Diplomarbeit

DISPO 4.0 – Simulationsbasierte Optimierung der Bestellrechnung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn
(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik, Systemplanung & Facility Management)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Sebastian Schlund
(E330 Institut für Managementwissenschaften: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

Dipl.-Ing. Alexander Schmid
(Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Magdalena Lielacher, BSc

01526704 (066.482)

[redacted]

Wien, im Oktober 2021

Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2021

Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei dieser Diplomarbeit bzw. auch dem gesamten Studium unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich immer bestärkt hat und mir speziell in schwierigen Phasen zur Seite gestanden ist.

Außerdem möchte ich mich bei meinem Freund und Mitbewohner Bernd bedanken, der zu jeder Zeit für mich da gewesen ist. Zusätzlich hat er dafür gesorgt, dass ich auch genug Pausen einlege, um mich nachher wieder mit voller Energie in die Diplomarbeit stürzen zu können.

Zuletzt möchte ich noch ein großes Dankeschön an meinen Zweitbetreuer Alexander Schmid richten, der sowohl mit umfassendem Wissen unterstützen konnte als auch Hilfestellungen in jeder Phase der Diplomarbeit parat hatte.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Kurzfassung

Die Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie befindet sich in einem volatilen und immer komplexer werdenden Marktumfeld mit zunehmenden Kostendruck, steigender Variantenvielfalt und schwankenden Absatzmengen. Damit müssen Unternehmen ihre Materialdisposition neu ausrichten und bestehende Arbeitsweisen umgestalten, um noch wettbewerbsfähig zu sein. Daher ist das Ziel dieser Diplomarbeit ein Simulationsmodell für eine optimierte Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition in der Investitionsgüterindustrie zu entwickeln, das allgemein nutzbar ist. Mit dem Simulationsmodell soll das erfolgreiche Optimieren von Bestelllosgrößen und Bestellzeitpunkten gelöst werden, wobei auf eine kostenoptimale Gesamtoptimierung für Unternehmen abzuzielen ist. Unter Berücksichtigung sich ändernder Marktbedingungen soll an der Zielsetzung einer zukünftigen Digitalisierung bzw. Automatisierung der Bestellrechnung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition gearbeitet werden.

Als wissenschaftliche Methode wurde die *Design Science Research Methodology nach Peffers* gewählt. Aus dem bestehenden Problem aus der Industrie wird oben genannte Zielsetzung definiert. Daraus ergibt sich zuerst eine umfassende Theorierecherche zu Materialdisposition, *Total Cost of Ownership* sowie Algorithmen der Bestellrechnung, auf dessen Basis das Modell zur Erreichung des definierten Ziels entwickelt wird. Bei dem Simulationsmodell handelt es sich um ein MS-Excel-basiertes Tool. Schlussendlich wird jenes Modell demonstriert, hinsichtlich Wirtschaftlichkeit evaluiert sowie mit weiterem identifizierten Forschungsbedarf zurück an die Industrie mittels wissenschaftlicher Papers kommuniziert.

Mit dem Simulationsmodell konnte ein MS-Excel-Tool *„Purchase Order Octopus“* entwickelt werden, das von Disponenten und operativen Einkäufern der Investitionsgüterindustrie ohne detailliertes Know-how anwendbar ist. Es zeigte sich, dass eine artikeldifferenzierte Optimierung von Bestelllosgrößen kosteneffizienter ist als eine übergreifende Optimierung mit einem Bestelllosgrößenverfahren für alle Artikel. Damit konnten theoretische Kosteneinsparungen von über 55% erreicht werden. Allerdings ist eine Optimierung der Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition nur für eine verfügbare umfassende Datenbasis möglich, die für viele Artikel in den Unternehmen nicht gegeben ist. Damit kann eine 100-prozentige Abdeckung nie erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigen das hohe Nutzenpotential der Anwendung von Algorithmen für die Bestellrechnung der Investitionsgüterindustrie, das den einmaligen Aufwand für die Implementierung des Simulationsmodells übersteigt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abstract

Material disposition of the capital goods industry finds itself in a more complex and volatile market environment than ever before due to increasing cost pressure, growing variety of products and fluctuating sales volumes. To stay competitive, companies have to realign their materials planning and adapt current working methods. Therefore, the aim of this scientific thesis is to define a simulation model for an optimized procurement of the consumption-based material disposition of the capital good industry that can be widely used. With this process model the successful optimization of lot sizes and order times should be solved, while taking care of the overall optimization for companies. In consideration of changing market conditions, the goal is to promote future digitization and automation of procurement of the consumption-based material disposition.

The chosen scientific method is the *Design Science Research Methodology by Peffers.* Above mentioned target setting is derived from the current problem of materials planning. This results in a comprehensive literature research regarding material disposition, *Total Cost of Ownership* as well as algorithms for procurement which is the basis for a developed model to reach the set target. This simulation model is implemented in an MS-Excel-based tool. Finally, the model is demonstrated, evaluated regarding economic efficiency as well as communicated back to the industry via scientific papers including identified research gaps.

With the proposed simulation model an MS-Excel-tool *"Purchase Order Octopus"* was developed that can be used easily by dispatchers and operative purchasers of the capital good industry without having deep knowledge in that field. In the evaluation it was observed that article differentiated optimization of lot sizes is more economical than an overall optimization with one lot size algorithm for all articles. With that, theoretical overall costs can be decreased by over 55%. However, the optimization of procurement of the consumption-based material disposition is only possible for an available comprehensive data base which is currently not given for many articles of companies. Therefore, a coverage of 100% can never be reached.

The results show the high potential benefits of the application of algorithms for procurement of the capital good industry that exceeds the initial effort for implementing the simulation model.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Genderklausel

Für die vorliegende Arbeit wurde wegen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe verzichtet. Gemeint und angesprochen sind natürlich beide Geschlechter und Personen, die sich keinem Geschlecht zugehörig fühlen, gleichermaßen.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Ausgangssituation und Motivation 1
1.2 Allgemeine Problemstellung 2
1.3 Zielsetzung und Forschungshypothese 3
1.4 Definition der Forschungsmethodik 4
1.4.1 Wissenschaftliche Einordnung 5
1.4.2 Abgeleitetes methodisches Vorgehen 6
1.5 Aufbau der Arbeit 6
2 Grundlagen 9
2.1 Materialdisposition in der Investitionsgüterindustrie 9
2.2 *Dispo 4.0* 12
2.3 *Total Cost of Ownership* - Fokus Materialdisposition / Einkauf 15
2.4 Simulationsbasierte Optimierung 16
2.5 Prognoseverfahren 18
2.5.1 Beschreibung der angewendeten Prognoseverfahren 21
2.5.2 Prognosequalität 24
2.6 Bestelllosgrößenverfahren 29
2.6.1 Statische Verfahren mit Kostenoptimierung 32
2.6.2 Statische Verfahren ohne Kostenoptimierung 35
2.6.3 Dynamische Verfahren mit Kostenoptimierung 36
2.6.4 Dynamische Verfahren ohne Kostenoptimierung 44
3 Stand der Forschung und identifizierte Forschungslücke 46
4 Charakterisierung der Fallstudie 48
5 Datencharakterisierung 50
5.1 Datentransparenz und -strukturierung 50
5.1.1 Dateninput *„Purchase Order Octopus"* 50
5.1.2 Datenoutput *„Purchase Order Octopus"* 53
5.2 Datenqualität 53
5.3 Parametervariation in der Materialdisposition 55

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5.4 Dynamische und statische Systemdynamiken 56
6 Experimentelle Forschung 57
6.1 „Purchase Order Octopus“ 57
6.2 Kostenmodell *„Purchase Order Octopus“* 63
7 Evaluierung 64
7.1 Resultate des *„Demand Planning Falcons“* 64
7.2 Resultate des *„Purchase Order Octopus“* 66
7.2.1 Auswertung simulationsbasierte Optimierung 67
7.2.2 Auswertung prognosebasierte Simulation 85
7.2.3 Übergreifende Auswertung 87
8 Resümee und Ausblick 90
8.1 Diskussion der Ergebnisse (kritische Betrachtung) 90
8.2 Veröffentlichte Papers 92
8.3 Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse 93
8.4 Diskussion der Forschungshypothesen 94
8.5 Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung 95
9 Anhang 97
9.1 Prognoseverfahren 97
9.2 Bestelllosgrößenverfahren 100
9.3 Beschreibung des *„Demand Planning Falcons“* 106
9.4 Anwenderdokumentation *„Purchase Order Octopus“* für Unternehmen 1 109
10 Literaturverzeichnis 110
10.1 Fachliteratur 110
10.2 Online-Quellen 116
11 Abbildungsverzeichnis 119
12 Formelverzeichnis 120
13 Tabellenverzeichnis 121
14 Abkürzungsverzeichnis 124

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

1 Einleitung

In der vorliegenden Arbeit wird ein digitales Planungswerkzeug für eine optimierte Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition in der Investitionsgüterindustrie entwickelt. Mit diesem Werkzeug soll das erfolgreiche Optimieren von Bestelllosgrößen und Bestellzeitpunkten von den Erfahrungen einzelner gelöst, bewährte Verfahrensweisen allgemein nutzbar gemacht und die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen auf Basis eines Simulationsmodells erleichtert werden. Die Modellierung des Werkzeugs zielt auf eine kosteneffiziente Gesamtoptimierung für Unternehmen ab, unter Berücksichtigung sich ändernder Marktbedingungen (statische vs. dynamische Daten) mit der Zielsetzung einer zukünftigen Digitalisierung bzw. Automatisierung der Bestellrechnung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition.[1]

1.1 Ausgangssituation und Motivation

Diese Forschung bzw. die Betreuung dieser Diplomarbeit wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG), Förderungsnummer 872787, mitfinanziert. Im Rahmen der Unterstützung der von der FFG geförderten industrienahen Dissertation *DISPO 4.0* von *DI Alexander Schmid* wird diese Diplomarbeit durchgeführt und mit realen und aktuellen Unternehmensdaten der LOI-Partner aus der Investitionsgüterindustrie von *DISPO 4.0* bewertet bzw. evaluiert.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Teilgebiet der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition, die sich mit der termin- und artgerechten Versorgung von Materialien eines Unternehmens beschäftigt, bzw. des operativen Einkaufs, der für die fortwährende Bedarfsdeckung zuständig ist, behandelt. Genauer befasst sich diese Arbeit mit der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition, die auf vergangenheitsbezogene Daten zurückgreift.[2] Dabei wird die Bestellrechnung als Teil der Materialdisposition, neben der Bedarfs- und Bestandsrechnung[3], näher betrachtet, indem Bestelllosgrößenalgorithmen angewendet werden, um optimale Bestellmengen sowie optimale Bestellzeitpunkte zu erhalten.[4]

Gerade in österreichischen Unternehmen ist in der Investitionsgüterindustrie der Anteil an Zukaufteilen sehr hoch. Daher trägt die Materialdisposition bzw. der operative Einkauf maßgeblich zum Erfolg der Unternehmen bei.[5] Für eine Optimierung dieser

[1] vgl. Schmid u.a., 2019, S.1ff.
[2] vgl. Furmans u.a., 2019, S.42ff.
[3] vgl. Jacob, 2013, S.74
[4] vgl. Schuh u.a., 2014, S.207ff.
[5] vgl. Außenwirtschaft Austria der WKÖ, 2021, S.11; vgl. Mayerhofer u.a., 2020, S.1ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

eignet sich die Anwendung von Bestelllosgrößenverfahren, zu denen es in der Literatur eine Vielzahl an Ausführungen gibt, wobei nicht klar ist, welches Verfahren für Unternehmen das geeignetste ist.[6]

Die Materialdisposition befindet sich in einem volatilen und immer komplexer werdenden Marktumfeld, sodass sie sich neu ausrichten muss, damit Unternehmen noch wettbewerbsfähig sind. Zunehmender Kostendruck, der Trend zur Digitalisierung, steigende Variantenvielfalt aufgrund individueller Kundenwünsche sowie schwankende Absatzmengen führen zu der Notwendigkeit, bestehenden Arbeitsweisen umzugestalten. In der Literatur und Forschung existieren bereits viele Lösungen, um die Materialdisposition effizienter zu machen. Diese werden jedoch in den Unternehmen selten eingesetzt.[7]

Demgegenüber steht das hohe Potential an Kosteneinsparungen durch Digitalisierung des Einkaufs. Die HTWK Leipzig zeigt auf, dass dadurch Prozesskosten um die Hälfte gespart werden können.[8] Zudem berichtet auch Bosch, dass durch Digitalisierung der Logistikketten 30% der Aufwände beim Wareneingang eingespart werden können.[9] Auch die Anwendung von mathematischen Algorithmen führt zu deutlichen Kosteneinsparungen. Jedoch fehlt den Unternehmen das Wissen für die konkrete Umsetzung dieser Logiken in anwendbare Tools.[10]

1.2 Allgemeine Problemstellung

Die Anwendung einer effizienten und kostenoptimalen Bestellrechnung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition bringt eine Reihe an Herausforderungen mit sich:

Es existiert eine Vielzahl an komplexen Bestelllosgößenalgorithmen, siehe Kapitel 2.6, deren Anwendung mathematisches Know-how benötigt, welches in Materialdisposition und operativem Einkauf zumeist fehlt.[11]

[6] vgl. Schuh u.a., 2014, S.207ff.
[7] vgl. Schönsleben, 2020, S.121; vgl. Pfohl, 2018, S.51ff.
[8] vgl. https://www.htwk-leipzig.de/no_cache/forschen/aktuelles/detailansicht/artikel/787/ (Gelesen am 04.05.2021)
[9] vgl. https://www.dvz.de/rubriken/logistik/detail/news/bosch-logistikchef-ki-ist-eine-schluesseltechnik-fuer-die-lieferkette.html (Gelesen am 20.07.2021)
[10] vgl. Lohmann, 2010, S.62
[11] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Anwendung kosteneffizienter Algorithmen bedingt die Notwendigkeit der Datentransparenz und -verfügbarkeit zu Kosten- und Materialflussdaten in der Bestellrechnung, die in den meisten Unternehmen nicht vorhanden ist.[12]

Sowohl statische, als auch dynamische Daten müssen berücksichtigt werden, da sich ändernde Umfeldbedingungen auf Bestelllosgrößen auswirken, auf die rasch reagiert werden muss. Als aktuelles Beispiel kann hier die meist zunehmende Planlieferzeit in der Covid-19 Krise aufgeführt werden.[13] Hierbei ist vor allem problematisch, dass oft nur wenige Materialdisponenten eine Vielzahl an Informationen und Daten bei wechselnden Bedingungen überblicken müssen.[14]

Zudem herrscht Intransparenz, welche Bestelllosgrößenverfahren es eigentlich gibt und welche vielversprechend in der Anwendung sind.[15] Die Literatur bietet hier auch keine ausreichende Übersicht, siehe dazu Kapitel 2.6.

Durch fehlendes Know-how in den Unternehmen werden Entscheidungen aus dem Bauch heraus getroffen, ohne eine datengestützte Basis bzw. ein Vorgehensmodell. Dadurch kommt es zu Intransparenz in der Entscheidungsfindung zur Bestellmengenrechnung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition.[16]

1.3 Zielsetzung und Forschungshypothese

Aufgrund des hohen Einsparungspotentials sowie der Notwendigkeit der Neuausrichtung der Materialdisposition, ist das Ziel dieser Diplomarbeit, praxisnahe digitale Planungswerkzeuge für die Beschaffung zu entwickeln und zu evaluieren. Diese sollen für den Anwender leicht zu bedienen sein, ihn bei dispositionsrelevanten Entscheidungen unterstützen sowie auf vorhandenen Daten aus verwendeten ERP-Systemen beruhen. Als Eingrenzung dieser Arbeit wurde der Fokus auf die Investitionsgüterindustrie gelegt. Die Evaluierung dieser Forschung basiert daher auch auf Prozessen, Abläufen, Daten und Produkten aus Unternemen der Investitionsgüterindustrie.

[12] vgl. Schäffer, 2020, S.17; vgl. https://www.konii.de/news/proptech-unternehmen-mangelnde-datentransparenz-fehlende-standards-und-mangelnde-kooperationsbereitschaft-hemmen-digitalisierung-in-der-immobilienwirtschaft-201804268424 (Gelesen am 20.07.2021)
[13] vgl. https://www.catkin.eu/covid-19-und-die-logistik-huerden-und-auswirkungen/ (Gelesen am 20.07.2021)
[14] vgl. https://logistik-heute.de/news/scrm-strategien-stoerungen-der-lieferkette-vermeiden-34209.html (Gelesen am 20.07.2021)
[15] vgl. Lohmann, 2010, S.62; vgl. https://www.ak-online.de/de/2010/10/moglichkeiten-und-grenzen-der-losgrosenoptimierung/ (Gelesen am 20.07.2021)
[16] vgl. https://logistik-heute.de/news/scrm-strategien-stoerungen-der-lieferkette-vermeiden-34209.html (Gelesen am 20.07.2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Dies führt zu folgenden drei Forschungshypothesen:

1. Die Nutzung eines artikeldifferenzierten Simulationsmodells zur Optimierung der Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition ermöglicht es, aus der Vielzahl an bestehenden und bewährten Bestelllosgrößenverfahren für Unternehmen der Investitionsgüterindustrie besonders geeignete Verfahren je Artikel zu identifizieren und ohne besondere Fachkenntnisse nutzbar zu machen.
2. Durch die Betrachtung und Nutzung von *Total Cost of Ownership* lassen sich mit dem Simulationsmodell für diese Unternehmen gemäß Erwartungswerten aus der Literatur Kosteneinsparungen von bis zu 40% generieren.
3. Mit der digitalisierten und automatisierten Anwendung dieses Simulationsmodells können die Prozesse der Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition nahezu komplett automatisiert werden.

Für die Beantwortung der Forschungsfrage wird in dieser Arbeit zuerst die allgemeine Problemstellung definiert (siehe Kapitel 1.2), anschließend folgt die Vorgabe der Zielsetzung (siehe Kapitel 1.3). Nach der Erarbeitung der wissenschaftlichen Grundlagen, indem bereits existierende mathematische Algorithmen identifiziert werden, die für die Anwendung in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie geeignet sind, sowie des Stands der Forschung, kann ein Modell designt und entwickelt werden. Dafür soll zuerst die für die kostenoptimale verbrauchsgesteuerte Materialdisposition notwendige Datenstruktur und -qualität der Bestelllosgrößenverfahren evaluiert sowie unter *Total Cost of Ownership* Gesichtspunkten betrachtet werden. Im nächsten Schritt wird ein TCO-basiertes Vorgehensmodell zur Gewährleistung einer kostenoptimalen verbrauchsgesteuerten Bestellrechnung in der Investitionsgüterindustrie entwickelt. Dieses bedarf es in ein MS-Excel-Tool umzusetzen sowie anhand eines konkreten Unternehmens der Investitionsgüterindustrie auszuwerten. Zuletzt wird jenes Simulationsmodell umfassend analysiert, die Ergebnisse in wissenschaftlichen Papers kommuniziert sowie mögliche weitere Schritte diskutiert.

1.4 Definition der Forschungsmethodik

Um die Forschungsfrage bearbeiten zu können, wird zunächst für die theoretischen Ansätze sowie State-of-the-Art Betrachtung eine fundierte wissenschaftliche Recherche durchgeführt. Dabei werden allgemeine Definitionen präsentiert, praktische Beispiele erwähnt sowie im Fall der mathematischen Algorithmen die für die Berechnung relevanten Formeln angegeben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Im Fokus dieser Diplomarbeit steht die experimentelle Forschung. Es wird eine neue digitale Planungsmethode (MS-Excel-Tool *„Purchase Order Octopus“*) für die Anwendung in der verbrauchsgesteuerten Bestellrechnung entwickelt. Dieses dient der Analyse und Variation bestehender mathematischer Algorithmen. Im Anschluss kann dieses Tool sowie der bereits entwickelte *„Demand Planning Falcon“*[17] getestet und analysiert sowie kontrollierte Versuche ermöglicht werden. Dabei werden im Allgemeinen Variablen so variiert, dass für die Praxis Effizienzsteigerungen ermöglicht werden. Des Weiteren können mit der Variation von Variablen Auswirkungen auf die Verfahren der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition ermittelt werden. Dies erfolgt anhand konkreter Unternehmensdaten.

Schlussendlich entsteht ein digitales Planungswerkzeug für eine optimierte, verbrauchsgesteuerte Bestellrechnung der Investitionsgüterindustrie. Anhand unterstützender MS-Excel-Tools wird dies in der Praxis umgesetzt, um ein mehrdimensionales, transparentes Werkzeug zu erhalten, bei dem sowohl qualitative als auch quantitative Parameter Berücksichtigung finden. Dem Materialdisponenten bzw. Einkäufer soll so geholfen werden, bessere Entscheidungen zu treffen, indem Methoden aus der präskriptiven Entscheidungstheorie verwendet werden, die erklärt, wie rationale Entscheidungen getroffen werden können.[18]

1.4.1 Wissenschaftliche Einordnung

Im Bereich der Forschung von Informationssystemen existieren zwei komplementäre Paradigmen, die diese charakterisieren: *behavioral science* und *design science*. Ersteres beschreibt die Analyse von menschlichem und organisatorischem Verhalten. Zweiteres versucht die Grenzen der menschlichen Problemlösungsfähigkeit und der organisatorischen Möglichkeiten mittels neuer Artefakte zu erweitern.[19]

Das *design science* hat im Bereich der Ingenieurwissenschaften seine Wurzeln, genauer ist es ein Problemlösungsparadigma.[20] *„Es erstrebt Innovationen zu kreieren, die Ideen, Praktiken, technische Fähigkeiten und Produkte definieren, durch welche die Analyse, Design, Implementierung, Management und Verwendung von Informationssystemen effektiv und effizient durchgeführt werden können.“*[21]

[17] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[18] vgl. https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entscheidungstheorie-32315#head4 (Gelesen am 03.04.2021)
[19] vgl. Hevner u.a., 2004, S.75
[20] vgl. ebenda, S.76
[21] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Organisatorische Probleme sollen mittels IT-Artefakte, z.B. Software, gelöst werden, die durch Optimierung, analytische Simulation, usw. evaluiert werden können.[22]

1.4.2 Abgeleitetes methodisches Vorgehen

Die *Design Science Research Methodology nach Peffers* bietet eine spezifische Forschungsmethode, die als Methode zur Lösung der Problemstellung herangezogen wird. Ausgangspunkt ist ein bestehendes Problem aus der Industrie, wie das fehlende Wissen über die Anwendung von Bestelllosgrößenverfahren. Daraus wird eine Zielsetzung definiert, woraus wiederum mittels Theorierecherche die Entwicklung einer Lösung zur Erreichung des Ziels ermittelt wird. Das Ergebnis wird demonstriert, hinsichtlich Wirtschaftlichkeit evaluiert sowie zurück an die Industrie kommuniziert. Bei Bedarf können Verbesserungen und notwendige Adaptierungen aufgrund Anpassung der Simulation an reale Bedingungen aus der Evaluierung wieder in Design & Entwicklung einfließen und so eine weitere bzw. mehrere Schleifen durchlaufen werden. Die Methode vereinheitlicht bereits in der Literatur vorgestellte Ansätze, steht somit in Konsistenz mit diesen, und liefert Prinzipien, Praktiken und Vorgehensweisen der Forschungsmethode.[23] Gezeigt wird dies in Abbildung 1.

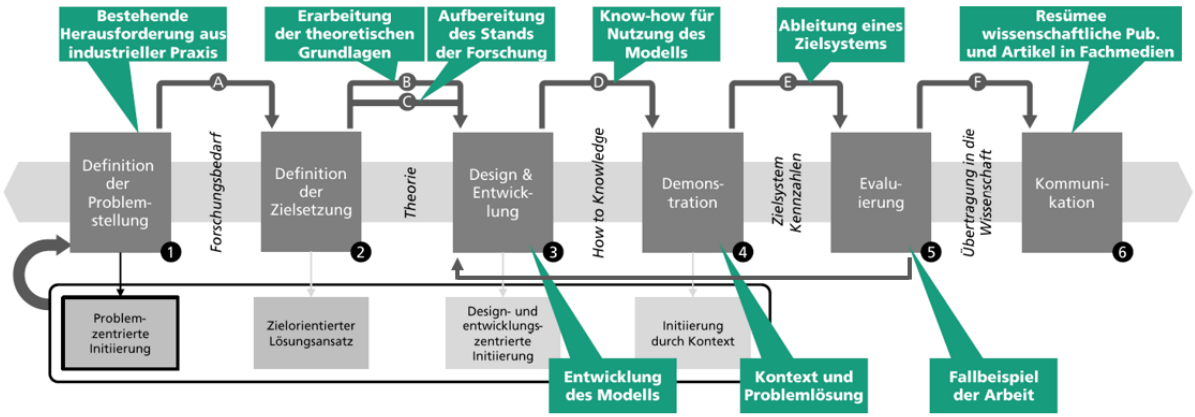

Abbildung 1: *Design Science Research Methodology nach Peffers*[24]

1.5 Aufbau der Arbeit

Auf Basis dieses methodischen Vorgehens wird diese Diplomarbeit strukturiert.

Nach der Definition der Problemstellung in Kapitel 1.2 sowie daraus der Zielsetzung in Kapitel 1.3 werden als Einstieg in das Thema *Disposition 4.0* zuerst die Grundlagen (Kapitel 2) behandelt. Nach einer allgemeinen Beschreibung der Materialdisposition

[22] vgl. Hevner u.a., 2004, S.77
[23] vgl. Peffers u.a., 2006, S.84ff.
[24] Eigendarstellung in Anlehnung an: vgl. ebenda, S.93

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

inklusive der Investitionsgüterindustrie, folgt eine Erklärung von *Dispo 4.0* und des *Total Cost of Ownership* Konzepts mit Fokus auf die Materialdisposition bzw. Einkauf. Da bei der experimentellen Forschung, beim *„Purchase Order Octopus"*, simulationsbasierte Optimierung Anwendung findet, wird jene als Nächstes erläutert. Im Anschluss folgen noch die Beschreibungen der mathematischen Verfahren der Prognose sowie Bestelllosgrößen. Aus der Zielsetzung folgt außerdem noch die Aufbereitung des Stands der Forschung sowie der identifizierten Forschungslücke (Kapitel 3).

Im Bereich Design & Entwicklung werden nach einer allgemeinen Beschreibung der Fallstudie, die für die Anwendung der digitalen Planungswerkzeuge notwendigen Daten im Kapitel Datencharakterisierung behandelt. Nach der Erläuterung der Datentransparenz und -strukturierung, folgt die Thematisierung der Datenqualität. Innerhalb des Unterkapitels Parametervariation in der Materialdisposition wird gezeigt, welche Parameter in der Praxis als Input eingestellt werden können. Zuletzt erfolgt die Behandlung der statischen und dynamischen Systemdynamiken. Die Datenbasis wird für zwei Unternehmen der Investitionsgüterindustrie dargestellt.

Zu Design & Entwicklung sowie Demonstration außerdem zugehörend wird im Kapitel Experimentelle Forschung das MS-Excel-Tool *„Purchase Order Octopus“* erklärt. Das im Rahmen der Arbeit programmierte digitale Planungswerkzeug für die Bestelllosgrößenverfahren sowie Bestellzeitpunkte wird vorgestellt sowie dessen Kostenmodell erläutert.

Als Nächstes wird jenes Tool sowie das bereits existierende Tool *„Demand Planning Falcon“*[25] mit den Daten eines Unternehmens aus der Investitionsgüterindustrie angewendet und die Ergebnisse im Kapitel Evaluierung erläutert. Diese sind in Resultate der jeweiligen MS-Excel-Tools gegliedert. Für Unternehmen 2 konnten die zwei Tools aufgrund noch fehlender Datenbasis nicht angewendet werden.

Zuletzt wird das Kapitel Resümee und Ausblick behandelt. In diesem erfolgt die Diskussion der Ergebnisse, gefolgt von der Demonstration der veröffentlichten Papers und der Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse. Außerdem wird die Forschungshypothese sowie die nächsten möglichen Schritte zur Weiterentwicklung diskutiert.

Der Aufbau dieser Arbeit findet sich auch in Abbildung 2.

[25] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

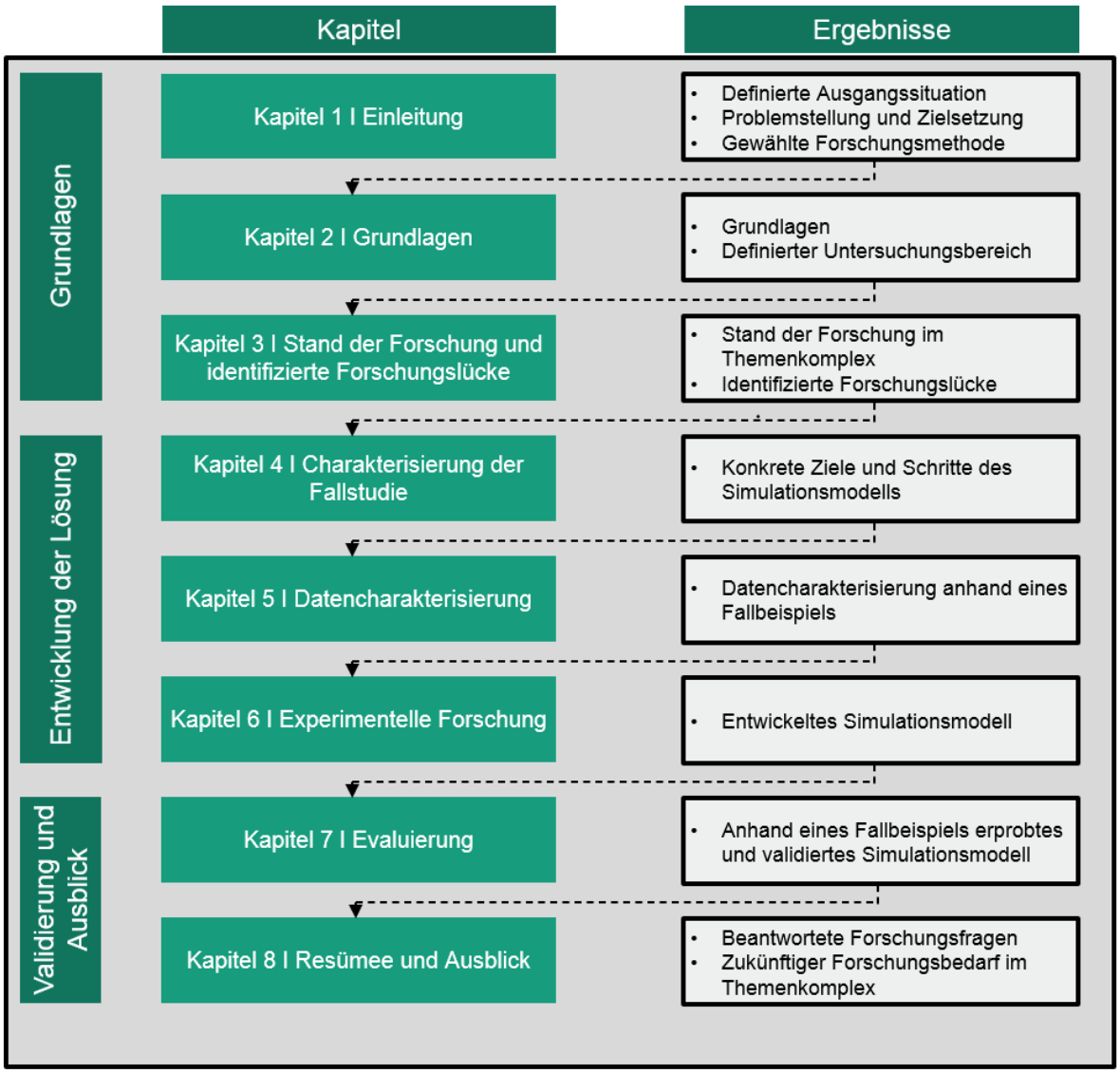

Abbildung 2: Aufbau und Inhalte der Arbeit[26]

[26] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2 Grundlagen

Im Folgenden werden die zur Behandlung der Forschungsfrage relevanten theoretischen Grundlagen zusammengefasst.

2.1 Materialdisposition in der Investitionsgüterindustrie

Die Materialdisposition ist grundsätzlich für die Materialflüsse in das Unternehmen und die Lagerbestände zuständig. Ziel ist es, dass die richtigen Artikel bzw. Materialien zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort (Produktionswerk) in der korrekten Menge und Qualität vorliegen.[27] Damit kümmert sich die Materialdisposition um die Planung sowie Festlegung des Bedarfs von fremdbezogenem Material, welches Roh-, Betriebs- oder Hilfsstoffe sowie Handelswaren sein können.[28] Um eine optimale Materialdisposition zu verwirklichen, muss einerseits auf die Minimierung des Lagerbestands und der Kosten geachtet werden, andererseits soll die Materialverfügbarkeit immer gegeben sein.[29]

Es existieren verschiedene Einteilungsmöglichkeiten der Materialdisposition:

- Bedarfs-, Bestands- und Beschaffungsplanung[30]
- Deterministische und stochastische Bedarfsplanung[31]
- Bedarfsplanung (bzw. -rechnung), Bestands- und Bestellrechnung[32]

Eine der Aufgaben dieses Themengebietes umfasst also die Ermittlung des Bedarfs an Material, welche programm-, verbrauchsorientiert oder per Schätzung erfolgen kann.[33] Erstere stützt sich demnach auf das Produktionsprogramm des Unternehmens.[34] Die verbrauchsorientierte Bedarfsermittlung wiederum verwendet Verbrauchswerte der Vergangenheit zur Bestimmung der Prognosewerte mittels mathematischer Verfahren, siehe Kapitel 2.5.[35]

Im Rahmen der Bestandsplanung bzw. -rechnung muss auf das Vorhandensein von Material in der richtigen Menge und Qualität geachtet werden, ohne dass die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens gefährdet wird. Die Bestände sowie der

[27] vgl. Jacob, 2013, S.74
[28] vgl. Furmans u.a., 2019, S.44
[29] vgl. Klug, 2018, S.427f.
[30] vgl. Jacob, 2013, S.74
[31] vgl. Arnolds u.a., 2016, S.41ff.
[32] vgl. Furmans u.a., 2019, S.44; vgl. Klug, 2018, S.428
[33] vgl. Jacob, 2013, S.75f.
[34] vgl. Arnolds u.a., 2016, S.41
[35] vgl. Furmans u.a., 2019, S.44

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Materialflussvorgang im Lager kann anhand der folgenden Abbildung 3 dargestellt werden.[36]

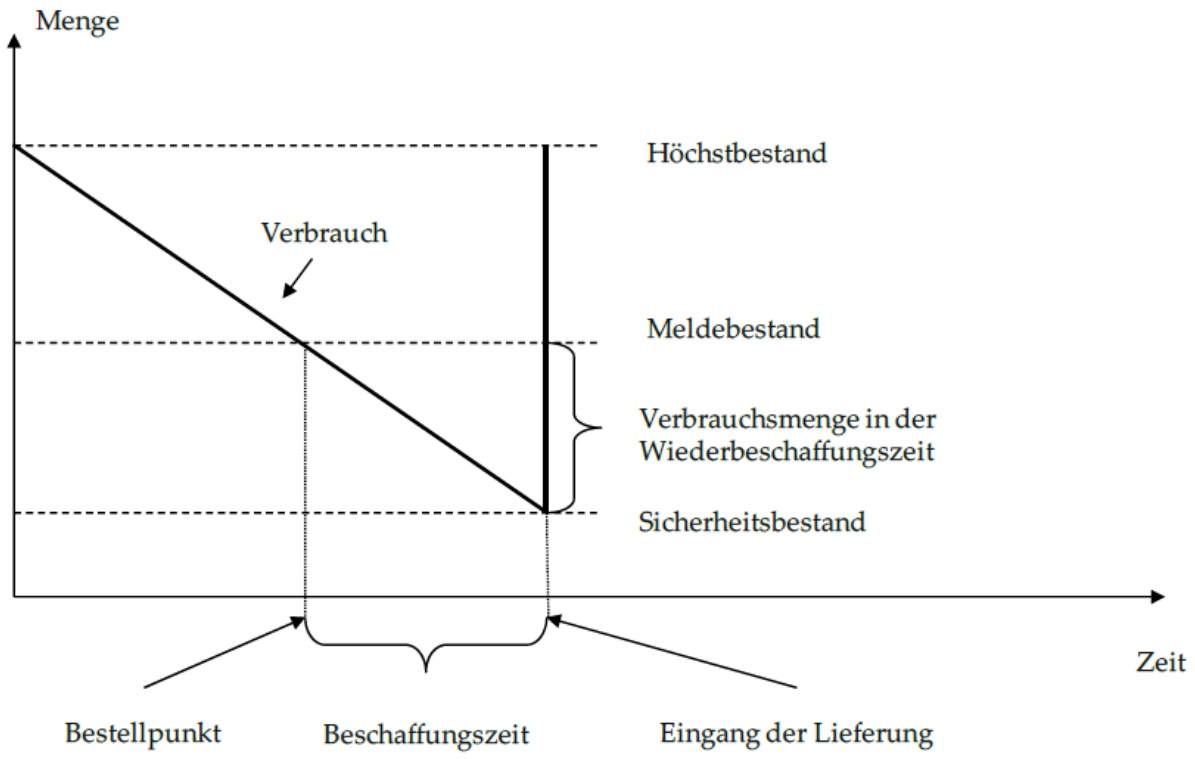

Abbildung 3: Darstellung der verschiedenen Bestände[37]

Der Höchstbestand soll nie überschritten werden, der Meldebestand eignet sich zum Auslösen der Bestellung und der Sicherheitsbestand stellt die untere Grenze an Lagerbestand (Reserve) dar.[38]

Da der Meldebestand für die experimentelle Forschung (siehe Kapitel 6) berechnet wird, soll eine kurze Definition gegeben werden.

$$MB = SS + D * LT$$

Formel 1: Meldebestand[39]

MB	Meldebestand [ME]	SS	Sicherheitsbestand [ME]
D	Durchschnittliche Nachfrage [ME]	LT	Lieferzeit [ZE]

Tabelle 1: Parametererklärung Meldebestand[40]

Unter der Beschaffungsplanung bzw. Bestellrechnung fällt die Umsetzung der Bedarfe in Bestellungen mit der Bestimmung der optimalen Losgrößen mittels mathematischer

[36] vgl. Jacob, 2013, S.76f.
[37] ebenda, S.77
[38] vgl. ebenda
[39] vgl. Gudehus, 2012, S.66; vgl. Gudehus, 2010, S.303
[40] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Verfahren, näheres dazu im Kapitel 2.6.[41] In der Literatur werden auch die Entscheidungen über die Beschaffungsprinzipien, -wege, -termine und -kosten zu diesem Themengebiet erwähnt.[42]

Zusammengefasst können die Aufgaben, Methoden und Algorithmen der Materialdisposition in Abbildung 4 gezeigt werden.

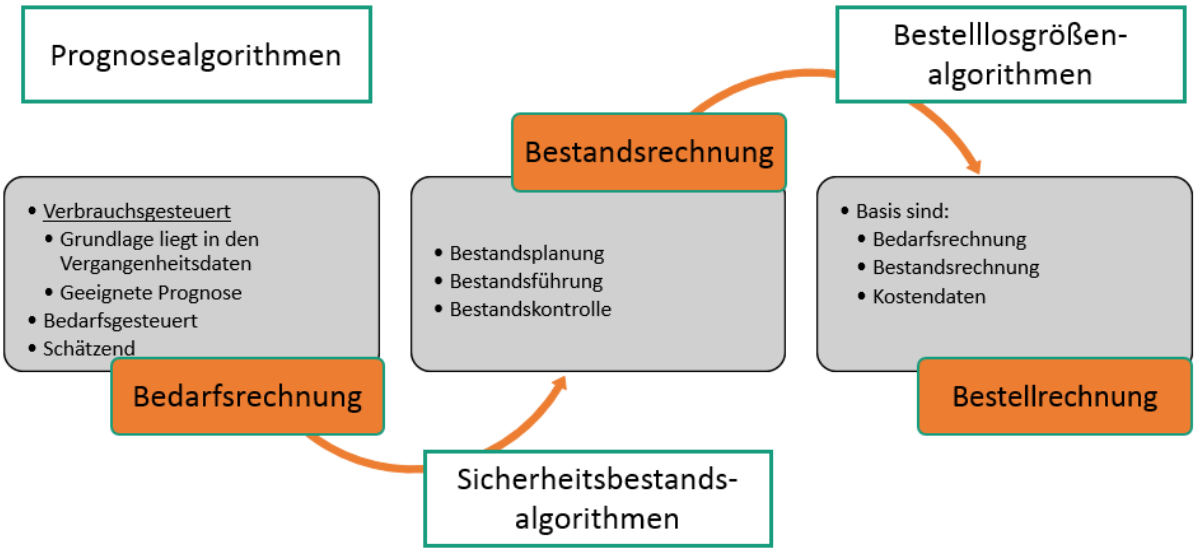

Abbildung 4: Grafische Darstellung von Hauptaufgaben in der Materialdisposition[43]

Wie ersichtlich ist, folgen die drei Aufgabengebiete Bedarfs-, Bestands- und Bestellrechnung aufeinander. Aus diesem Grund ist eine valide Bedarfsprognose für aussagekräftige Ergebnisse von Sicherheitsbestandsalgorithmen notwendig. Höhere Prognosefehler würden notwendigerweise zu höheren Sicherheitsbeständen führen, die bei genauerer Prognose womöglich gar nicht erforderlich gewesen wären.[44] Folglich gelten auch die Inputs Prognose sowie Sicherheitsbestand für Bestelllosgrößenalgorithmen als wichtige Datenbasis, ohne der eine gültige Bestellrechnung nicht möglich ist.[45]

Um nun die aktuelle Situation der Materialdisposition in der Investitionsgüterindustrie erläutern zu können, soll kurz erklärt werden, worum es sich bei Investitionsgütern handelt. Das sind *„Leistungen, die von Nichtkonsumenten direkt oder indirekt für die Leistungserstellung zur Fremdbedarfsdeckung […] bzw. zur kollektiven Deckung des Eigenbedarfs […] beschafft werden.“* [46]

[41] vgl. Furmans u.a., 2019, S.44
[42] vgl. Jacob, 2013, S.78
[43] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher in Anlehnung an: vgl. Schuh u.a., 2014, S.210ff.; vgl. Arnolds u.a., 2016, S.47
[44] vgl. Arnolds u.a., 2016, S.47
[45] vgl. Schuh u.a., 2014, S.210ff.
[46] https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/investitionsgueter-38359 (Gelesen am 09.02.2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Es zeigt sich der Trend, dass Kunden der Investitionsgüterindustrie Maschinen nicht aufgrund langfristiger Strategien, sondern ausgelöst durch kurzfristige Aufträge bestellen. Dies bedingt kürzere Lieferzeiten und eine hohe Flexibilität. Durch verkürzte Lieferzeiten reagiert der Kunde wiederum mit einer zunehmend späteren Auftragsplatzierung und erwartet sich trotzdem eine zuverlässige Lieferung. Dementsprechend ist eine hohe Planungsgenauigkeit unabdingbar.[47]

Neben den Faktoren Zeit und Planungsgenauigkeit wird auch der Kostendruck immer größer. Die Industrie muss sich aufgrund des Marktwettbewerbs, z.B. durch die Globalisierung, auf einzelne Kernfähigkeiten fokussieren und diese kostenoptimal anbieten.[48] Des Weiteren nimmt die Dynamik der Technologieentwicklung zu und die Kunden werden zudem immer anspruchsvoller, das wiederum in Markt- und Kostendruck für die Investitionsgüterindustrie resultiert. Gleichzeitig muss der Logistik mehr Relevanz zugesprochen werden, da die Logistikkosten im Schnitt in der Industrie zunehmen.[49]

Zuletzt soll noch auf einen der entscheidenden Trends der aktuellen Zeit eingegangen werden, die vierte industrielle Revolution, kurz Industrie 4.0. Diese bedingt einen grundlegenden Wandel in der Arbeitsweise der Materialdisposition. Es geht um eine Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette und eine zunehmende Orientierung an Kundenbedürfnissen. Um dies zu erreichen, ist die Verfügbarkeit von relevanten Informationen notwendig sowie die Fähigkeit aus diesen Daten den Wertschöpfungsfluss ableiten zu können. Schlussendlich sollen sich selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsketten entstehen, die Menschen, Systeme und Objekte verknüpfen.[50]

All diese Faktoren bedingen eine kontinuierliche Optimierung der Materialdisposition.

2.2 *Dispo 4.0*

Diese Arbeit befasst sich speziell mit der *Materialdisposition 4.0*, kurz *Dispo 4.0*, der Investitionsgüterindustrie. Das Suffix „4.0“ stammt vom Begriff Industrie 4.0, der sogenannten vierten industriellen Revolution[51], die sich *„durch Individualisierung bzw. Hybridisierung der Produkte und die Integration von Kunden und Geschäftspartnern in*

[47] vgl. Wiendahl, 2011, S.20f.
[48] vgl. Schönsleben, 2020, S.121
[49] vgl. Pfohl, 2018, S.46ff.
[50] vgl. Sendler, 2016, S.17ff.
[51] vgl. ebenda, S.17

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

die Geschäftsprozesse"[52] auszeichnet. *Dispo 4.0* steht demnach für die sich im Zusammenhang mit der Industrie 4.0 befindende Materialdisposition.

Im Buch *„Einkauf 4.0"*[53] wird eine mögliche Form der *Materialdisposition 4.0* beschrieben: Mittels Vernetzung von Artikeln, Lagern sowie Produktionsanlagen durch Einsatz von künstlicher Intelligenz soll ein autonomer Einkaufsprozess geschaffen werden. So kann automatisiert ein Bestandsmangel festgestellt, mittels eigenständig analysierten vergangenheitsbezogenen Daten der notwendige Bedarf prognostiziert sowie im Einkauf automatische eine Bestellung ausgelöst werden.[54]

In *„Describing the technological scope of Industry 4.0 - A review of survey publications"*[55] wurde Technologien der Industrie 4.0 für die Wissenschaft und Industrie nach Relevanz gereiht. Als eine der wichtigsten Technologien erleichtern *Web Services* und *Cloud Computing* den Datenaustausch zwischen IT-Systemen und ermöglichen Echtzeitoptimierung. Dafür benötigt man kabellose Kommunikation zwischen den Objekten bzw. Systemen, womit eine *Machine-to-Machine Kommunikation* möglich wird und vollautomatische Entscheidungen getroffen werden können. Die Informationen, die dafür notwendig sind, werden über Sensoren erhalten. Diese und weitere Technologien haben demnach eine hohe Relevanz für die *Dispo 4.0.*[56]

Die Zahl „4.0" bezieht sich auf einen historischen Hintergrund, mit der die Entwicklung der industriellen Zeitalter beschrieben wird.[57] In Abbildung 5 ist die Geschichte der industriellen Revolutionen ersichtlich.

[52] https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrie-40-54032 (Gelesen am 24.08.2021)
[53] Kleemann u.a., 2017, S.1
[54] vgl. ebenda, S.18
[55] Schlund u.a., 2018, S.341
[56] vgl. ebenda, S.347f.
[57] vgl. Sendler, 2016, S.21ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

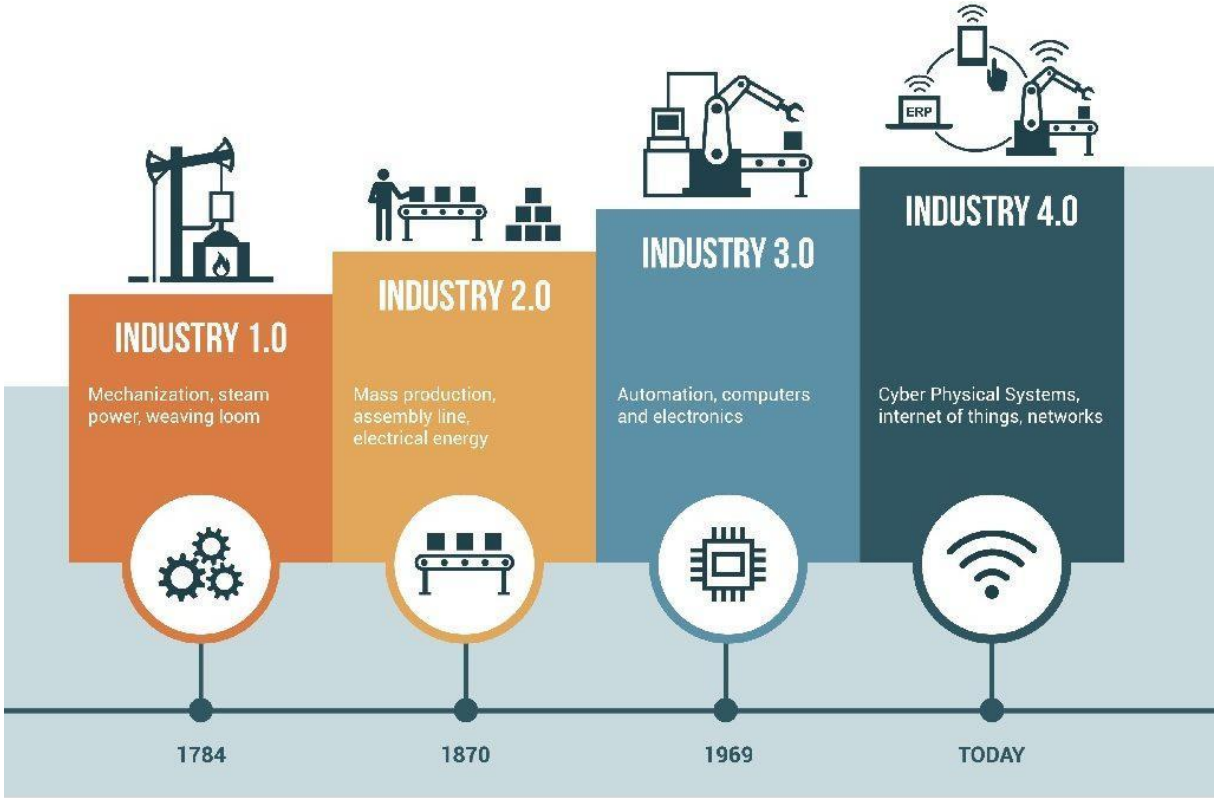

Abbildung 5: Geschichtliche Entwicklung zur Industrie 4.0[58]

Ging es in der *Dispo 3.0* noch um die Einführung von Computern und Elektronik inklusive erster ERP-Systeme, soll nun im Zeitalter der *Dispo 4.0* ein vollautomatisierter Informationsfluss geschaffen werden. Dies bedeutet nicht mehr das händische Bedienen von Informationssystemen, also Unterstützung bei der manuellen Durchführung, sondern ein vernetztes System, das automatisch Bedarfe erkennt und diese in Bestellungen umsetzt. Das gelingt unter anderem durch Echtzeitverfügbarkeit von Daten, verbesserte Datenqualität und -verfügbarkeit und erhöhte Transparenz der Supply Chain.[59]

Gemäß Barton u.a. (2018)[60] sind Daten sowie Informationen das Öl bzw. der Treibstoff der *Dispo 4.0* und Algorithmen sind der Motor. *„Denn erst durch intelligente Algorithmen sind Computer in der Lage, den Daten einen Sinn zu entnehmen und diese im Unternehmen nutzbar zu machen.“*[61]

[58] https://iiot-world.com/connected-industry/status-and-trends-in-the-global-manufacturing-sector/ (Gelesen am 24.08.2021)
[59] vgl. Pellengahr u.a., 2016, S.19
[60] vgl. Barton u.a., 2018, S.27
[61] ebenda, S.32

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.3 *Total Cost of Ownership* - Fokus Materialdisposition / Einkauf

Unter *Total Cost of Ownership* (TCO) wird grundsätzlich ein Verfahren verstanden, bei dem alle mit der Beschaffung, Nutzung und Entsorgung eines Vermögensgegenstandes einhergehenden Kosten betrachtet werden. Mit diesem Konzept soll die Gesamtheit aller Kosten berücksichtigt werden.[62]

Neben dem TCO-Konzept gibt es noch weitere Kostenmodelle, wie z.B. *Life cycle costing*, *Activity-based costing*, *Zero based pricing*[63], *Target costing*, *Value chain costing* sowie *Quality costing*.[64]

In Abbildung 6 werden die im Rahmen des TCO-Modells zu einkalkulierenden Kosten dargestellt, welche in vorgelagerte, Transaktions- und nachgelagerte Kosten unterteilt sind.[65] Es sollen sowohl direkte als auch indirekte Kosten betrachtet werden.[66]

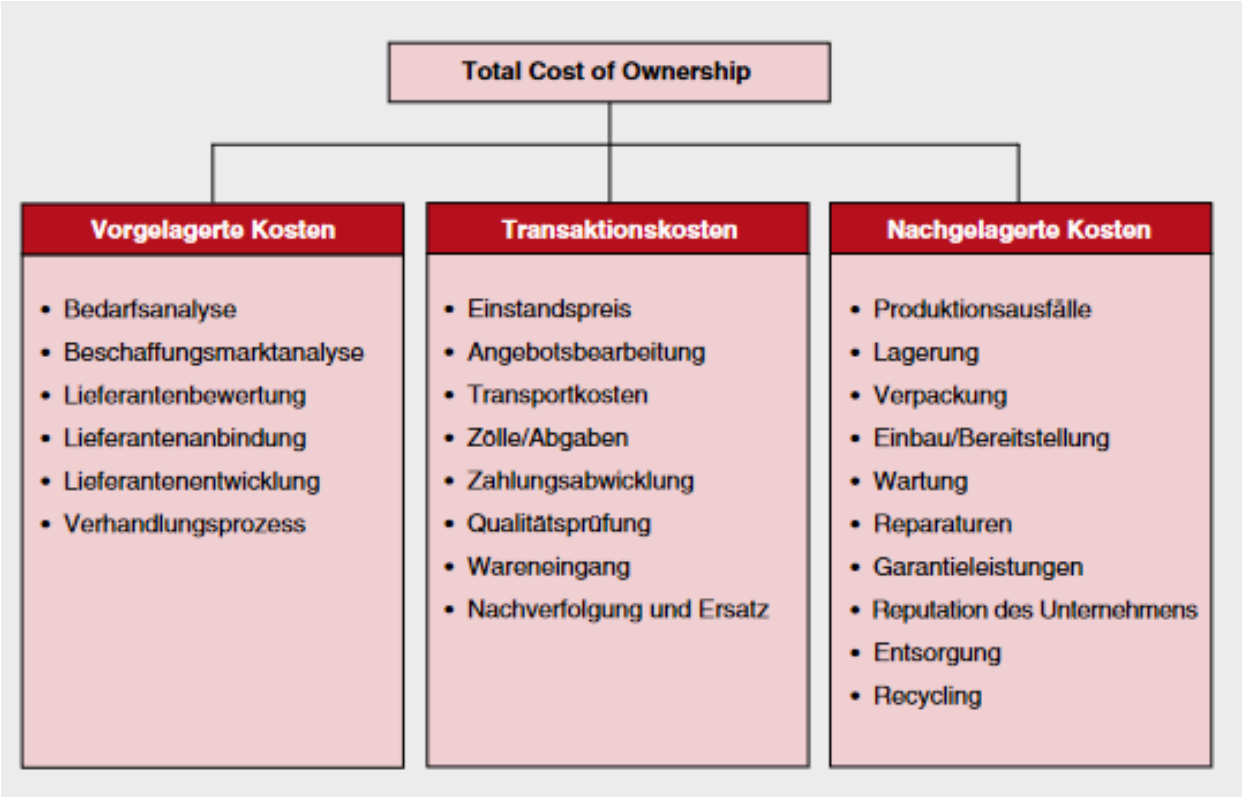

Abbildung 6: *Total Cost of Ownership* - Auflistung der Kosten[67]

[62] vgl. https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/total-cost-ownership-49401 (Gelesen am 28.03.2021)
[63] vgl. Uyar, 2014, S.10
[64] vgl. Marlina u.a., 2019, S.275f.
[65] vgl. Jahns u.a., 2007, S.79
[66] vgl. Uyar, 2014, S.10
[67] Jahns u.a., 2007, S.79

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Um Kosten und deren Beziehung zu Kostentreibern beschreiben und optimieren zu können[68] sowie in dem Anwendungsfall die gesamtheitlichen Kosten des Beschaffungsprozesses für die Wahl optimaler Bestelllosgrößen ermitteln zu können, wurde das *Total Landed Cost* (TLC) Konzept herangezogen. Wird der Fokus also auf die Materialdisposition bzw. Einkauf gesetzt, müssen alle mit diesem Bereich einhergehenden Kosten betrachtet werden. Dieser Ansatz wird als Teilgebiet von TCO mit *Total Landed Cost* bezeichnet.[69] Beim Einkauf von Waren ist zu beachten, dass nicht nur der Einkaufspreis berücksichtigt wird, sondern auch die Transportkosten, Kosten für den Wareneingang sowie der Buchhaltung und anschließend die Lager- und Kapitalkosten eines Gutes.[70] Auch zwischen einmaligen und laufenden Kosten sowie zwischen bestellfixen und variablen Stückkosten muss unterschieden werden.[71] Für den Beschaffungsprozess sollen auf Basis der ermittelten Kosten die passenden Lieferanten ausgewählt und dann für jeden Artikel der ausgewählten analysiert werden, ob es gesamtheitlich betrachtet, besser ist, diesen seltener in größeren oder häufiger in kleineren Mengen zu bestellen.[72]

Sowohl TCO als auch TLC bedingen einen hohen Aufwand zur Auswertung aufgrund der notwendigen Menge an Daten sowie der Zeitdauer zur Durchführung.[73]

In vielen experimentellen Studien wurde bereits gezeigt, dass die Anwendung von *Total Cost of Ownership* zu wirtschaftlichen Ergebnissen führt. Oft wird TCO zur Lieferantenauswahl verwendet.[74] Aber auch, ob größere Investitionen in Maschinen oder Anlagen rentabel sind,[75] sowie welche Beschaffungsstrategien verwendet werden[76], kann mittels TCO bestimmt werden.

2.4 Simulationsbasierte Optimierung

Um den Kombinationsbegriff simulationsbasierte Optimierung erklären zu können, werden zuerst die Begriffe Simulation sowie Optimierung erläutert.

Unter Simulation versteht man grundsätzlich das Nachbilden eines realen Systems in einem experimentierbaren Modell. Dies wird durchgeführt, um zu auf die Wirklichkeit übertragbaren Erkenntnissen zu kommen.[77] Simulation dient im Allgemeinen zur

[68] vgl. Janz u.a., 2005, S.12
[69] vgl. Kersten u.a., 2015, S.31
[70] vgl. Feldmann u.a., 2017, S.685f.
[71] vgl. Zapf u.a., 2019, S.41f.
[72] vgl. Kersten u.a., 2015, S.31
[73] vgl. ebenda
[74] vgl. Micheli u.a., 2009, S.166; vgl. Uyar, 2014, S.12
[75] vgl. Kianian u.a., 2019, S.428
[76] vgl. Hartman u.a., 2017, S.363
[77] vgl. Gutenschwager u.a., 2017, S.22

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Leistungsbewertung eines Systems. Es kann grundsätzlich zwischen statischer (Zeitpunkt) und dynamischer (Zeitspanne), deterministischer (keine zufallsabhängigen Komponenten) und stochastischer (zufällige Ereignisse) sowie kontinuierlicher (kontinuierlich veränderliche Systemzustände) und diskreter Simulation (Veränderung der Systemzustände zu bestimmten Zeitpunkten) unterschieden werden.[78] *„Im Bereich von Produktion und Logistik werden meist Anlagen […] oder Abläufe (Projekte, Prozesse, ...) mit Hilfe von Computer-modellen simuliert, die das dynamische Verhalten des Systems unter Verwendung stochastischer Komponenten mit Zustandsänderungen an diskreten Zeitpunkten abbilden.“*[79]

Bei der linearen und nichtlinearen Optimierung geht es darum mittels mathematischer Ansätze mit geringstem Aufwand die minimale bzw. maximale Lösung eines analytischen Ziels unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen zu finden.[80] Es kann zwischen deterministischen, Zufalls-, evolutionären & genetischen, Schwellwert- sowie Permutationsverfahren unterschieden werden.[81]

Mit der simulationsbasierten Optimierung werden die Vorteile der Simulation und Optimierung kombiniert. Mit den Pluspunkten der Simulation, der Berücksichtigung von praxisnaher Komplexität sowie von real auftretenden Zufallsereignissen, und jenen der Optimierung, der Auffindung von besseren Lösungen sowie Einblick in die Lösungsfindung, können einerseits die Rollen der Bewertung (Simulation) und der besten Parameterauswahl für die optimale Lösung abgedeckt werden.[82]

Grundsätzlich lassen sich Simulation und Optimierung auf vier verschiedene Arten kombinieren. Im ersten Fall ist die Optimierung direkt in der Simulation integriert. Bei dieser Kopplung wird die Optimierung mit dem aktuellen Status des Simulationsmodells gelöst und dessen Ergebnisse wieder zurück in die Simulation gespielt. Die häufigste Methode ist der umgekehrte Fall, wobei die Simulation als Bewertungsfunktion der Optimierung genutzt wird. Die Simulation dient dabei als Prognosefunktion der Problemlösung und Optimierungsverfahren als Alternativensuche. Jene Methode wird auch bei der experimentellen Forschung mittels *„Purchase Order Octopus“* angewendet. Die weiteren zwei Kopplungsarten stellen sequenzielle Architekturen dar, bei der die Ergebnisse der startenden Methode als abgeschlossene Lösung vorliegt. Bei der Reihenfolge Simulation – Optimierung werden demnach die Ergebnisse der durchgeführten Simulation als Input der Optimierung genutzt. In umgekehrter Reihenfolge dient die Simulation der Überprüfung der Ergebnisse aus der Optimierung.[83]

[78] vgl. März u.a., 2011, S.13f.
[79] ebenda, S.14
[80] vgl. Gutenschwager u.a., 2017, S.29
[81] vgl. März u.a., 2011, S.21f.
[82] vgl. ebenda, S.41f.
[83] vgl. Gutenschwager u.a., 2017, S.240ff.; vgl. März u.a., 2011, S.42ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für das Simulationsmodell dieser Studie kann für die simulationsbasierte Optimierung folgendes Übersichtsbild (Abbildung 7) gezeigt werden. Die 13 Algorithmen werden im Kapitel Bestelllosgrößenverfahren, das gesamte Modell in Kapitel *„Purchase Order Octopus“* beschrieben.

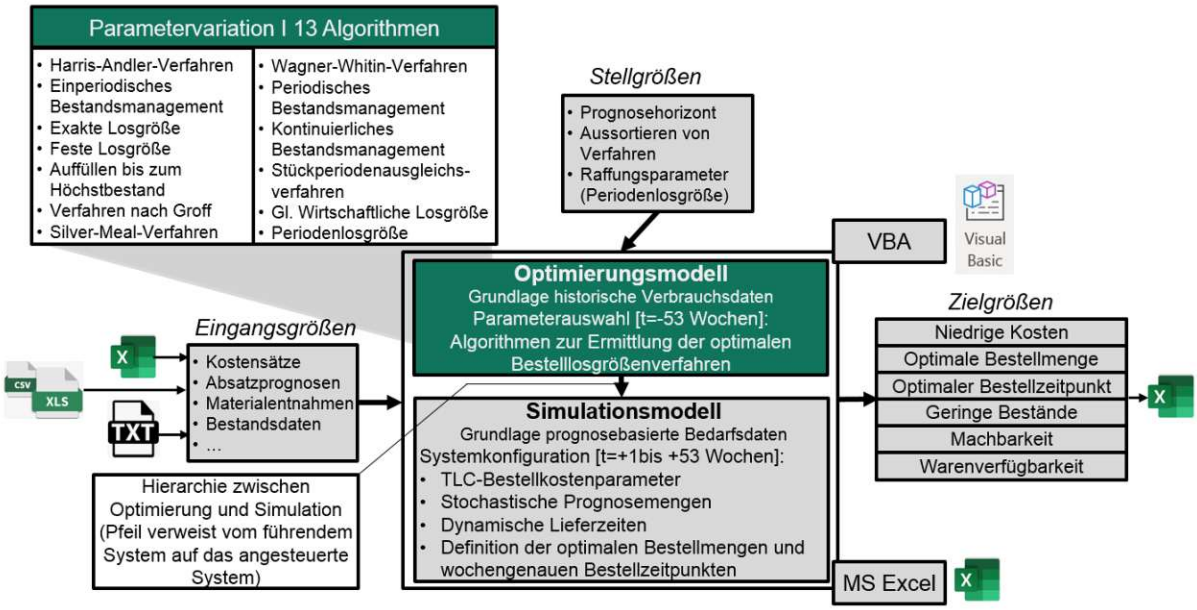

Abbildung 7: Simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition[84]

2.5 Prognoseverfahren

Es existieren verschiedene Methoden zur Bedarfsermittlung, eingeteilt in deterministische, stochastische, regelbasierte und Schätzverfahren. Die deterministische Bedarfsermittlung basiert auf dem Produktionsprogramm. Fokus dieser Diplomarbeit sind die stochastischen bzw. verbrauchsorientierten Verfahren basierend auf Vergangenheitswerten.[85]

Abbildung 8 zeigt die Einteilung der Prognoseverfahren.

[84] Schmid u.a., 2021, S.182
[85] vgl. Jacob, 2013, S.75f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

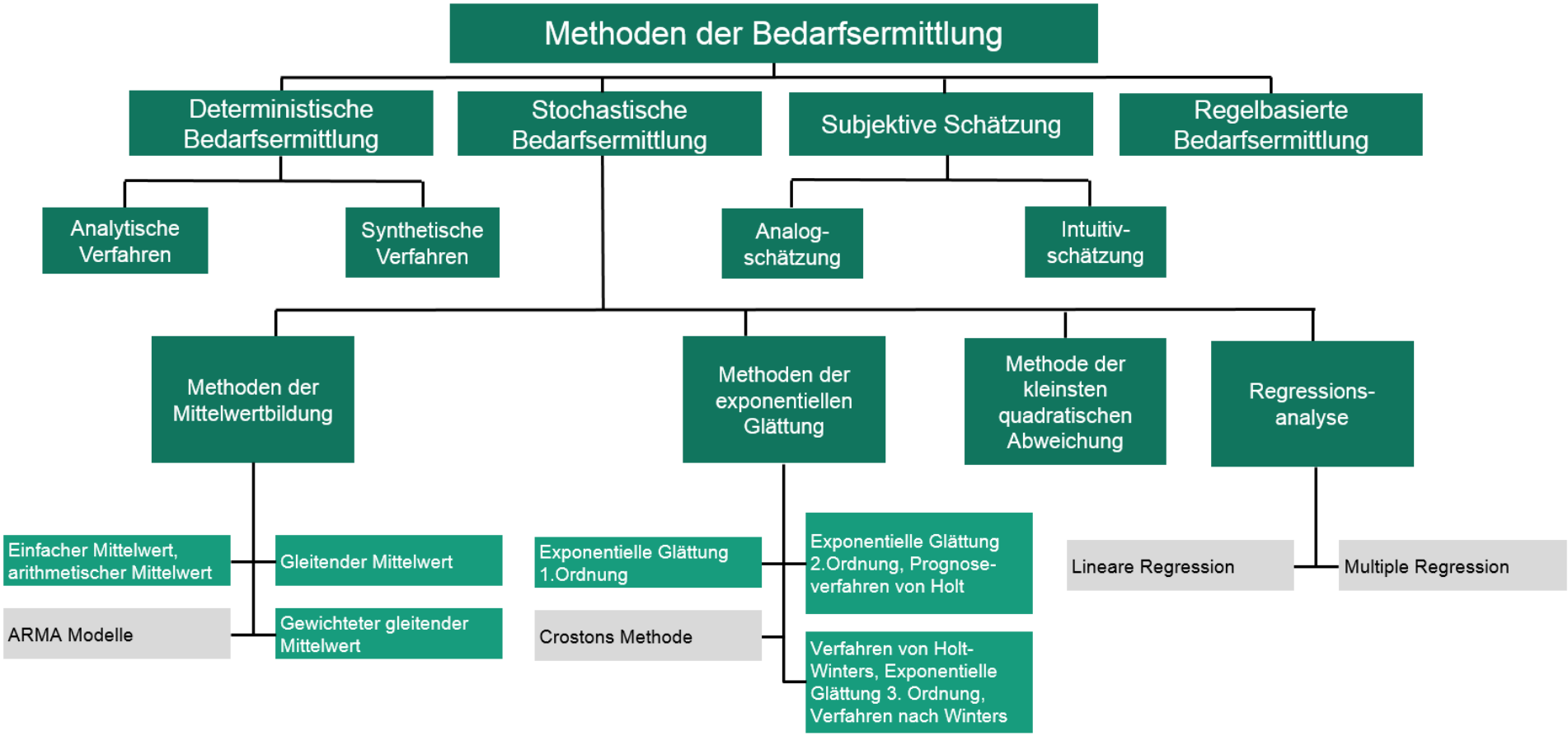

Abbildung 8: Einteilung der Prognoseverfahren[86]

[86] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher in Anlehnung an: vgl. Pfohl, 2018, S.105; vgl. Schönsleben, 2020, S.412ff.; vgl. Schuh u.a., 2014, S.71f.; vgl. Deistler u.a., 2018, S.113ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Für die stochastischen Verfahren gibt es je nach Nachfrageverlauf eine unterschiedliche Eignung der Anwendung. Dies ist in Tabelle 2 zu sehen.

Methode	Nachfrageverlauf			
	sporadisch	trendartig	saisonal	stationär
Einfacher Mittelwert				+
Gleitender Mittelwert	x	x		+
Gewichteter gleitender Mittelwert				+
Exponentielle Glättung 1.Ordnung				+
Exponentielle Glättung 2.Ordnung		+		-
Verfahren von Holt-Winters		+		-
Crostons Methode		-	+	-
Lineare Regression		+		-
Multiple Regression		+	+	-
Legende: + geeignet x bedingt geeignet - geeignet, aber nicht sinnvoll				

Tabelle 2: Eignung der Prognoseverfahren anhand Bedarfsverläufe[87]

Die Nachfrageverläufe sind in Abbildung 9 ersichtlich.

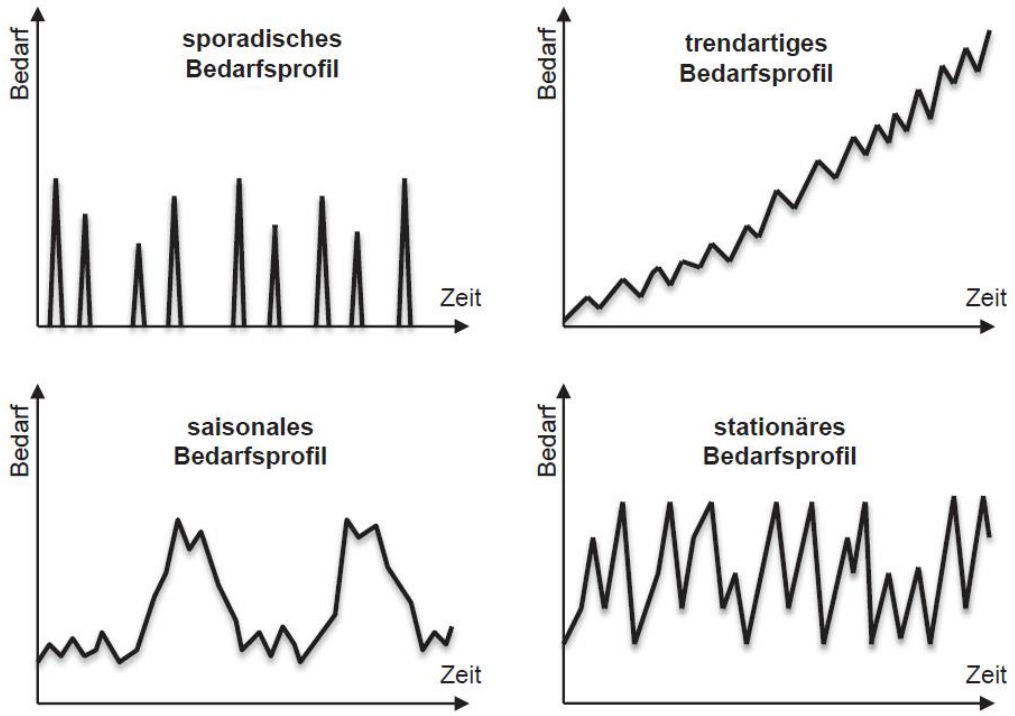

Abbildung 9: Bedarfsverläufe[88]

[87] vgl. Koether, 2018, S.95
[88] Schuh u.a., 2014, S.71

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.5.1 Beschreibung der angewendeten Prognoseverfahren

Einfacher Mittelwert

Diese Methode zur Prognoserechnung stellt die einfachste dar, indem einfach der arithmetische Mittelwert aus den Bedarfswerten der Vergangenheit berechnet wird.[89] Dementsprechend eignet sich jenes Verfahren nur bei stationären bzw. konstanten Bedarfsverläufen. Nachteilig ist hierbei die fehlende Betrachtung von Schwankungen, Trends und saisonalen Bedarfen sowie die notwendige große Datenmenge.[90]

$$P_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i$$

Formel 2: *Einfacher Mittelwert*[91]

P_t	Prognosewert der Periode t [ME]	N	Anzahl an betrachteten Perioden [ME]
Y_i	Bedarfswert - Periode i [ME]		

Tabelle 3: Parametererklärung *Einfacher Mittelwert*[92]

Gleitender Mittelwert

Um Schwankungen auch zu berücksichtigen, kann der *Gleitende Mittelwert* verwendet werden. Dabei wird eine rollierende Planung angewendet. Das bedeutet, dass bei jeder neuen Prognoseperiode bei Hinzufügen eines neuen Bedarfswertes für die Berechnung des Mittelwerts, der jeweils älteste entfernt wird. Damit ändert sich, anders als beim *Einfachen Mittelwert*, für jeden Prognosezeitpunkt der Prognosewert. Je größer der betrachtete Zeitabschnitt ist, desto träger reagieren die Prognosewerte auf Schwankungen der vergangenen Bedarfswerte, je kleiner, desto stärker. Im Allgemeinen eignet sich dieses Verfahren jedoch nicht für saisonale oder progressive Bedarfsverläufe.[93] Jenes Modell benötigt eine kleinere Datenmenge und bedingt eine bessere Reaktion auf Bedarfsschwankungen als beim E*infachen Mittelwert.*[94]

[89] vgl. Magerhans, 2016, S.226
[90] vgl. Schuh u.a., 2014, S.72
[91] vgl. Koether, 2018, S.92; vgl. Magerhans, 2016, S.226
[92] vgl. Koether, 2018, S.92
[93] vgl. Schuh u.a., 2014, S72f.
[94] vgl. Koether, 2018, S.92

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$P_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^{t} Y_i$$

Formel 3: *Gleitender Mittelwert*[95]

P_{t+1}	Prognosewert der Periode t+1 [ME]	N	Anzahl an betrachteten Perioden [ME]
Y_i	Bedarfswert - Periode i [ME]		

Tabelle 4: Parametererklärung *Gleitender Mittelwert*[96]

Exponentielle Glättung 1.Ordnung

Bei diesem Verfahren wird die Mittelwertbildung um die exponentielle Gewichtung von Prognosefehlern erweitert. Dies wird erreicht, indem der zuvor bestimmte Prognosewert in die Berechnung miteinbezogen wird. Dazu wird ein Glättungsparameter α eingeführt, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann:[97]

- $0{,}05 \leq \alpha \leq 0{,}3$ bei Bedarfsverläufen, die näherungsweise normalverteilt sind
- $0{,}3 < \alpha \leq 0{,}5$ bei starken Schwankungen in den Bedarfsverläufen
- $\alpha > 0{,}5$: sollte nicht angewendet werden wegen geringer statischer Aussagekraft[98]

$$P_{t+1} = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * P_t$$

Formel 4: *Exponentielle Glättung 1.Ordnung*[99]

P_{t+1}, P_t	Prognosewert der Periode t bzw. t+1 [ME]	α	Glättungsparameter
Y_t	Bedarfswert - Periode t [ME]		

Tabelle 5: Parametererklärung *Exponentielle Glättung 1.Ordnung*[100]

Jenes Verfahren ist ebenfalls einfach anwendbar und hat einen geringen Speicherbedarf an Daten. Mit dem Glättungsparameter kann auf unterschiedliche Bedarfsverläufe eingegangen werden.[101] Jedoch entsteht durch dieses Modell immer ein Nachhinken hinter dem tatsächlichen Bedarf und aufgrund der sehr kurzfristigen Berücksichtigung von Vergangenheitswerten ist es hauptsächlich für stationäre Bedarfsverläufe geeignet.[102]

[95] Schuh u.a., 2014, S.73
[96] vgl. ebenda
[97] vgl. Magerhans, 2016, S.227; vgl. Schuh u.a., 2014, S.73
[98] vgl. Schuh u.a., 2014, S.74
[99] ebenda
[100] vgl. ebenda
[101] vgl. Koether, 2018, S.92
[102] vgl. Schuh u.a., 2014, S.74f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Exponentielle Glättung 2.Ordnung

Dieses Verfahren, auch *Prognoseverfahren von Holt* genannt, erweitert die *exponentielle Glättung 1.Ordnung* um die Einbeziehung von linearen Trends. Es wird zusätzlich noch die aktuelle Steigung der Prognosefunktion berücksichtigt.[103] *„Dabei wird die Differenz zwischen dem Achsenabschnitt der letzten und der aktuellen Periode mit dem sogenannten Trend-Glättungsparameter β gewichtet.“*[104] Außerdem wird die Steigung der letzten Periode noch mit dem Faktor (1-β) miteinbezogen. β kann wieder zwischen 0 und 1 liegen.[105]

Berechnet wird dies mit folgender Formel:

$$L_t = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

$$P_{t+p} = L_t + p * T_t$$

Formel 5: *Exponentielle Glättung 2.Ordnung*[106]

P_{t+p}	Prognosewert der Periode t bzw. t+1 [ME]	α	Glättungsparameter
Y_t	Bedarfswert - Periode t [ME]	β	Trend-Glättungsparameter
L_t, L_{t-1}	Achsenabschnitt des Bedarfsverlauf in Periode t bzw. t-1	T_t, T_{t-1}	Steigung des Bedarfsverlaufs in Periode t bzw. t-1
p	Prognostizierte Periode ab Periode t		

Tabelle 6: Parametererklärung *Exponentielle Glättung 2.Ordnung*[107]

Bei linearen Bedarfsverläufen liefert dieses Verfahren also sehr gute Ergebnisse. Auch der Speicherbedarf ist gering. Nachteilig sind der erhöhte Rechenaufwand sowie die ungeeignete Anwendung bei saisonalen, schwankenden und progressiven Verläufen.[108]

Verfahren von Holt-Winters

Jenes Modell wird in der Literatur auch *exponentielle Glättung 3.Ordnung*[109] genannt, teilweise jedoch auch *Verfahren nach Winters*.[110] Hierbei werden zusätzlich noch

[103] vgl. Schuh u.a., 2014, S.75
[104] ebenda, S.76
[105] vgl. ebenda, S.75f.
[106] ebenda, S.76
[107] vgl. ebenda
[108] vgl. ebenda, S.76f.
[109] vgl. Koether, 2018, S.276
[110] vgl. Schuh u.a., 2014, S.77

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

saisonale Effekte mit dem Saisonfaktor S sowie dem Saison-Glättungsparameter γ berücksichtigt, welcher wieder zwischen 0 und 1 liegen kann. Ist γ größer angenommen, dann wird der aktuelle Saisonverlauf stärker gewichtet als jener in der Vergangenheit. Die Berechnung der Steigung bleibt dabei identisch zu jener von Holt, allerdings ist die Ermittlung des Achsenabschnittes geändert.[111]

Folgende Formel wird angewendet:

$$L_t = \alpha * \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1-\beta) * T_{t-1}$$

$$S_t = \gamma * \frac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma) * S_{t-s}$$

$$P_{t+p} = (L_t + p * T_t) * S_{t-s+p}$$

Formel 6: ***Verfahren von Holt-Winters***[112]

P_{t+p}	Prognosewert der Periode t bzw. t+1 [ME]	α	Glättungsparameter
Y_t	Bedarfswert - Periode t [ME]	β	Trend-Glättungsparameter
L_t, L_{t-1}	Achsenabschnitt des Bedarfsverlauf in Periode t bzw. t-1	T_t, T_{t-1}	Steigung des Bedarfsverlaufs in Periode t bzw. t-1
p	Prognostizierte Periode ab Periode t	γ	Saison-Glättungsparameter
S_t	Saisonfaktor der Periode t	s	Länge der Saison [ZE]

Tabelle 7: Parametererklärung ***Verfahren von Holt-Winters***[113]

Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass saisonale Trends für die Prognoserechnung gut berücksichtigt werden können. Allerdings müssen hierzu vergangene Bedarfswerte von mindestens drei bis vier Saisonzyklen betrachtet werden. Dementsprechend ist der Speicheraufwand höher und auch die Berechnung aufwändiger.[114]

Zusammenfassend befindet sich im Anhang eine Auflistung der Formeln, Vor- und Nachteile aller verbrauchsorientierten Prognoseverfahren.

2.5.2 Prognosequalität

Zur Bewertung der prognostizierten Bedarfsverläufe können unterschiedliche Berechnungsmethoden angewendet werden. Diese geben an, wie gut die prognostizierten Werte mit den tatsächlichen übereinstimmen. Dabei ist zu beachten,

[111] vgl. Schuh u.a., 2014, S.77ff.
[112] ebenda, S.78
[113] vgl. Crone, 2010, S.122ff.; vgl. Schuh u.a., 2014, S.77ff.
[114] vgl. Schuh u.a., 2014, S.78f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

dass je kleiner der Fehler ist, desto besser die Prognosequalität. Einfluss auf die Prognosegenauigkeit hat der Zeitunterschied zwischen Prognose und Berechnung (je kleiner, desto genauer) sowie die Granularität der betrachteten Artikel (je höher die Hierarchieebene der Betrachtung, desto genauer).[115]

Mittlerer quadratischer Fehler

Diese Kennzahl, der MSE (*Mean Squared Error*), wird häufig aufgrund ihrer einfachen Berechnung angewendet:

$$MSE = \frac{\sum(Prognose_t - Ist\ Absatz_t)^2}{Anzahl\ Perioden}$$

Formel 7: *Mittlerer quadratischer Fehler*[116]

Jedoch reagiert sie sensibel auf Ausreißer und spiegelt nicht die von Fehlprognosen verursachten Kosten wider.[117]

Mittlerer absoluter Fehler

Die Kennzahl MAD (*Mean Absolute Deviation*) oder auch MAE (*Mean Absolute Error*) genannt gibt die mittlere absolute Abweichung wieder.[118] Diese hat jedoch den Nachteil, dass Artikel mit sehr unterschiedlichem Absatz nicht gut verglichen werden können.[119]

$$MAD = \frac{\sum|Prognose_t - Ist\ Absatz_t|}{Anzahl\ Perioden}$$

Formel 8: *Mittlerer absoluter Fehler*[120]

Normierter absoluter Fehler

Eine Variante des MAD bzw. MAE ist der rMAD bzw. rMAE (r steht für relative).[121]

[115] vgl. Lütke Entrup u.a., 2019, S.81
[116] vgl. Feindt u.a., 2015, S.39
[117] vgl. ebenda, S.39ff.
[118] vgl. Feindt u.a., 2015, S.42
[119] vgl. Lütke Entrup u.a., 2019, S.82
[120] ebenda
[121] vgl. Feindt u.a., 2015, S.43

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$rMAD = \frac{MAD}{\frac{1}{Anzahl\ Perioden}\sum_{t=1}^{Anzahl\ Perioden} Ist\ Absatz_t}$$

Formel 9: ***Normierter absoluter Fehler***[122]

Hier wird die absolute Abweichung zusätzlich auf die wahren Ereignisse normiert. Dies ermöglicht es, die Kennzahl prozentual darzustellen und eine Vergleichbarkeit zu erhalten. Bei einer geringen Datenanzahl kann jener Wert aber stark divergieren und ist daher nur für eine hohe Ereigniszahl zu empfehlen.[123]

Mittlere absolute prozentuale Abweichung

Ähnlich zum normierten absoluten Fehler ist MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*):[124]

$$MAPE = \frac{1}{Anzahl\ Perioden} \sum_{t=1}^{Anzahl\ Perioden} \frac{|Ist\ Absatz_t - Prognose_t|}{Ist\ Absatz_t}$$

Formel 10: ***Mittlere absolute prozentuale Abweichung***[125]

Im Unterschied dazu wird hier jeder einzelne absolute Fehler der Prognose zum realen Absatz bezogen auf den Absatz aufsummiert. Auch bei MAPE gilt der Vorteil der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Artikel. Häufige Anwendung findet diese Kennzahl bei hohen Volumina und konstanter Nachfrage. Bei Artikeln, die selten verkauft werden, ist diese Kennzahl aber nicht für die Anwendung geeignet.[126]

Eine Erweiterung des MAPE stellt der WMAPE dar (w für weighted), wobei dieser nach dem Umsatz der Artikel gewichtet ist und für hochwertige kritische Produkte mit geringem Volumen aber hohem Wert gut anwendbar ist.[127]

Systematischer Fehler (Bias)

Beim *Bias* werden nicht wie bei MAD die Beträge der Abweichungen, sondern die tatsächlichen Abweichungen summiert:[128]

[122] Feindt u.a., 2015, S.43
[123] vgl. ebenda, S.43f.
[124] vgl. Lütke Entrup u.a., 2019, S.83
[125] Feindt u.a., 2015, S.50
[126] vgl. Lütke Entrup u.a., 2019, S.82f.
[127] vgl. ebenda, S.83
[128] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$Bias = \frac{\sum(Prognose_t - Ist\ Absatz_t)}{Anzahl\ Perioden}$$

Formel 11: *Systematischer Fehler*[129]

So können einseitige Verzerrungen der Berechnung erkannt werden. Bei einem positiven *Bias* ist die geschätzte Prognose zu hoch, bei einem negativen zu niedrig. Allerdings ist wie bei MAD die eingeschränkte Vergleichbarkeit ein Nachteil sowie der mögliche Ausgleich von positiven und negativen Summenwerten problematisch.[130]

Tracking Signal (TS)

Um die Nachteile des systematischen *Bias* auszubügeln, kann das *Tracking Signal* eingesetzt werden:[131]

$$TS = \frac{Bias}{MAD}$$

Formel 12: *Tracking Signal*[132]

Diese Kennzahl nimmt Werte zwischen -1 (Unterschätzung) und +1 (Überschätzung) an. Neben MAPE ist jene die häufigsten angewendeten Prognosequalitätsprüfung.[133]

Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers

Zuletzt gibt es noch den RMSE (*Root Mean Squared Error*):[134]

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Prognose_t - Ist\ Absatz_t)^2}{Anzahl\ Perioden}}$$

Formel 13: *Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers*[135]

Mit größer werdenden Werten von MSE nimmt die Prognosegenauigkeit ab. Größere Prognosefehler haben außerdem eine höhere Gewichtung, daher reagiert diese Kennzahl sensibler auf Prognoseabweichungen und ist für kritische stark schwankende Artikel gut anwendbar. Aufgrund der Normierung eignet sich RMSE auch zur Vergleichbarkeit von Artikeln mit verschiedenen Absatzvolumina.[136]

---

[129] Lütke Entrup u.a., 2019, S.84
[130] vgl. ebenda, S.83f.
[131] vgl. ebenda, S.84
[132] ebenda
[133] vgl. ebenda
[134] vgl. Feindt u.a., 2015, S.82
[135] vgl. ebenda
[136] vgl. Lütke Entrup u.a., 2019, S.84

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Methode zur Bewertung der Prognosequalität	**Vorteile**	**Nachteile**
Mittlerer quadratischer Fehler	Einfache Anwendung	sensibel auf Ausreißer, spiegelt nicht die von Fehlprognosen verursachten Kosten wider, eingeschränkte Vergleichbarkeit
Mittlerer absoluter Fehler	Einfache Anwendung	Artikel mit sehr unterschiedlichem Absatz nicht gut vergleichbar, eingeschränkte Vergleichbarkeit
Normierter absoluter Fehler	Möglichkeit der Vergleichbarkeit	Bei geringen Datenanzahl kann der Fehler stark divergieren, nur für eine hohe Ereigniszahl anwendbar
Mittlere absolute prozentuale Abweichung	Möglichkeit der Vergleichbarkeit, gute Ergebnisse bei hohen Volumina und konstanter Nachfrage WMAPE: für hochwertige kritische Produkte mit geringem Volumen aber hohem Wert gut anwendbar	Nicht geeignet für selten abgesetzte Artikel
Systematischer Fehler	einseitige Verzerrungen der Berechnung erkennbar	eingeschränkte Vergleichbarkeit, möglicher Ausgleich von positiven und negativen Summenwerten problematisch
Tracking Signal	Möglichkeit der Vergleichbarkeit, kein Ausgleich von positiven und negativen Summenwerten	
Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers	sensibler auf Prognoseabweichungen, für kritische stark schwankende Artikel gut anwendbar, eignet sich auch zur Vergleichbarkeit von Artikeln mit verschiedenen Absatzvolumina	

Tabelle 8: Vor- und Nachteile der Methoden zur Bewertung der Prognosequalität[137]

[137] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.6 Bestelllosgrößenverfahren

Es werden nun im Folgenden jene Bestelllosgrößenverfahren näher definiert, welche im *„Purchase Order Octopus“* angewendet wurden. Diese sind in statische und dynamische Verfahren mit und ohne Kostenoptimierung gegliedert. Statische Modelle berechnen einmalig eine konstante Bestellmenge. Zu allen Verfahren findet sich im Anhang eine Zusammenfassung der Formeln sowie der Vor- und Nachteile. Folgende Übersicht (Abbildung 10) zeigt alle in der Literatur vorkommenden Bestelllosgrößenverfahren inklusive Synonyme, die grün-markierten sind jene, die im *„Purchase Order Octopus“* umgesetzt wurden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 10: Einteilung der Bestelllosgrößenverfahren inklusive Synonyme[138]

[138] Eigendarstellung in Anlehnung an: vgl. Schmid u.a., 2021, S.179

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Auswahl für die angewendeten Bestelllosgrößenverfahren erfolgte nach einer umfassenden Literaturrecherche, bei der die umgesetzten als häufigste Treffer herauskamen, siehe dazu Abbildung 11.

	Losgrößenverfahren																								
	Harris-Andler-Verfahren	Einperiodisches Bestandsmanagement	Silver-Meal Verfahren	Verfahren nach Groff	Silver-Dixon-Verfahren	Algorithmus von Bahl/Zionts	Gaither Algorithmus	Algorithmus von Chang	Algorithmus von Burwell et al.	Kontinuierliches Bestandsmanagement	Periodisches Bestandsmanagement	Saving Verfahren	Stückperiodenausgleichsverfahren	Wagner-Within-Verfahren	Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	SELIM-Algorithmus	Nydick/Weiss Algorithmus	Incremental Order Quantity	Wemmerlöv Regeln	Tsado Regel	Bookbinder/Tan Regeln	exakte Losgröße	feste Losgröße	Auffüllen bis zum Höchstbestand	Periodenlosgröße
Andler, 1929	x																								
Beck et al., 2015			x	x									x	x	x										
Benli et al., 1988			x																						
Brabänder, 2020		x								x	x														
Brahimi et al., 2017	x		x										x	x	x		x		x						
Chang, 2013								x	x																
Corsten et al., 2018	x		x											x											
Federer, 2015		x																							
Forster & Scholl, 2016								x	x																
Gahse, 1965															x										
Grabner, 2019	x																								
Groff, 1979				x																					
Heiserich et al., 2011	x			x									x	x	x							x	x	x	x
Helber, 2015		x																							
Ji & Kamrad, 2019		x																							
Kellner et al., 2020	x		x	x									x	x	x										
Köster, 2015	x	x																							
Lukesch & Kellner, 2019	x		x	x									x	x	x										
Prabhu et al., 2013														x											
Reitner, 2007	x		x	x								x	x	x	x										
Robrade, 1991	x		x	x			x						x	x	x		x	x	x	x	x				
Schuh & Schmidt, 2014	x		x	x									x	x	x							x	x	x	x
Singhal & Singhal, 2009						x																			
Thonemann, 2015		x								x	x														
Wagner & Whitin, 1958														x											
Xu et al., 2017		x																							
Zoller & Robrade, 1987			x	x			x						x		x	x		x							

Abbildung 11: Literaturzuordnung zu Bestelllosgrößenverfahren[139]

Aus der Literaturanalyse ist zu erkennen, dass sowohl Bestelllosgrößenverfahren aus älteren Quellen (ab 1929), als auch aus aktuellen (bis 2020) zur Anwendung kommen. Als Fazit ist ersichtlich, dass keine Literaturquelle gefunden werden konnte, die alle existierenden Bestelllosgrößenverfahren beschreibt. Auch Abbildung 10 mag nicht vollständig sein, jedoch ist diese erstellte Übersicht die umfangreichste bis dato und

[139] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

somit neuartig. Außerdem zeigt dies, wie umfangreich das Thema Bestelllosgrößenplanung ist.

2.6.1 Statische Verfahren mit Kostenoptimierung

Harris-Andler-Verfahren

Ein weit verbreitetes Verfahren stellt das *Harris-Andler-Verfahren*[140] dar, welches auch *Andlersche Losgrößenformel*[141], *Andler-Formel, EOQ-Modell*[142] bzw. *klassische Bestellmengenformel*[143], *klassische Losgrößenformel*, *Harris-Formel oder Wilson-Formel* genannt wird.[144] Hierbei ist die Überlegung, dass Rüst- bzw. Bestellkosten mit steigender Losgröße zunehmen, für die Lagerkosten jedoch das umgekehrte gilt. Dadurch ergibt sich ein Kostenminimum[145], siehe Abbildung 12.

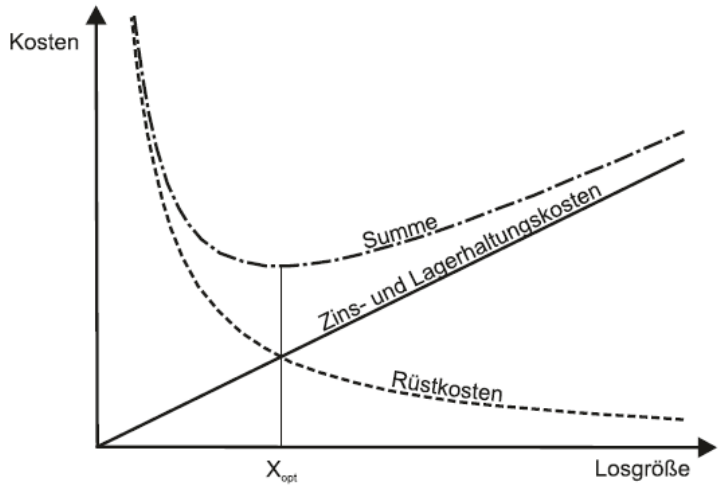

Abbildung 12: Darstellung des *Harris-Andler-Verfahrens*[146]

Die dazugehörige Formel definiert sich folgendermaßen:

[140] vgl. Schuh u.a., 2013, S.106
[141] vgl. Grabner, 2019, S.228; vgl. Bauer, 2017, S.131
[142] vgl. Brabänder, 2020, S.25
[143] vgl. Pfohl, 2018, S.108
[144] vgl. Gudehus, 2010, S.348
[145] vgl. Grabner, 2019, S.228
[146] ebenda, S.229

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * K}{h}}$$

Formel 14: *Harris-Andler-Verfahren*[147]

Q	Losgröße [ME]	K	Bestellfixe Kosten [GE]
D	Durchschnittliche Nachfrage [ME]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]

Tabelle 9: Parametererklärung *Harris-Andler-Verfahren*

Zu erwähnen sind die Annahmen des *Harris-Andler-Verfahrens*:

- Konstante Nachfrage und damit konstante Bestellintervalle[148]
- Sofort eintreffende Lieferungen mit instantaner Bestandswirksamkeit[149]
- Eine Bestellung pro Bestellintervall[150]
- Nur fixe Bestellkosen sowie konstante Lager- und Kapitalkosten[151]
- Keine Rückstände[152]
- Keine Mindestbestellmenge[153]

Dieses Modell dient als Basis für weitere Verfahren: *Verfahren nach Groff*[154], *Silver-Meal-Verfahren, Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße*[155], *Wagner-Whitin-Verfahren* und das *Stückperiodenausgleichsverfahren*.[156] Für diese gelten aufgrund der getroffenen Annahmen für die praktische Anwendung Nachteile wie, dass keine Lieferzeit berücksichtigt wird, dass es keine/n Mindest-, Höchst-, fixe Bestellmenge, Mindest- und Höchstbestand gibt und, dass laut Formeln nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten verwendet werden. Der Lagerbestand wird ebenso nicht berücksichtigt.

Nachteilig des *Harris-Andler-Verfahrens* ist, dass nur eine durchschnittliche Nachfrage betrachtet wird und nicht die genaue Nachfrage pro Periode.[157] Kritisch anzumerken ist allerdings, dass die berechnete Losgröße meist zu groß ist.[158] Es gibt mehrere Gründe, warum kleinere Losgrößen zu bevorzugen sind. Diese sind unter anderem eine gleichmäßige Auslastung bei kleineren Bestellmengen, kürzere Liefer-, Durchlauf-

[147] Brabänder, 2020, S.25
[148] vgl. Schuh u.a., 2013, S.105; vgl. Schuh u.a., 2014, S.210
[149] vgl. ebenda
[150] vgl. ebenda
[151] vgl. ebenda
[152] vgl. ebenda
[153] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.153
[154] vgl. ebenda, S.154
[155] vgl. Schuh u.a., 2013, S.106
[156] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.153f.
[157] vgl. Schuh u.a., 2013, S.84
[158] vgl. Lödding, 2016, S.115

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

und in Folge Wiederbeschaffungszeiten sowie weniger Kapitalbindungskosten. Vorteilhaft ist aber die einfache Anwendbarkeit.[159]

Einperiodisches Bestandsmanagement

Ein weiteres statisches Verfahren mit Kostenoptimierung ist das *Einperiodische Bestandsmanagement*.[160] Es ist auch als *Newsvendor-Modell* bekannt.[161] Dieses Verfahren kann mit dem Verkauf von Tageszeitungen bildlich dargestellt werden. Dabei muss der Verkäufer jeden Tag neu abschätzen, wie viele Tageszeitungen er absetzen wird, es kann zu einem Überbestand oder Unterbestand kommen. Demnach macht die Anwendung dieses Verfahrens nur für verderbliche Artikel Sinn. Durch die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten zu einer vorgegebenen (meist großen) Anzahl an möglichen Losgrößen ist dieses Verfahren außerdem sehr rechenaufwändig. Die Nachteile des EOQ-Modells, die auch für dessen abstammende Verfahren gelten, stimmen auch hier.[162]

Das Abschätzen der Verkaufsmenge wird mathematisch über die Normal- oder Poissonverteilung einbezogen. Folgende Formel muss für jede Periode neu berechnet werden:[163]

$$Z(Q) = \sum_{y=0}^{Q} c_o * (Q - y) * p_y + \sum_{y=Q}^{\infty} c_u * (y - Q) * p_y$$

Formel 15: *Einperiodisches Bestandsmanagement*[164]

Q	Losgröße [ME]	c_o	Überbestandskosten [GE]
c_u	Unterbestandskosten [GE]	Z(Q)	Kostenfunktion [GE]
p_y	Wahrscheinlichkeit, dass y Artikel verkauft werden [%] (berechnet über Normal- oder Poissonverteilung)	y	Laufvariable [ME]

Tabelle 10: Parametererklärung *Einperiodisches Bestandsmanagement*[165]

Im Anwendungsfall *„Purchase Order Octopus“* wurden die Überbestandskosten mit den Lagerkosten gleichgesetzt.

[159] vgl. Grabner, 2019, S.230f.
[160] vgl. Tempelmeier, 2018, S.31
[161] vgl. Seng u.a., 2019, S.183; vgl. Brabänder, 2020, S.33
[162] vgl. Tempelmeier, 2018, S.31ff., vgl. Brabänder, 2020, S.33f.
[163] vgl. Brabänder, 2020, S.33ff.
[164] vgl. Thonemann, 2015, S.213
[165] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2.6.2 Statische Verfahren ohne Kostenoptimierung

Exakte Losgröße

Bei diesem Verfahren[166], auch *Los-für-Los*[167] bzw. *Lot-for-Lot*[168] genannt, wird, wie der Name schon verrät, exakt die Losgröße bestellt, welche auch benötigt wird. Dabei wird der Lagerbestand berücksichtigt, sodass schlussendlich der Nettobedarf als Bestellmenge verwendet wird. Es erfolgt keine weitere Optimierung. Nachteilig ist demnach das fehlende Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchst-, fixe Bestellmengen und Mindest- und Höchstbestand. Vorteilhaft ist das Einbeziehen des Lagerbestands sowie die einfache Anwendung.[169]

$$NB = BB - LB$$

Formel 16: *Exakte Losgröße*[170]

NB	Nettobedarf [ME]	LB	Lagerbestand [ME]
BB	Bruttobedarf [ME]		

Tabelle 11: Parametererklärung *Exakte Losgröße*[171]

Feste Losgröße

Das Modell der *Festen Losgröße* erweitert jenes der *Exakten Losgröße* um die Berücksichtigung von festen Bestellmengen. Dieses Verfahren eignet sich demnach für Artikel, welche nur karton- oder palettenweise bestellt werden können. Es wird wieder der Nettobedarf bestimmt und daraus die Anzahl an zu bestellenden festen Losgrößen ermittelt. Dabei soll keine Unterdeckung vorliegen, daher wird die Anzahl bei nicht ganzzahligen Werten aufgerundet. Die Vor- und Nachteile sind, bis auf die positiv zu erwähnende Berücksichtigung von festen Losgrößen, ident zu jenen der *Exakten Losgröße*.[172]

$$n = \frac{NB}{feste\ Losgröße} = \frac{BB - LB}{feste\ Losgröße}$$

Formel 17: *Feste Losgröße*[173]

[166] vgl. Bauer, 2017, S.131
[167] vgl. Schönsleben, 2020, S.510
[168] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151
[169] vgl. ebenda
[170] Eigendarstellung in Anlehnung an: vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151
[171] vgl. ebenda
[172] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151; vgl. Benz u.a., 2011, S.176
[173] Eigendarstellung in Anlehnung an: vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

NB	Nettobedarf [ME]	LB	Lagerbestand [ME]
BB	Bruttobedarf [ME]	n	Anzahl an zu bestellenden festen Losgrößen

Tabelle 12: Parametererklärung *Feste Losgröße*[174]

Auffüllen bis zum Höchstbestand

Unter dem Höchstbestand versteht man jene Menge an Artikeln, welche nach Eintreffen der Bestellung maximal im Lager vorhanden sein dürfen.[175] Jenes Modell eignet sich für Artikel, welche eine begrenzte Lagerkapazität aufweisen. Die Losgröße berechnet sich aus der Differenz der gelagerten Artikel und des Höchstbestands. Die Vor- und Nachteile sind mit jenen der *Exakten Losgröße* ident, mit Ausnahme der vorteilhaften Berücksichtigung des Höchstbestands.[176]

$$Q = HB - LB$$

Formel 18: *Auffüllen bis zum Höchstbestand*[177]

HB	Höchstbestand [ME]	LB	Lagerbestand [ME]
Q	Losgröße [ME]		

Tabelle 13: Parametererklärung *Auffüllen bis zum Höchstbestand*[178]

2.6.3 Dynamische Verfahren mit Kostenoptimierung

Nicht alle dynamischen Verfahren mit Kostenoptimierung wurden im *„Purchase Order Octopus“* umgesetzt, siehe Abbildung 10. Nur die angewendeten Bestelllosgrößenverfahren werden im Folgenden im Detail beschrieben. Im Anhang findet sich eine gesamtheitliche Übersicht.

Verfahren nach Groff

Das *Verfahren nach Groff*, oder auch *Grenzkostenverfahren*, *Groff-Regel* bzw. *Groff-Heuristik* genannt[179], *„nutzt die Tatsache, dass [...] beim Kostenminimum zusätzlich anfallende Lagerkosten gleich der Losfixkostenersparnis sind.“*[180] Die Berechnung startet mit der Bestellung der ersten Periode, welche sich aus dem Bedarf dieser sowie zukünftiger Perioden zusammensetzt. Es werden die Bedarfe für die folgenden

[174] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151
[175] vgl. Benz u.a., 2011, S.83
[176] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151; vgl. Benz u.a., 2011, S.176
[177] Eigendarstellung in Anlehnung an: vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151
[178] vgl. ebenda
[179] vgl. Schuh u.a., 2014, S.213
[180] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Perioden mitbestellt, bis die Grenzlagerkosten größer gleich den Grenzrüstkosten sind[181], siehe dazu folgende Abbildung 13.

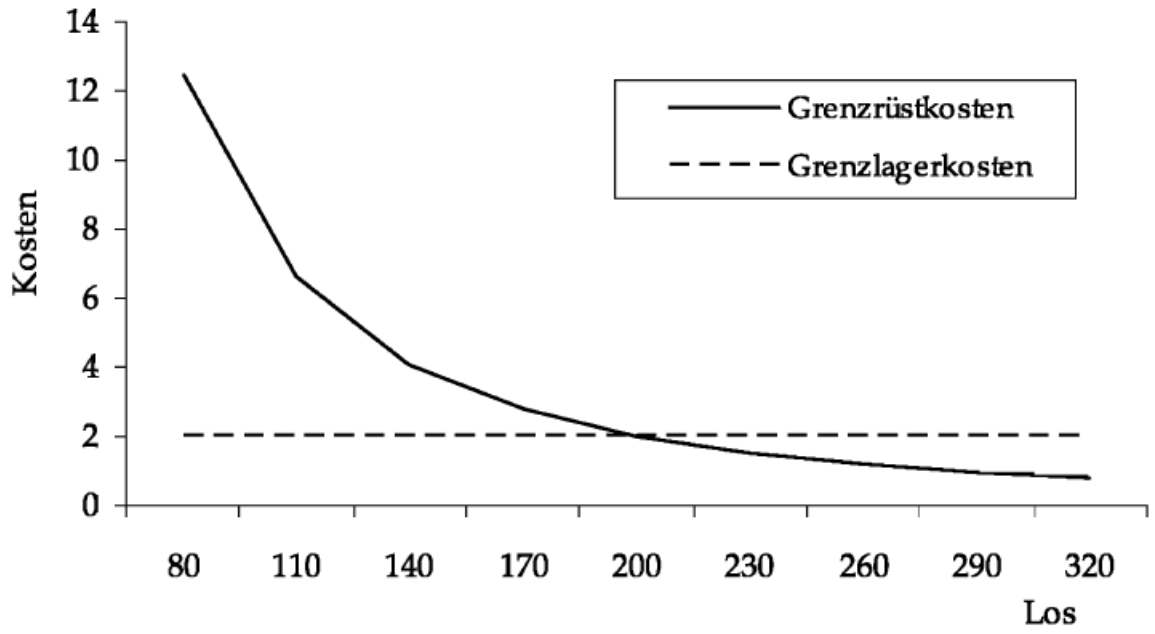

Abbildung 13: Darstellung des *Verfahrens nach Groff*[182]

Diese Vorgehensweise wird durch folgende Formel beschrieben:

$$d_{\tau+y} * y * (y+1) \leq \frac{2 * K}{h}$$

Formel 19: *Verfahren nach Groff*[183]

$d_{\tau+y}$	Bedarf der Periode τ + y, wobei τ die Bestellperiode darstellt [ME]	K	Bestellfixe Kosten [GE]
y	Laufvariable [ME]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]

Tabelle 14: Parametererklärung *Verfahren nach Groff*[184]

Im Paper „*Dynamische Losgrößenplanung in ERP-Systemen*“[185] wurde in einem Simulationsaufbau gezeigt, dass das *Verfahren nach Groff* im Vergleich zum *Stückperiodenausgleichsverfahren*, *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* sowie zum *Silver-Meal-Verfahren* die besten Ergebnisse beim Berechnen

[181] vgl. Herrmann, 2011, S.276ff.; vgl. Schuh u.a., 2014, S.213
[182] Herrmann, 2011, S.277
[183] vgl. ebenda
[184] vgl. ebenda
[185] Beck u.a., 2015a, S.314

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

der optimalen Bestelllosgrößen hervorbrachte. Verglichen wurden diese Modelle mit dem *Wagner-Whitin-Verfahren*.[186]

Silver-Meal-Verfahren

Beim *Silver-Meal-Verfahren* ist das Ziel, die minimalen Kosten pro Periode zu erreichen. Demnach werden die Bedarfe der zukünftigen Perioden solange mitbestellt, bis die Gesamtkosten pro Zeitabschnitt ansteigen. Anschließend beginnt die Berechnung bei der nächsten Bestellperiode, also jener, deren Bedarf in der vorherigen Bestellperiode aufgrund gestiegener Kosten gerade nicht mehr mitbestellt wurde. Grafisch dargestellt ist dies in Abbildung 14 zu sehen.[187]

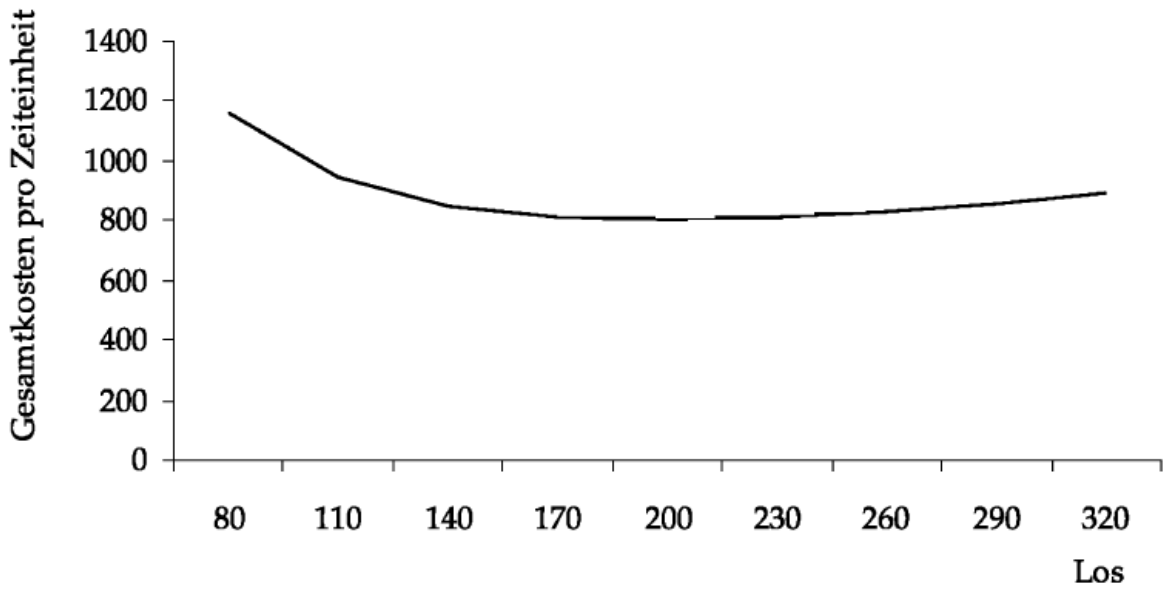

Abbildung 14: Darstellung des *Silver-Meal-Verfahrens*[188]

Umgesetzt in den Algorithmus ergibt dies:

$$Z^{(t)} = \frac{K + h * \sum_{t=b}^{l}(t-b) * d_{\tau+y}}{l-b+1}$$

wobei y=1,2,..,l-b

Formel 20: *Silver-Meal-Verfahren*[189]

[186] vgl. Beck u.a., 2015a, S.314ff.
[187] vgl. Lukesch u.a., 2019, S.176; vgl. Lasch u.a., 2017, S.61
[188] Herrmann, 2011, S.272
[189] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315; vgl. Herrmann, 2018, S.139; vgl. Lasch u.a., 2017, S.61

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$d_{\tau+y}$	Bedarf der Periode τ + y, wobei τ die Bestellperiode darstellt [ME]	K	Bestellfixe Kosten [GE]
$Z^{(t)}$	Kostenfunktion [GE]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
l	Bedarfsperiode [ZE]	b	Bestellperiode [ZE]

Tabelle 15: Parametererklärung *Silver-Meal-Verfahren*[190]

Laut dem Paper „*Dynamische Losgrößenplanung in ERP-Systemen*“[191] erzielte das *Silver-Meal-Verfahren* vor allem bei schwankenden und volatilen Bedarfen sehr gute Ergebnisse.[192]

Wagner-Whitin-Verfahren

Dieses Verfahren ist unter diversen Namen bekannt wie *Dynamic Lot Size Problem*[193], *Dynamic Version of the Economic Lot Size Model*[194], *Single Item Uncapacitated Lot Sizing Problem*[195], in der stochastischen Variante *Stochastic Single Item Uncapacitated Lot Sizing Problem*[196] sowie *Single-Item Lot-Sizing Problem*[197]. In der Literatur wird es als das exakteste Modell der Losgrößenberechnung genannt, dessen Algorithmus im Vergleich zu anderen Verfahren einen höheren Rechenaufwand bedingt.[198]

Beim *Wagner-Whitin-Verfahren* geht es um die Minimierung von Lager- und Bestellkosten in allen Perioden. In jedem Abschnitt muss berechnet werden, wann der jeweilige Bedarf optimal bestellt werden soll.[199]

Folgende Annahmen werden bei jenem Modell getroffen:[200]

- Es gilt eine diskrete Zeitbetrachtung mit gleich großen Abschnitten.
- Die Lagerkosten sind in jeder Periode gleich hoch.
- Der Bedarf für jeden Abschnitt ist bekannt, aber dynamisch.
- Der Bedarf wird am Beginn jeder Periode gebraucht.
- Der Anfangs- und Endlagerbestand ist gleich Null.
- Jeder Artikel wird für sich einzeln betrachtet.
- Für das Lager gibt es keinen Höchstbestand.

[190] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315; vgl. Herrmann, 2018, S.139; vgl. Lasch u.a., 2017, S.61
[191] Beck u.a., 2015a, S.314
[192] vgl. ebenda, S.316
[193] vgl. Beck u.a. 2015b, S.24
[194] vgl. Wagner u.a., 1958, S.89
[195] vgl. Popp, 2015, S.3
[196] vgl. ebenda
[197] vgl. Brahimi u.a., 2017, S.838
[198] vgl. Beck u.a, 2015a, S.314
[199] vgl. Popp, 2015, S.3; vgl. Brahimi u.a., 2017, S.839
[200] vgl. Wagner u.a., 1958, S.89ff., vgl. Chowdhury u.a., 2018, S.8

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Der Bedarf pro Periode muss als Ganzes bestellt werden.

Für das *Wagner-Whitin-Verfahren* gibt es im Algorithmus in der Literatur Unterschiede.[201] Drei Varianten dieses Modells sollen hier erwähnt werden. Im Paper „*Single-item dynamic lot-sizing problems: An updated survey*“[202] wird die Variante 1 des *Wagner-Whitin-Verfahrens* in folgendem Modell beschrieben:[203]

$$\min \sum_{t=1}^{T} ({f_t}^p(Q_t) + {f_t}^h(LB_t))$$

$$LB_{t-1} + Q_t = d_t + LB_t \quad \forall t$$

$$LB_t, Q_t \geq 0 \quad \forall t$$

$${f_t}^p(Q_t) = K_t * \delta\big(Q(t)\big) + p_t * Q_t$$

$${f_t}^h(LB_t) = h_t * LB_t$$

Formel 21: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 1[204]

d_t	Bedarf der Periode t [ME]	K_t	Bestellfixe Kosten [GE]
LB_t, LB_{t-1}	Lagerbestand der Periode t bzw. t-1 [ME]	h_t	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
Q_t	Losgröße (zum Zeitpunkt t) [ME]	$\delta\big(Q(t)\big)$	Boolesche Variable zur Festlegung, ob bestellt wird [1 oder 0]
p_t	Variable Bestellkosten zum Zeitpunkt t [GE]		

Tabelle 16: Parametererklärung *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 1[205]

Ein ähnlicher Ansatz findet sich im Paper „*Heuristic Mathematical Programming Methods for Lot-sizing, Inventory Control, and Distribution Cost Estimation in the Supply Chain*“[206], wobei hier explizit die Kosten der Folgeperiode berücksichtigt werden. Diese im Rahmen der Recherche identifizierte Variante 2 des *Wagner-Whitin-Verfahrens* wird in folgendem Modell beschrieben:[207]

$$LB_t = LB_0 + \sum_{j=1}^{t-1} Q_j - \sum_{j=1}^{t-1} d_j$$

[201] vgl. Beck u.a., 2015b, S.24; vgl. Wagner u.a., 1958, S.89ff.; vgl. Samuelsson, 2017, S.15f.; vgl. Popp, 2015, S.3ff.; vgl. Brahimi u.a., 2017, S.839ff.
[202] Brahimi u.a., 2017, S.838
[203] vgl. ebenda, S.839
[204] vgl. ebenda
[205] vgl. ebenda
[206] Samuelsson, 2017, S.1
[207] vgl. ebenda, S.15f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

$$f_t(LB_t) = \min_{\substack{Q_t \geq 0 \\ I_t + Q_t \geq d_t}} [h * LB_t + \delta(Q_t) * K + f_{t+1}(LB_t + Q_t - d_t)]$$

$$\delta(Q_t) = \begin{cases} 0 \; if \; Q_t = 0 \\ 1 \; if \; Q_t > 1 \end{cases}$$

$$f_l(LB_l) = \min_{\substack{Q_l \geq 0 \\ LB_l + Q_l \geq d_l}} [h * LB_l + \delta(Q_l) * K]$$

Formel 22: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 2[208]

Im Anwendungsfall *„Purchase Order Octopus“* (siehe Kapitel 6) wurde der Algorithmus anhand des Beispiels im Originalartikel von Wagner und Whitin *„Dynamic Version of the Economic Lot Size Model“*[209] umgesetzt (3.Variante).[210]

Dabei steigt die Anzahl an Möglichkeiten des optimalen Bestellzeitpunkts mit jeder Periode, dessen Bedarf in der Startperiode mitbestellt werden soll, an. Es werden für jede dieser Möglichkeiten die zu erwartenden Kosten berechnet und dann jene mit den minimalen Kosten ausgewählt. Beispielsweise gibt es in Periode 3 drei Optionen, wenn zuvor in Periode 2 berechnet wurde, dass dessen Bedarf in Periode 1 mitbestellt werden soll. Der Bedarf der jeweiligen Periode kann ebenso in Periode 1 mitbestellt werden, in Periode 2 oder in Periode 3 bestellt werden. Bei Option 2 oder 3 muss die Berechnung zum neuen Bestellzeitpunkt erneut begonnen werden. Im Algorithmus ergibt dies für Periode 3:[211]

$$c(3,1) = c(2,1) + d_3 * h * 2$$

$$c(3,2) = c(2,2) + d_3 * h$$

$$c(3,3) = c(2,1) + K$$

$$c_{opt} = \min [c(3,1), c(3,2), c(3,3)]$$

Formel 23: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 3 - Beispiel[212]

c(i,j)	Kostenfunktion [GE]	c_{opt}	Optimale Kosten [GE]
d_t	Bedarf der Periode t [ME]	K	Bestellfixe Kosten [GE]
h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]		

Tabelle 17: Parametererklärung *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 3[213]

[208] vgl. Samuelsson, 2017, S.15f.
[209] Wagner u.a., 1958 S.89
[210] vgl. ebenda, S.94f.
[211] vgl. ebenda
[212] vgl. ebenda
[213] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Periodisches Bestandsmanagement

Bei diesem Verfahren wird in regelmäßigen Abständen der Lagerbestand kontrolliert und die Differenz aus einem berechneten Zielbestand und aktuellen Lagerbestand bestellt. Vorteilhaft an diesem Verfahren gegenüber anderen ist, dass die Lieferzeit, der Lager- und ein definierter Höchstbestand sowie Unterbestandskosten berücksichtigt werden. Nachteilig ist das fehlende Einbeziehen von Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen sowie dem Mindestbestand. Es werden nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten und nur eine durchschnittliche Nachfrage berücksichtigt.[214]

Die Überwachungsperiode, auch Bestelltakt genannt, wird abgerundet. Diese und der Zielbestand berechnen sich folgendermaßen:[215]

$$t_B = \sqrt{\frac{2 * K}{h * D}}$$

$$S = D * (LT + t_B) + \sqrt{LT + t_B} * \sigma * z$$

$$z = F^{-1}{}_{0;1}\left(\frac{c_u}{c_u + h}\right)$$

Formel 24: *Periodisches Bestandsmanagement*[216]

t_B	Bestelltakt [ZE]	S	Zielbestand [ME]
$F^{-1}{}_{0;1}$	Funktion, die die Quantile der Standardnormalverteilung zurückgibt[217]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
K	Bestellfixe Kosten [GE]	D	Durchschnittliche Nachfrage [ME]
σ	Standardabweichung der Nachfrage [ME]	z	z-Wert
LT	Lieferzeit [ZE]	c_u	Unterbestandskosten [GE]

Tabelle 18: Parametererklärung *Periodisches Bestandsmanagement*[218]

Kontinuierliches Bestandsmanagement

Ähnlich zum *Periodischen Bestandsmanagement* ist das *Kontinuierliche Bestandsmanagement*. Im Unterschied dazu gibt es hier aber nicht einen Bestelltakt, sondern einen Bestellpunkt. Wird dieser Lagerstand erreicht, erfolgt eine Bestellung in

[214] vgl. Brabänder, 2020, S.57ff.
[215] vgl. ebenda
[216] vgl. ebenda
[217] vgl. https://support.microsoft.com/de-de/office/norm-s-inv-funktion-d6d556b4-ab7f-49cd-b526-5a20918452b1 (Gelesen am: 26.01.2021)
[218] vgl. Brabänder, 2020, S.57ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Höhe einer berechneten Bestellmenge. Die Vor- und Nachteile dieses Modells sind mit jenen des *Periodischen Bestandsmanagements* gleichzusetzen, mit ausgenommen dem Höchstbestand, welcher hier nicht betrachtet wird.[219]

$$r = D * LT + \sigma * \sqrt{LT} * z$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 * D * (K + L_{0;1}(z) * \sigma * \sqrt{LT} * c_u)}{h}}$$

Formel 25: *Kontinuierliches Bestandsmanagement*[220]

r	Bestellpunkt [ME]	$L_{0;1}(z)$	Funktion, die die Werte der Verteilungsfunktion einer standardverteilten Zufallsvariable zurückgibt[221]
t_B	Bestelltakt [ZE]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
K	Bestellfixe Kosten [GE]	D	Durchschnittliche Nachfrage [ME]
σ	Standardabweichung der Nachfrage [ME]	z	z-Wert
LT	Lieferzeit [ZE]	c_u	Unterbestandskosten [GE]
Q	Losgröße [ME]		

Tabelle 19: Parametererklärung *Kontinuierliches Bestandsmanagement*[222]

Stückperiodenausgleichsverfahren

Dieses Modell wird auch *Kostenausgleichsverfahren*[223] oder in Englisch *Part Period Balancing*[224] genannt. Die Bedarfe der zukünftigen Perioden werden so lange in der Bestellperiode mitbestellt, bis die Lagerkosten die fixen Bestellkosten übersteigen.[225]

Als Algorithmus ausgedrückt ergibt dies:

$$h * \sum_{t=b}^{l} (t - b) * d_t \leq K$$

Formel 26: *Stückperiodenausgleichsverfahren*[226]

[219] vgl. Brabänder, 2020, S.75
[220] vgl. ebenda, S.77ff.
[221] vgl. https://docs.microsoft.com/de-de/office/vba/api/excel.worksheetfunction.normsdist (Gelesen am: 26.01.2021)
[222] vgl. Brabänder, 2020, S.77ff.
[223] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315; vgl. Schönsleben, 2020, S.510
[224] vgl. Peters, 2015, S.14
[225] vgl. Schuh u.a., 2014, S.213f.
[226] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Jene Formel geht davon aus, dass der Bedarf am Beginn der jeweiligen Periode ansteht. Alternativ kann auch angewendet werden, dass der Bedarf in der Mitte der jeweiligen Periode gebraucht wird.[227]

b	Bestellperiode [ZE]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
K	Bestellfixe Kosten [GE]	d_t	Bedarf der Periode t [ME]
l	Bedarfsperiode [ZE]		

Tabelle 20: Parametererklärung *Stückperiodenausgleichsverfahren*[228]

Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße

Jenes Verfahren[229], in Englisch *Least Unit Cost*[230], oder auch *Stückkostenverfahren*[231] genannt, vergleicht die Stückkosten der Perioden miteinander. Die Bedarfe der zukünftigen Perioden werden so lange in der Bestellperiode mitbestellt bis die Stückkosten ansteigen.[232]

Folgende Logik beschreibt dieses Verfahren:

$$\frac{K + \sum_{t=2}^{l}(t-1) * d_t * h}{\sum_{t=1}^{l} d_t} \leq \frac{K + \sum_{t=2}^{l-1}(t-1) * d_t * h}{\sum_{t=1}^{l-1} d_t}$$

Formel 27: *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße*[233]

l	Bedarfsperiode [ZE]	h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
K	Bestellfixe Kosten [GE]	d_t	Bedarf der Periode t [ME]

Tabelle 21: Parametererklärung *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße*[234]

2.6.4 Dynamische Verfahren ohne Kostenoptimierung

Periodenlosgröße

Dieses simple Verfahren fasst die Bedarfe aus einer festgelegten Anzahl an Perioden zusammen und bestellt diese auf einmal. Dabei kann auf Tages-, Wochen-, Monats- oder flexibler Längenbasis bestellt werden. Nachteilig ist hier das fehlende

[227] vgl. Schuh u.a., 2014, S.214
[228] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315
[229] vgl. Schuh u.a., 2014, S.211
[230] vgl. Samuelsson, 2017, S.1
[231] vgl. Beck u.a., 2015a, S.315
[232] vgl. Beck u.a., 2015b, S.24
[233] vgl. Samuelsson, 2017, S.14
[234] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchst-, fixe Bestellmengen und Mindest-, Lager- und Höchstbestand. Vorteilhaft ist die einfache Anwendung. Je nach gewählten Raffungsparameter werden unterschiedlich optimale Bestellmengen berechnet.[235] Im ausgelegten *„Purchase Order Octopus“* wurde die Anzahl an zu bestellenden Periodenbedarfen über eine Einteilung gemäß dem Standardpreis festgelegt. Im Detail wird dies in Kapitel 6 erläutert.

$$Q = \sum_{0}^{t} d_t$$

Formel 28: *Periodenlosgröße*[236]

Q	Losgröße [ME]	d_t	Bedarf der Periode t [ME]

Tabelle 22: Parametererklärung *Periodenlosgröße*[237]

Zusammenfassend befindet sich im Anhang eine Auflistung der Formeln, Vor- und Nachteile aller verbrauchsorientierten Bestelllosgrößenverfahren.

[235] vgl. Heiserich u.a., 2011, S.151f.
[236] vgl. ebenda
[237] vgl. ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

3 Stand der Forschung und identifizierte Forschungslücke

In Abbildung 15 ist eine umfassende Literaturrecherche zu Optimierung, Simulation und simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen dargestellt. Eine nähere Beschreibung von für diese Arbeit als relevant identifizierten wissenschaftlichen Artikeln findet sich im Folgenden.

Es gibt nur wenige wissenschaftliche Arbeiten, die mehrere Bestelllosgrößenverfahren im Zuge einer simulationsbasierten Optimierung vergleichen. Beispielhaft führten Beck u.a. (2015) eine Evaluierung der Leistung von dynamischen Losgrößen durch. Angewendet wurden das *Silver-Meal-Verfahren*, *Verfahren nach Groff*, *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* sowie *Stückperiodenausgleichsverfahren* mit einer Datenbasis von 5100 Datensätzen und 300 Perioden. Allerdings handelte es sich nur um einen Simulationsaufbau. Dabei zeigten sich das *Silver-Meal-Verfahren* und *Verfahren nach Groff* als optimal für die meisten Daten. Die Arbeit von Beck u.a. (2015) liefert jedoch nicht die Evaluierung von Daten eines realen Unternehmens, die Anwendung von weiteren Bestelllosgrößenverfahren sowie die Aufzeigung des potentiellen Einsparungspotentials.[238]

Zwei weitere Artikel beschäftigen sich im Rahmen der simulationsbasierten Optimierung mit je nur einem Verfahren. Alharkan u.a. (2020) zeigen eine Ähnlichkeit zu dieser Diplomarbeit, da die Minimierung der Gesamtkosten durch optimierte Bestellmengen mittels *Harris-Andler-Verfahren* im Mittelpunkt steht.[239] Ahmadi u.a. (2018) wenden die *Randomized Ordering Policy*, eine eigens entwickelte Bestelllogik, an.[240]

Die Literatur liefert nur wenige wissenschaftliche Arbeiten zu reinen angewendeten Simulationsverfahren zur Optimierung von Bestelllosgrößen. Larasati u.a. (2020) führen eine Simulation mit einer mit dem *Harris-Andler-Verfahren* ermittelten optimalen Bestellmenge durch.[241] Rekik u.a. (2017) wenden das *Einperiodische Bestandsmanagement* an, wobei die Nachfrage veränderlicher ist.[242] In beiden Fällen wird nur ein Bestelllosgrößenverfahren angewendet und die Parametrisierbarkeit der Simulation ist nicht gegeben.

Die für diese Arbeit als relevant identifizierten wissenschaftlichen Artikeln sind in Abbildung 15 markiert.

[238] vgl. Beck u.a., 2015, S.314ff.
[239] vgl. Alharkan u.a., 2020, S.1f.
[240] vgl. Ahmadi u.a., 2018, S.88ff.
[241] vgl. Larasati u.a., 2020, S.1
[242] vgl. Rekik u.a., 2017, S.182

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Optimierungsverfahren	Simulationsverfahren	Simulationsbasierte Optimierungsmodelle
Forster u.a., 2016	Larasati u.a., 2020	Ahmadi u.a., 2018
Frenk u.a., 2019	Rekik u.a., 2017	Alharkan u.a., 2020
He u.a., 2019		Beck u.a., 2015
Khalilpourazari u.a., 2019		Haijema u.a., 2019
Lee u.a., 2021		Hendrix u.a., 2019
Maihami u.a., 2021		Hur u.a., 2018
Mishra u.a., 2017		Köster, 2015
Mokhtari, 2018		Mulya, 2020
Ostmeyer, 2019		Utama u.a., 2017
Punia u.a., 2020		
Sanni u.a., 2020		
Zhang u.a., 2020		

Abbildung 15: Literaturrecherche zu Optimierung, Simulation und simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen[243]

Fazit zum Stand der Forschung

Zusammenfassend lässt sich aus dem Stand der Forschung die identifizierte Forschungslücke konstatieren: Aktuell existieren in der Wissenschaft keine Lösungen, die 13 verschiedene Bestelllosgrößenverfahren anwenden. Vor allem gibt es keine identifizierten wissenschaftlichen Arbeiten, bei welchen statische mit dynamischen Bestelllogrößenalgorithmen verglichen werden. Zusätzlich bietet die bisherige Forschung keine Anwendung mit existierendem Lagerbestand, der aber in der Praxis bei Unternehmen vorliegt. Auch die umfassende Anwendung mit realen Unternehmensdaten fehlt in der Forschung bis dato. Zuletzt ist zudem die Parametrisierung der simulationsbasierten Optimierung und prognosbasierten Simulation bei der Anwendung von Bestelllosgrößenverfahren noch nicht erforscht. Diese identifzierte Forschungslücke wird im Rahmen dieser Arbeit gefüllt.

[243] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

4 Charakterisierung der Fallstudie

Auf Basis der Problemstellung sowie erfolgten Recherche der wissenschaftlichen Grundlagen und des Stands der Forschung wird der Aufbau der simulationsbasierten Optimierung für eine verbrauchsgesteuerte Bestellrechnung beschrieben. Diese gliedert sich in folgende Schritte:[244]

1. *„Datencharakterisierung und Datenaufbereitung*
2. *Auswahl optimaler Bestelllosgrößenverfahren durch simulationsbasierte Optimierung*
3. *Optimierte Parametrisierung und prognosebasierte Simulation von Bestellmengen und -zeitpunkten“*[245]

Schritt 1, die Datencharakterisierung und Datenaufbereitung, wurde mit den von den Unternehmen zur Verfügung gestellten Daten in Form von Excel-, Text- und CSV-Dateien durchgeführt. Dafür wurde ein MS-Excel-Tool entwickelt, in welchem die Daten automatisiert zusammengeführt und aufbereitet wurden. Die sich auf diese historischen Daten stützende simulationsbasierte Optimierung (Schritt 2) sowie prognosebasierte Simulation (Schritt 3) wurde anschließend in jenem VBA-basierten Tool umgesetzt. Dabei war das Ziel, die Materialdisponenten bzw. operativen Einkäufer bei der Planung der Artikel mittels *Total Landed Cost*-Betrachtung zu unterstützen, indem sie selbstständig das MS-Excel-Tool bedienen können. Dies wird ohne notwendiges Expertenwissen im Bereich Simulation ermöglicht. Kapitel 5 und 6 beschreiben das Vorgehensmodell im Folgenden genauer.[246]

Für die Fallstudie wurden zwei Unternehmen der Investitionsgüterindustrie betrachtet, wobei Unternehmen 2 aufgrund noch fehlender Datenbasis nicht ausgewertet werden konnte. Im Folgenden soll eine kurze Übersicht der analysierten Unternehmen hinsichtlich Bestellrechnung gegeben werden.

Unternehmen 1:

- Branche: Erzeugung von Armaturen und Ventilen (Branchencode: 25990 - Herstellung von sonstigen Metallwaren a.n.g)
- 115 Mitarbeiter
- 22,3 Mio.€ Jahresumsatz
- 346 Kunden aus 51 Ländern
- 11,5 Mio.€ jährliches Einkaufsvolumen
- 1.780 aktive Lieferanten aus 61 Ländern

[244] vgl. Schmid u.a., 2021, S.179f.
[245] ebenda, S.179
[246] vgl. ebenda, S.179f.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- zentrales IT-System: SAP[247]

Unternehmen 2:

- Branche: Fahrzeugindustrie
- 243 Mitarbeiter (VZÄ)
- 89 Mio.€ Jahresumsatz
- 38.800 Kunden aus 22 Ländern
- 59 Mio.€ jährliches Einkaufsvolumen
- 1.258 aktive Lieferanten aus 28 Ländern
- zentrales IT-System: Infor M3

[247] vgl. Schmid u.a., 2021, S.180

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

5 Datencharakterisierung

Im Folgenden werden die für die Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition notwendigen Daten sowie deren Charakteristiken beschrieben.

5.1 Datentransparenz und -strukturierung

Für die experimentelle Forschung wurden dispositionsrelevante Daten von zwei österreichischen Unternehmen der Investitionsgüterindustrie zur Verfügung gestellt. Jene werden automatisiert aus den jeweiligen ERP-Systemen sowie anderen MS-Excel-Tools in bestimmten Dateiformaten ausgegeben. Es kommen die Dateiformate .xlsx, .txt sowie .csv zum Einsatz.

5.1.1 Dateninput *„Purchase Order Octopus"*

Mit dem entwickelten *„Purchase Order Octopus"* werden die Daten von zwei Unternehmen ausgewertet. Die Datenstrukturierung findet sich in Abbildung 16 und Abbildung 17, wobei anzumerken ist, dass die Datei „Ergebnisexport_Prognosetool.csv" die Export-Datei des MS-Excel-Tools *„Demand Planning Falcon"* [248] sowie die Datei „Auswertung_Lieferzeiten.xlsx" eine Export-Datei aus dem von Fraunhofer entwickelten Datenanalyse- und Visualisierungstool *„Inventory Dragon"*[249] darstellt. Alle weiteren Dateien stammen aus dem ERP-System des jeweiligen Unternehmens. Außerdem ist der Dateninput auf die Schritte „simulationsbasierte Optimierung" für die Auswahl an optimalen Bestelllosgrößenverfahren je Artikel und „prognosebasierte Simulation" für die Berechnung der Bestellmengen und Bestellzeitpunkte der nächsten 53 Wochen aufgeteilt.

Anzumerken ist, dass für das Unternehmen 2 noch die ausreichende Datenbasis für die Anwendung des *„Purchase Order Octopus"* fehlt. Die fehlenden Daten und Datei sind in Abbildung 17 in roter Schrift markiert.

[248] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[249] vgl. https://www.fraunhofer.at/de/software-und-tools/inventory-dragon.html (Gelesen am 03.08.2021)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

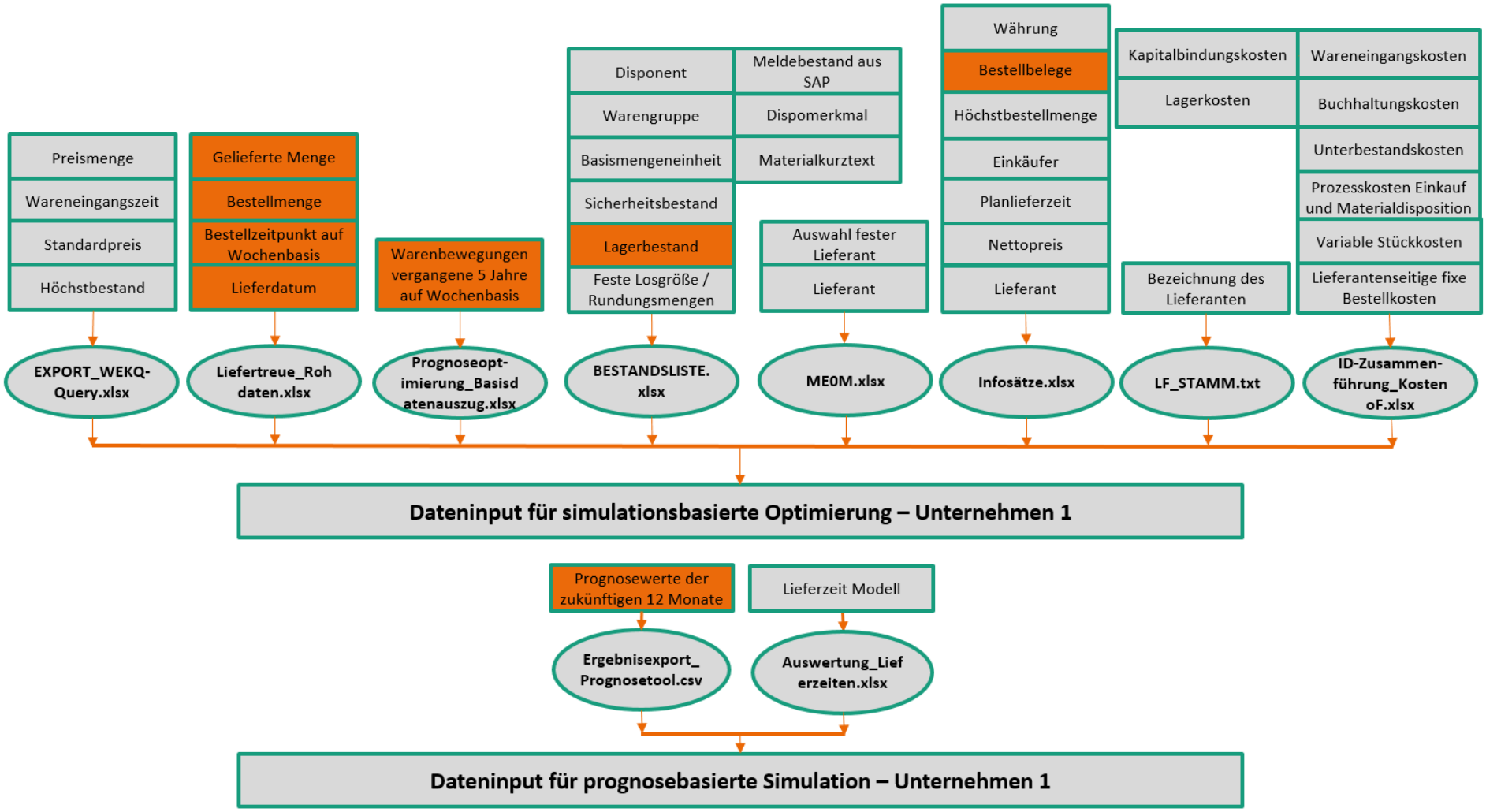

Abbildung 16: Dateninput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 1[250]

[250] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

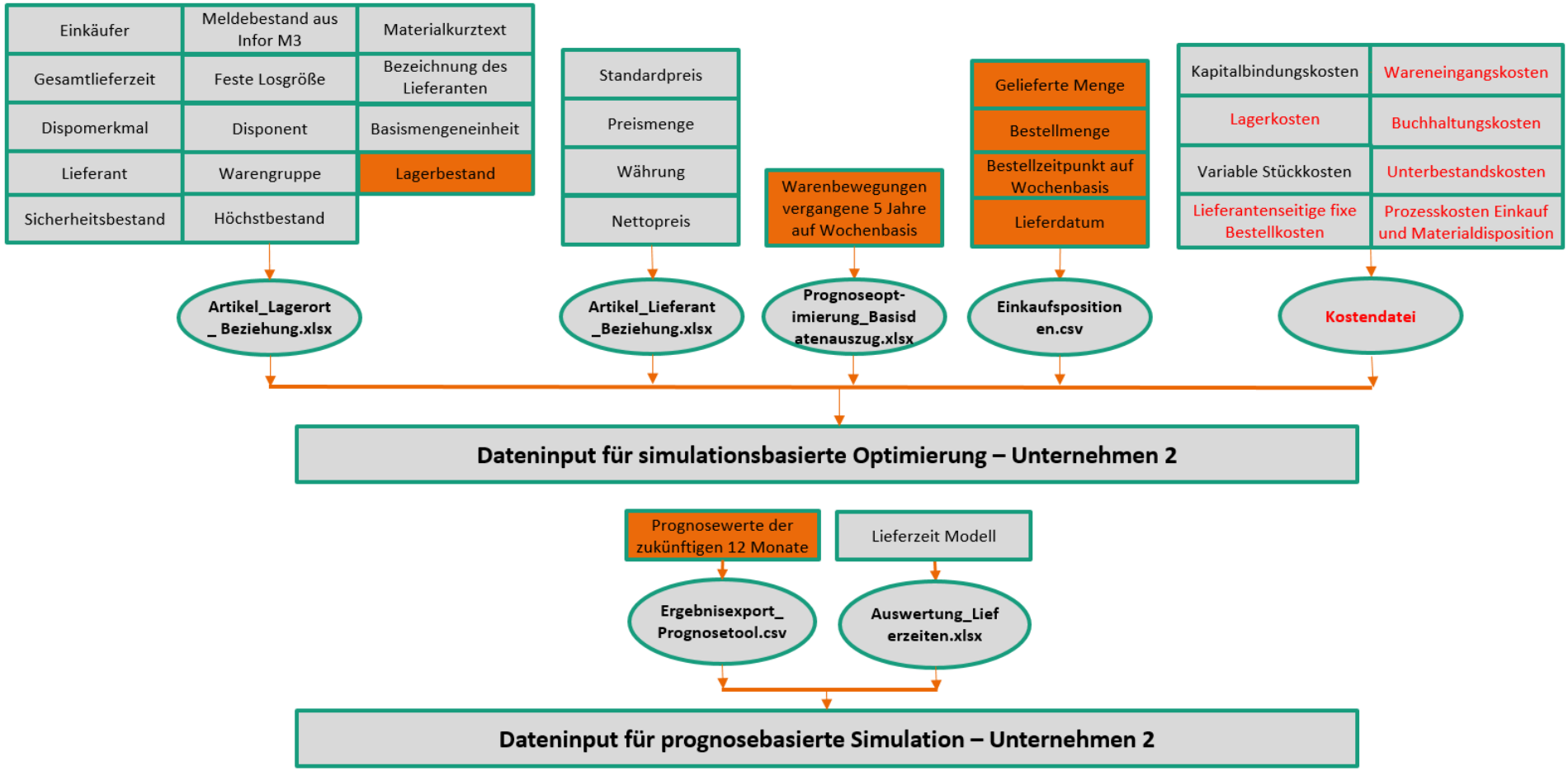

Abbildung 17: Dateninput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 2[251]

[251] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

5.1.2 Datenoutput *„Purchase Order Octopus“*

In Abbildung 18 findet sich eine Auflistung der Outputdaten des entwickelten *„Purchase Order Octopus“* für Unternehmen 1. Diese werden automatisiert in der Datei „Ergebnisexport_Bestelllosgrößen.xlsx“ ausgegeben.

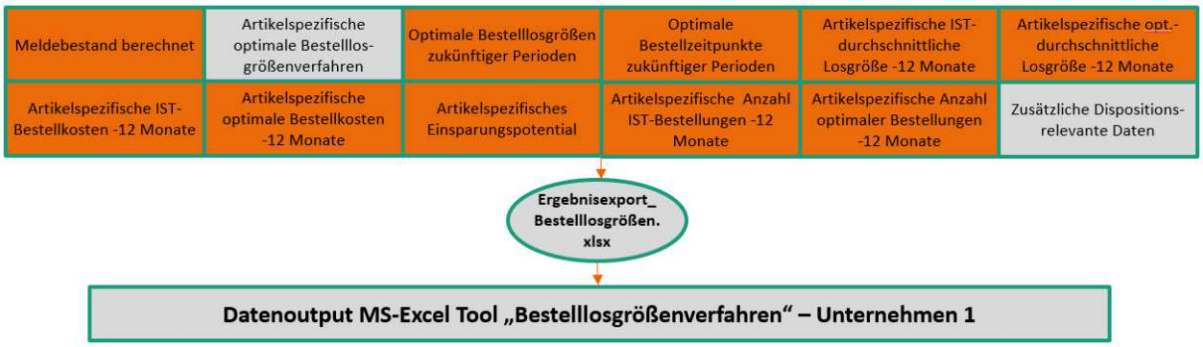

Abbildung 18: Datenoutput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 1[252]

Für Unternehmen 2 konnte noch kein Ergebnisexport erstellt werden. Die Output Datei wird jedoch dieselben Ergebnisspalten mit angepassten dispositionsrelevanten Daten beinhalten.

5.2 Datenqualität

Für eine sinnvolle Anwendung dispositionsrelevanter MS-Excel-Tools ist eine ausreichend gute Datenqualität unbedingt erforderlich. Sind die Inputdaten nicht qualitativ hochwertig, so ist auch mit einer niedrigen Qualität der Ergebnisse aus den MS-Excel-Tools zu rechnen.[253] Laut Schäffer (2020)[254] spielt die Organisation der Daten und die Rechenleistung zur Erlangung jener eine Schlüsselrolle, die die Anwendung digitaler Instrumente umso machtvoller macht. Des Weiteren seien Datenkonsistenz und -aktualität für eine sinnvolle Weiterverarbeitung notwendig. Insgesamt gibt es fünf Datenqualitätsdimensionen, die beschreiben, was man unter „guter Datenqualität“ versteht:[255]

- Korrektheit
- Konsistenz
- Vollständigkeit
- Aktualität

[252] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher
[253] vgl. Weiß u.a., 2020, S.1
[254] vgl. Schäffer, 2020, S.17
[255] vgl. Otto u.a., 2016, S.31

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Verfügbarkeit

Gemäß VDI/VDE 3714 Blatt 2 (2019) werden sogar 19 verschiedene Dimensionen der Datenqualität, die in vier Unterkategorien aufgeteilt sind, definiert:[256]

- **Systemunterstützend**: Zugänglichkeit, Verfügbarkeit, Bearbeitbarkeit
- **Inhärent**: Fehlerfreiheit, erwarteter Informationsgehalt, Synchronität, Auflösung, Objektivität, Glaubwürdigkeit, hohes Ansehen
- **Darstellungsbezogen**: Verständlichkeit, Übersichtlichkeit, einheitliche Darstellung, eindeutige Auslegbarkeit
- **Zweckabhängig**: Relevanz, angemessener Umfang, Vollständigkeit, Aktualität, Wertschöpfung

Schlussendlich ist die Datenqualität eine Grundvoraussetzung, um Anwendungssysteme und im weiteren Sinne Optimierungs- und Simulationsverfahren anwenden zu können.[257]

Allerdings steht das Datenmanagement von Unternehmen gerade bei der Datenqualität vor großen Herausforderungen. 2013 führte die *Universität St. Gallen* gemeinsam mit dem *Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik* in Dortmund eine Befragung mit Datenmanagern aus verschiedenen Industrien durch. Dabei zeigte sich Datenqualität als die größte Herausforderung, gefolgt von Transparenz über Datennutzung, redundanter sowie manueller Datenpflege.[258]

Es existieren Möglichkeiten, um die Datenqualität zu verbessern. Einerseits ist eine vernetzte Systemarchitektur mit einer zentral Datenmanagementplattform zu empfehlen. Das Datenmodell jener soll Übersichtlichkeit, Verständlichkeit und einheitliche Darstellung von Daten sicherstellen, da bei der Verarbeitung der Daten Fehler in der Aufbereitung nicht mehr ausgeglichen werden können. Außerdem ist eine Vorverarbeitung sinnvoll, bei der fehlerhafte und inkonsistente Werte wieder gelöscht werden. Die anschließend fehlenden Einträge können dann über Schätzmethoden aufgefüllt werden.[259]

In den von Unternehmen 1 überlieferten Daten sind bei der Analyse folgende Datenfehler für die Anwendung des *„Purchase Order Octopus“* identifiziert worden:

- Bei der Berechnung des Lagerbestands vor einem Jahr ergaben sich teilweise Werte <0. Im ERP-System des Unternehmens sind aber keine Unterbestände möglich. In der Vorverarbeitung wurden daher diese Einträge auf 0 gesetzt.

[256] vgl. VDI/VDE 3714 Blatt 2, 2019, S.4
[257] vgl. Otto u.a. 2016, S.13
[258] vgl. ebenda, S.17f.
[259] vgl. Weiß u.a., 2020, S.10

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Außerdem sind Artikel aufgefallen, bei denen Materialentnahmen stattfanden, obwohl nichts im Lager vorhanden war. Diese Daten wurden nicht verändert, jedoch sowohl bei der Berechnung der tatsächlichen Kosten des vergangenen Jahres als auch der Kosten, die durch Optimierung entstanden wären, berücksichtigt.
- Allgemein gibt es viele Artikel, die eine nicht ausreichende Datenbasis bieten konnten. Bei diesen Artikeln konnte keine Optimierung und Simulation durchgeführt werden.

5.3 Parametervariation in der Materialdisposition

In der Logistik existieren verschiedene Problemklassen, zu denen das passende Optimierungsverfahren gewählt werden muss. Abbildung 19 zeigt eine Auflistung der Problemklassen sowie beispielhafte Anwendungen.

Reihefolge-problem	Zuordnungs-problem	Paramter-variation
• Auftrags-reihenfolge • Rüstreihenfolge	• Zuordnung von Mitarbeiter zu Schichtplänen • Zuordnung von Aufträgen zu Betriebsmittel	• Losgrößen • Planzeiten • Leistungsgrößen (Stück/h, m/s, ...) • Pufferfläche • ...

Abbildung 19: Problemklassen der Logistik[260]

Die Ermittlung der optimalen Bestelllosgröße stellt demnach ein Beispiel für Parametervariation dar. Bei dieser wird grundsätzlich der Wert einer Stellgröße verändert und dessen Auswirkung analysiert. Je nach Anwendungsfall lassen sich allgemein in der Materialdisposition sowie bei den angewendeten MS-Excel-Tools Parameter variieren. In Schuh u.a. (2014) wird für Prognoseverfahren die mögliche Parametrisierung des Prognosehorizonts, der verwendeten Algorithmen sowie mithilfe von Mustern erwähnt.[261]

Beim *„Demand Planning Falcon“*[262] finden sich im Tabellenblatt „Parametrisierung“ die parametrisierbaren Werte:

- Anzahl Perioden Absatzhistorie
- Anzahl Prognoseperioden

[260] März u.a., 2011, S.45
[261] vgl. Schuh u.a., 2014, S.290
[262] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- Maximale Optimierungs-Laufzeit pro Artikel [Sek.]
- Runden bei Stückgut Art. usw.
- Betrachtungshorizont für die Bewertung des Prognosefehlers (für die Methodenauswahl)
- Zudem lässt sich grundsätzlich jedes der angewendeten Verfahren eigens Parametrisieren mit unterschiedlichen Stellhebeln.

Beim *„Purchase Order Octopus“* können ebenfalls mehrere Parameter variiert werden:

- Bestelllosgrößenverfahren
- Raffungsparameter für das Verfahren *Periodenlosgröße*
- Anzahl Prognoseperioden
- Gesamtlieferzeit berechnet
- Gesamtlieferzeit aus dem ERP-System

Jede Variation dieser Parameter hat Auswirkung auf die Ergebnisse der Berechnung. Grundsätzlich wird bei den angewendeten MS-Excel-Tools versucht, eine optimale Parametrisierung je Unternehmen zu finden und diese dann fortlaufend anzuwenden, Adaptierungen aufgrund einer Veränderung der Datenbasis können aber notwendig sein.

5.4 Dynamische und statische Systemdynamiken

Beim entwickelten MS-Excel-Tool *„Purchase Order Octopus“* kann die Datenbasis in dynamische und statische Werte eingeteilt werden.

In Abbildung 16 und Abbildung 17 ist eine Einteilung der für den *„Purchase Order Octopus“* notwendigen Inputdaten für Unternehmen 1 und 2 gegeben, wobei die in orange-markierten Daten dynamisch und die grau-markierten statisch sind. Anzumerken ist, dass sich die statischen Daten für einen gewissen Zeitraum nicht ändern. Kostenwerte, feste Lieferanten usw. können sich über einen längeren Zeitraum sehr wohl verändern, allerdings besteht nicht die wöchentliche bzw. monatliche Dynamik wie bei den orange-markierten Werten. Die artikelspezifischen Informationen bleiben dauerhaft unverändert.

Abbildung 18 bietet noch eine Einteilung der Outputdaten des *„Purchase Order Octopus“* für Unternehmen 1. Die vom Tool berechneten Ergebnisse sind fast alle dynamische Daten und ändern sich bei jedem z.B. pro Monat erzeugten Ergebnisexport. Einzig bei den artikelspezifischen optimalen Bestelllosgrößenverfahren ist mit statischen Daten zu rechnen, wenn sich die Materialbedarfsverläufe für einen Artikel nicht grundlegend ändern.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6 Experimentelle Forschung

Als experimentelle Forschung wurden die gewählten Bestelllosgrößenverfahren in ein MS-Excel-Tool umgesetzt. Die verwendete Programmiersprache ist *Visual Basic for Applications* (VBA).

In diesem Kapitel wird der *„Purchase Order Octopus“* in seiner Handhabung und Umsetzung sowie das eingesetzte Kostenmodell beschrieben.

6.1 *„Purchase Order Octopus“*

Eine exakte Beschreibung des Tools findet sich im Anhang in der Anwenderdokumentation für Unternehmen 1. Einen Überblick soll trotzdem in diesem Kapitel gegeben werden.

Der *„Purchase Order Octopus“* bestimmt auf Basis von Vergangenheitswerten der Materialentnahmen das optimale Verfahren für die Ermittlung der optimalen Bestelllosgröße. Das Kriterium für die Auswahl sind die minimalen Kosten, welche sich in der Vergangenheit (über ein Jahr) durch die Anwendung des jeweiligen Verfahrens ergeben hätten. Anschließend werden mit dem bestimmten optimalen Verfahren die optimalen Bestellmengen und -zeitpunkte für maximal ein Jahr auf Basis der Absatzprognosen aus dem *„Demand Planning Falcon“*[263] auf Wochenbasis berechnet. Anzumerken ist, dass dem *„Purchase Order Octopus“* die realen Materialentnahmen des vergangenen Jahres vorliegen, der Disponent bei den Bestellungen allerdings nur auf Prognosen zurückgreifen konnte. Das ermittelte Optimum mit dem Tool ist dementsprechend der theoretische Maximalwert bei Kenntnis der realen Materialentnahmen.

Der Aufbau des *„Purchase Order Octopus“* wird anhand der Eingabeseite (Tab „Import_Export“) sowie einer Modelldarstellung erklärt, siehe folgende Abbildungen 19-22. Dabei müssen vom User insgesamt 4 Buttons (1, 2a oder 2b, 3 und 4) bedient werden. Nach Fertigstellung des jeweiligen Schrittes erscheint ein kurzer Hinweis für den Benutzer.

[263] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

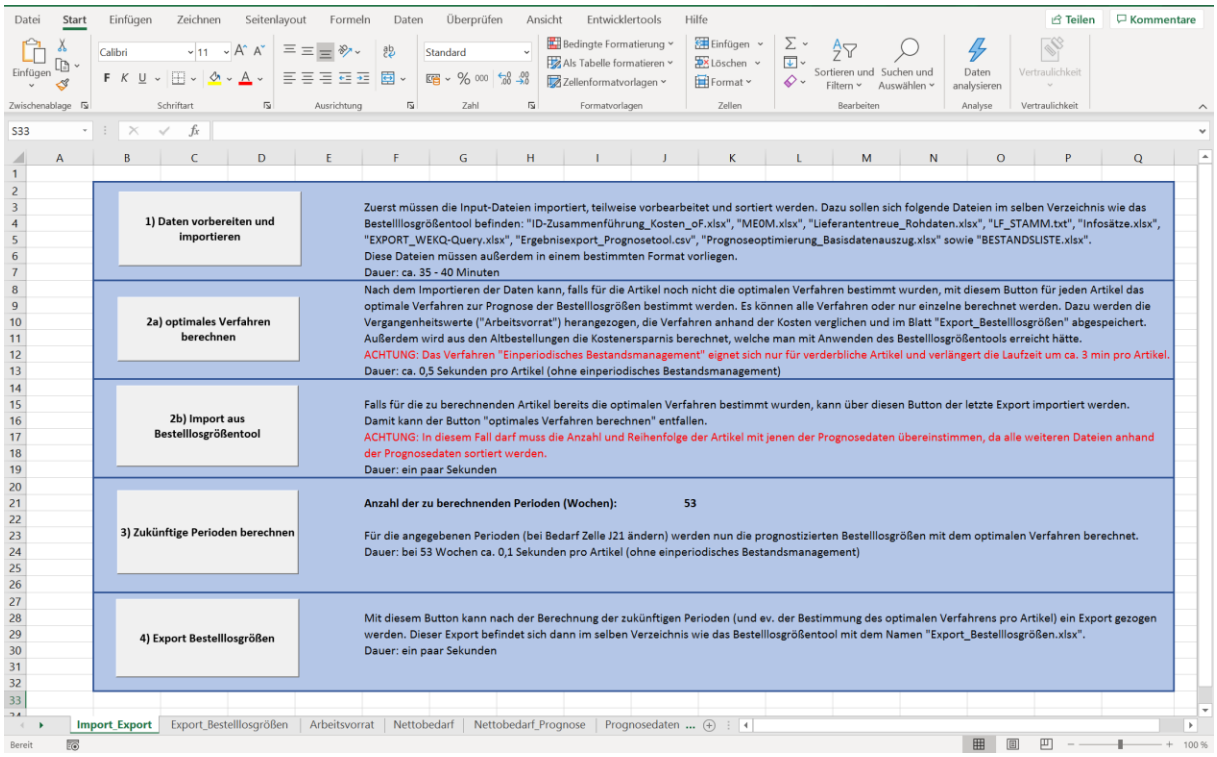

Abbildung 20: Eingabefenster *„Purchase Order Octopus“*[264]

Als erster Schritt müssen die in Kapitel 5 beschriebenen Daten importiert werden (Button 1). Diese liegen je nach Unternehmen in einem unterschiedlichen Format vor. Gleichzeitig werden diese weiterverarbeitet (z.B. Umrechnung auf Wochen) und anhand der Artikelnummer sortiert. Außerdem wird der Lagerbestand vor einem Jahr berechnet, indem die Bestellungen subtrahiert sowie die Entnahmen des vergangenen Jahres addiert werden, um die Lagerkosten berechnen zu können. Des Weiteren wird ein neuer Meldebestand bestimmt (Erklärung siehe Kapitel 2.1), um den Startpunkt für die Berechnung festzulegen. Gemäß den Einheitenbezeichnungen aus den ERP-Systemen wird ein Faktor bestimmt, welcher aussagt, ob auf ganze Werte (z.B. Stück) oder 2 Kommastellen (z.B. cm, kg) gerundet werden soll. Zuletzt muss noch der Hauptlieferant ermittelt werden, da eine Basis für die Kostenrechnung notwendig ist, nach deren Kostensätzen die Kosten bestimmt werden. Dies erfolgt direkt, falls ein Hauptlieferant im System hinterlegt ist, bzw. über die letzte erfolgte Bestellung.

Schritt 2 stellt die Berechnung des optimalen Bestelllosgrößenverfahrens oder den Import der optimalen Verfahren aus einem vorherigen Export des *„Purchase Order Octopus“*, falls diese für die importierten Daten schon bestimmt wurden, dar (2a oder 2b). Müssen die optimalen Verfahren noch berechnet werden (2a), sieht der Benutzer folgendes Eingabefenster:

[264] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Abbildung 21: Eingabefenster zur Auswahl der Bestelllosgrößenverfahren[265]

Man kann entweder einzelne oder mehrere Verfahren wählen bzw. alle Verfahren berechnen lassen. Wird das Verfahren *Periodenlosgröße* oder alle Verfahren gewählt, muss der Benutzer noch jenes Modell parametrisieren. Anhand des Standardpreises kann angegeben werden, wie viele Perioden gleichzeitig pro Artikel bestellt werden sollen. Zwischen 1 und 10 Abschnitten können gewählt werden.

Beispiel:

[265] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

- 3 Abschnitte
  - Abschnitt 1: Standardpreis von 0,01 bis 2 [GE], Anzahl an zu bestellenden Perioden: 12 [Wochen]
  - Abschnitt 2: Standardpreis von 2,01 bis 10 [GE], Anzahl an zu bestellenden Perioden: 8 [Wochen]
  - Abschnitt 3: Standardpreis von 10,01 bis 10000 [GE], Anzahl an zu bestellenden Perioden: 2 [Wochen]

Sind die Verfahren ausgewählt, wird zuerst ein Nettobedarf ermittelt, welcher die Bedarfe (=Entnahmen) so reduziert, dass nur jene aufscheinen, welche erstmalig unter dem Meldebestand liegen. Dazu werden ausgehend vom Lagerbestand vor einem Jahr die Entnahmen subtrahiert, bis der Meldebestand erstmalig unterschritten wird. Die weiteren Entnahmen werden direkt übernommen. Zusätzlich werden schon getätigte Bestellungen berücksichtigt. Dadurch wird ein zu hoher Lagerbestand verhindert. Anschließend folgt die Berechnung jedes Verfahrens auf Wochenbasis (siehe Kapitel 2.6) und der resultierenden Kosten pro Periode der letzten 53 Wochen. Die berechneten Bestellmengen pro Woche und die Kosten pro Periode jedes Verfahrens werden in einem eigenen Tab ausgegeben. Ist der Algorithmus für alle Modelle über alle Artikel durchgelaufen, wird anhand der minimalen Kosten das optimale Verfahren ermittelt und im Tab „Export_Bestelllosgrößen“ ausgegeben. Außerdem werden die, im Zusammenhang mit den tatsächlich getätigten Bestellungen, Kosten pro Periode des letzten Jahres bestimmt und mit jenen des optimalen Verfahrens verglichen. Zusätzlich wird die Anzahl an Bestellungen sowie die durchschnittliche Losgröße des letzten Jahres der tatsächlichen Bestellstrategie und jener der mit dem optimalen Verfahren berechneten ausgegeben. Letztlich wird auch noch die Anzahl an zu bestellenden Perioden pro Artikel für das Modell *Periodenlosgröße* eingefügt.

Im nächsten Schritt, Nummer 3, können nun, nach der Bestimmung des optimalen Verfahrens aus den Vergangenheitswerten bzw. des Imports aus einem vorherigen Export des *„Purchase Order Octopus‘“,* die Verfahren für maximal ein Jahr (manuelle Einstellung) berechnet werden. Dabei werden für jeden Artikel nur mehr mit dem bestimmten optimalen Verfahren die Bestellmengen pro Woche bestimmt, ebenfalls angezeigt im Tab „Export_Bestelllosgrößen“. Betätigt man den Button 3, erscheint zusätzlich noch ein Auswahlfenster zur Parametrisierung der Lieferzeit. Es kann die hinterlegte Lieferzeit aus dem ERP-System oder eine durchschnittliche Lieferzeit berechnet aus den vergangenen Bestellungen verwendet werden. Je nach ausgewählter Lieferzeit wird der Meldebestand für die zukünftigen Perioden neu berechnet und wieder ein Nettobedarf auf Basis der Absatzprognosen bestimmt. Die Vorgehensweise zur Berechnung des Nettobedarfs ist wie im Schritt zwei erklärt.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

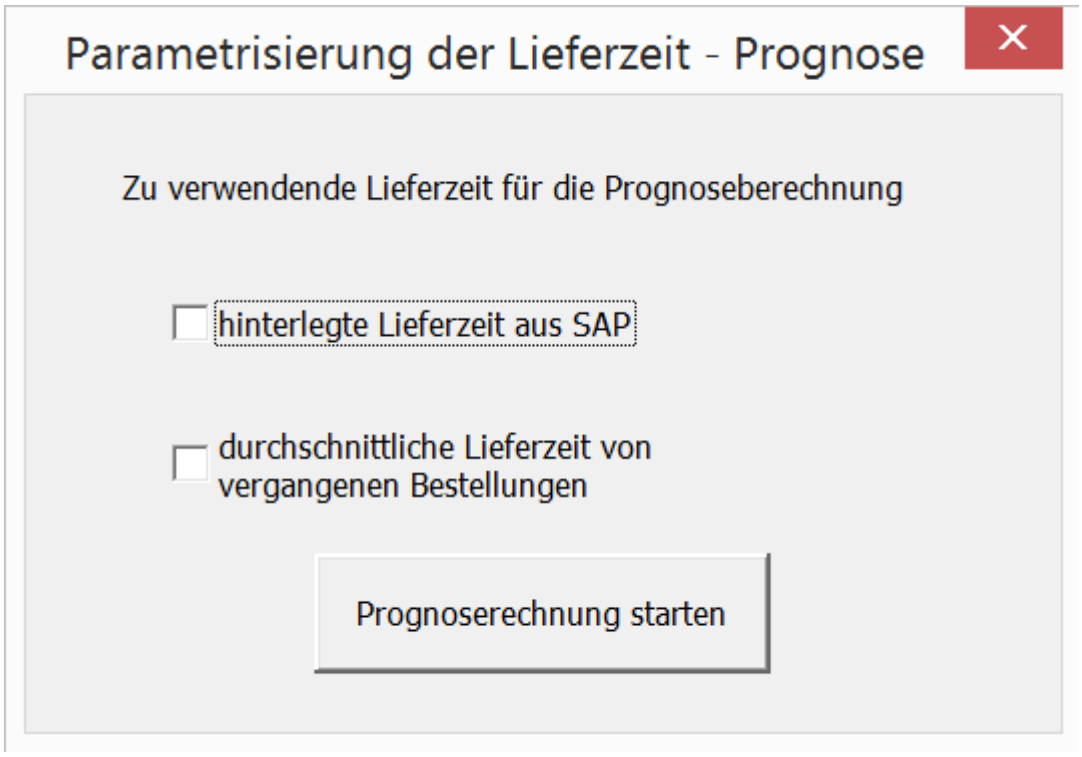

Abbildung 22: Parametrisierung der Lieferzeit für die zukünftigen Perioden (Beispiel Unternehmen 1)[266]

Zuletzt (Button 4) kann noch ein Export erstellt werden, der einerseits die berechneten Ergebnisse, andererseits noch weitere für den Materialdisponenten relevante Informationen enthält. Der genaue Inhalt des Exports wurde in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Unternehmen bestimmt, welche die Daten für die experimentelle Forschung zur Verfügung gestellt haben.

Das gesamte beschriebene Optimierungs- und Simulatrionsmodell, welches im Planungswerkzeug "*Purchase Order Octopus*" umgesetzt wurde, ist in Abbildung 23 ersichtlich.

[266] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

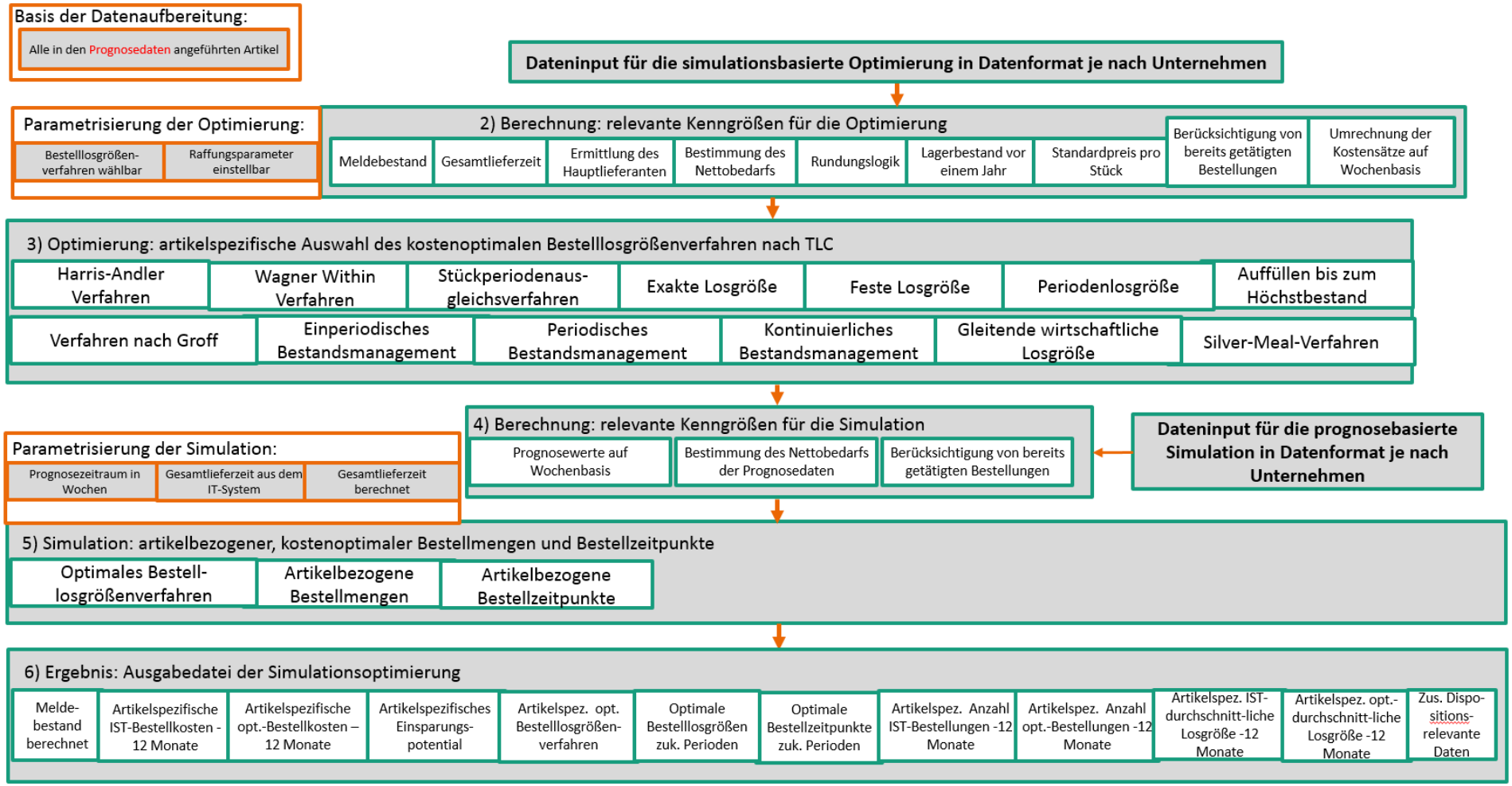

Abbildung 23: Modell des „*Purchase Order Octopus*"[267]

[267] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

6.2 Kostenmodell „*Purchase Order Octopus*“

Im entwickelten „*Purchase Order Octopus*“ wurde das TLC Konzept angewendet, indem die Optimierung unter Berücksichtigung der sich ergebenden Kosten durchgeführt wurde. Folgende Kostenformel (Formel 29) wurde für Unternehmen 1 angewendet (für Unternehmen 2 fehlt für die Kostenbetrachtung die ausreichende Datenbasis):

$$\begin{aligned} &Kosten\ pro\ Periode \\ &\quad = K * Anzahl\ an\ Bestellungen\ (bei\ Bestellung) + h \\ &\quad * Lagerbestand (bei\ Lagerbestand \\ &\quad > 0) + c_u (bei\ Unterbestand) + v * Bestellmenge\ (bei\ Bestellung) \end{aligned}$$

Formel 29: Kostenformel für die Bewertung der optimalen Bestelllosgröße[268]

Die pro Bestellung anfallenden Kosten (fixe Bestellkosten) setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$\begin{aligned} K = &Wareneingangskosten + Internen\ Kosten\ pro\ Bestellung\ Prozessanalyse \\ &+ Buchhaltungskosten\ pro\ Bestellung \\ &+ Kosten\ pro\ Bestellung\ \text{über}\ Nebenkosten \end{aligned}$$

Formel 30: Fixe Bestellkosten[269]

Für die Lager- und Kapitalkosten, welche pro gelagertem Stück pro Periode anfallen, gilt:

$$h = (Lagerkosten + Kapitalkosten) * Standardpreis\ pro\ Einheit$$

Formel 31: Bestandskosten[270]

Die variablen Bestellkosten fallen pro bestelltem Stück an (v = variable Stückkosten über Nebenkosten).

Zuletzt gibt es noch die Unterbestandskosten, die anfallen, wenn ein Unterbestand besteht (c_u = Unterbestandskosten):

Bei den Unterbestandskosten ist zu beachten, dass diese anfallen, wenn zum ersten Mal ein Unterbestand besteht, bei erneutem Unterbestand, wenn dazwischen ein positiver Bestand besteht, sowie bei Unterbestand über mehrere Perioden pro Lieferzeit.

[268] Eigendarstellung: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 - FFG Förderungsnummer 872787) & Magdalena Lielacher
[269] Eigendarstellung: ebenda
[270] Eigendarstellung: ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

7 Evaluierung

Die zwei verbrauchsgesteuerten MS-Excel-Tools *„Purchase Order Octopus“* und *„Demand Planning Falcon“* [271] sind für die Datenbasis des Unternehmens 1 aus der Investitionsgüterindustrie angewendet worden. In den folgenden Unterkapiteln finden die Ergebnisse der experimentellen Forschung.

7.1 Resultate des *„Demand Planning Falcons“*[272]

Fokus und Entwicklung dieser Diplomarbeit liegt auf dem *„Purchase Order Octopus“.* Jedoch ist für eine aussagekräftige Bestelllosgrößenplanung eine genaue Prognoserechnung notwendig. Daher wird im Folgenden die Prognosequalität des *„Demand Planning Falcon“* [273] bewertet.

Dies wird anhand des *mittleren quadratischen Fehlers* ausgewertet. Die Datenbasis von Unternehmen 1 besteht aus 4.241 Artikeln, zu denen die Materialentnahmen sowie Prognosedaten aus dem *„Demand Planning Falcon“* [274] für Juli 2020 bis Juli 2021 vorlagen. Für diese Daten wurde der *mittlere quadratische Fehler* für jeden Artikel berechnet, indem die Prognosedaten mit den tatsächlichen Materialentnahmen verglichen und aus allen Artikeln der arithmetische Mittelwert bestimmt wurde. Da der Prognosehorizont für jeden Export aus dem *„Demand Planning Falcon“* [275] 12 Monate beträgt, konnte nur für zwei Exporte eine vollständige Auswertung aller Perioden durchgeführt werden. Bei den weiteren Exporten wurden nur für die berechenbaren Monate, d.h. zu denen schon Materialentnahmen vorlagen, der *mittlere quadratische Fehler* berechnet. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 23, gerundet auf ganze Zahlen. Eine Periode bedeutet in dem Fall ein Monat.

[271] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[272] ebenda
[273] ebenda
[274] ebenda
[275] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Prognose (von – bis)	MSE	Anteil MSE <1 [%]	Anteil MSE <100 [%]	Anteil MSE <1000 [%]	Anzahl berechen-barer Perioden	Anzahl berechen-barer Artikel
07/20-06/21	354.147	33	61	78	12	3.268
08/20-07/21	351.282	33	62	79	12	3.291
09/20-08/21	378.200	34	63	79	11	3.332
10/20-09/21	21.377	35	63	79	10	3.429
11/20-10/21	22.841	37	64	80	9	3.396
12/20-11/21	19.610	37	65	81	8	3.411
01/21-12/21	28.710	39	66	81	7	3.433
02/21-01/22	25.538	39	66	81	6	3.514
03/21-02/22	26.639	41	66	81	5	3.595
04/21-03/22	30.723	41	67	82	4	3.675
05/21-04/22	41.587	41	69	83	3	3.734
06/21-05/22	16.440	43	70	84	2	3.763
07/21-06/22	17.446	45	72	85	1	3.819

Tabelle 23: *Mittlerer quadratischer Fehler* des *„Demand Planning Falcon“*[276] bei gegebener Datenbasis[277]

Man erkennt eine fast 30-fache Verkleinerung des *mittleren quadratischen Fehlers* zwischen dem ersten und dem letzten Betrachtungshorizont. Des Weiteren nimmt der Anteil an MSE<1, MSE<100 und MSE<1000 nahezu linear mit späteren Perioden zu. Ein MSE<1 bedeutet hierbei eine sehr gute Prognosequalität, bei der die Prognose nahezu mit den tatsächlichen Materialentnahmen übereinstimmt. Auch ein MSE<100 und MSE<1000 stehen für eine gute Prognosegenauigkeit. Im letzten Betrachtungshorizont haben fast 50% der Artikel (genau 45%) einen MSE<1, 72% einen MSE<100 und sogar 85% einen MSE<1000. Für den höheren durchschnittlichen MSE sind demnach vor allem Ausreißer verantwortlich. Zuletzt ist auch eine kontinuierliche Verbesserung der berechenbaren Artikel mit dem Betrachtungshorizont zu erkennen. Allerdings kann die Prognose nur so gut sein, wie die Datenbasis auch zulässt. Eine 100-prozentige Abdeckung kann daher nicht erreicht werden.

Wie bereits im Kapitel 2.5.2 erklärt, ist die Prognosequalität umso besser, je kleiner der *mittlere quadratische Fehler* ist. Allerdings ist auch zu beachten, dass mit kürzer werdenden Abständen zwischen Prognose und Berechnung, was der Fall mit aufsteigendem Betrachtungshorizont ist, automatisch die Prognosegenauigkeit zunimmt. Daher ist keine eindeutige Aussage zu treffen, ob die Qualität der Vorhersagen tatsächlich über die Prognosemonate besser geworden ist. Allerdings ist schon zwischen Betrachtungshorizont in Zeile 1 und jenem in Zeile 2 eine Tendenz Richtung höherer Prognosequalität zu erkennen, obwohl der Abstand zwischen Prognose und Berechnung gleichbleibt. Zudem fällt auf, dass der MSE über den

[276] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[277] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Betrachtungshorizont sehr deutlich abnimmt und dadurch deine Verbesserung der Prognosequalität wahrscheinlich ist.

Anhand der Anwendung in der Praxis des *„Demand Planning Falcons“* [278] ist eine kontinuierliche Verbesserung des Tools aufgrund von Feedback der Disponenten und Einarbeitung der Adaptierungen sichtbar. Diese erkannten Verbesserungspotentiale sind meist nicht in der Literatur vorhanden und können nur über praktische Anwendung gefunden werden. Über die Evaluierung aus Praxis wird demnach wieder das Modell in Design & Entwicklung, wie in Abbildung 1: *Design Science Research Methodology nach Peffers* abgebildet, verbessert.

Zuletzt wurden folgende Verbesserungen durchgeführt:

Neben dem *mittleren quadratischen Fehler* (MSE) werden nun zu allen Artikeln der *mittlere absolute Prognosefehler* sowie die *Standardabweichung des Prognosefehlers* berechnet und ausgegeben. Dies wird als Dateninput für innovative Sicherheitsbestandsalgorithmen benötigt.

Die ursprüngliche Bewertung mittels MSE der letzten drei Jahre wurde als nicht optimal identifiziert. Gerade Verfahren wie das *Verfahren von Holt-Winters* werden hier gegenüber dem Mittelwert benachteiligt, da diese Verfahren „mit der Zeit lernen“ und die Prognosequalität gerade am Beginn nicht sehr hoch ist. Daher wurde die Bewertung mittels des MSE-Wertes nicht mehr über die gesamten Perioden (36 Monate) sondern nur mehr über das vergangene Jahr (12 Monate) durchgeführt. Naive Verfahren wie der *Einfache Mittelwert* wurden damit weniger oft genutzt und die Prognosequalität nahm deutlich zu.

Prognose-Parameter, welche die Parametrisierbarkeit einzelner Verfahren ermöglicht, wurden überarbeitet und für die betrachte Fallstudie optimiert.

Die Programmierung wurde an kritischen Stellen, wo es in der Vergangenheit immer wieder zu Störungen bzw. Abbrüchen bei der Berechnung kam, wurden überarbeitet und optimiert, was zu einer verbesserten und anwenderfreundlicheren Nutzuung des *"Demand Planning Falcons"*[279] führte.

7.2 Resultate des *„Purchase Order Octopus“*

Das *„Purchase Order Octopus“* wurde für Unternehmen 1 für eine Datenbasis bis Jänner 2021 mit einer einjährigen auf Monatsbasis gegebenen Prognose ab Februar

[278] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[279] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

2021 durchgeführt. Dabei standen Daten zu 4.066 Artikeln zur Verfügung. Verwendet wurde dazu ein handelsüblicher PC mit einem Intel Core i5 Prozessor und 4GB Arbeitsspeicher.

Für das Verfahren *Periodenlosgröße* wurden folgende Raffungsparameter eingestellt:

***Periodenlosgröße* Anzahl Abschnitte**	**Standardpreis von**	**Standardpreis bis**	**Anzahl zu bestellenden Perioden pro Abschnitt**
3	0,01	2	12
	2,01	10	8
	10,01	10000	2

Tabelle 24: Eingestellte Raffungsparameter für Verfahren *Periodenlosgröße* bei gegebener Datenbasis[280]

Diese Raffungsparameter wurden zufällig so konfiguriert und bleiben für die weitere Auswertung der Anwendungen konstant.

Für die Berechnung wurden alle Verfahren bis auf das *Einperiodische Bestandsmanagement* ausgewählt. Dieses wurde für dieses Unternehmen nicht ausgewertet, da keine Information über die Verderblichkeit der Artikel vorlag.

Die Ergebnisse in den Tabellen sind jeweils auf zwei Nachkommastellen gerundet, dadurch ergeben sich minimale Rundungsfehler.

7.2.1 Auswertung simulationsbasierte Optimierung

Analyse je Bestelllosgrößenverfahren

Bevor das gesamtheitliche Ergebnis dargestellt wird, folgt eine Analyse auf Bestelllosgrößenverfahrensebene. Bei dieser Evaluation wird grundsätzlich betrachtet, ob die Verfahren berechenbar sind. Beim gesamtheitlichen Ergebnis werden zusätzlich jene Artikel ausgeschlossen, bei denen keine Bestellung im vergangenen Jahr oder keine Einsparung im Vergleich zu den tatsächlich getätigten Bestellungen erfolgte.

Folgende Tabelle 25 zeigt die prozentuelle Anzahl an berechenbaren Artikeln je Verfahren der simulationsbasierten Optimierung des vergangenen Jahres. Berechenbar bedeutet in dem Zusammenhang, dass sowohl die Bestellmengen und -zeitpunkte als auch die Kosten, die sich daraus ergeben, ermittelbar sind. Dies gilt für die gesamte Datenbasis von 4.066 Artikeln.

[280] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Verfahren	Verteilung der mit dem jeweiligen Verfahren berechenbaren Artikel [%]	Anzahl der mit dem jeweiligen Verfahren berechenbarer Artikel
Verfahren nach Groff	61,66	2.507
Harris-Andler-Verfahren	61,66	2.507
Exakte Losgröße	61,66	2.507
Silver-Meal-Verfahren	61,66	2.507
Stückperiodenausgleichs-verfahren	61,66	2.507
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	61,66	2.507
Wagner-Whitin-Verfahren	61,66	2.507
Periodenlosgröße	61,61	2.505
Periodisches Bestandsmanagement	41,02	1.668
Kontinuierliches Bestandsmanagement	41,02	1.668
Feste Losgröße	28,43	1.156
Auffüllen bis zum Höchstbestand	15,45	628
Einperiodisches Bestandsmanagement	0,00	0

Tabelle 25: Ergebnisse der Verteilung berechenbarer Artikel je Bestelllosgrößenverfahren der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[281]

Man erkennt, dass bei gleicher notwendiger Datenbasis bei den unterschiedlichen Bestelllosgrößenverfahren dieselbe Anzahl an Artikeln berechenbar sind. Beim Bestelllosgrößenverfahren *Periodenlosgröße* sind zwei Artikel weniger als bei den sieben Verfahren mit den meisten ermittelbaren Kosten berechenbar. Das liegt an der Einstellung der Raffungsparameter, da zwei Artikel mehr als 10.000€ kosten. Für die zwei Verfahren *Periodisches Bestandsmanagement* sowie *Kontinuierliches Bestandsmanagement* fließen zusätzlich die Unterbestandskosten, Lieferzeit und die Funktion, die die Quantile der Standardnormalverteilung zurückgibt, in die Berechnung mit ein. Der Algorithmus *Feste Losgröße* kann nur für jene Artikel berechnet werden, welche eine feste Losgröße hinterlegt haben. Weiters ist das Verfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* nur für jene Materialien anwendbar, bei denen einen Höchstbestand gepflegt wird. Zusätzlich sind alle Verfahren für jene Artikel berechenbar, bei denen keine Bestellung erfolgen muss sowie die Grunddaten Meldebestand, Lagerbestand, Materialentnahmen und Lieferungen des vergangenen Jahres sowie Bestandskosten vorhanden sind.

Zu beachten ist, dass z.B. bei berechenbaren Artikeln mit dem *Verfahren nach Groff* andere Artikel dabei sind als bei berechenbaren Artikeln mit dem *Kontinuierlichen Bestandsmanagement*. Damit kann sich bei der Berechnung des Optimums mit allen

[281] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bestelllosgrößenverfahren eine höhere Prozentzahl an berechenbaren Artikeln ergeben.

In der folgenden Tabelle 26 ist eine Auswertung der durchschnittlichen Losgröße sowie Anzahl an Bestellungen je Verfahren für berechenbare Kosten der Artikel (Stichprobe siehe Tabelle 25) ersichtlich. Die durchschnittliche Losgröße wurde auf Artikelebene so berechnet, dass die Summe aller Losgrößen>0 für den jeweiligen Artikel durch die Anzahl an Bestellungen dividiert wurde.

Verfahren	**Durchschnittliche Losgröße**	**Durchschnittliche Anzahl an Bestellungen**
Kontinuierliches Bestandsmanagement	3376,87	0,42
Exakte Losgröße	839,03	0,94
Feste Losgröße	803,16	0,20
Harris-Andler-Verfahren	716,73	0,83
Periodisches Bestandsmanagement	561,91	0,47
Periodenlosgröße	553,93	0,73
Stückperiodenausgleichs-verfahren	481,58	0,40
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	481,00	0,38
Wagner-Whitin-Verfahren	440,67	0,42
Verfahren nach Groff	396,75	0,52
Silver-Meal-Verfahren	384,79	0,56
Auffüllen bis zum Höchstbestand	0	0
Einperiodisches Bestandsmanagement	Nicht ermittelbar	Nicht ermittelbar

Tabelle 26: Durchschnittliche Losgröße und Anzahl an Bestellungen je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[282]

Die Daten sind nach der durchschnittlichen Losgröße absteigend sortiert. Das Verfahren *Kontinuierliches Bestandsmanagement* liefert eine im Vergleich zu den anderen angewendeten Algorithmen hohe durchschnittliche Bestelllosgröße. Das liegt an der Formel für die Berechnung der Losgröße, bei der im Zähler der Wurzel mehrere Kosten- und Verbrauchswerte miteinander multipliziert werden. Gesamtheitlich ist hierbei kein klarer Trend zu erkennen. Es gibt weder eine Gruppierung nach Art des Verfahrens (dynamisch vs. statisch, mit vs. ohne Kosten) noch einen Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Losgröße und Anzahl an Bestellungen. Im Schnitt muss aber bei keinem Verfahren mehr als einmal pro Artikel bestellt werden. Das deutet auf einen bestehenden hohen Lagerbestand hin. Es ist zu beachten, dass bei einigen

[282] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Artikeln gar keine Bestellung erfolgen muss, daher ist die durchschnittliche Anzahl an Bestellungen < 0. Einzelne Bestelllosgrößenverfahren berechnen eine höhere durchschnittliche Losgröße, während andere eine kleinere, dies führt zu unterschiedlichen Kosten.

Nachstehende Tabelle 27 zeigt noch die Auswertung der durchschnittlichen Kosten je Verfahren für das gesamte vergangene Jahr. Die Werte sind wieder nur für berechenbare Artikel (Stichprobe siehe Tabelle 25) gegeben.

Verfahren[283]	Variable Stückkosten über Nebenkosten [€]	Wareneingangskosten [€]	Internen Kosten pro Bestellung Prozessanalyse [€]	Lagerkosten [€]	Kapitalkosten [€]	Unterbestandskosten [€]	Buchhaltungskosten pro Bestellung [€]	Kosten pro Bestellung über Nebenkosten [€]	Gesamtkosten [€]
1	283,08	25,78	6,44	46,66	159,69	5,35	1,56	16,57	430,73
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	125,09	27,29	6,52	48,91	167,61	2,87	1,62	11,13	439,25
4	215,33	6,51	1,70	81,84	115,79	0,63	0,43	4,02	543,31
5	0,00	0,00	0,00	71,47	58,04	0,00	0,00	0,00	392,01
6	7,58	15,08	3,50	33,46	114,35	7,88	0,88	8,63	274,68
7	7,58	16,13	3,72	33,28	113,84	8,15	0,94	9,12	277,06
8	56,41	13,90	3,27	76,98	215,93	4,29	0,82	8,92	680,07
9	119,15	13,55	3,28	94,15	241,38	4,32	0,82	10,51	914,85
10	7,58	11,95	2,76	34,68	118,12	7,00	0,70	6,41	270,51
11	7,58	11,52	2,69	34,66	117,91	6,97	0,68	6,87	270,05
12	7,58	10,97	2,54	34,65	118,13	7,52	0,65	6,21	268,88
13	6,77	21,83	5,04	33,73	114,93	8,63	1,28	14,72	299,78

Tabelle 27: Kostenergebnisse je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[284]

[283] 1= *Harris-Andler-Verfahren*, 2=*Einperiodisches Bestandsmanagement*, 3=*Exakte Losgröße*, 4=*Feste Losgröße*, 5=*Auffüllen bis zum Höchstbestand*, 6= *Verfahren nach Groff*, 7= *Silver-Meal-Verfahren*, 8=*Periodisches Bestandsmanagement*, 9=*Kontinuierliches Bestandsmanagement*, 10= *Wagner-Whitin-Verfahren*, 11= *Stückperiodenausgleichsverfahren*, 12=*Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße*, 13=*Periodenlosgröße*

[284] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

In jeder Spalte wurden die jeweiligen höchsten Kostenwerte in Rot markiert. Man erkennt, dass die vier Verfahren *Harris-Andler-Verfahren*, *Exakte Losgröße, Kontinuierliches Bestandsmanagement* und *Periodenlosgröße* jeweils in mindestens einer Kostenposition den höchsten durchschnittlichen Wert hervorruft. Die mit Abstand am höchsten durchschnittlichen Gesamtkosten des vergangenen Jahres ergibt das *Kontinuierliche Bestandsmanagement*. Dies ist auf die hohen Bestelllosgrößen und damit verbundenen Bestandskosten zurückzuführen. Zeile 2, das *Einperiodische Bestandsmanagement*, konnte nicht berechnet werden. Die Kosten für das Verfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* sind nur für jene Artikel ermittelbar, bei denen keine Bestellung erfolgt, da vom Unternehmen 1 kein Höchstbestand gepflegt wird. Daher sind die bestellbezogenen Kostenpositionen alle „0,00€“.

Tabelle 28 zeigt noch die durchschnittliche Einsparung für berechenbare Artikel je Bestelllosgrößenverfahren (Stichprobe siehe Tabelle 25) im Vergleich zu den sich tatsächlich ergebenden Kosten des vergangenen Jahres. Dabei ist einerseits die Prozentzahl an positiven Einsparungen für berechenbare Artikel und andererseits aus diesen positiven Werten der Mittelwert an Einsparung gegeben.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Verfahren	Anzahl an positiven Einsparungen [%]	Durchschnittliche positive Einsparung [%]
Auffüllen bis zum Höchstbestand	26,43	56,45
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	58,44	51,51
Stückperiodenausgleichs-verfahren	56,92	51,46
Wagner-Whitin-Verfahren	56,92	51,25
Verfahren nach Groff	56,76	49,47
Silver-Meal-Verfahren	56,20	48,71
Periodenlosgröße	51,34	46,89
Harris-Andler-Verfahren	43,24	42,27
Feste Losgröße	39,97	37,34
Periodisches Bestandsmanagement	29,56	36,76
Kontinuierliches Bestandsmanagement	24,58	35,07
Exakte Losgröße	36,67	33,55
Einperiodisches Bestandsmanagement	-	-

Tabelle 28: Einsparungsergebnisse je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[285]

Mit dem *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* werden die meisten positiven Einsparungen aus der berechenbaren Basis erreicht, mit 58,44%. Das Verfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* ergibt aus den positiven Einsparungen den höchsten Durchschnittswert, allerdings sind hier nur 26,43% der berechenbaren Basis positive Einsparungen. Am schlechtesten schneiden hier die zwei Verfahren *Periodisches Bestandsmanagement* sowie *Kontinuierliches Bestandsmanagement* ab, da unter 30% der berechenbaren Basis überhaupt positive Einsparungen sind. Davon ist der Durchschnitt unter 37%.

Analyse des Gesamtoptimums

Bei einem Durchlauf der simulationsbasierten Optimierung zur Auswahl der optimalen Bestelllosgrößenverfahren je Artikel mit allen Verfahren außer dem *Einperiodischen*

[285] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Bestandsmanagement zeigte sich folgende prozentuelle Verteilung der Verfahren für optimierbare Artikel. Das *Verfahren nach Groff* ergab mit 50,78% die meisten Treffer, gefolgt vom *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* sowie dem *Harris-Andler-Verfahren*. Die zwei Verfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* sowie *Einperiodisches Bestandsmanagement* bildeten für keinen Artikel das optimale Bestelllosgrößenverfahren. Dies ist zurückzuführen auf die Nichtanwendbarkeit von letzterem sowie von fehlenden gepflegten Höchstbeständen in den Daten bei ersterem (ausgenommen 1 Artikel). Abgesehen von diesen zwei Ausnahmen, sind aber alle Algorithmen für gewisse Artikel in der Anwendung optimal.

Verfahren	**Verteilung der mit dem jeweiligen Verfahren optimierbaren Artikel [%]**
Verfahren nach Groff	50,78
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	17,20
Harris-Andler-Verfahren	11,71
Wagner-Whitin-Verfahren	8,31
Exakte Losgröße	4,27
Stückperiodenausgleichsverfahren	4,10
Silver-Meal-Verfahren	1,67
Periodisches Bestandsmanagement	0,69
Periodenlosgröße	0,69
Kontinuierliches Bestandsmanagement	0,35
Feste Losgröße	0,23
Einperiodisches Bestandsmanagement	0
Auffüllen bis zum Höchstbestand	0
Summe	**100,00**

Tabelle 29: Ergebnisse der Verteilung optimierbarer Artikel der simulationsbasierten Optimierung mit allen anwendbaren Bestelllosgrößenverfahren der gegebenen Datenbasis[286]

Dabei waren 1.733 von 4.066 Artikeln optimierbar. Tabelle 30 zeigt die prozentuelle Verteilung der Artikel, die nicht optimiert werden konnten. Zu beachten ist, dass diese Tabelle auf die gesamte Datenbasis von 4.066 Artikeln, während vorherige Tabelle nur auf die optimierbare Basis von 1.733 Artikeln berechnet wurde.

[286] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Ausschlusskriterien	Verteilung der Ausschlusskriterien [%]
kein optimales Verfahren gefunden	3,59
kein Verfahren berechenbar	37,83
keine Bestellung im letzten Jahr notwendig, daher keine Optimierung möglich	15,96
Summe	**57,39**

Tabelle 30: Ausschlusskriterien der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[287]

Als Hauptausschlusskriterium erkennt man mit 37,83%, dass kein Verfahren aufgrund fehlender Datenbasis berechenbar ist. Bei nur 3,59% aller Artikel ist die Anwendung von optimalen Bestelllosgrößenverfahren weniger wirtschaftlich als mit auf Erfahrung basierten Bestellungen. Wie bei Tabelle 25 beschrieben, kann bei Berechnung des Gesamtoptimums eine höhere Prozentzahl an berechenbaren Artikeln als bei Einzelberechnung der Verfahren herauskommen. Dies ist auch der Fall, da 62,17% (=100%-37,83%) aller Artikel grundsätzlich berechenbar sind, während 61,66% bei Berechnung nur eines Verfahrens maximal erreicht werden können.

Im Folgenden werden gesamtheitlich die typischen Verbrauchs- bzw. Bedarfsverläufe je optimalem Verfahren des vergangenen Jahres analysiert. Betrachtet werden hierbei die Nettobedarfsverläufe. Allgemein ist zu erkennen, dass der Nettobedarf für eine Großzahl der Artikel erst nach ein paar Perioden größer als 0 ist. Das liegt daran, dass der Lagerbestand für viele Artikel hoch ist und erst dann ein Nettobedarf entsteht, wenn der Meldebestand ausgelöst wird. Eine Periode ist hier eine Woche.

Folgende Bedarfsmuster, welche sich aus den Daten von Unternehmen 1 ergeben, werden analysiert:

[287] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

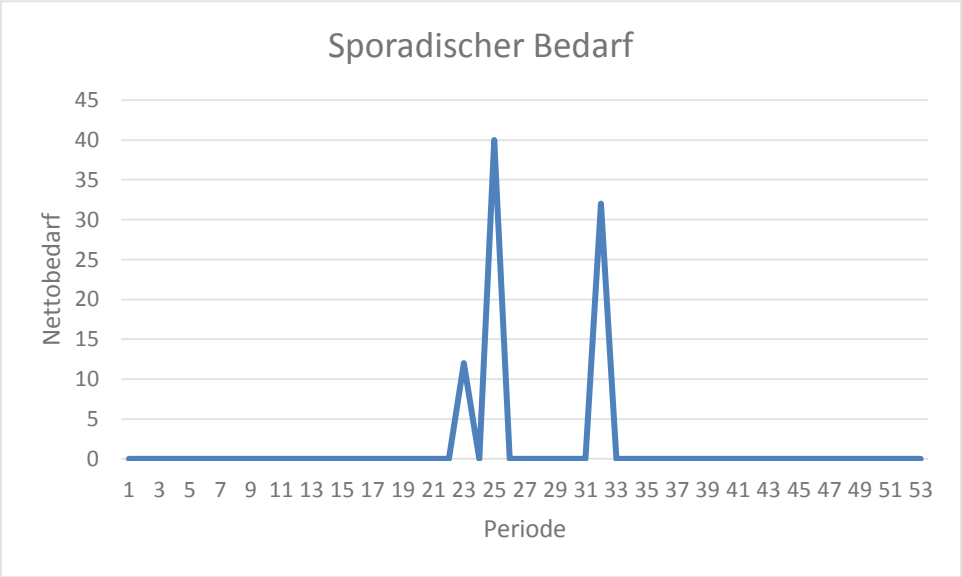

Abbildung 24: Beispielhafter sporadischer Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis[288]

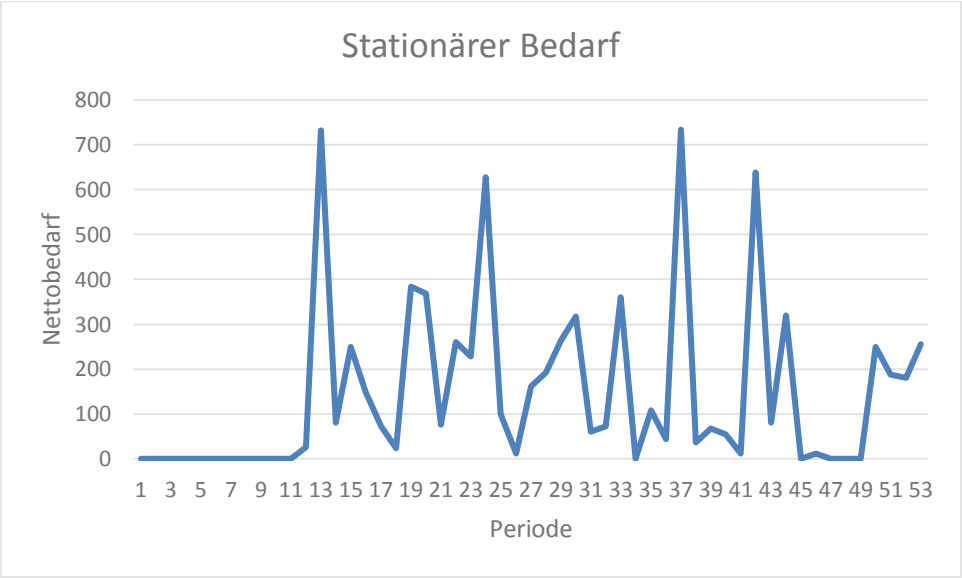

Abbildung 25: Beispielhafter stationärer Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis[289]

[288] Eigendarstellung
[289] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

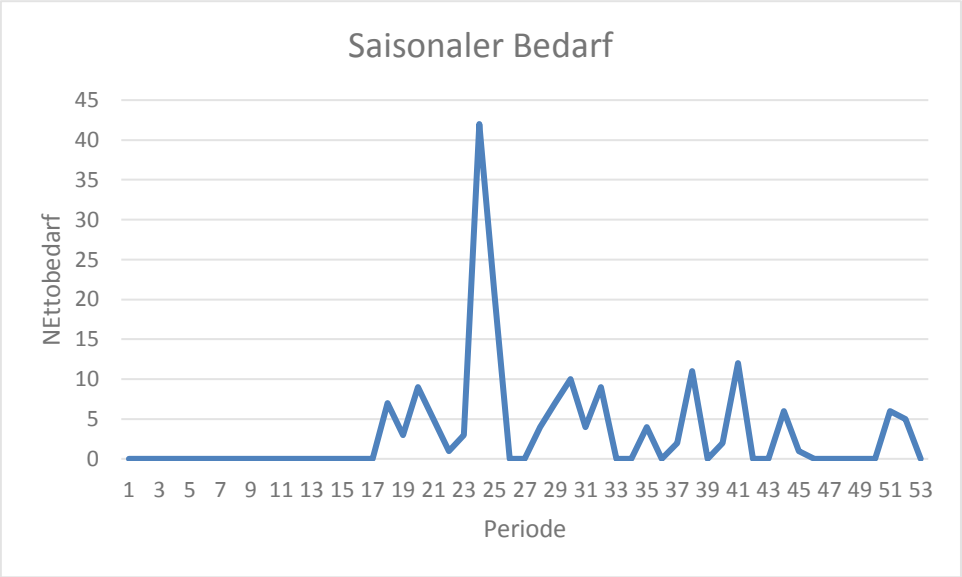

Abbildung 26: Beispielhafter saisonaler Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis[290]

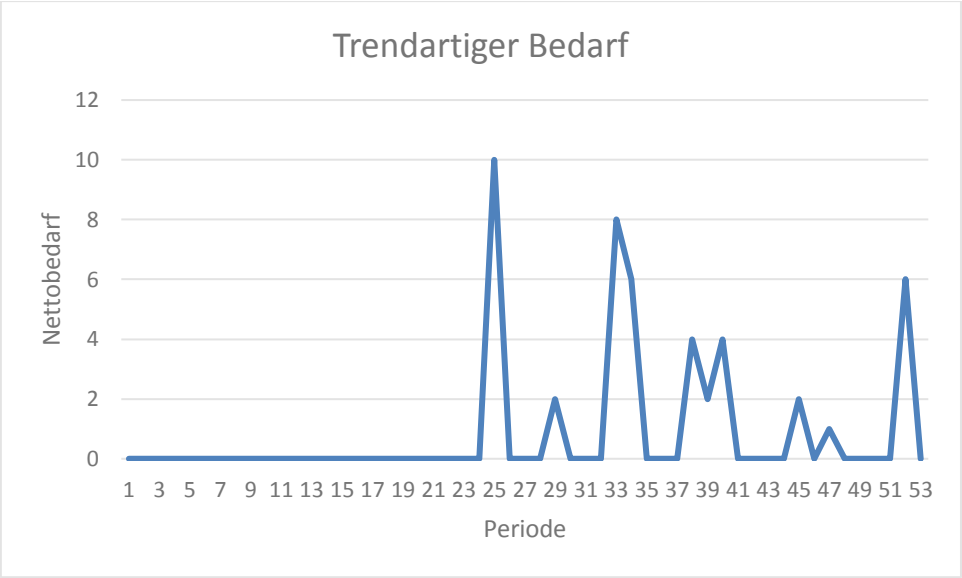

Abbildung 27: Beispielhafter trendartiger Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis[291]

[290] Eigendarstellung
[291] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

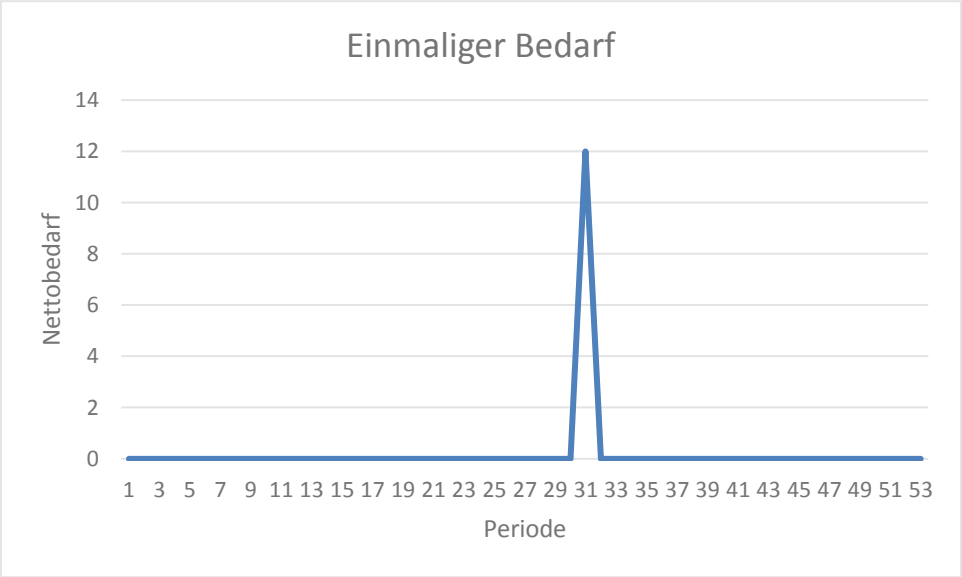

Abbildung 28: Beispielhafter einmaliger Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis[292]

Die Analyse der Verbrauchsverläufe jedes Bestelllosgrößenverfahrens wurde visuell durchgeführt, da keine auf Zahlengrenzen beruhende Bewertungsmethode für so eine Evaluierung existiert. Hierzu wurde jeweils eine Stichprobe von maximal 100 Artikeln (erste 100) betrachtet. Die Ergebnisse der Analyse finden sich in Tabelle 31.

Verfahren / Verbauchsverlauf	**Sporadisch**	**Stationär**	**Saisonal**	**Trendartig**	**Einmalig**
Harris-Andler-Verfahren	x	x	x	x	-
Einperiodisches Bestandsmanagement	.	.	.	.	.
Exakte Losgröße	x	x	-	x	x
Feste Losgröße	x	x	-	-	-
Auffüllen bis zum Höchstbestand	.	.	.	.	.
Verfahren nach Groff	x	x	x	x	x
Silver-Meal-Verfahren	x	x	x	x	-
Periodisches Bestandsmanagement	x	-	-	x	-
Kontinuierliches Bestandsmanagement	x	-	-	-	-
Wagner-Whitin-Verfahren	x	x	x	x	-
Stückperiodenausgleichs-verfahren	x	x	x	-	-
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	x	x	x	x	-
Periodenlosgröße	x	x	-	-	-
Legende: x geeignet . nicht ermittelbar - nicht geeignet					

Tabelle 31: Ergebnisse der Verbrauchsverläufe für die optimalen Bestelllosgrößenverfahren der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[293]

[292] Eigendarstellung
[293] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Man erkennt, dass nur das *Verfahren nach Groff* für alle Arten von Verbrauchsverläufen optimal anwendbar ist. Außerdem stechen hier die Algorithmen *Periodisches Bestandsmanagement* sowie *Kontinuierliches Bestandsmanagement* heraus, die nur für ein bzw. zwei Arten von Verbrauchsverläufen gut einsetzbar sind. Zudem ist der Verbrauchsverlauf, bei dem nur einmalig ein Verbrauch auftritt, nur mit dem *Verfahren nach Groff* und der *Exakten Losgröße* optimal berechenbar.

Beim Gesamtergebnis der Optimierung (=SOLL) werden ebenfalls die durchschnittliche Bestelllosgröße und Anzahl an Bestellungen analysiert. Die Ergebnisse, auch jener der Durchschnittswerte der tatsächlichen Bestellungen des vergangenen Jahres (=IST), finden sich in Tabelle 32 wieder. Auch hier wird nur die optimierbare Basis (1.733 Artikel) betrachtet.

	IST	**SOLL**
Durchschnittliche Bestelllosgröße	657,64	419,57
Durchschnittliche Anzahl an Bestellungen	2,14	0,82

Tabelle 32: Durchschnittliche Bestelllosgröße und Anzahl an Bestellungen des Gesamtergebnisses für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[294]

Man erkennt, dass sowohl die durchschnittliche Bestelllosgröße als auch die durchschnittliche Anzahl an Bestellungen bei optimaler Berechnung deutlich sinken. Erstere reduziert sich um 36,20% und zweitere sogar um 61,68%. Dies deutet auf einen hohen Lagerbestand aufgrund zu häufiger und zu hoher Bestellmengen hin.

Für die optimierbare Basis (1.733 Artikel) zeigte sich eine mögliche absolute Einsparung von 416.658€ im vergangenen Jahr in Bezug auf die tatsächlich mit diesen Bestellartikeln angefallenen Kosten, prozentuell ist dies 55,86%. Zwar ist die Einsparung mit dem Bestelllosgrößenverfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* mit 56,45% auf Verfahrensebene höher, allerdings wären in dem Fall auch nur 166 Artikel optimierbar. Damit ist ersichtlich, dass das Anwenden der 13 Bestelllosgrößenverfahren optimalere Ergebnisse bringt als nur mit einem Bestelllosgrößenverfahren. Auch muss die Parametrisierung zur Auswahl der Bestelllosgrößenverfahren nicht näher analysiert werden, da das Ergebnis zeigt, dass am besten alle Verfahren für die Berechnung konfiguriert werden.

In den folgenden Tabellen (Tabelle 33 und Tabelle 34) sind die tatsächlich angefallenen Kosten der optimierbaren 1.733 Artikel des vergangenen Jahres sowie die sich ergebenden Kosten mit Anwendung von optimalen Bestelllosgrößenverfahren aufgeführt.

[294] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kosten von Februar 2020 - Jänner 2021 bei tatsächlich getätigten Bestellungen	
Variable Stückkosten über Nebenkosten-IST	130.298,38€
Wareneingangskosten-IST	103.386,04€
Internen Kosten Prozessanalyse-IST	22.969,14€
Lagerkosten-IST	65.230,81€
Kapitalkosten-IST	359.415,79€
Unterbestandskosten-IST	3.322,04€
Buchhaltungskosten-IST	5.863,92€
Kosten über Nebenkosten-IST	55.381,82€
SUMME-IST	**745.867,94€**

Tabelle 33: IST-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[295]

Kosten von Februar 2020 - Jänner 2021 bei Anwendung optimaler Bestelllosgrößenverfahren	
Variable Stückkosten über Nebenkosten-SOLL	26.465,02€
Wareneingangskosten-SOLL	39.916,95€
Internen Kosten Prozessanalyse-SOLL	9.132,43€
Lagerkosten-SOLL	33.390,53€
Kapitalkosten-SOLL	184.462,79€
Unterbestandskosten-SOLL	11.851,86€
Buchhaltungskosten-SOLL	2.337,30€
Kosten über Nebenkosten-SOLL	21.652,62€
SUMME-SOLL	**329.209,50€**

Tabelle 34: SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[296]

Differenz IST-SOLL der Kosten von Februar 2020 - Jänner 2021	
Variable Stückkosten über Nebenkosten	103.833,36€
Wareneingangskosten	63.469,09€
Internen Kosten Prozessanalyse	13.836,71€
Lagerkosten	31.840,28€
Kapitalkosten	174.953€
Unterbestandskosten	-8.529,82€
Buchhaltungskosten	3.526,62€
Kosten über Nebenkosten	33.729,20€
SUMME	**416.658,44€**

Tabelle 35: Differenz aus IST-SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis[297]

Man erkennt eine Einsparung bei allen aufgelisteten Kostenpositionen außer bei den Unterbestandskosten.

[295] Eigendarstellung
[296] Eigendarstellung
[297] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Aufgrund der vorhandenen Unterbestandskosten bei der simulationsbasierten Anwendung von Bestelllosgrößenverfahren im vergangenen Jahr, wurde eine weitere Optimierung eingeführt. Im Rahmen der Diplomarbeit von *Patrick Brandstetter*[298] wurden für jene Artikel, welche bei fehlendem Sicherheitsbestand Unterbestandskosten verursachen würden, optimierte Sicherheitsbestände berechnet. Dabei wurden folgende elf Verfahren angewendet:

1. *Sicherheitsbestand mit dynamischem Servicelevel*
2. *Theory of Constraints*
3. *Service Level Methode*
4. *Sicherheitsbestand dynamisch*
5. *ABC/XYZ Sicherheitsbestand*
6. *Dynamische Sicherheitsbestandsberechnung mit Ziel-SG*
7. *Sicherheitsbestand mit Ziel-SG*
8. *Percent-Fill Methode*
9. *Lagrange Sicherheitsbestand*
10. *Sicherheitsbestand mit SG 100*
11. *Fixe Sicherheitsbestandsberechnung*

Die Sicherheitsbestandsverfahren wurden mit einer Prioritäts-Reihung versehen, welche auf Grundlage von zu berücksichtigenden Unsicherheitsfaktoren in der Bestandsrechnung durch die höchstgereihten Sicherheitsbestandsalgorithmen am meisten und durch die niedrigstgereihten Algorithmen am wenigsten berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass immer das Verfahren mit höchster Priorität für einen Artikel berechnet wird, wenn das möglich ist. Sind für dieses Verfahren nicht die notwendigen Daten vorhanden, wird das Verfahren mit Priorität 2 berechnet. In gleicher Weise gilt dies auch für die restlichen Sicherheitsbestandsverfahren. Nach mehreren experimentellen Versuchen mit unterschiedlichen Priorisierungen der Sicherheitsbestandsverfahren erwies sich folgende Priorisierung in Tabelle 36 als am geeignetsten. Die Relevanz ergab sich durch die geringste Artikelanzahl mit Unterbestandskosten bei Anwendung von simulationsbasierter Optimierung im *„Purchase Order Octopus“*.

[298] vgl. Brandstetter, 2021, S.1ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Priorität der Anwendung	Sicherheitsbestandsverfahren
1	*Theroy of Constraints*
2	*Dynamische Sicherheitsbestandsberechnung mit Ziel-SG*
3	*Sicherheitsbestand mit Ziel-SG*
4	*Sicherheitsbestand mit dynamischem Servicelevel*
5	*Service Level Methode*
6	*ABC/XYZ Sicherheitsbestand*
7	*Sicherheitsbestand dynamisch*
8	*Sicherheitsbestand mit SG 100*
9	*Fixe Sicherheitsbestandsberechnung*
10	*Lagrange Sicherheitsbestand*
11	*Percent-Fill Methode*

Tabelle 36: Eingestellte Priorisierung zur Sicherheitsbestandsberechnung für Artikel mit Unterbestandskosten[299]

Die Analyse mit neu berechneten Sicherheitsbeständen wurde nur auf Gesamtsicht bei Anwendung aller Bestelllosgrößenverfahren betrachtet. Die Evaluierung nur auf Artikelebene entfällt.

Zu Beginn wird ein Vergleich von hinterlegten Sicherheitsbeständen aus dem ERP-System von Unternehmen 1 sowie der neu berechneten Sicherheitsbeständen durchgeführt. Es wird einerseits der arithmetische Mittelwert der Sicherheitsbestände > 0 aller Artikel berechnet und andererseits auch die Artikel mit einem Sicherheitsbestand > 0 gezählt, siehe Tabelle 37.

	Hinterlegter Sicherheitsbestand	**Berechneter Sicherheitsbestand**
Arithmetischer Mittelwert von Sicherheitsbeständen > 0	86,82	842,87
Anzahl an Artikeln mit einem Sicherheitsbestand > 0	118	595

Tabelle 37: Vergleich der hinterlegten und berechneten Sicherheitsbeständen[300]

Zu sehen ist, dass sowohl der arithmetische Mittelwert von Sicherheitsbeständen > 0, als auch die Anzahl an Artikeln mit einem Sicherheitsbestand > 0 beim berechneten Sicherheitsbestand höher ist. Dieses Ergebnis war zu erwarten, da mit höheren Sicherheitsbeständen geringere bzw. keine Unterbestandskosten das Ziel sind. Außerdem ist zu erwähnen, dass nicht bei jedem Artikel ein Sicherheitsbestand vorhanden sein muss, um ein optimales Kostenergebnis zu erhalten, sondern nur bei

[299] Eigendarstellung
[300] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

jenen Artikeln bei denen die Gefahr von Unterdeckung und somit von Unterbestandskosten besteht.

Geprüft wurde auch, ob sich die Verteilung der optimalen Bestelllosgrößenverfahren für optimierbare Artikel bei neuem Sicherheitsbestand ändert, siehe Tabelle 38.

Verfahren	**Verteilung der mit dem jeweiligen Verfahren optimierbaren Artikel [%]**
Verfahren nach Groff	51,47
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	22,16
Wagner-Whitin-Verfahren	8,48
Harris-Andler-Verfahren	8,25
Stückperiodenausgleichsverfahren	4,73
Silver-Meal-Verfahren	2,71
Exakte Losgröße	1,96
Periodisches Bestandsmanagement	0,81
Kontinuierliches Bestandsmanagement	0,69
Periodenlosgröße	0,40
Einperiodisches Bestandsmanagement	0
Feste Losgröße	0
Auffüllen bis zum Höchstbestand	0
Summe	**100,00**

Tabelle 38: Ergebnisse der Verteilung optimierbarer Artikel der simulationsbasierten Optimierung mit allen anwendbaren Bestelllosgrößenverfahren der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu[301]

Im Vergleich zu Tabelle 29, zeigen sich kleine Unterschiede in den Ergebnissen. Das *Verfahren nach Groff* sowie das *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* zeigen sich bei Berechnung mit unterschiedlichen Sicherheitsbeständen bei beiden Varianten als optimal für die meisten Artikeln. Bei Ermittlung mit neu berechneten Sicherheitsbeständen ist bei den zwei Verfahren eine noch höhere prozentuelle Abdeckung zu sehen. Bei den weiteren Bestelllosgrößenverfahren zeigen sich kleine prozentuelle Veränderungen, die auch eine andere Reihenfolge an relevantesten Bestelllosgrößenverfahren auslösen. Das Verfahren *Feste Losgröße* erwies sich bei Berechnung mit neu ermittelten Sicherheitsbeständen für keinen Artikel als optimal, anders als bei Berechnung mit hinterlegten Sicherheitsbeständen.

Bei Anwendung der simulationsbasierten Optimierung für die gegebene Datenbasis waren bei Berechnung mit neuen Sicherheitsbeständen insgesamt 1.762 von 4.066 Artikeln optimierbar. Die jeweiligen Ausschlusskriterien finden sich in Tabelle 39. Es

[301] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ist zu beachten, dass sich ein Unterschied im Vergleich zur Berechnung mit hinterlegten Sicherheitsbeständen ergibt (zuvor waren 1.733 von 4.066 Artikeln optimierbar), da sich durch die Integration der neuen Sicherheitsbestände teilweise andere und außerdem mehr optimierbare Artikel ergeben.

Ausschlusskriterien	**Verteilung der Ausschlusskriterien [%]**
kein optimales Verfahren gefunden	2,56
kein Verfahren berechenbar	37,80
keine Bestellung im letzten Jahr notwendig, daher keine Optimierung möglich	16,31
Summe	**56,67**

Tabelle 39: Ausschlusskriterien der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu[302]

Im Vergleich zu Tabelle 30, zeigen sich nur minimale Unterschiede. Das Ausschlusskriterium „kein Verfahren berechenbar“ ist in beiden Fällen das Hauptkriterium, gefolgt von „keine Bestellung im letzten Jahr notwendig, daher keine Optimierung möglich“ und „kein optimales Verfahren gefunden“.

Die typischen Verbrauchsverläufe für Artikel mit den jeweiligen berechneten optimalen Bestelllosgrößenverfahren, siehe Tabelle 31, wurden mit den neu berechneten Sicherheitsbeständen nicht analysiert, da keine Unterschiede zu erwarten sind.

Verglichen wurden jedoch noch die durchschnittliche Losgröße sowie durchschnittliche Anzahl an Bestellungen für die 1.762 berechenbaren Artikeln. Für die Berechnung mit den neuen Sicherheitsbeständen ergeben sich folgende Werte, siehe Tabelle 40.

	Berechnung mit neuen Sicherheitsbeständen
Durchschnittliche Bestelllosgröße	433,09
Durchschnittliche Anzahl an Bestellungen	0,87

Tabelle 40: Durchschnittliche Bestelllosgröße und Anzahl an Bestellungen des Gesamtergebnisses für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu[303]

Im Vergleich zur Berechnung mit hinterlegten Sicherheitsbeständen, siehe Tabelle 32, zeigt sich eine kleine Erhöhung der durchschnittlichen Losgröße sowie durchschnittlichen Anzahl an Bestellungen. Dieses Ergebnis ist nachvollziehbar, da die Unterbestandskosten minimiert werden sollen und das durch höhere und häufigere Bestellungen erreicht werden kann.

Zuletzt wird noch die relevanteste Analyse durchgeführt, jene der Kosten. Hier zeigen sich folgende Ergebnisse bei Berechnung der Differenz zwischen IST- und SOLL-

[302] Eigendarstellung
[303] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kosten der 1.762 berechenbaren Artikel mit neuen Sicherheitsbeständen, siehe Tabelle 41.

Differenz IST-SOLL der Kosten von Februar 2020 - Jänner 2021 (SOLL = mit neuen Sicherheitsbeständen)	
Variable Stückkosten über Nebenkosten	99.364,93€
Wareneingangskosten	59.817,39€
Internen Kosten Prozessanalyse	13.040,12€
Lagerkosten	29.636,54€
Kapitalkosten	163.135,59€
Unterbestandskosten	-2.950,51€
Buchhaltungskosten	3.325,75€
Kosten über Nebenkosten	34.666,77€
SUMME	**400.036,58€**

Tabelle 41: Differenz aus IST-SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu[304]

In Vergleich zu Tabelle 35, zeigen sich ebenfalls alle Kostenpositionen außer den Unterbestandskosten als geringer mit Anwendung von optimalen Bestelllosgrößenverfahren im Gegensatz zu den tatsächlich angefallenen Kosten. Die negative Differenz an Unterbestandskosten hat sich jedoch deutlich verkleinert, von -8.529,82€ auf -2.950,51€. Bei allen anderen Kostenpositionen außer den Kosten über Nebenkosten zeigt sich eine höhere Einsparung bei Anwendung mit hinterlegten Sicherheitsbeständen als bei Anwendung mit neuen Sicherheitsbeständen. Dies ist auf die höheren und häufigeren Bestellungen zurückzuführen. Die gesamte Einsparung reduziert sich bei Anwendung mit neuen Sicherheitsbeständen von 416.658,44€ auf 400.036,58€. In Prozent ergibt dies eine Verkleinerung der Einsparung von 55,86% mit hinterlegten auf 55,22% mit neuen Sicherheitsbeständen.

Zuletzt wurde noch verglichen, wie viele Artikel mit Unterbestandskosten bei Gesamtdurchlauf der simulationsbasierten Optimierung mit hinterlegten und neuen Sicherheitsbeständen existieren. In der Tabelle 42 finden sich die Werte hierfür für alle Artikel sowie für die optimierbare Basis. Dabei wurden jene Artikel ausgeschlossen, die sowohl bei den IST- als auch SOLL-Kosten Unterbestandskosten ergeben. Das wurde aufgrund von hier vorhandenen Datenfehlern gemacht, da bei den Daten des vergangenen Jahres keine Lagerbestände < 0 vorkommen dürfen und somit jene berechneten Unterbestandskosten nicht valide sein können.

[304] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	Berechnung mit hinterlegten Sicherheitsbeständen	Berechnung mit neuen Sicherheitsbeständen
Anzahl an Artikeln mit Unterbestandskosten von allen Artikeln	451	119
Anzahl an Artikeln mit Unterbestandskosten von optimierbaren Artikeln	354	107

Tabelle 42; Vergleich der Anzahl an Artikeln mit Unterbestandskosten von allen und optimierbaren Artikeln der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu vs. hinterlegt[305]

Auch hier ist eine deutliche Verbesserung um ca. 70% ersichtlich. Damit führt die Berechnung von optimalen Sicherheitsbeständen zu wirtschaftlicheren Ergebnissen, denn hohe Warenverfügbarkeit zur Gewährleistung der Lieferfähigkeit gegenüber den Kunden ist in der Logistik bzw. Materialdisposition eines der größten Ziele.

7.2.2 Auswertung prognosebasierte Simulation

Auf Basis der berechneten Ergebnisse aus der simulationsbasierten Optimierung für die Anwendung mit und ohne optimierten Sicherheitsbeständen wurde die prognosebasierte Simulation ausgeführt und wird im Folgenden ausgewertet.

Aufgrund von fehlenden Prognosedaten oder Lieferzeit aus dem Modell sind nicht alle Artikel, die gemäß simulationsbasierter Optimierung berechenbar waren, auch für die prognosebasierte Simulation auswertbar. In Tabelle 43 findet sich demnach eine Auswertung der Berechenbarkeit mit den unterschiedlichen Lieferzeiten mit und ohne optimierte Sicherheitsbestände in absoluten und relativen Zahlen.

[305] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	Lieferzeit aus ERP-System ohne optimierte SB	Lieferzeit aus Modell ohne optimierte SB	Lieferzeit aus ERP-System mit optimierten SB	Lieferzeit aus Modell mit optimierten SB
Berechenbare Artikel [abs.]	1654	1622	1687	1669
Berechenbare Artikel bezogen auf Ursprungs-datenbasis [%]	40,68	39,89	41,49	41,05

Tabelle 43: Berechenbarkeit der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis[306]

Die höchste Abdeckung zeigt sich hier für eine prognosebasierte Simulation mit optimierten Sicherheitsbeständen sowie mit der Lieferzeit aus dem ERP-System. Mit und ohne optimierten Sicherheitsbestände können in beiden Fällen weniger Artikel mit der Lieferzeit aus dem Modell berechnet werden, da diese für weniger Artikel als die Lieferzeit aus dem ERP-System vorliegt. Die unterschiedliche Berechnungsbasis mit und ohne optimierte Sicherheitsbestände ergibt sich aus den jeweiligen optimierbaren Artikeln aus der simulationsbasierten Optimierung und ob zu diesen Prognosedaten existieren.

Für die berechenbare Basis (Stichprobe siehe Tabelle 43) der prognosebasierten Simulation sind in Tabelle 44 jeweils die durchschnittliche Losgröße sowie Anzahl an Bestellungen ersichtlich.

	Lieferzeit aus ERP-System ohne optimierte SB	Lieferzeit aus Modell ohne optimierte SB	Lieferzeit aus ERP-System mit optimierten SB	Lieferzeit aus Modell mit optimierten SB
Durchschnittliche Losgröße	342,83	346,91	326,44	333,86
Durchschnittliche Anzahl an Bestellungen	1,52	1,47	1,46	1,40

Tabelle 44: Durchschnittliche Losgröße und Anzahl an Bestellungen für berechenbare Artikel der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis[307]

Im Vergleich zur simulationsbasierten Optimierung, siehe Tabelle 32, bei der mit der Lieferzeit aus dem ERP-System gerechnet wird, erkennt man ohne optimierte Sicherheitsbestände, dass die durchschnittliche Losgröße abnimmt, während die durchschnittliche Anzahl an Bestellungen zunimmt. Dieselbe Beobachtung kann auch

[306] Eigendarstellung
[307] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

für die Berechnung mit optimierten Sicherheitsbeständen gemacht werden, siehe Tabelle 40. Es zeigen sich nur minimale Unterschiede zwischen der Berechnung mit der Lieferzeit aus dem ERP-System und mit jener aus dem Modell.

Mit der Lieferzeit aus dem ERP-System wird außerdem beispielhaft das Verhalten der Bestellmengen und -zeitpunkten bei geringerem Prognosezeitraum gezeigt. Dazu wurde das MS-Excel-Tool mit vier verschiedenen Prognosebereichen gestartet.

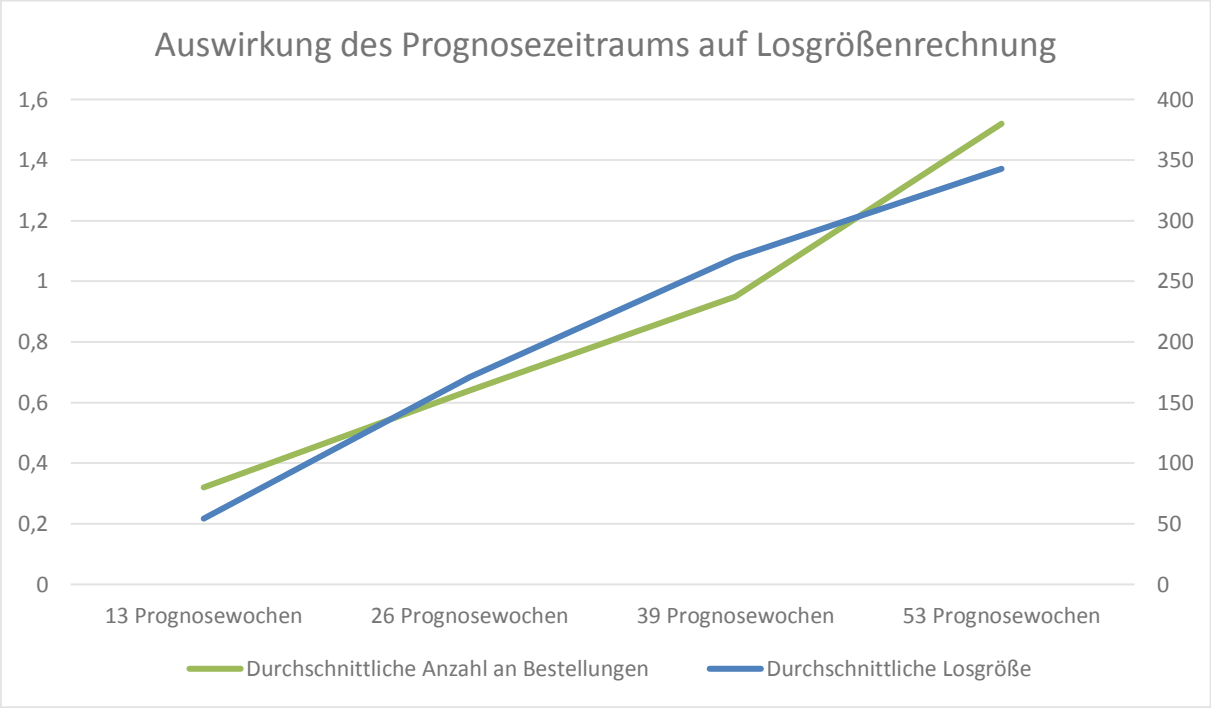

Abbildung 29: Auswirkung des Prognosezeitraums auf Losgrößenrechnung der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis[308]

Man erkennt, dass mit steigendem Prognosezeitraum auch die durchschnittliche Losgröße sowie Anzahl an Bestellungen annähernd linear zunehmen.

7.2.3 Übergreifende Auswertung

Meldebestände

Im Rahmen des *„Purchase Order Octopus“* wurden außerdem für alle Artikel neue Meldebestände berechnet, sofern dies durch die gegebene Datenbasis möglich war. Nachdem der Sicherheitsbestand in die Berechnung miteinfließt, unterscheiden sich die Meldebestände mit und ohne optimierten Sicherheitsbestände. Folgende Tabelle 45 zeigt die Anzahl an berechenbaren Meldebeständen für diese zwei Fälle, und zwar

[308] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

sowohl für das vergangene als auch das zukünftige Jahr. Meldebestände mit der Lieferzeit aus dem Modell können nur für das zukünftige Jahr parametrisiert werden, während die Berechnung mit der Lieferzeit aus dem ERP-System für das vergangene als auch das zukünftige Jahr möglich ist. Bei letzterem zeigen sich in der Berechenbarkeit keine Unterschiede.

	Ohne optimierte Sicherheits-bestände – mit Lieferzeit aus ERP-System	**Mit optimierten Sicherheits-beständen – mit Lieferzeit aus ERP-System**	**Ohne optimierte Sicherheits-bestände – mit Lieferzeit aus Modell**	**Mit optimierten Sicherheits-beständen – mit Lieferzeit aus Modell**
Anzahl an berechen-baren Melde-beständen [%]	99,11	99,11	91,39	91,39

Tabelle 45: Berechenbarkeit der Meldebestände der gegebenen Datenbasis[309]

Nach näherer Analyse ist die Nichtberechenbarkeit von Meldebeständen auf die nicht verfügbaren Lieferzeiten, aus dem ERP-System oder Modell, zurückzuführen.

Für diese berechenbare Basis zeigen sich folgende durchschnittliche Meldebestände, wobei auch die tatsächlich hinterlegten Meldebestände gemittelt wurden.

	Vergangenes Jahr – Lieferzeit aus ERP-System	**Zukünftiges Jahr – Lieferzeit aus ERP-System**	**Zukünftiges Jahr – Lieferzeit aus Modell**	**Hinterlegt aus ERP-System**
Durchschnittlicher Meldebestand ohne optimierte Sicherheitsbestände	1477,27	1214,14	2429,19	39,91
Durchschnittlicher Meldebestand mit optimierten Sicherheitsbeständen	1556,84	1336,16	2512,18	

Tabelle 46: Durchschnittliche Meldebestände mit und ohne optimierte Sicherheitsbestände der gegebenen Datenbasis[310]

Der höhere Meldebestand bei Anwendung mit der Lieferzeit aus dem Modell ist aufgrund der einzigen Änderung Lieferzeit auch auf diese zurückzuführen. Zu erkennen ist ein deutlich geringerer hinterlegter Meldebestand im Vergleich zu den

[309] Eigendarstellung
[310] Eigendarstellung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

berechneten. Bei der Analyse zeigte sich, dass bei über 86% der Artikel ein hinterlegter Meldebestand von „0“ eingetragen ist. Der Grund dafür ist unklar, jedoch ist wahrscheinlich, dass das Unternehmen nicht aufgrund von sich auslösenden Meldebeständen Losgrößen bestellt. Die Unterschiede der Meldebestände zwischen dem vergangenen Jahr (simulationsbasierte Optimierung) und dem zukünftigen Jahr (prognosebasierte Simulation) ergeben sich durch unterschiedlich hohe und häufige Warenentnahmen der jeweiligen Datenbasis.

Rechenzeit

Bei der Anwendung der simulationsbasierten Optimierung (ca. 60 Minuten) sowie der prognosebasierten Simulation (ca. 15 Minuten) zeigte sich für die verwendete Datenbasis eine Laufzeit von gesamt ca. 75 Minuten. Das ergibt 0,98 Sekunden pro Artikel. Zusätzlich muss noch das vorige Importieren der Inputdaten für den *„Purchase Order Octopus“* berücksichtigt werden. Dies dauert bei der gegebenen Datenbasis ca. 45 Minuten, 0,66 Sekunden pro Artikel. Allerdings ist zu erwähnen, dass auch der Betrachtungshorizont der Bestellungen, Lieferungen und Materialentnahmen eine Rolle spielt. Je größer der Betrachtungszeitraum, desto länger dauert der Import. Zwar wird immer derselbe Betrachtungshorizont in der Vergangenheit importiert, allerdings müssen diese Inputdaten zuvor strukturiert und pivotisiert werden. Bei der Verwendung optimierter Sicherheitsbestände zeigte sich keine Differenz der Laufzeiten. Lediglich der zusätzliche Import der berechneten Sicherheitsbeständen muss mit ein paar Sekunden für die gesamte Datenbasis addiert werden.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8 Resümee und Ausblick

Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorherigen Kapitel nochmal zusammengefasst und kritisch beleuchtet. Außerdem erfolgt eine Darstellung, wie die Ergebnisse kommuniziert wurden sowie, welche Einschränkungen die Ansätze und Ergebnisse aufweisen. Zuletzt sollen nochmal die Forschungshypothesen beleuchtet und mögliche weitere Schritte für die wissenschaftliche Erforschung offengelegt werden.

8.1 Diskussion der Ergebnisse (kritische Betrachtung)

Wie erwähnt, können Bestelllosgrößen für zukünftige Perioden mittels prognosebasierter Simulation nur so gut berechnet werden, wie es die vorhandenen Prognosedaten zulassen. Die Analyse der Prognosequalität zeigt aber, dass auch bei einer Prognosedauer von einem Jahr fast 80% der Artikel eine gute Prognosegenauigkeit der Materialentnahmen aufweisen. Je kleiner der Abstand zwischen Prognose und Berechnung, desto besser wird auch die Prognosequalität. Bei der Berechnung der Daten für die Folgeperiode wiesen sogar 45% aller Artikel eine sehr gute Prognosegenauigkeit auf. Das MS-Excel-Tool *„Demand Planning Falcon“* [311] liefert damit ausreichend gute Prognosen als Input für den *„Purchase Order Octopus“* und wird außerdem weiterhin kontinuierlich verbessert.

Bei der Evaluierung der simulationsbasierten Optimierung durchgeführt im *„Purchase Order Octopus“* zeigte sich eine höhere Berechenbarkeit an optimierbaren Artikeln bei Aktivierung aller Bestelllosgrößenverfahren als nur bei Anwendung eines Verfahrens. Abgesehen von fehlender Datenbasis kann zu einigen Artikeln auch aufgrund keiner Bestellungen im Berechnungszeitraum sowie negativen Einsparungen im Vergleich zu den tatsächlichen Bestellungen keine Optimierung durchgeführt werden. Unterschiedliche Bestelllosgrößenverfahren führen zu unterschiedlichen durchschnittlichen Bestelllosgrößen und damit zu anderen Kosten und Einsparungen. Die einzelnen Kostenabschnitte sind für unterschiedliche Bestelllosgrößenverfahren am höchsten. Das schlechteste Gesamtkostenergebnis weist allerdings das Verfahren *Kontinuierliches Bestandsmanagement* auf. Das Bestelllosgrößenverfahren, das sich für die meisten Artikeln als optimal erwies, ist das *Verfahren nach Groff* mit über 50% Abdeckung, gefolgt vom *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße*, *Harris-Andler-Verfahren* sowie *Wagner-Whitin-Verfahren.* Bei der Analyse der Verbrauchsverläufe der optimierbaren Artikel zeigt sich, dass nur das *Verfahren nach Groff* alle analysierten Materialbedarfstendenzen (sporadisch, stationär, saisonal,

[311] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

trendartig und einmalig) abdeckt. Die Eignung der angewendeten Bestelllosgrößenverfahren für eine Art des Verbrauchsverlaufs ist ansonsten je Verfahren unterschiedlich gut. Aus diesen Erkenntnissen geht klar hervor, dass für jeden Artikel ein optimales Bestelllosgrößenverfahren bestimmt werden sollte und nicht nur ein gewähltes Bestelllosgrößenverfahren für alle Artikel angewendet werden sollte. Des Weiteren wurde evaluiert, dass sowohl die durchschnittliche Losgröße als auch die durchschnittliche Anzahl an Bestellungen bei optimaler Berechnung im Vergleich zu den tatsächlichen Bestellungen deutlich sinken. Dies deutet auf einen hohen Lagerbestand aufgrund zu häufiger und zu hoher Bestellmengen hin. Die berechneten geringeren Bestelllosgrößen führen damit zu einem möglichen optimaleren Kostenergebnis des vergangenen Jahres. Insgesamt ist mit einer simulationsbasierten Optimierung eine theoretische Einsparung von 416.658,44€ (55,86%) berechnet worden. Dieses Ergebnis ist auf eine Einsparung in allen Kostenpositionen außer den Unterbestandskosten zurückzuführen. Um jene noch weiter zu optimieren, wurden daher die im Zuge einer anderen Diplomarbeit berechneten Sicherheitsbestände für die gegebenen Datenbasis in die Berechnung miteinbezogen. Mit den optimierten Sicherheitsbeständen, die für ca. fünf Mal mehr Sicherheitsbestände und einen ca. zehn Mal höheren Durchschnitt an Sicherheitsbeständen sorgen, konnte zwar nur eine etwas kleinere Einsparung (400.036,58€, 55,22%) durch höheren Bestand erreicht werden, das Ergebnis der Unterbestandskosten ist aber um ca. 75% verbessert worden. Es existieren allerdings weiterhin Unterbestandskosten, jedoch konnten mit optimierten Sicherheitsbeständen die optimierbaren Artikel mit Unterbestandskosten von 354 auf 107 deutlich minimiert werden. Eine weitere Optimierung der Sicherheitsbestände ist hier anzustreben. Durch die Anwendung von optimierten Sicherheitsbeständen ergeben sich weitere kleine Unterschiede in der Berechnung, die Hauptaussagen bleiben aber gleich.

Bei der prognosebasierten Simulation zeigt sich in der Berechenbarkeit, dass bei Verwendung der Lieferzeit ermittelt aus den vergangenen Lieferungen weniger Artikel berechenbar sind als mit der in den IT-Systemen hinterlegten Lieferzeit. Im Schnitt sind für ca. 40% aller Artikel optimale Bestelllosgrößen für das kommende Jahr ermittelbar. Im Vergleich zur simulationsbasierten Optimierung nimmt die durchschnittliche Bestelllosgröße ab, während die Anzahl an Bestellungen steigt. Diese zwei Werte steigen nahezu linear mit Zunahme der Prognoseperioden.

Die im MS-Excel-Tool *„Purchase Order Octopus"* berechneten Meldebestände sind im Schnitt um 40-60-mal höher als die im ERP-System hinterlegten. Die bis dato vorhandenen Meldebestände werden daher in der Praxis wahrscheinlich nicht als einziges Auslösekriterium für eine Bestellung verwendet.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Die Ergebnisse der Analysen zeigen das hohe Nutzenpotenzial der kostenoptimalen Optimierung der Bestellrechnung durch Bestelllosgrößenverfahren.[312] *„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“*[313] von über 55% diesen Aufwand deutlich.

Zusätzlich ist zu erkennen, dass die Kernaufgaben der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition, siehe Abbildung 4, sich gegenseitig stark beeinflussen. Die Prognosedaten aus der Prognoserechnung gehen sowohl in die Bestands-, als auch Bestellrechnung ein. Für Sicherheitsbestandsalgorithmen sind bereits Ergebnisse aus den Bestelllosgrößenverfahren notwendig. Erstere werden aber zuletzt wieder in die Bestellrechnung miteinbezogen. Damit ist eine Gesamtbetrachtung aller Hauptaufgaben der Materialdisposition zu empfehlen.

Abschließend soll noch erwähnt werden, dass eine Digitalisierung und Optimierung der Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition nur für eine verfügbare umfassende Datenbasis möglich ist. Bei allen Analysen hat sich gezeigt, dass nie alle Artikel aufgrund fehlender Datenbasis berechnet werden können. Damit kann eine 100-prozentige Abdeckung nie erreicht werden.

8.2 Veröffentlichte Papers

Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit wurden für insgesamt zwei wissenschaftliche Papers eingereicht. Die erste Einreichung wurde bei der *19. ASIM Fachtagung - Simulation in Produktion und Logistik* durchgeführt. Dieser Beitrag, *„Dispo 4.0 I Simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie“*[314], wurde von Gremium akzeptiert und wurde im September 2021 veröffentlicht.

In Zusammenarbeit mit der Diplomarbeit von *Patrick Brandstetter*[315] wurde außerdem eine Einreichung beim *Academic Track* des *Davos Digital Forum* gemacht. Dieser Beitrag, *„Digitalisierung der Bestandsrechnung in der Materialdisposition – Fallstudie einer heuristischen Optimierung und Simulation datengetriebener Sicherheitsbestandsalgorithmen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie“,* konnte allerdings nicht veröffentlicht werden, da die kostendeckende Anzahl an eingereichten Papers nicht erreicht worden ist. Das dreißigseitige Paper wird 2022 erneut zur Veröffentlichung eingereicht.

[312] vgl. Schmid u.a., 2021, S.184
[313] Schmid u.a., 2021, S.184
[314] ebenda, S.177
[315] vgl. Brandstetter, 2021, S.1ff.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8.3 Einschränkungen der Ansätze und Ergebnisse

Auch bei der angewendeten Forschungsmethode *Design Science Research Methodology* muss mit Einschränkungen gerechnet werden.

Im ersten Schritt, der Definition der Problemstellung, kann es passieren, dass die Ausgangssituation nicht ganz verstanden wird und demnach das Problem zunächst nicht richtig beschrieben wird. Ist dies der Fall, sind alle weiteren Schritte ebenfalls fehlerhaft, da keine Lösung zu einem falsch definierten Problem gefunden werden kann. Es sei aber angemerkt, dass die Beschreibung des Problems sowohl mit Absprache von Industrieunternehmen als auch mit Bestätigung durch die Literatur durchgeführt worden ist. Somit sind im ersten Schritt sowie bei der sich aus der Problemstellung ergebenden definierten Zielsetzung keine namenhaften Fehler zu erwarten.

Anders ist dies bei Design & Entwicklung. Bei der Erarbeitung der theoretischen Grundlagen sowie des Stands der Forschung könnten noch weitere Suchplattformen mit mehreren Sprachen verwendet werden. Die Suche wurde außerdem mit der subjektiven Wahl an Schlagwörtern sowie Kombinationen dieser durchgeführt. Hier können bei Variation dieser noch weitere Literaturergebnisse erscheinen. Zuletzt soll erwähnt werden, dass die Wahl zur Eignung der mit den Schlagwörtern gefundenen Literatur ebenfalls subjektiv getroffen wurde. Dieser Teil ist demnach fehleranfällig und kann mit Sicherheit noch erweitert werden.

Das daraus erstellte Modell, das *„Purchase Order Octopus“,* kann deshalb allein durch die Wahl „nicht geeigneter Literatur“ Fehler aufweisen. Außerdem soll erwähnt sein, dass das Tool eigenständig programmiert und der entwickelte Code sowie der Ablauf der einzelnen Berechnungsschritte nicht von einer zweiten Person kontrolliert wurde. Die Ergebnisse wurden zwar mit dem Betreuer jeweils evaluiert und weitere Optimierungsschleifen durchgeführt, der komplette Code wurde allerdings nicht kontrolliert. Trotzdem soll angemerkt sein, dass das digitale Planungswerkzeug mit unterschiedlichen Szenarien umfassend getestet und gefundene Fehler beseitigt wurden. Jedoch ist auch bei der Umsetzung der Algorithmen mit Einschränkungen zu rechnen, da die Literatur auf manche Detailumsetzungen keine Antwort bot und demnach mit dem Wissensstand eine Lösung ausgearbeitet werden musste. Des Weiteren bot die Literatur nur für den theoretischen Fall Lösungen der Algorithmen an. Für Anpassungen an die Investitionsgüterindustrie musste daher ebenfalls nach aktuellem Wissensstand eine Umsetzung gefunden werden. Beispielsweise fehlte in der Literatur die Berücksichtigung der Lieferzeit bei der Losgrößenrechnung.

Außerdem soll angemerkt werden, dass die simulationsbasierte Optimierung mit „Prognosen“ rechnet, die den tatsächlichen bekannten Materialentnahmen entsprechen. Diese Information lag dem Disponenten in der Vergangenheit nicht vor.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Werden auch im vergangenen Jahr Prognosedaten zu diesem Zeitpunkt verwendet, liegt das Einsparungspotential daher vermutlich etwas niedriger.

Bei der Evaluierung und Kommunikation der Ergebnisse wurde auf eine objektive Analyse geachtet. Jedoch können eventuelle weitere Trends nicht gefunden bzw. Ergebnisse nicht erkannt worden sein.

8.4 Diskussion der Forschungshypothesen

1. Die Hypothese, dass bewährte Bestelllosgrößenverfahren für die Investitionsgüterindustrie allgemein nutzbar gemacht werden können, ist durch die Umsetzung eines MS-Excel-basierten Tools belegt worden, das durch Bedienen einer einzigen Übersichtsseite ohne weiteres Know-how genutzt werden kann. Unternehmen sind zwar heute schon in der Lage, in ihren ERP-Systemen ein Bestelllosgrößenverfahren für alle Artikel auszuwählen, die Differenzierung zwischen den Verfahren je Artikel sowie optimierte Auswahl und Parametrisierung der Bestelllosgrößenverfahren ist allerdings erst durch die in dieser Arbeit entwickelte Methode bzw. das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Tool möglich.
2. Mittels *Total Cost of Ownership* Ansatz konnten theoretische Kosteneinsparungen von über 55% erreicht werden. Damit übersteigt das Ergebnis den in der Literatur angeführten Erwartungswert von bis zu 40%. Die Ergebnisse zeigen das hohe Nutzenpotential der Anwendung von Algorithmen für die Bestellrechnung der Investitionsgüterindustrie.
3. Die letzte Hypothese, dass durch die digitalisierte und automatisierte Anwendung dieses Simulationsmodells die Prozesse der Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition nahezu komplett automatisiert werden können, ist nicht bestätigt worden. Die Schwachstelle von Simulationsmodellen stellt meist die Datenverfügbarkeit dar. Diese sorgt unter anderem auch bei diesem Simulationsmodell dafür, dass nur weniger als 50% aller Artikel optimiert und simuliert werden können. Damit ist die Bestellrechnung der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition derzeit nicht vollautomatisierbar. Speziell neue Artikel, zu denen noch keine verbrauchsbezogenen Daten vorliegen, können in Simulationsmodellen nicht betrachtet werden. Jedoch ermöglicht das Simulationsmodell, die Disponenten bei Basisaufgaben zu unterstützen, sodass sich diese auf komplexere Entscheidungen konzentrieren können. Somit ist ihre Überlastung reduzierbar bei gleichzeitiger höherer Kosteneffizienz durch kostenoptimale Entscheidungen mithilfe des Simulationsmodells.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

8.5 Nächste mögliche Schritte zur Weiterentwicklung

Der *„Purchase Order Octopus“* wurde bis dato nur für Unternehmen 1 angewendet. Bei Vorhandensein der noch fehlenden Daten für Unternehmen 2 kann auch dieses ausgewertet werden. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der zwei Unternehmen könnte noch weitere Resultate hervorbringen.

Des Weiteren ist ein längerer Betrachtungshorizont für die Anwendung beider MS-Excel-Tools *„Purchase Order Octopus“* und *„Demand Planning Falcon“* [316] für die Analyse sich verändernder Ergebnisdaten zu empfehlen. Auch könnten mögliche Trends erkannt und evaluiert werden.

Auch das Ändern der Bestelllogik, statt dem Meldebestand, für statische Verfahren ist eine mögliche Weiterentwicklung. Beispielsweise kann das Kanban-Verfahren umgesetzt werden.

Außerdem können die MS-Excel-Tools noch um weitere Bestelllosgrößen- sowie Prognoseverfahren erweitert werden. Dabei könnte analysiert werden, wie sich die Verteilung der Verfahren bei Hinzufügen von noch weiteren Verfahren verändert.

Das Verfahren *Periodenlosgröße* bietet sich ebenfalls für eine umfassende Analyse an. Es kann evaluiert werden, wie dieses Verfahren optimal parametrisiert werden kann.

Weiters kann bei Verfügbarkeit von Fälligkeitsdaten verderblicher Artikel das Verfahren *Einperiodisches Bestandsmanagement* angewendet sowie eine Optimierung dieses in Bezug auf die Laufzeit angestrebt werden. Auch das Verfahren *Auffüllen bis zum Höchstbestand* kann bei verfügbarer Datenbasis analysiert werden.

Außerdem kann evaluiert werden, welche Varianten des *Wagner-Whithin-Verfahrens* in der Literatur vorkommen, abgesehen von den bereits in dieser Diplomarbeit erwähnten. Zusätzlich sollte dann dargestellt werden, zu welchen Ergebnissen die unterschiedlichen Varianten führen.

Aufgrund der trotz Anwendung von optimierten Sicherheitsbeständen immer noch vorhandenen Unterbestandskosten, kann das Zusammenspiel von optimierten Sicherheitsbeständen und Bestelllosgrößen noch weiter evaluiert und verbessert werden.

Bei den ermittelten artikelspezifischen optimalen Bestelllosgrößenverfahren ist in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass mit statischen Daten zu rechnen ist, wenn sich die Materialbedarfsverläufe für einen Artikel nicht grundlegend ändern. D.h. es wird

[316] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

davon ausgegangen, dass für jeden Artikel bei Berechnung von mehreren Betrachtungshorizonten dieselben jeweiligen optimalen Bestelllosgrößenverfahren ermittelt werden. Diese Theorie konnte allerdings aufgrund fehlender Daten für einen längeren Betrachtungshorizont nicht überprüft werden. Diese Überprüfung ist daher ebenfalls ein möglicher weiterer Schritt.

Außerdem gilt es noch weitere Dispositionsfaktoren in die Berechnung miteinzubeziehen. Beispielsweise können bei Datenpflege von Höchstbestellmengen diese berücksichtigt werden.

Des Weiteren können auch für die simulationsbasierte Optimierung vergangene Prognosedaten verwendet werden. So könnte ein den realen Dispositionsbedingungen näher angepasstes Einsparungspotential berechnet werden.

Die Nutzung des *„Purchase Order Octopus“* in Unternehmen 1 sowie weiteren ist ebenfalls ein mögliche Forschungsarbeit. Dabei kann die Erfahrung und das Feedback der Disponenten erhoben, analysiert sowie daraus Optimierungen durchgeführt werden. Weiters kann die tatsächliche Einsparung durch Nutzung des *„Purchase Order Octopus“* über einen längeren Betrachtungszeitraum ermittelt werden.

Zuletzt kann die Anwendung des *„Purchase Order Octopus“* sowie des *„Demand Planning Falcons“* [317] noch auf weitere Industrien erweitert werden. Betrachtet wurde bis dato nur ein Unternehmen der Investitionsgüterindustrie. Der Vergleich von Ergebnissen zwischen verschiedenen Industrien ist erforschbar.

[317] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9 Anhang

9.1 Prognoseverfahren

Verfahren	Formel
Arithmetischer Mittelwert	$P_t = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Y_i$
Gleitender Mittelwert	$P_{t+1} = \frac{1}{N}\sum_{i=t-N+1}^{t} Y_i$
Gewichteter gleitender Mittelwert	$P_{t+1} = \frac{1}{N}\sum_{i=t-N+1}^{t} g_i * Y_i$ wobei g_i: Gewichtungsfaktor
ARMA Modelle	$P_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^{p} a_i * P_{t-i} + \sum_{j=1}^{q} b_j * \varepsilon_{t-j}$ wobei p, q: Moving-Average-Ordnung a_i, b_j: Polynome der Ordnung p, q $\varepsilon_t, \varepsilon_{t-j}$: Rauschterme c: Konstante Es existieren noch Erweiterungen des ARMA-Modells: ARIMA, ARMAX.
Exponentielle Glättung 1.Ordnung	$P_{t+1} = \alpha * Y_t + (1-\alpha) * P_t$
Exponentielle Glättung 2.Ordnung	$L_t = \alpha * Y_t + (1-\alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1-\beta) * T_{t-1}$ $P_{t+p} = L_t + p * T_t$
Verfahren von Holt-Winters	$L_t = \alpha * \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1-\alpha) * (L_{t-1} + T_{t-1})$ $T_t = \beta * (L_t - L_{t-1}) + (1-\beta) * T_{t-1}$ $S_t = \gamma * \frac{Y_t}{L_t} + (1-\gamma) * S_{t-s}$ $P_{t+p} = (L_t + p * T_t) * S_{t-s+p}$
Crostons Methode	$E_{t+1} = \alpha * q +* (1-\alpha) * E_t$ $P_{t+1} = \alpha * Y_t + (1-\alpha) * P_t$ $P = \frac{P_{t+1}}{E_{t+1}}$ wobei E_{t+1}: Zeitspanne bis nächster Bedarf q: Abstand zwischen den letzten beiden Perioden mit positivem Bedarf

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Lineare Regression	$$\sum_{t=1}^{N}(Y_t - (a * t_t + b))^2 \rightarrow Min$$ wobei a: Steigung der Geraden b: Achsenabschnitt der Geraden t_t: Zeitpunkt der Periode t
Multiple Regression	Prognose mit Saison-Dummyvariablen $P_t = \beta_0 + \beta_1 * t + Y_1 * d_{1t} + Y_2 * d_{2t} + \varepsilon_t$ d_{1t}, d_{2t}: Dummyvariablen β_0, β_1: Regressionsparameter ε_t: Stichprobenelement Prognose mit trigonometrischen Funktionen: $P_t = b_0 + b_1 * t + b_2 * \sin\left(\frac{2 * \pi * t}{z}\right) + b_3 * \cos\left(\frac{2 * \pi * t}{z}\right)$ wobei b_i: Parameter z: Saisonperioden
Methode der kleinsten quadratischen Abweichung	$$S = \sum_{i=1}^{N}(y_i - a - b * x_i)^2 \rightarrow Min$$ S: Schätzfunktion a: Absolutbetrag der Schätzfunktion b: Steigung der Schätzfunktion y_i: geschätzte Bedarfsmenge x_i: tatsächliche Bedarfsmenge

Tabelle 47: Zusammenfassung der Formeln der Prognoseverfahren der stochastischen Bedarfsermittlung

Verfahren	**Vorteile**	**Nachteile**
Arithmetischer Mittelwert	Einfache Anwendung, gute Ergebnisse bei konstanten bzw. stationären Bedarfsverläufen	Schlechte Ergebnisse bei schwankenden, saisonalen, linearen und progressiven Bedarfsverläufen, große Datenmenge
Gleitender Mittelwert	Einfache Anwendung, gute Ergebnisse bei konstanten bzw. stationären Bedarfsverläufen, bedingt geeignet für lineare und schwankende Bedarfsverläufe, kleinere Datenmenge und bessere Reaktion auf Bedarfsschwankungen als beim arithmetischen Mittelwert	Schlechte Ergebnisse bei saisonalen und progressiven Bedarfsverläufen, abhängig vom Betrachtungszeitraum träge oder starke Reaktion auf Schwankungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gewichteter gleitender Mittelwert	Höhere Gewichtung des Einflusses aktueller Daten, gute Ergebnisse bei konstanten bzw. stationären Bedarfsverläufen	Aufwändige Berechnung, laufende Kontrolle der Gewichtungsfaktoren notwendig, schwierige Wahl der Gewichtungsfaktoren, i.A. schlechte Ergebnisse bei schwankenden, saisonalen, linearen und progressiven Bedarfsverläufen
ARMA Modelle	Sowohl auf deterministische als auch stochastische Zeitreihen anwendbar, gute Ergebnisse auch bei schwankenden Bedarfsverläufen	Komplexe Berechnung, fehlende Größen müssen zuerst noch berechnet werden, bei höherer Ordnung großer Speicherbedarf an Daten
Exponentielle Glättung 1.Ordnung	Einfache Anwendung, gute Ergebnisse bei konstanten bzw. stationären Bedarfsverläufen, geringer Speicherbedarf von Daten, Berücksichtigung von Prognosefehlern	Schlechte Ergebnisse bei schwankenden, saisonalen, linearen und progressiven Bedarfsverläufen, Nachhinken von Prognosewerten, kurzer Betrachtungszeitraum
Exponentielle Glättung 2.Ordnung	Gute Ergebnisse bei linearen Bedarfsverläufen, geringer Speicherbedarf von Daten	Aufwändigere Berechnung, schlechte Ergebnisse bei schwankenden, saisonalen und progressiven Bedarfsverläufen, kurzer Betrachtungszeitraum
Verfahren von Holt-Winters	Gute Ergebnisse bei saisonalen Bedarfsverläufen	Aufwändigere Berechnung, erhöhter Speicherbedarf von Daten (mind. 3-4 Saisonzyklen), schlechte Ergebnisse bei schwankenden Bedarfsverläufen
Crostons Methode	Für schwankende Bedarfsverläufe gut geeignet, kein Nachhinken der Prognosewerte, einfache Berechnung	Keine Anwendung bei allen weiteren Bedarfsverläufen, hoher Aufwand für erste Implementierung
Lineare Regression	Gute Ergebnisse nur für lineare Bedarfsverläufe (stationär und kontinuierlich steigend oder fallend), einfach Berechnung	Eingeschränktes Einsatzgebiet
Multiple Regression	Gute Ergebnisse bei linearen und saisonal schwankenden Bedarfsverläufen	Schätzung von Parametern notwendig, Auftreten von Multikollinearität
Methode der kleinsten quadratischen Abweichung	Gute Ergebnisse, wenn Abweichung der Messwerte eine Normalverteilung bilden	Große Menge an Daten notwendig, Auftreten von Multikollinearität, nicht anwendbar bei sporadischen Bedarfsverläufen

Tabelle 48: Vor- und Nachteile der Prognoseverfahren der stochastischen Bedarfsermittlung

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9.2 Bestelllosgrößenverfahren

Verfahren	Formel
Harris-Andler-Verfahren	$\mathrm{Q} = \sqrt{\frac{2 * \mathrm{D} * \mathrm{K}}{\mathrm{h}}}$
Einperiodisches Bestandsmanagement	$Z(Q) = \sum_{y=0}^{Q} c_o * (Q - y) * p_y + \sum_{y=Q}^{\infty} c_u * (y - Q) * p_y$
Exakte Losgröße	$NB = BB - LB$
Feste Losgröße	$n = \frac{NB}{feste\ Losgröße} = \frac{BB - LB}{feste\ Losgröße}$
Auffüllen bis zum Höchstbestand	$Q = HB - LB$
Verfahren nach Groff	$d_{\tau+y} * y * (y + 1) \leq \frac{2 * K}{h}$
Silver-Meal-Verfahren	$Z^{(t)} = \frac{K + h * \sum_{t=b}^{l} (t - b) * d_{\tau+y}}{l - b + 1}$ wobei y=1,2,..,l-b
Wagner-Whitin-Verfahren	$LB_t = LB_0 + \sum_{j=1}^{t-1} Q_j - \sum_{j=1}^{t-1} d_j$ $f_t(LB_t) = \min_{\substack{Q_t \geq 0 \\ I_t + Q_t \geq d_t}} [h * LB_t + \delta(Q_t) * K + f_{t+1}(LB_t + Q_t - d_t)]$ $\delta(Q_t) = \begin{cases} 0\ if\ Q_t = 0 \\ 1\ if\ Q_t > 1 \end{cases}$ $f_l(LB_l) = \min_{\substack{Q_l \geq 0 \\ LB_l + Q_l \geq d_l}} [h * LB_l + \delta(Q_l) * K]$
Periodisches Bestandsmanagement	$t_B = \sqrt{\frac{2 * K}{h * D}}$ $S = D * (LT + t_B) + \sqrt{LT + t_B} * \sigma * z$ $z = F^{-1}{}_{0;1}(\frac{c_u}{c_u + h})$
Kontinuierliches Bestandsmanagement	$r = D * LT + \sigma * \sqrt{LT} * z$ $Q = \sqrt{\frac{2 * D * (K + L_{0;1}(z) * \sigma * \sqrt{LT} * c_u)}{h}}$

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Stückperiodenausgleichs-verfahren	$h * \sum_{t=b}^{l} (t-b) * d_t \leq K$
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	$\frac{K + \sum_{t=2}^{l} (t-1) * d_t * h}{\sum_{t=1}^{l} d_t} \leq \frac{K + \sum_{t=2}^{l-1} (t-1) * d_t * h}{\sum_{t=1}^{l-1} d_t}$
Periodenlosgröße	$Q = \sum_{0}^{t} d_t$
SELIM-Algorithmus	$Q_t = \sum_{y=t}^{t+j-1} d_y \quad Q_{t+j} = \sum_{y=t+j}^{t+\tau^*-1} d_y \quad j = 1,2,\dots,\tau^*$ $\Delta Z(j) = K - h * j * \sum_{y=t+j}^{t+\tau^*-1} d_y \quad j = 1,2,\dots,\tau^* - 1$ $\Delta Z(\tau^{**}) = \min_j [\Delta Z(j)]$ ${\tau_{TR}}^{**} = \begin{cases} \tau^{**}, falls\ \Delta Z(\tau^{**}) \leq 0 \\ \tau^*\ sonst \end{cases}$
Algorithmus von Bahl/Zionts	Ähnlich zum *Wagner-Whitin-Verfahren*, expliziter Algorithmus in der Literatur nicht dargestellt
Silver-Dixon-Verfahren	$\min \sum_{y \in Q} \sum_{t \in l} h_{yt} * LB_{yt} + \sum_{y \in Q} \sum_{t \in l} K_y * \delta_{yt}$ $\sum_{y \in Q} a_y * Q_{yt} \leq c_t \quad \forall_t$ $LB_{yt-1} + Q_{yt} - LB_t - d_{yt} = 0 \quad \forall_{yt}$ $Q_{yt} - \min \left\lfloor c_t, \sum_{r=t,l} d_{yr} \right\rfloor * \delta_{yt} \leq 0 \quad \forall_{yt}$ $Q_{yt}, LB_{yt} \geq 0 \quad \forall_{yt}$ $\delta_{yt} = \begin{cases} 0\ \ falls\ Q_{yt} > 0 \\ 1\ sonst \end{cases}$ Wobei c_t: Kapazität zum Zeitpunkt t [ME] a_y: Absorptionsrate pro Stück [ZE]
Gaither Algorithmus	$h * ({\tau^*}_1 - 1) * d_{t+{\tau^*}_1-1} < h * \sum_{y=t+{\tau^*}_1}^{t+{\tau^*}_1+{\tau^*}_2-1} d_y$ ${\tau^*}_{GA} = \begin{cases} {\tau^*}_1, falls\ ({\tau^*}_1 - 1) * d_{t+{\tau^*}_1-1} < \sum_{y=t+{\tau^*}_1}^{t+{\tau^*}_1+{\tau^*}_2-1} d_y \\ {\tau^*}_1 - 1\ sonst \end{cases}$
Algorithmus von Burwell et al.	$Q = \sqrt{\frac{2 * D(Preis) * [H * (1 + r * t) + Z + K]}{s * h}}$ Wobei H: extra fixe Bestellkosten (Mengenrabattfall) [GE], Z: extra Versandkosten (Mengenrabattfall) [GE], r: Lagerkosten während Versand [GE]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

	s: extra Versand- und Kaufkosten pro Einheit [GE] Anmerkung: Das ist ein Ausschnitt aus dem Algorithmus, es wird gleichzeitig die Losgröße und der Verkaufspreis optimiert.
Nydick/Weiss Algorithmus	$\sum_{y=t}^{t+\tau-1} h * (y-t) * d_y \leq K * f\ (Faktor)$
Algorithmus von Chang	Selbe Formel wie beim *Algorithmus von Burwell et al.*, andere Optimierung für Verkaufspreis
Saving Verfahren	Verfahren der Tourenplanung, kann auch auf Losgrößenproblem angewendet werden, Kostenersparnis je Knoten muss berechnet und verglichen werden, genaue Formel unbekannt
Wemmerlöv Regeln	$Z(\tau) \leq h * \sum_{n=t}^{t+\tau-1} (n-t) * d + \frac{1}{2} * h * (\tau^2 * d + \sum_{n=t}^{t+\tau-1} d)$
Incremental Order Quantity	$Z(\tau) \leq h * \sum_{n=t}^{t+\tau} (n-t) * d$
Tsado Regel	$Z(\tau) \leq h * \tau * (\tau_g * \tau) * d_{t+\tau} - Z_g$ Wobei Z_g: Gesamtkosten τ_g: Summenwert der Zykluslängen
Bookbinder/Tan Regeln	$Z(\tau) \leq h * \sum_{n=t}^{t+\tau} (n-t) * d + h * \tau * (\tau - 1) * d_{t+\tau}$

Tabelle 49: Zusammenfassung der Formeln der Bestelllosgrößenverfahren

Verfahren	**Vorteile**	**Nachteile**
Harris-Andler-Verfahren	Einfache Anwendbarkeit, Kostenberücksichtigung	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten, nur durchschnittliche Nachfrage berücksichtigt, Losgröße i.A. zu groß
Einperiodisches Bestandsmanagement	Berücksichtigung von Kosten und Verderblichkeit	Berücksichtigt nur verderbliche Artikel, sehr rechenaufwändig, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

		Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Exakte Losgröße	Einfach Anwendbarkeit, Berücksichtigung von Lagerbestand	kein Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen
Feste Losgröße	Einfach Anwendbarkeit, Berücksichtigung von Lagerbestand und festen Losgrößen	kein Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchstbestellmengen, Mindest- und Höchstbestand
Auffüllen bis Höchstbestand	Einfache Anwendbarkeit, Berücksichtigung von Lager- und Höchstbestand	kein Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen und Mindestbestand
Verfahren nach Groff	dynamisch, Kostenberücksichtigung, eines der exaktesten Verfahren	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Silver-Meal-Verfahren	dynamisch, Kostenberücksichtigung, gute Ergebnisse bei schwankenden und volatilen Bedarfen	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Wagner-Whitin-Verfahren	Genauestes Verfahren, dynamisch, Kostenberücksichtigung, ermittelt als einziges Verfahren zu jeder Rechenperiode das Gesamtoptimum (auch in der Vergangenheit)	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest- und Höchstbestand
Periodisches Bestandsmanagement	Dynamisch, Berücksichtigung der Lieferzeit, des Lager- und eines definierten Höchstbestands, Kosten allgemein und speziell der Unterbestandskosten	Keine Berücksichtigung von Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen & Mindestbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten, nur

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

		durchschnittliche Nachfrage berücksichtigt
Kontinuierliches Bestandsmanagement	Dynamisch, Berücksichtigung der Lieferzeit und des Lagerbestands, Kosten allgemein und speziell der Unterbestandskosten	Keine Berücksichtigung von Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen & Mindest- und Höchstbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten, nur durchschnittliche Nachfrage berücksichtigt
Stückperiodenausgleichs-verfahren	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Periodenlosgröße	Dynamisch, einfache Anwendbarkeit	kein Berücksichtigen von Kosten, Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand
SELIM-Algorithmus	dynamisch, Kostenberücksichtigung	wird in aktueller Literatur nicht mehr erwähnt, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Algorithmus von Bahl/Zionts	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Fehlende Literatur, bewiesene nicht optimale Lösung, wird in aktueller Literatur nicht mehr erwähnt
Silver-Dixon-Verfahren	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Absorptionsrate nicht näher definiert, sonst sehr ähnlich zum *Wagner-Whitin-Verfahren*, keine

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

		Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen und Mindestbestand
Gaither Algorithmus	dynamisch, Kostenberücksichtigung	wird in aktueller Literatur nicht mehr erwähnt, Kritik, dass Algorithmus wenig übersichtlich ist, methodische Kritik durch Silver, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Algorithmus von Burwell et al.	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Losgrößenoptimierung nicht einzeln betrachtbar, Kostenbetrachtung nicht eindeutig, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Nydick/Weiss Algorithmus	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Kritik, dass Algorithmus nicht nachvollziehbar ist, wird in aktueller Literatur nicht mehr erwähnt, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-, Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Algorithmus von Chang	dynamisch, Kostenberücksichtigung	Losgrößenoptimierung nicht einzeln betrachtbar, Kostenbetrachtung nicht eindeutig, keine Berücksichtigung von Lieferzeiten, Mindest-, Höchst- und fixen Bestellmengen, Mindest-,

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

		Höchst- und Lagerbestand, nur konstante fixe Bestell- sowie Lager- und Kapitalkosten
Saving Verfahren	Kostenberücksichtigung	genaue Formel unbekannt, veraltet
Wemmerlöv Regeln	Kostenberücksichtigung	Veraltet, ähnlich zum *Verfahren nach Groff*, wobei das *Verfahren nach Groff* bessere Ergebnisse liefert, wird heute nicht mehr angewendet
Incremental Order Quantity	Kostenberücksichtigung	Veraltet, wird heute nicht mehr angewendet
Tsado Regel	Kostenberücksichtigung	Veraltet, wird heute nicht mehr angewendet
Bookbinder/Tan Regeln	Kostenberücksichtigung	Veraltet, wird heute nicht mehr angewendet

Tabelle 50: Vor- und Nachteile der Bestelllosgrößenverfahren

9.3 Beschreibung des *„Demand Planning Falcons“* [318]

Der *„Demand Planning Falcon“* [319] wurde bereits entwickelt und im Zuge dieser Arbeit analysiert. Nun erfolgt eine kurze Vorstellung des MS-Excel-Tools.

Das Tool bestimmt auf Basis der Warenentnahmen der vergangenen 36 Monate den prognostizierten Absatz für die nächsten 12 Monate. Dabei werden die Warenentnahmen in der Vergangenheit prognostiziert und mit den tatsächlichen auf Basis des *mittleren quadratischen Fehlers*, im Tool *quadratischer Prognosefehler* (MSE) genannt, verglichen. Zur Prognose werden insgesamt 5 verschiedene Verfahren eingesetzt: *Verfahren von Holt-Winters*, *Exponentielle Glättung 1.Ordnung*, *Exponentielle Glättung 2.Ordnung, Einfacher Mittelwert* sowie *Gleitender Mittelwert*. Jenes Verfahren, das für einen Artikel den geringsten *quadratischen Prognosefehler* in den vergangenen 36 Monaten ausgibt, wird als optimaler Algorithmus zur Bestimmung der Warenentnahmen für die nächsten 12 Monaten ausgegeben und diese auch berechnet.

Die Bedienung des *„Demand Planning Falcons“* [320] erfolgt über eine Übersichtseite. Bei dieser müssen die Schritte 0 bis 5 nacheinander ausgeführt werden, um schließlich einen Ergebnisexport mit allen relevanten Ergebnissen und weiteren

[318] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)
[319] ebenda
[320] ebenda

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

dispositionsrelevanten Kenngrößen zu erhalten. Die Übersichtsseite ist in Abbildung 30 dargestellt.

Es erfolgt eine monatliche Aktualisierung der Daten - dafür sind die folgenden Schritte durchzuführen

Anzahl Perioden Absatzhistorie im Arbeitsvorrat	36
Anzahl Prognoseperioden im Arbeitsvorrat	12

0.) Datenvorbereitung und Pivotisierung	Dieses Makro ergänzt die Original-Daten und erstellt einen Pivot-Table, der als Basis für den Datenimport dient. Aktuell wird das **File Prognoseoptimierung_Basisdatenauszug.xlsx in demselben Arbeitsverzeichnis** aufgerufen. Es wird außerdem eine Datei „Ersetzt-Artikel.xlsx" aufgerufen und als separates Tabellenblatt auf der Hauptdatei beschrieben. Ausführungsdauer: ca. 1 Minute
1.) Import aus dem Basisdatenauszug	Mit Hilfe dieses Buttons werden die **Vergangenheitswerte der letzten 36 Monate** in das Forecasting Tool importiert. Dabei werden sämtliche Absätze (negative Werte) für die Prognoseptimierung als positiv bewertet. Als Ergebnis wird das allgemeine Arbeitsvorrat Arbeitsblatt mit allen Einträgen befüllt. Ausführungsdauer: ca. 1 Minute **ACHTUNG:** Der Import funktioniert nur, wenn der **Dateiname Prognoseoptimierung_Basisdatenauszug.xlsx auf demselben Arbeitsverzeichnis aufliegt und dort aufgerufen wird.**
2.) Arbeitsvorrat aktualisieren	Als Vorbereitung für den automatischen Planungslauf (durch den Solver) für die nächsten 12 Monate muss der Arbeitsvorrat für alle vier Methoden mit den Vergangenheitswerten über diesen Button befüllt werden. Ausführungsdauer: ca. 5 Sekunden
3.) Berechnung starten	Nach Abschluss sämtlicher vorhergegangen Schritte kann der Prognoselauf über diesen Button gestartet werden. Dabei werden alle vier Prognosemethoden in Serie ausgeführt. **WICHTIG: Sämtliche anderen Anwendungen (Outlook, andere Excel-Dateien etc.) sollten geschlossen werden, dadurch wird die Laufzeit verkürzt.** Anmerkung: Je nach Systemperformance / Serverleistung kann dies ca. 1 - 2 Tage in Anspruch nehmen! Pro Artikel stehen max. 3 Sekunden zur Optimierung der Prognoseparameter zur Verfügung.
4.) Datenexport / Aktualisierung Basisdatenauszug	Dieses Makro exportiert die Absatzhistorie und die im Vergleich ermittelt beste Prognose in ein neues Output Excel zurück und speichert dieses als .csv zurück. Ausführungsdauer: ca. 30 Sekunden. Alle zu exportierenden Artikel werden auch als Backup auf das Tabellenblatt 'Exportartikel' abgelegt und abgespeichert. **Das Ergebnisblatt wird auf demselben Arbeitsverzeichnis abgelegt, wo auch das Prognosetool liegt (Ergebnisexport_Prognosetool.csv).**
5.) Anwenderbezogenes Output-Datenfile	Dieses Makro erstellt einen anwenderbezogenen spezifishen Output mit diversen bestehenden Informationen aus dem vorherigen Datenexport sowie zusätzlichen erweitert angeführten Informationen, welche aus 2 Excel Files zusammengezogen werden

Abbildung 30: Übersichtsseite *„Demand Planning Falcon"* [321]

Im ersten Schritt, 0.) Datenvorbereitung und Pivotisierung, werden die Warenentnahmen der vergangenen 36 Monate, die einer Excel Datei vorliegen, in der Input-Datei für die Pivotisierung vorbereitet sowie eine Pivot Tabelle der Absatzwerte erstellt. Zusätzlich wird eine Datei importiert, welche angibt, welche Artikel durch welche ersetzt wurden, jene werden nicht prognostiziert.

[321] Eigenentwicklung eines auf MS-Excel basierenden Absatzprognosetools: Alexander Schmid (Industrienahe Dissertation DISPO 4.0 – FFG Förderungsnummer 872787)

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Als Nächstes, 1.) Import aus dem Basisdatenauszug, wird die im vorherigen Schritt erstellte Pivot Tabelle aus der Inputdatei in das Tool in das Tabellenblatt „Arbeitsvorrat“ importiert. Dabei werden Artikelnummern, -beschreibungen, Absatzhistorien der vergangenen 36 Monate auf Monatsbasis, Einheiten sowie Artikelgruppen aller in der Input-Datei gegebenen Artikel kopiert.

Im Schritt 2.) Arbeitsvorrat aktualisieren werden die Daten aus dem Tabellenblatt „Arbeitsvorrat“ in die jeweiligen Arbeitsvorrat Blätter der Prognoseverfahren kopiert (z.B. „Arbeitsvorrat-HoltWinter“).

Dann startet mit dem nächsten Button, 3.) Berechnung starten, die Berechnung der prognostizierten Absatzwerte der vergangenen 36 Monate mit den 5 Verfahren sowie die Ermittlung des *quadratischen Prognosefehlers* pro Artikel je Verfahren. Auf Basis des kleinsten Fehlers wird anschließend artikelspezifisch das optimale Verfahren gewählt. Auch die prognostizierten Absatzwerte für die zukünftigen 12 Monate werden je Artikel und Prognoseverfahren berechnet. Das Ergebnis der Berechnung findet sich im „Ergebnisblatt“. Außerdem hat man die Möglichkeit sich in den Tabellenblättern „Solver-xxx“ die Daten von einzelnen evaluierten Artikeln im Detail sowie grafisch dargestellt anzusehen.

Mit den letzten zwei Schritten können Ergebnisexporte in einer .csv sowie einer .xlsx Datei erstellt werden. Diese enthalten die berechneten Prognosewerte pro Artikel sowie weitere dispositionsrelevante Daten.

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

9.4 Anwenderdokumentation *„Purchase Order Octopus“* für Unternehmen 1

Anwenderdokumentation_Purchase_Order_

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

10 Literaturverzeichnis

10.1 Fachliteratur

Ahmadi, T. u.a.: Optimal randomized ordering policies for a capacitated two-echelon distribution inventory system, Computers & Industrial Engineering, Volume 124, 2018, S. 88-99

Alharkan, I. u.a.: Simulation-Based Optimization of a Two-Echelon Continuous Review Inventory Model with Lot Size-Dependent Lead Time, Processes, Volume 8, 2020, S. 1014

Andler, K.: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße, De Gruyter, 1929

Arnolds, H. u.a.: Materialwirtschaft und Einkauf, Springer Fachmedien Wiesbaden Wiesbaden, 2016

Außenwirtschaft Austria der WKÖ: Österreichische Exportwirtschaft 2021, Wien, 2021

Barton, T. u.a.: Digitalisierung in Unternehmen: Von den theoretischen Ansätzen zur praktischen Umsetzung, Angewandte Wirtschaftsinformatik, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018

Bauer, J.: Produktionscontrolling und -management mit SAP® ERP, IT-Professional, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017

Beck, F. G. u.a.: Dynamische Losgrößenplanung in ERP-Systemen, Carl Hanser Verlag, München, 2015 (zit. 2015a)

Beck, F. G. u.a.: An extension for dynamic lot-sizing heuristics, Production & Manufacturing Research, Volume 3, 2015, S. 20-35 (zit. 2015b)

Benli, O.S. u.a.: A Heuristic Procedure for a Single-Item Dynamic Lot Sizing Problem, Computers & Industrial Engineering, Volume 14, 1988, S. 181–192

Benz, J. u.a.: Logistikprozesse mit SAP: eine anwendungsbezogene Einführung; mit durchgehendem Fallbeispiel; geeignet für SAP Version 4.6A bis ECC 6.0., Vieweg + Teubner, Wiesbaden, Volume 3, 2011

Brabänder, C.: Stochastisches Bestandsmanagement: Grundmodelle für Betriebswirte, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2020

Brahimi, N. u.a.: Single-item dynamic lot-sizing problems: An updated survey, European Journal of Operational Research, Volume 263, 2017, S. 838-863

Brandstetter, P.: DISPO 4.0 -Digitalisierung der Bestandsrechnung in der Materialdisposition, Fallstudie einer heuristischen Optimierung und Simulation datengetriebener Sicherheitsbestandsalgorithmen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie, Technische Universität Wien, Wien, Diplomarbeit, 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

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, Volume 144, 2013, S. 175–179

Chowdhury, N. T. u.a.: Dynamic Economic Lot-Sizing Problem: A new O(T) Algorithm for the Wagner-Whitin Model, Computers & Industrial Engineering, Volume 117, 2018, S. 6-18

Corsten, H. u.a.: Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken, De Gruyter Oldenbourg, 2018

Crone, S. F.: Neuronale Netze zur Prognose und Disposition im Handel, Gabler Research Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung, Gabler, Wiesbaden, Volume 1, 2010

Deistler, M. u.a.: Modelle der Zeitreihenanalyse, Mathematik Kompakt, Springer International Publishing, Cham, 2018

Federer, C.: Das Zeitungsjungenproblem im Spannungsfeld zwischen Theorie, Studien und Realwirtschaft, Masterarbeit, Universität Graz, 2015

Feindt, M. u.a.: Prognosen bewerten: statistische Grundlagen und praktische Tipps, Springer Gabler, Berlin, 2015

Feldmann, C. u.a.: A holistic decision framework for 3D printing investments in global supply chains, Transportation Research Procedia, Volume 25, 2017, S. 677-694

Forster, M. u.a.: Analyse optimaler Bestellmengen für unterschiedliche Preisabsatzfunktionen und Rabattarten, Wissenschaftliche Beiträge / Technische Hochschule Wildau, 2016

Frenk, J.B.G. u.a.: An Exact Static Solution Approach for the Service Parts End-of-Life Inventory Problem, European Journal of Operational Research 272, Volume 2, 2019, S. 496–504

Furmans, K. u.a.: Betrieb von Logistiksystemen, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019

Gahse, S.: Lagerdisposition mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, Volume 18, 1965

Grabner, T.: Operations Management: Auftragserfüllung bei Sach- und Dienstleistungen, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019

Groff, G. K.: A Lot-Sizing Rule for Time-Phased Component Demand, Volume 20, 1979, S. 47–53

Gudehus, T.: Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2010

Gudehus, T.: Dynamische Disposition, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Gutenschwager, K. u.a.: Simulation in Produktion und Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2017

Haijema, R. u.a.: Improved Ordering of Perishables: The Value of Stock-Age Information, International Journal of Production Economics, Volume 209, 2019, S. 316–324

Hartman, P. L. u.a.: Nearshoring, reshoring, and insourcing: Moving beyond the total cost of ownership conversation, Business Horizons, Volume 60, 2017, S. 363-373

He, J. u.a.: A Real-Option Approach to Mitigate Disruption Risk in the Supply Chain, Omega, Volume 88, 2019, S. 133–149

Heiserich, O. u.a.: Logistik: eine praxisorientierte Einführung, Gabler, Wiesbaden, Volume 4, 2011

Helber, S.: Operations Management Tutorial, Kapitel 6: Bestandsmanagement I - Das Zeitungsjungenproblem, 2015

Hendrix, E. M. T. u.a.: On Computing Optimal Policies in Perishable Inventory Control Using Value Iteration, Computational and Mathematical Methods 1, Volume 4, 2019

Herrmann, F.: Planungsverfahren, Operative Planung in IT-Systemen für die Produktionsplanung und -steuerung, Vieweg+Teubner, Wiesbaden, 2011, S. 195-332

Herrmann, F.: Übungsbuch Losbildung und Fertigungssteuerung, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2018

Hevner, A. u.a.: Design Science in Information Systems Research, Management Information Systems Quarterly, Volume 28, 2004

Hur, M. u.a.: End-of-Life Inventory Control of Aircraft Spare Parts under Performance Based Logistics, International Journal of Production Economics, Volume 204, 2018, S. 186–203

Jacob, M.: Management und Informationstechnik, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2013

Jahns, C. u.a.: Strategisches Supply Performance Measurement, Controlling & Management, Volume 51, 2007, S. 74-82

Janz, D.; Sihn, W. u.a.: Product Redesign Using Value-Oriented Life Cycle Costing, CIRP Annals, Volume 54/1, 2005, S. 9-12

Ji, R. u.a.: Newsvendor Model as an Exchange Option on Demand and Supply Uncertainty, Production and Operations Management, Volume 28, 2019, S. 2456–2470

Kellner, F. u.a.: Produktionswirtschaft: Planung, Steuerung und Industrie 4.0, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Kersten, W. u.a.: Operational excellence in logistics and supply chains: optimization methods, data-driven approaches and security insights, Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 22, Berlin, Volume 1, 2015

Khalilpourazari, S. u.a.: Modeling and Optimization of Multi-Item Multi-Constrained EOQ Model for Growing Items, Knowledge-Based Systems, Volume 164, 2019, S. 150–162

Kianian, B. u.a.: Comparing Life Cycle Costing and Performance Part Costing in Assessing Acquisition and Operational Cost of New Manufacturing Technologies, Procedia CIRP, Volume 80, 2019, S. 428-433

Kleemann, F. C. u.a.: Einkauf 4.0: digitale Transformation der Beschaffung, Essentials, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017

Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018

Koether, R.: Taschenbuch der Logistik, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, Volume 5, 2018

Köster, C.: Bestellmengenentscheidungen bei asymmetrisch verteilter Nachfrage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2015

Larasati, R. H. u.a.: An optimization model of economic order quantity with financial constraints and market tolerance in ud plastikq, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1524, 2020

Lasch, R. u.a.: Übungsbuch Logistik, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2017

Lee, C. u.a.: Maximizing Middlemen's Profit through a Two-Stage Ordering Strategy, Computers & Industrial Engineering, Volume 155, 2021

Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016

Lohmann, R.: Erfolgsfaktor Integration, Die Produktionsplanung im Zusammenhang betrachtet, HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Volume 47, 2010, S. 60-70

Lukesch, M. u.a.: Übungsbuch Produktionswirtschaft, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2019

Lütke Entrup, M. u.a.: Sales & Operations Planning in der Konsumgüterindustrie: mit Best-Practice-Prozessen nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit steigern, Springer Gabler, Wiesbaden, 2019

Magerhans, A.: Marktforschung, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016

Maihami, R. u.a.: Pricing and Inventory Planning for Non-Instantaneous Deteriorating Products with Greening Investment: A Case Study in Beef Industry, Journal of Cleaner Production, Volume 295, 2021

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Marlina, E. u.a.: Strategic Costing Models as Strategic Management Accounting Techniques at Private Universities in Riau, International Journal of Financial Research, Indonesia, Volume 11, 2019

März, L. u.a.: Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011

Mayerhofer, P. u.a.: Oberösterreichs Industrie in der COVID-19-Krise, Wien, 2020

Micheli, G. J. L. u.a.: Reducing the total cost of supply through risk-efficiency-based supplier selection in the EPC industry, Journal of Purchasing and Supply Management, Volume 15, 2009, S. 166-177

Mishra, V. K. u.a.: Optimal Ordering Quantities for Substitutable Items under Joint Replenishment with Cost of Substitution, Operations Research and Decisions, 2017

Mokhtari, H.: Economic Order Quantity for Joint Complementary and Substitutable Items, Mathematics and Computers in Simulation, Volume 154, 2018, S. 34–47

Mulya, Y.; Inventory simulation-optimization model for small business, International Journal of Business, Economics, and Social Development 1, Volume 2, 2020, S. 55–60

Ostmeyer, J.: Zeit-flexible Losgrößen- und Reihenfolgeplanung: Modelle und Algorithmen zur Integration von Liefer- und Produktionszeitfenstern, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019

Otto, B. u.a.: Corporate Data Quality, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016

Peffers, K. u.a.: The design science research process: A model for producing and presenting information systems research, 2006

Pellengahr, K. u.a.: Vorstudie Einkauf 4.0 – Digitalisierung des Einkaufs, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Dortmund, 2016

Peters, M.: Losgrößenbetrachtungen im Prozesskettenparadigma-Methodik zur Berechnung der Losgröße auf Prozessebene, Technische Universität, (Dortmund), Diss., 2015

Pfohl, H.: Logistiksysteme, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018

Popp, A.: Stochastische dynamische Losgrößenplanung mit positiven Bestellvorlaufzeiten, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, (Ingolstadt), Diss., 2015

Prabhu, V. u.a.: Advances in Production Management Systems. Sustainable Production and Service Supply Chains, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2013, State College, PA, USA, September 9-12, 2013, Proceedings, Part II, IFIP Advances in Information and Communication Technology, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, Volume 415, 2013

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Punia, S. u.a. From Predictive to Prescriptive Analytics: A Data-Driven Multi-Item Newsvendor Model, Decision Support Systems, Volume 136, 2020

Reitner, S.: Optimale Steuerung von Rüst- und Produktionsprozessen, Johannes Kepler Universität, (Linz), Diss., 2007

Rekik, Y. u.a.: Enriching demand forecasts with managerial information to improve inventory replenishment decisions: Exploiting judgment and fostering learning. European Journal of Operational Research, Volume 261, 2017, S. 182-194

Robrade, A.: Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung, Secondary Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung, Springer, Berlin, 1991

Samuelsson, B.: Heuristic mathematical programming methods for lot-sizing, inventory control, and distribution cost estimation in the supply chain, Luleå University of Technology, (Luleå), Diss., 2017

Sanni, S. u.a.: An Economic Order Quantity Model with Reverse Logistics Program, Operations Research Perspectives, Volume 7, 2020

Schäffer, U.: Datenqualität zu sichern, ist kein Spaziergang, Controlling & Management Review, Volume 64, 2020, S. 14-19

Schlund, S. u.a.: Describing the technological scope of Industry 4.0 - A review of survey publications, Logforum, Volume 14/3, 2018, S. 341-353

Schmid, A. u.a.: Forschungsantrag «Industrienahe Dissertation 2019», Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), 2019

Schmid, A. u.a.: Dispo 4.0 I Simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition der Investitionsgüterindustrie, ASIM Fachtagung - Simulation in Produktion und Logistik, Cuvillier Verlag, Göttingen, Volume 19, 2021, S. 177-186

Schönsleben, P.: Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020

Schuh, G. u.a.: Produktionsmanagement, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014

Schuh, G. u.a.: Logistikmanagement, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013

Sendler, U.: Industrie 4.0 grenzenlos, Xpert.press, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2016

Seng, K. P. u.a.: Multimodal Analytics for Next-Generation Big Data Technologies and Applications, Springer International Publishing, Cham, 2019

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Singhal, J. u.a.: On the Noniterative Multiproduct Multiperiod Production Planning Method, Operations Research Letters, Volume 37, 2009, S. 65–66

Tempelmeier, H.: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2018

Thonemann, U.: Operations Management, Konzepte, Methoden und Anwendungen, Pearson, Hallbergmoos, Volume 3, 2015

Utama, I. T. u.a.: Inventory system planning of margarine and shortening ingredient with monte carlo simulation in addition to economic order quantity (EOQ) method on PT Smart Tbk, Volume 2, 2017, S. 109–119

Uyar, M.: A Research on Total Cost of Ownership and Firm Profitability, Volume 5, 2014, S. 9-14

VDI/VDE 3714 BLATT 2: Implementierung und Betrieb von Big-Data-Anwendungen in der produzierenden Industrie–Datenqualität, Entwurf, 2019

Wagner, H. M. u.a.: Dynamic Version of the Economic Lot Size Model, Management Science, Volume 5, 1958, S. 89-96

Weiss, I. u.a.: Datenqualität in CPPS, Handbuch Industrie 4.0: Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 1-11

Wiendahl, H.: Auftragsmanagement der industriellen Produktion, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2011

Xu, X. u.a.: The Loss-Averse Newsvendor Model with Backordering, International Journal of Production Economics, Volume 188, 2017, S. 1–10

Zapf, M. u.a.: Kosteneffiziente und nachhaltige Automobile: Bewertung der realen Klimabelastung und der Gesamtkosten – Heute und in Zukunft, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019

Zhang, J. u.a.: The Optimal Order Decisions of a Risk-Averse Newsvendor under Backlogging, Annals of Operations Research, 2020

Zoller K. u.a.: Dynamische Bestellmengen- und Losgrößenplanung. Verfahrensübersicht und Vergleich, OR Spektrum, Springer, Hamburg, Volume 9, 1987

10.2 Online-Quellen

Bendel, O.: Industrie 4.0, Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler, Wiesbaden, gelesen am 24.08.2021, von https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/industrie-40-54032

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

catkin GmbH: COVID-19 und die Logistik – Hürden und Auswirkungen, gelesen am 20.07.2021, von https://www.catkin.eu/covid-19-und-die-logistik-huerden-und-auswirkungen/

Dianoescu, R.: Status and trends in the global manufacturing sector, IIoT World, gelesen am 24.08.2021, von https://iiot-world.com/connected-industry/status-and-trends-in-the-global-manufacturing-sector/

Gillenkirch, R.: Entscheidungstheorie, Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler, Wiesbaden, gelesen am 03.04.2021, von https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/entscheidungstheorie-32315#head4

Kemmner, G.-A.: Mit Formeln aus der Theorie zum Kostenoptimum in der Praxis?, gelesen am 20.07.2021, von https://www.ak-online.de/de/2010/10/moglichkeiten-und-grenzen-der-losgrosenoptimierung/

Kirchgeorg, M.: Investitionsgüter, Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler, Wiesbaden, gelesen am 09.02.2021, von https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/investitionsgueter-38359

Meitinger, T.: SCRM-Strategien: Störungen in der Lieferkette vermeiden, Logistik Heute, gelesen am 20.70.2021, von https://logistik-heute.de/news/scrm-strategien-stoerungen-der-lieferkette-vermeiden-34209.html

Microsoft Corporation: NORM.S.INV (Funktion), gelesen am 26.01.2021, von https://support.microsoft.com/de-de/office/norm-s-inv-funktion-d6d556b4-ab7f-49cd-b526-5a20918452b1

Microsoft Corporation: WorksheetFunction. NormSDist-Methode (Excel), gelesen am 26.01.2021, von https://docs.microsoft.com/de-de/office/vba/api/excel.worksheetfunction.normsdist

Müller, H.: Freies Online-Tool ermittelt Einsparpotenzial im indirekten Einkauf, gelesen am 04.05.2021, von https://www.htwk-leipzig.de/no_cache/forschen/aktuelles/detailansicht/artikel/787/

Rademacher, R.: Bosch-Logisitkchef: „KI ist eine Schlüsseltechnik für die Lieferkette“, Deutsche Verkehrs-Zeitung, gelesen am 20.07.2021, von https://www.dvz.de/rubriken/logistik/detail/news/bosch-logistikchef-ki-ist-eine-schluesseltechnik-fuer-die-lieferkette.html

Rückerconsult GmbH: Was hemmt die Digitalisierung?, gelesen am 20.07.2021, von https://www.konii.de/news/proptech-unternehmen-mangelnde-datentransparenz-fehlende-standards-und-mangelnde-kooperationsbereitschaft-hemmen-digitalisierung-in-der-immobilienwirtschaft-201804268424

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Schmid, A.: Inventory Dragon – Drachen wachen über Warenbestände, Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien, gelesen am 03.08.2021, von https://www.fraunhofer.at/de/software-und-tools/inventory-dragon.html

Weber, J.: Total Cost of Ownership, Gabler Wirtschaftslexikon, Springer Gabler, Wiesbaden, gelesen am 28.03.2021, von https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/total-cost-ownership-49401

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *Design Science Research Methodology nach Peffers* 6
Abbildung 2: Aufbau und Inhalte der Arbeit 8
Abbildung 3: Darstellung der verschiedenen Bestände 10
Abbildung 4: Grafische Darstellung von Hauptaufgaben in der Materialdisposition .. 11
Abbildung 5: Geschichtliche Entwicklung zur Industrie 4.0 14
Abbildung 6: *Total Cost of Ownership* - Auflistung der Kosten 15
Abbildung 7: Simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen in der verbrauchsgesteuerten Materialdisposition 18
Abbildung 8: Einteilung der Prognoseverfahren 19
Abbildung 9: Bedarfsverläufe 20
Abbildung 10: Einteilung der Bestelllosgrößenverfahren inklusive Synonyme 30
Abbildung 11: Literaturzuordnung zu Bestelllosgrößenverfahren 31
Abbildung 12: Darstellung des *Harris-Andler-Verfahrens* 32
Abbildung 13: Darstellung des *Verfahrens nach Groff* 37
Abbildung 14: Darstellung des *Silver-Meal-Verfahrens* 38
Abbildung 15: Literaturrecherche zu Optimierung, Simulation und simulationsbasierte Optimierung von Bestelllosgrößen 47
Abbildung 16: Dateninput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 1 51
Abbildung 17: Dateninput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 2 52
Abbildung 18: Datenoutput für *„Purchase Order Octopus“* – Unternehmen 1 53
Abbildung 19: Problemklassen der Logistik 55
Abbildung 20: Eingabefenster *„Purchase Order Octopus“* 58
Abbildung 21: Eingabefenster zur Auswahl der Bestelllosgrößenverfahren 59
Abbildung 22: Parametrisierung der Lieferzeit für die zukünftigen Perioden (Beispiel Unternehmen 1) 61
Abbildung 23: Modell des *„Purchase Order Octopus"* 62
Abbildung 24: Beispielhafter sporadischer Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis 75
Abbildung 25: Beispielhafter stationärer Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis 75
Abbildung 26: Beispielhafter saisonaler Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis 76
Abbildung 27: Beispielhafter trendartiger Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis 76
Abbildung 28: Beispielhafter einmaliger Bedarf des vergangenen Jahres der gegebenen Datenbasis 77
Abbildung 29: Auswirkung des Prognosezeitraums auf Losgrößenrechnung der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis 87
Abbildung 30: Übersichtsseite *„Demand Planning Falcon“* 107

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

12 Formelverzeichnis

Formel 1: Meldebestand 10
Formel 2: *Einfacher Mittelwert* 21
Formel 3: *Gleitender Mittelwert* 22
Formel 4: *Exponentielle Glättung 1.Ordnung* 22
Formel 5: *Exponentielle Glättung 2.Ordnung* 23
Formel 6: *Verfahren von Holt-Winters* 24
Formel 7: *Mittlerer quadratischer Fehler* 25
Formel 8: *Mittlerer absoluter Fehler* 25
Formel 9: *Normierter absoluter Fehler* 26
Formel 10: *Mittlere absolute prozentuale Abweichung* 26
Formel 11: *Systematischer Fehler* 27
Formel 12: *Tracking Signal* 27
Formel 13: *Quadratwurzel des mittleren quadratischen Fehlers* 27
Formel 14: *Harris-Andler-Verfahren* 33
Formel 15: *Einperiodisches Bestandsmanagement* 34
Formel 16: *Exakte Losgröße* 35
Formel 17: *Feste Losgröße* 35
Formel 18: *Auffüllen bis zum Höchstbestand* 36
Formel 19: *Verfahren nach Groff* 37
Formel 20: *Silver-Meal-Verfahren* 38
Formel 21: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 1 40
Formel 22: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 2 41
Formel 23: *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 3 - Beispiel 41
Formel 24: *Periodisches Bestandsmanagement* 42
Formel 25: *Kontinuierliches Bestandsmanagement* 43
Formel 26: *Stückperiodenausgleichsverfahren* 43
Formel 27: *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* 44
Formel 28: *Periodenlosgröße* 45
Formel 29: Kostenformel für die Bewertung der optimalen Bestelllosgröße 63
Formel 30: Fixe Bestellkosten 63
Formel 31: Bestandskosten 63

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Parametererklärung Meldebestand 10
Tabelle 2: Eignung der Prognoseverfahren anhand Bedarfsverläufe 20
Tabelle 3: Parametererklärung *Einfacher Mittelwert* 21
Tabelle 4: Parametererklärung *Gleitender Mittelwert* 22
Tabelle 5: Parametererklärung *Exponentielle Glättung 1.Ordnung* 22
Tabelle 6: Parametererklärung *Exponentielle Glättung 2.Ordnung* 23
Tabelle 7: Parametererklärung *Verfahren von Holt-Winters* 24
Tabelle 8: Vor- und Nachteile der Methoden zur Bewertung der Prognosequalität ... 28
Tabelle 9: Parametererklärung *Harris-Andler-Verfahren* 33
Tabelle 10: Parametererklärung *Einperiodisches Bestandsmanagement* 34
Tabelle 11: Parametererklärung *Exakte Losgröße* 35
Tabelle 12: Parametererklärung *Feste Losgröße* 36
Tabelle 13: Parametererklärung *Auffüllen bis zum Höchstbestand* 36
Tabelle 14: Parametererklärung *Verfahren nach Groff* 37
Tabelle 15: Parametererklärung *Silver-Meal-Verfahren* 39
Tabelle 16: Parametererklärung *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 1 ... 40
Tabelle 17: Parametererklärung *Wagner-Whitin-Verfahren* Algorithmusvariante 3 ... 41
Tabelle 18: Parametererklärung *Periodisches Bestandsmanagement* 42
Tabelle 19: Parametererklärung *Kontinuierliches Bestandsmanagement* 43
Tabelle 20: Parametererklärung *Stückperiodenausgleichsverfahren* 44
Tabelle 21: Parametererklärung *Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße* 44
Tabelle 22: Parametererklärung *Periodenlosgröße* 45
Tabelle 23: *Mittlerer quadratischer Fehler* des *„Demand Planning Falcon“* bei gegebener Datenbasis 65
Tabelle 24: Eingestellte Raffungsparameter für Verfahren *Periodenlosgröße* bei gegebener Datenbasis 67
Tabelle 25: Ergebnisse der Verteilung berechenbarer Artikel je Bestelllosgrößenverfahren der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 68
Tabelle 26: Durchschnittliche Losgröße und Anzahl an Bestellungen je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 69
Tabelle 27: Kostenergebnisse je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 70
Tabelle 28: Einsparungsergebnisse je Bestelllosgrößenverfahren für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 72

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 29: Ergebnisse der Verteilung optimierbarer Artikel der simulationsbasierten Optimierung mit allen anwendbaren Bestelllosgrößenverfahren der gegebenen Datenbasis 73
Tabelle 30: Ausschlusskriterien der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 74
Tabelle 31: Ergebnisse der Verbrauchsverläufe für die optimalen Bestelllosgrößenverfahren der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 77
Tabelle 32: Durchschnittliche Bestelllosgröße und Anzahl an Bestellungen des Gesamtergebnisses für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 78
Tabelle 33: IST-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 79
Tabelle 34: SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 79
Tabelle 35: Differenz aus IST-SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis 79
Tabelle 36: Eingestellte Priorisierung zur Sicherheitsbestandsberechnung für Artikel mit Unterbestandskosten 81
Tabelle 37: Vergleich der hinterlegten und berechneten Sicherheitsbeständen 81
Tabelle 38: Ergebnisse der Verteilung optimierbarer Artikel der simulationsbasierten Optimierung mit allen anwendbaren Bestelllosgrößenverfahren der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu 82
Tabelle 39: Ausschlusskriterien der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu 83
Tabelle 40: Durchschnittliche Bestelllosgröße und Anzahl an Bestellungen des Gesamtergebnisses für berechenbare Kosten der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu 83
Tabelle 41: Differenz aus IST-SOLL-Kosten des Gesamtergebnisses der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu 84
Tabelle 42; Vergleich der Anzahl an Artikeln mit Unterbestandskosten von allen und optimierbaren Artikeln der simulationsbasierten Optimierung der gegebenen Datenbasis – Sicherheitsbestände neu vs. hinterlegt 85
Tabelle 43: Berechenbarkeit der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis 86
Tabelle 44: Durchschnittliche Losgröße und Anzahl an Bestellungen für berechenbare Artikel der prognosebasierten Simulation der gegebenen Datenbasis 86
Tabelle 45: Berechenbarkeit der Meldebestände der gegebenen Datenbasis 88
Tabelle 46: Durchschnittliche Meldebestände mit und ohne optimierte Sicherheitsbestände der gegebenen Datenbasis 88

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

Tabelle 47: Zusammenfassung der Formeln der Prognoseverfahren der stochastischen Bedarfsermittlung 98
Tabelle 48: Vor- und Nachteile der Prognoseverfahren der stochastischen Bedarfsermittlung 99
Tabelle 49: Zusammenfassung der Formeln der Bestelllosgrößenverfahren 102
Tabelle 50: Vor- und Nachteile der Bestelllosgrößenverfahren 106

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU WIEN Bibliothek Your knowledge hub

14 Abkürzungsverzeichnis

α	Glättungsparameter
β	Trend-Glättungsparameter
γ	Saison-Glättungsparameter
$\delta(Q(t))$	Boolesche Variable zur Festlegung, ob bestellt wird [1 oder 0]
σ	Standardabweichung der Nachfrage [ME]
€	Euro
a.n.g	anderweitig nicht genannt
abs.	absolut
ARIMA	*Autoregressive integrated moving average (autoregressiver integrierter gleitender Mittelwert)*
ARMA	*Autoregressive moving average (autoregressiver gleitender Mittelwert)*
ARMAX	*Autoregressive moving average with exogenous excitation (autoregressiver gleitender Mittelwert mit exogener Erregung)*
Art.	Artikel
b	Bestellperiode [ZE]
BB	Bruttobedarf [ME]
Bias	*Systematischer Fehler*
bzw.	beziehungsweise
c(i,j)	Kostenfunktion [GE]
c_o	Überbestandskosten [GE]
c_{opt}	Optimale Kosten [GE]
c_u	Unterbestandskosten [GE]
D	Durchschnittliche Nachfrage [ME]
d.h.	das heißt
DI	Dissertant
Dipl.-Ing.	Diplomingenieur
DISPO	Disposition
$d_{\tau+y}$, d_t	Bedarf der Periode τ + y (bzw. t), wobei τ die Bestellperiode darstellt [ME]
EOQ	*Economic Order Quantity*
ERP	*Enterprise Resource Planning*
etc.	et cetera
f.	folgend
$F^{-1}{}_{0;1}$	Funktion, die die Quantile der Standardnormalverteilung zurückgibt

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

ff.	fortfolgend
FFG	Forschungsförderungsgesellschaft
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h	Lager- und Kapitalkostensatz [GE/ME]
HB	Höchstbestand [ME]
HTWK	*Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur*
i.A.	Im Allgemeinen
IOA	*Incremental Order Quantity Algorithmus*
IT	Informationstechnologie
K, K_t	Bestellfixe Kosten (zum Zeitpunkt t) [GE]
l	Bedarfsperiode [ZE]
$L_{0;1}(z)$	Funktion, die die Werte der Verteilungsfunktion einer standardverteilten Zufallsvariable zurückgibt
LB, LB_t	Lagerbestand (zum Zeitpunkt t) [ME]
LOI	*Letter of Intent*
L_t	Achsenabschnitt des Bedarfsverlauf in Periode t
LT	Lieferzeit [ZE]
MAD	*Mean Absolute Deviation*
MAE	*Mean Absolute Error*
MAPE	*Mean Absolute Percentage Error*
max.	maximal
Mio.	Millionen
MS	*Microsoft*
MSE	*Mean Squared Error*
n	Anzahl an zu bestellenden festen Losgrößen
N	Anzahl an betrachteten Perioden [ME]
NB	Nettobedarf [ME]
p	Prognostizierte Periode ab Periode t
p_t	Variable Bestellkosten zum Zeitpunkt t [GE]
P_t, P_{t+1}	Prognosewert der Periode t bzw. t+1 [ME]
p_y	Wahrscheinlichkeit, dass y Artikel verkauft werden [%] (berechnet über Normal- oder Poissonverteilung)
Q, Q_t	Losgröße (zum Zeitpunkt t) [ME]
r	Bestellpunkt [ME]
rMAD	*relative Mean Absolute Deviation*
rMAE	*relative Mean Absolute Error*
RMSE	*Root Mean Squared Error*
s	Länge der Saison [ZE]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN

S	Zielbestand [ME]
SAP	Systemanalyse Programmentwicklung (Softwareunternehmen)
SB	Sicherheitsbestand, Sicherheitsbestände
Sek.	Sekunden
SELIM	Selektiv- und Limes-Periode
SG	Servicegrad
S_t	Saisonfaktor der Periode t
t	Periode [ZE]
t_B	Bestelltakt [ZE]
TCO	*Total Cost of Ownership*
TLC	*Total Landed Cost*
TS	*Tracking Signal*
T_t	Steigung des Bedarfsverlaufs in Periode t
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
v	variable Stückkosten über Nebenkosten [€]
VBA	Visual Basic for Applications (Programmiersprache)
vgl.	vergleiche
vs.	versus
WMAPE	*Weighted Mean Absolute Percentage Error*
y	Laufvariable [ME]
Y_i	Bedarfswert - Periode i [ME]
z	z-Wert
z.B.	zum Beispiel
Z(Q)	Kostenfunktion [GE]

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.
TU Bibliothek Your knowledge hub WIEN