferanten
Dateninput 5 -Disponent -Warengruppe -Dispomerkmal -Materialkurztext -Basismengeneinheit -Sicherheitsbestand -Lagerbestand -Feste Losgröße / Rundungsmengen -Meldebestand aus SAP	Dateninput 6 -Gelieferte Menge -Bestellmenge -Bestellzeitpunkt auf Wochenbasis -Lieferdatum	Dateninput 7 -Lieferant -Nettopreis -Planlieferzeit -Einkäufer -Höchstbestellmenge -Bestellbelege -Währung	Dateninput 8 -Lieferantenseitige fixe Bestellkosten -Variable Stückkosten -Prozesskosten Einkauf und Materialdisposition -Unterbandskosten -Buchhaltungskosten -Wareneingangskosten -Lagerkosten -Kapitalbindungskosten
Input für prognosebasierte Simulation			
Dateninput 9 -Prognosewerte der zukünftigen 12 Monate		Dateninput 10 -Lieferzeit Modell	

Abbildung 2: Inputdaten

5 Auswahl optimaler Bestelllosgrößenverfahren durch simulationsbasierte Optimierung

Innerhalb des zweiten Schrittes der Fallstudie wird die Auswahl optimaler Bestelllosgrößenverfahren durch simulationsbasierte Optimierung durchgeführt. Die Auswahl erfolgt dabei auf Basis der minimalen Kosten.

5.1 Verwandte Arbeiten

Beck et al. (2015) führten eine Performanceanalyse von dynamischen Losgrößen durch. Dabei wurden die *Verfahren nach Groff*, *Silver-Meal*, *Stückperiodenausgleich* sowie *gleitende wirtschaftliche Losgröße* angewendet. Als Datenbasis diente ein Simulationsaufbau mit 5100 Datensätzen und 300 Perioden. Das Verfahren nach Groff und Silver-Meal zeigten sich als am geeignetsten für die größte Datenbasis. Diese Arbeit bietet allerdings nicht die Anwendung von realen Daten eines konkreten Unternehmens. Des Weiteren wurden nur vier Verfahren angewendet und das mögliche Einsparungspotential wurde nicht betrachtet.

Ein weiterer Artikel von (Alharkan et al., 2020) beschäftigt sich mit simulationsbasierter Optimierung mit dem Ziel die Gesamtkosten über die Optimierung der Bestellkosten zu verringern. Des Weiteren existiert noch ein Anwendungsfall mittels Randomized Ordering Policy (Ahmadi et al., 2018). Auch hier werden nicht mehrere Verfahren gegenübergestellt.

5.2 Vorgehensweise und Modellbeschreibung

Nach der Datenaufbereitung werden aus den vorhandenen historischen Daten für jeden Artikel relevante logistische Kenngrößen (Gesamtlieferzeit, Meldebestand, Ermittlung des Hauptlieferanten etc.) für die Optimierung berechnet. Auf Grundlage der vergangenen Verbräuche und des durchgeführten Bestellverhaltens der Materialdisponenten/innen werden dann die 13 Bestelllosgrößenverfahren anhand einer „Total Landed Cost“ (TLC) Betrachtung rückwirkend auf Artekebene mit dem IST-Bestellverhalten vergleichend angewendet, bewertet und jeweils das kostenoptimale Verfahren für alle Artikel bestimmt. Da statische Bestelllosgrößenverfahren nur optimale Bestellmengen liefern und im Gegensatz dazu dynamische Bestelllosgrößenverfahren optimale Bestellmengen und optimale Bestellzeitpunkte ausgeben, wird eine statische Simulation für die Bewertung ausgeführt, um dynamische und statische Bestelllosgrößenverfahren miteinander vergleichen zu können. Die simulationsbasierte Optimierung verfügt dabei über folgende Stellgrößen: Wahl des Prognosehorizonts von 1 bis 53 Wochen, das Aussortieren von Verfahren und das Einstellen von Raffungsparametern für das Verfahren *Periodenlosgröße*. Die Abbildung 3 stellt die Vorgehensweise bei der simulationsbasierten Optimierung dar.

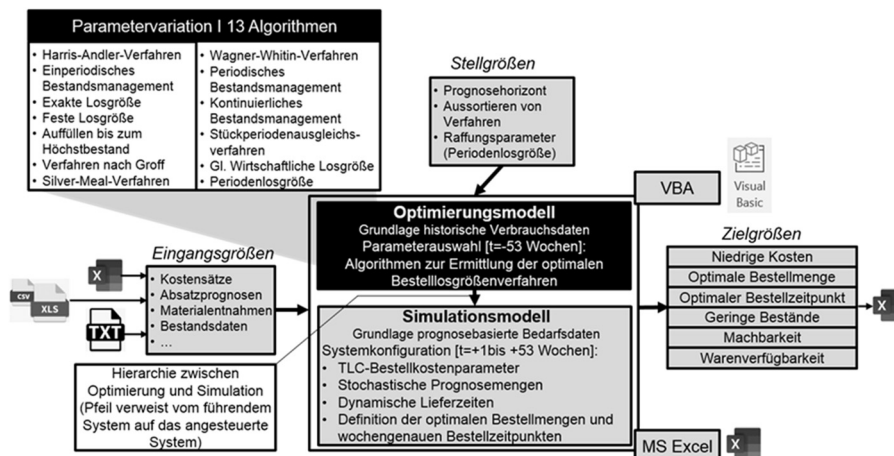


Abbildung 3: Simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition -eigene Darstellung in Anlehnung an: (März et al. 2011)

Als Input für das Simulationsmodell dienen Haupteingangsgrößen, wie Kostensätze, Absatzprognosen, Materialentnahmen und Bestandsdaten. Als Zielgrößen werden niedrige Kosten, optimale Bestellmenge und -zeitpunkt, geringe Bestände, Machbarkeit und Warenverfügbarkeit definiert.

5.3 Umsetzung und Ergebnisse

Die Anwendung der beschriebenen, simulationsbasierten Optimierung dispositiver Systemdynamiken, in ihrer Implementierung als MS-Excel-Tool, wurde für eine Fallstudie in der Investitionsgüterindustrie evaluiert. Mit einer Datenbasis von 4.066 Artikeln konnten für 1.733 optimierbare Artikel Kosteneinsparungen von über 55% erreicht werden. Für Artikel ohne ausreichende Datenbasis bzw. ohne zukünftige Bestellbedarf konnte in der Fallstudie keine simulationsbasierte Optimierung durchgeführt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass ein optimiertes Verfahren der Bestelllosgrößenermittlung für jeden Zukaufartikel individuell ermittelt werden muss, um das Kostenoptimierungspotential auszuschöpfen. Durch die Anwendung der simulationsbasierten Optimierung dispositiver Systemdynamiken über alle Artikel der Fallstudie kann eine potenzielle Einsparung von 419.606€ für den Betrachtungszeitraum von einem Jahr generiert werden.

In der folgenden Tabelle 1 ist zu sehen, in welcher Häufigkeit die Verfahren für die untersuchten Artikel als optimaler Algorithmus ermittelt wurden. Zwar zeigen sich gewissen Losgrößenverfahren als häufig anwendbar, insgesamt ist aber zu erkennen, dass nicht ein Algorithmus für alle Artikel optimal ist, sondern jedes Material, je nach Bedarfsverlauf und Kostenstruktur, seinen jeweiligen besten Algorithmus bedingt.

Tabelle 1: Prozentuelle Verteilung der Losgrößenverfahren

Verfahren nach Groff	50,72%	Periodisches Bestands-management	0,98%
gleitende wirtschaftliche Losgröße	17,20%	Periodenlosgröße	0,69%
Andler-Verfahren	11,71%	Kontinuierliches Bestands-management	0,35%
Wagner-Whitin Verfahren	8,31%	feste Losgröße	0,23%
Stückperiodenausgleichs-verfahren	4,10%	Einperiodisches Bestandsmanagement	0,00%
exakte Losgröße	4,04%	Auffüllen bis zum Höchstbestand	0,00%
Silver-Meal-Verfahren	1,67%		

Die zwei Verfahren *Einperiodisches Bestandsmanagement* sowie *Auffüllen bis zum Höchstbestand* ergaben keine Treffer, da ersteres nur auf verderbliche Artikel angewendet werden kann und zweiteres einen hinterlegten Höchstbestand erfordert, dessen Datenbasis beim angewendeten Unternehmen allerdings fehlte.

6 Optimierte Parametrisierung und prognosebasierte Simulation von Bestellmengen und -zeitpunkten

6.1 Verwandte Arbeiten

Larasati et al. verwenden zur Simulation die optimale Bestellmenge ermittelt mit dem EOQ-Modell (Larasati et al. 2020). In Rekik et al. (2017) wird ein Newsvendor Modell mit sich veränderlicher Nachfrage betrachtet, um die Optimierung der Bestelllosgröße unter Berücksichtigung von Judgement-Replenishment Entscheidungen zu berechnen. Es fehlen jeweils konkrete Anwendungen mit mehreren Algorithmen sowie die Parametrisierbarkeit der Lieferzeit.

6.2 Vorgehensweise und Modellbeschreibung

Auf Grundlage des identifizierten optimalen Bestelllosgrößenverfahrens je Artikel, der stochastischen Absatzprognosen der zukünftigen Bedarfe, der vorhandenen Bestände und der bereits getätigten offenen Bestellungen, wird eine Simulation für die zukünftigen Bestellungen ausgeführt, um die optimalen Bestellmengen und Bestellzeitpunkte je Artikel zu ermitteln. Die stochastischen Absatzprognosen werden als Input-Daten der Simulation zu Verfügung gestellt. Das Simulationsmodell wird parametrisiert, indem ein Bedarfszeitraum von +1 bis +53 Wochen gewählt und die Gesamtlieferzeit aus den hinterlegten Systemdaten oder vergangenen Bestellungen anhand eines statistischen Modells für die Simulation herangezogen werden. Dabei werden Materialdisponent/innen unterstützt, auf Artikelebene kostenoptimale Bestellmengen und optimale Bestellzeitpunkte für die zukünftigen Bedarfe zu wählen.

6.3 Umsetzung und Ergebnisse

Die prognosebasierte Simulation von Bestelllosgrößen wurde wiederum, in ihrer Implementierung als MS-Excel-Tool, für eine Fallstudie in der Investitionsgüterindustrie evaluiert. Dabei wurden die Ergebnisse der simulationsbasierten Optimierung herangezogen und auf Basis der Absatzprognosen für maximal 53 zukünftigen Wochen die Losgrößen je nach berechnetem optimalem Verfahren je Artikel ermittelt. Dies wurde für die optimierbare Datenbasis von 1.733 Artikeln durchgeführt. Aufgrund der Parametrisierbarkeit der Lieferzeit (Lieferzeit aus dem ERP-System oder berechnete Lieferzeit) ergeben sich zwei mögliche Output-Dateien mit unterschiedlichen Bestelllosgrößen und -zeitpunkten. Damit lässt sich die prognosebasierte Simulation zum Einen mit den der Disposition zu Verfügung stehenden Lieferzeiten aus dem IT-System und zum Zweiten mit optimierten Lieferzeiten, welche aus der Belieferungshistorie berechnet werden, durchführen.

7 Schlussfolgerung und Ausblick

Das Ergebnis zeigt das hohe Nutzenpotenzial kostenoptimaler Anwendung von Bestelllosgrößenverfahren. Trotz einmalig erhöhtem Aufwand für die Umsetzung des Planungswerkzeugs und Einbindung in die ERP Systeme sowie des Aufwands für die (Daten-) Pflege des Werkzeugs überwiegt die potenzielle, jährliche Kostenersparnis diesen Aufwand deutlich.

Danksagung

Diese Forschung wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), Förderungsnummer 872787, finanziert. Die Autoren danken allen Fallstudienpartnern für ihren Beitrag.

Literatur

Ahmadi, T.; Mahootchi, M.; Ponnambalam, K.: Optimal randomized ordering policies for a capacitated two-echelon distribution inventory system. *Computers & Industrial Engineering* 124 (2018), S. 88–99.

- Alharkan, I.; Saleh, M.; Ghaleb, M.; Farhan, A.; Badwelan, A.: Simulation-Based Optimization of a Two-Echelon Continuous Review Inventory Model with Lot Size-Dependent Lead Time. *Processes* 8 (2020) 9, S. 1014.
- Beck, F.G.; Ries, J.M.; Urnauer, C.: Dynamische Losgrößenplanung in ERP-Systemen: Eine Performanceanalyse von Heuristiken der Fertigungs- und Bestellmengenplanung für unterschiedliche Bedarfsstrukturen. *Publications of Darmstadt Technical University, Institute for Business Studies (BWL)* (2015) 103748.
- Blecker, T.; Kersten, W.; Ringle, C.M.: *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL)/Operational Excellence in Logistics and Supply Chains: Efficiency, Data-driven Approaches and Security-related Insights.* Berlin: epubli GmbH 2015.
- Bogaschewsky, R.; Müller, H.: BME-Barometer „Elektronische Beschaffung“. Würzburg, Leipzig: Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik e.V.(BME) 2018.
- Brabänder, C.: *Stochastisches Bestandsmanagement: Grundmodelle für Betriebswirte.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2020.
- Chang, H.-C.: A note on an economic lot size model for price-dependent demand under quantity and freight discounts. *International Journal of Production Economics* 144 (2013) 1, S. 175–179.
- Claus, T.; Herrmann, F.; Manitz, M.: *Produktionsplanung und –steuerung: Forschungsansätze, Methoden und deren Anwendungen.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2015.
- Grabner, T.: *Operations Management.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2019.
- Heiserich, O.-E.; Helbig, K.; Ullmann, W.: *Logistik: Eine praxisorientierte Einführung.* Wiesbaden: Gabler Verlag 2011.
- Kamhuber, F.; Sobottka, T.; Heinzl, B.; Sihm, W.: An Efficient Multi-Objective Hybrid Simheuristic Approach for Advanced Rolling Horizon Production Planning. *2019 Winter Simulation Conference (WSC)* (2019), S. 2108–2118.
- Kemmner, G.-A.; Sames, G., 2015: *DISPOSITION 4.0 FÜR DIE FABRIK 4.0,* Abels & Kemmner GmbH - Supply Chain Management Consultants, 2015. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/78078351-Disposition-4-0-fuer-die-fabrik-4-0.html>, zuletzt geprüft am (13.05.2021).
- Larasati, R.H.; Khabibah, S.; Aziz, A.: An optimization model of economic order quantity with financial constraints and market tolerance in ud plastikq. *Journal of Physics: Conference Series* 1524 (2020), S. 12097.
- März, L.; Krug, W.; Rose, O.; Weigert, G.: *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfadens mit Fallbeispielen.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2011.
- Müller, H., 2017: *Freies Online-Tool ermittelt Einsparpotenzial im indirekten Einkauf,* HTWK Leipzig. Online verfügbar unter https://www.htwk-leipzig.de/no_cache/forschen/aktuelles/detailansicht/artikel/787/, zuletzt geprüft am 13.05.2021.

- Prabhu, V.; Taisch, M.; Kiritsis, D.: *Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2013.
- Pumpe, A.; Vallée, F.: *Total Landed Cost for International Sourcing Decisions: Applying Importance-Performance Analysis to Evaluate Information Systems*. 2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), 2015.
- Rekik, Y.; Glock, C.H.; Syntetos, A.A.: *Enriching demand forecasts with managerial information to improve inventory replenishment decisions: Exploiting judgment and fostering learning*. *European Journal of Operational Research* 261 (2017) 1, S. 182–194.
- Robrade, A.D.: *Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung*. *Physica-Schriften zur Betriebswirtschaft*, 2013 (34).
- Schuh, G.; Schmidt, C.: *Produktionsmanagement: Handbuch Produktion und Management 5*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2014.
- Singhal, J.; Singhal, K.: *On the noniterative multiproduct multiperiod production planning method*. *Operations Research Letters* 37 (2009) 1, S. 65–66.
- v. d. Heuvel, W.; Wagelmans, A.P.: *A holding cost bound for the economic lot-sizing problem with time-invariant cost parameters*. *Econometric Institute Report*, 2008.
- Wischmann, S.; Hartmann, E. (Hrsg.): *Zukunft der Arbeit: Eine praxisnahe Betrachtung*. Berlin, Germany: Springer Vieweg 2018.
- Zoller, K.; Robrade, A., 1987: *Dynamische Bestellmengen- und Losgrößenplanung: Verfahrensübersicht und Vergleich*. *OR Spektrum* 1987, 1987 (9), S. 219–233. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/BF01719833>.