

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Entwicklung eines Supply Chain Performance Measurement Systems

Darstellung der Wirkzusammenhänge von Maßnahmen zur Produktionsoptimierung am Beispiel der Rüstzeitreduktion eines Lagerfertigers

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Dipl.-Ing. Christina Lemmerer

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Christoph Biegler, BSc

0826430 (066 482)

Syringgasse 13/20

1170 Wien

Wien, im Februar 2016

Christoph Biegler



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 Februar 2016

Christoph Biegler

Danksagung

Zuerst möchte ich an dieser Stelle dem Institut für Managementwissenschaften der TU Wien danken, da ich im Rahmen meiner Tätigkeit als hilfswissenschaftlicher Mitarbeiter die Möglichkeit dieser Diplomarbeit erhalten habe. Durch die stets spannenden und fordernden Tätigkeiten im Rahmen des Produktions-, Logistik-, Technologie- und Innovationsmanagements konnte ich einen breiten Erfahrungsschatz sammeln und mein Wissensgebiet stark erweitern.

An dieser Stelle möchte ich mich besonders bei meiner operativen Betreuerin Dipl.-Ing. Christina Lemmerer für die Unterstützung bedanken. Meinen speziellen Dank möchte ich an dieser Stelle auch Dipl.-Ing. Peter Schieder, der mir ebenfalls tatkräftig zur Seite stand, aussprechen. Ohne diese beiden Personen wäre die Verfassung dieser Diplomarbeit nicht möglich gewesen.

Zu guter Letzt möchte ich mich natürlich besonders bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, ohne deren Rückhalt ich dieses Studium sicherlich nicht in dieser Form bestreiten hätte können. Speziell für meine Eltern Andrea und Peter waren die letzten Jahre sicherlich nicht die einfachsten und sind wohl ebenso erleichtert wie ich, dass dieses Kapitel nun ein Ende findet.

Danke!

Kurzfassung

Aufgrund von Globalisierung, Exportquoten-Erhöhung sowie Outsourcing und der damit verbundenen Reduktion der Wertschöpfungstiefen findet der Konkurrenzkampf nicht mehr zwischen einzelnen Unternehmen statt. Vielmehr stehen gesamte Wertschöpfungsnetzwerke, sogenannte Supply Chains, in einem Wettbewerbsverhältnis. Aufgrund der Heterogenität der Akteure, den unterschiedlichen Zielsystemen und den daraus resultierenden Zielkonflikten ist die Leistungsmessung einer Wertschöpfungskette eine hochkomplexe Herausforderung, der im Gegensatz zur innerbetrieblichen Leistungsmessung wenig Beachtung geschenkt wird.

Zielsetzung der Diplomarbeit, die im Rahmen des Forschungsprojekts BeStNet¹ verfasst wird, ist die Entwicklung eines Supply Chain Performance Measurement Systems. Dieses soll einen Überblick und ein Verständnis der strategisch bedeutsamen Aktivitäten und Inhalte schlanker Wertschöpfungsketten bieten und eine Bewertung hinsichtlich der Leistungsfähigkeit ermöglichen. Dadurch soll die gezielte Wahl von Management-Maßnahmen zur Steuerung und Verbesserung und der damit verbundenen Ausschöpfung von Verbesserungspotenzialen unterstützt werden.

Zur Bewertung von Maßnahmen sind die Wirkzusammenhänge der Kennzahlen auf operativer Ebene mit den Kennzahlen des SCPMS wesentlich. Diese Untersuchung soll am Beispiel einer Rüstzeitreduktion bei Lagerfertigung vorgenommen werden. Hierzu wird eine mathematische Formulierung zur Auslegung des Servicegrades bei Lagerfertigung durch das Bestellbestandsverfahren und der damit verbundenen Lösung des Zielkonflikts aus Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten entwickelt.

Diese Formulierung wird an einem Unternehmen der Lebensmittelindustrie angewandt, wobei die Auswirkungen der Rüstzeitreduktion auf die operativen Kennzahlen sowie die Kennzahlen des Supply Chain Performance Measurement Systems im Vordergrund der Analyse stehen. Die Ergebnisse werden durch ein agentenbasiertes Simulationsmodell überprüft.

¹ Fördergeber: Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), Projekt-Nummer: I2033-G11, näheres unter <http://www.imw.tuwien.ac.at/bt/forschung/forschungsprojekte/bestnet/>

Abstract

Due to globalisation, increase of exporting-quotas, outsourcing and the reduction of the real net output ratio there's a recognisable shift of competitive relationships. In today's markets the competition is no longer among companies but among supply chains. The performance measurement of supply chains is a complex challenge. Reasons for this challenge are the heterogeneity of the participants with varying target systems and the resulting target conflicts. Compared to the internal performance measurement there's a lack of attention in the supply chain performance measurement.

The aim of this thesis, which is written in the scope of the research project BeStNet², is the development of a supply chain performance measurement system (SCPMS). It provides an overview and an understanding of the strategic aspects and activities along the supply chain. Further it must enable a performance evaluation to support the selection of methods for controlling and improvement activities to generate potential of improvement. In this context the understanding of cause-effect relationships between the performance measures on the operating level and the performance measures of the developed SCPMS are essential.

The analysis of the cause-effect relationships shall be shown on a reduction of setup-times for a make-to-stock-production. Therefore, a mathematical formulation for the configuration of the service level to solve the target conflict between inventory costs, setup costs and costs of lost sales is formulated.

The cause-effect relationships of this setup-time reduction is shown at a use-case of the food industry. The results are verified by an agent-based simulation model.

² Funding authority: Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), Project-Number: I2033-G11, further information at <http://www.imw.tuwien.ac.at/bt/forschung/forschungsprojekte/bestnet/>

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Aufbau und Methodik der Arbeit	3
2	Performance Measurement.....	7
2.1	Begriffsabgrenzung	7
2.2	Aufgaben des Performance Measurements	8
2.3	Performance Measures - Kennzahlen	10
2.4	Performance Measurement Systeme	12
2.4.1	Unterschied zu traditionellen Kennzahlensystemen.....	13
2.4.2	Anforderungen an Performance Measurement Systeme	15
2.4.3	Balanced Scorecard.....	16
2.4.4	Strategy Map.....	20
3	Supply Chain Management.....	22
3.1	Wertschöpfungskette - Supply Chain	22
3.2	Grundlagen des Supply Chain Management.....	23
3.3	Aufgaben und Ziele des Supply Chain Management.....	25
4	Supply Chain Performance Measurement	28
4.1	Supply Chain Balanced Scorecard	30
4.2	Das SCOR-Modell.....	32
4.2.1	Überblick des SCOR-Modells	33
4.2.2	Prozesse im SCOR-Modell	34
4.2.3	Leistungsmessung im SCOR-Modell	36
4.2.4	Vor- und Nachteile des SCOR-Modells.....	38
5	Lean Management	40
5.1	Philosophie.....	41
5.2	Kennzahlen des Produktionsmanagements	43
6	Agentenbasierte Simulation	47
6.1	Eigenschaften der agentenbasierten Simulation	47
6.2	Methodisches Vorgehen der Simulation	50

7	Forschungslücke und Methodik	53
8	Entwicklung eines SCPMS.....	56
8.1	Vorstellung des eigenen Ansatzes	56
8.2	Wahl der Perspektiven und Kennzahlen des SCPMS	59
8.2.1	Finanzperspektive.....	60
8.2.2	Kundenperspektive	61
8.2.3	Prozessperspektive.....	62
8.2.4	Potenzialperspektive	64
8.2.5	Nachhaltigkeitsperspektive	66
8.3	Strategy Map des erarbeiteten Ansatzes.....	70
9	Untersuchung der Wirkzusammenhänge	73
9.1	Vorstellung der Problemstellung.....	73
9.2	Auslegung der Parameter des Bestellbestandsverfahrens.....	75
9.2.1	Bestellmenge	76
9.2.2	Bestellbestand	77
9.2.3	Bestandskosten	82
9.2.4	Rüst- und Fehlmengenkosten.....	82
9.3	Mathematische Formulierung der Problemstellung	83
9.4	Vorstellung des Fallbeispiels	85
9.5	Simulationsmodell	90
9.5.1	Vorstellung der Simulationssoftware Anylogic	90
9.5.2	Problemanalyse und Spezifikation	91
9.5.3	Modellierung	93
9.5.4	Parametrisierung und Ablauf der Simulation.....	95
10	Ergebnisse.....	97
10.1	Ergebnisse der mathematischen Modellierung	97
10.2	Analyse der Simulationsergebnisse	102
10.3	Auswirkungen auf das SCPMS	105
11	Resümee und Ausblick	108
12	Anhang	112
13	Literaturverzeichnis.....	124
14	Abbildungsverzeichnis	131

15	Formelverzeichnis.....	132
16	Tabellenverzeichnis.....	133
17	Abkürzungsverzeichnis.....	134
18	Formelzeichen.....	136

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Aufgrund von Globalisierung, Exportquoten-Erhöhung sowie Outsourcing und der damit verbundenen Reduktion der Wertschöpfungstiefen findet der Konkurrenzkampf nicht mehr zwischen einzelnen Unternehmen statt.³ Vielmehr stehen gesamte Wertschöpfungsnetzwerke, sogenannte Supply Chains, in Konkurrenz zueinander.⁴ So sanken die deutschen Wertschöpfungstiefen zwischen 1999 und 2008 im Maschinenbau um 22 und in der Automobilindustrie um zwölf Prozent. Durch diesen Abbau der Wertschöpfungstiefen nimmt die Bedeutung der vor- und nachgelagerten Unternehmen zu.⁵

Die Herausforderung besteht in der Steuerung und Optimierung dieser Supply Chains, um Optimierungspotenziale zu erschließen und somit Wettbewerbsvorteile zu generieren. Aufgrund der hohen Komplexität sowie der Heterogenität der einzelnen Akteure in einem Wertschöpfungsnetzwerk und den daraus resultierenden Ziel- und Interessenskonflikten besteht in diesem Themengebiet großer Handlungsbedarf.⁶

Durch das ganzheitliche Management von Supply Chains sollen Wettbewerbsvorteile lukriert werden. In diesem Kontext zeigt eine Studie, in der über 500 internationale Unternehmen befragt wurden, markante operative Vorteile von Unternehmen, die den Fokus auf die Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Supply Chain legen. Diese Unternehmen, in Abbildung 1 als *Leaders* bezeichnet, erzielen einen im Vergleich zum Durchschnitt um 30 Prozent höheren EBIT sowie einen um 87 Prozent höheren Warenumschatz.⁷

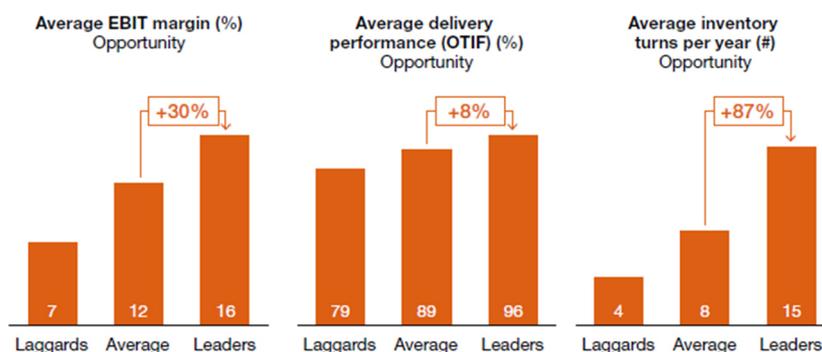


Abbildung 1 - Vorteile der Unternehmen mit dem Fokus der Leistungssteigerung der SC⁸

³ Vgl. Meyer/Schüler (2011), S. 1

⁴ Vgl. Kumar/Nambirajan (2013), S. 37

⁵ Vgl. Meyer/Schüler (2011), S. 1f

⁶ Vgl. Rautenstrauch (2002), S. 2

⁷ Vgl. pwc (2013), S. 8ff

⁸ pwc (2013), S. 9

Die Studie zeigt auch wesentliche Trends im Kontext des Supply Chain Management (SCM) auf. Die in den Augen der befragten Unternehmen wichtigsten Trends sind:⁹

- Management der Profitabilität der Supply Chain
- Reduktion der Supply Chain Kosten
- Erfüllung der steigenden Kundenanforderungen
- Vorbereitung der Supply Chain bezüglich Volumenflexibilität

Hier geht hervor, dass die Trends auch nicht-finanzielle Herausforderungen annehmen.

Für die Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken ist ein Performance Measurement System (PMS) notwendig, das im Gegensatz zu rein finanzorientierten Kennzahlensystemen auch Kennzahlen außerhalb des monetären Betrachtungshorizonts wie der Qualität sowie der Kundenorientierung berücksichtigt und somit eine ausgewogene Leistungsmessung ermöglicht.¹⁰

1.2 Zielsetzung

Die verfasste Diplomarbeit entsteht im Rahmen des Forschungsprojektes BeStNet¹¹, welches hier im Folgenden kurz vorgestellt werden soll.

Vorstellung des Forschungsprojektes BeStNet

Das Forschungsprojekt BeStNet (Bewertung der Steuerungsfähigkeit globaler Wertschöpfungsnetzwerke durch kennzahlenbasierte Modellierung) beschäftigt sich mit der strategisch bedeutsamen Aufgabe, die Produktion in Wertschöpfungsnetzwerken zu beherrschen. Dies stellt aufgrund der Besonderheit von Wertschöpfungsnetzwerken wie die dezentrale Entscheidungsstruktur sowie die Erforderlichkeit einer situationsspezifischen Fallbetrachtung eine große Herausforderung dar.

Gesamtzielsetzung des Forschungsprojektes BeStNet ist die Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur strategischen Steuerung von Produktionsprozessen in globalen Wertschöpfungsnetzwerken. Hierzu wird das Forschungsprojekt in zwei Teilziele unterteilt:

- Entwicklung einer Methodik zur Identifikation von Schwachstellen und Verbesserungspotentialen mit systemrelevanten Auswirkungen auf ein fokales Unternehmen des Wertschöpfungsnetzwerks

⁹ Vgl. *pwc* (2013), S. 10

¹⁰ Vgl. *Tangen* (2004), S. 51

¹¹ Fördergeber: Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), Projekt-Nummer: I2033-G11, näheres unter <http://www.imw.tuwien.ac.at/bt/forschung/forschungsprojekte/bestnet/>

- Entwicklung einer Methodik zur Identifikation geeigneter Steuerungsmaßnahmen für spezifische Konfigurationen des Wertschöpfungsnetzwerkes

Weiters gilt die agentenbasierte Simulation zur Beschreibung von Wertschöpfungsnetzwerken als besonders geeignet. Diese soll im Rahmen des Forschungsprojekts als Unterstützungstool zur Abbildung der entwickelten Beschreibungsmodelle und zur Bewertung von Steuerungsmaßnahmen für spezifische Wertschöpfungsnetzwerke dienen.

Zielsetzung der Arbeit

In dieser Arbeit soll ein Performance Measurement System zur Steuerung einer Supply Chain erarbeitet werden. Hierzu soll der aktuelle Stand der Literatur dargestellt und auf dieser Basis ein eigener Ansatz des Supply Chain Performance Measurements (SCPM) entwickelt werden. Zur Identifikation von Schwachstellen und zur Bewertung von Verbesserungspotenzialen sind die Wirkzusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen sowie die Abbildung der wesentlichen Aspekte der gesamten Wertschöpfungskette mit einem ausgewogenen, an der Strategie ausgerichteten PMS von Relevanz.

Die Untersuchung der Auswirkungen von Managementmaßnahmen auf das SCPMS soll exemplarisch am Beispiel einer Rüstzeitreduktion dargestellt werden.

Dazu wird eine mathematische Formulierung zur kostenminimalen Auslegung des Servicegrades bei Lagerfertigung durch das Bestellbestandsverfahren entwickelt. Anhand eines Fallbeispiels aus der Lebensmittelindustrie werden die Auswirkungen der Rüstzeitreduktion zunächst auf operative Kennzahlen wie den Servicegrad sowie weiteren Produktionskennzahlen quantifiziert. Die Wirkzusammenhänge auf die strategischen Kennzahlen des SCPMS werden auf Basis dieser Ergebnisse abgebildet.

Um die Thematik der agentenbasierten Simulation für das Forschungsprojekt BeStNet aufzuarbeiten sollen im Rahmen dieser Diplomarbeit die Grundlagen der agentenbasierten Simulation sowie ein erster Aufbau eines Simulationsmodells mit der agentenbasierten Simulationssoftware Anylogic durchgeführt werden. Dieses soll die Ergebnisse der mathematischen Formulierung überprüfen.

1.3 Aufbau und Methodik der Arbeit

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über den Aufbau der Arbeit gegeben sowie die methodische Vorgehensweise erläutert.

Die Kapitel 2 bis 6 stellen den Grundlagenteil der Diplomarbeit dar. Ziel ist dabei zum einen eine einheitliche Begriffserklärung und -abgrenzung zur Schaffung eines

gemeinsamen Verständnisses der im Kontext dieser Arbeit vorkommenden Inhalte. Zum anderen soll der aktuelle Stand der Wissenschaft aufgezeigt werden.

Zunächst wird in Kapitel 2 auf den Begriff des Performance Measurements (PM) eingegangen. Im Wesentlichen beschreibt das PM den Prozess der Quantifizierung von Effektivität und Effizienz von Handlungen und Maßnahmen in einem Unternehmen.¹² Neben den Definitionen wird der Fokus auf den zu erfüllenden Aufgaben, Anforderungen sowie deren Nutzen im Kontext einer gesamtheitlichen Betrachtung gelegt. Ein zentraler Aspekt bei der Arbeit mit Kennzahlen ist die Ausrichtung auf die Strategie der Unternehmung. Um Sub-Optimierung auszuschließen muss die gegenseitige Abhängigkeit und Beeinflussung von Kennzahlen bekannt und deren Ausrichtung an der Unternehmensstrategie gegeben sein.

Skinner formulierte dazu 1986 das „Produktivitäts-Paradoxon“.¹³ In den Siebzigern und Achtzigern boomten in amerikanischen Unternehmen Programme und Maßnahmen zur Produktivitätssteigerung. Trotz Produktivitätssteigerungen von bis zu sieben Prozent konnte kein positiver Einfluss auf Umsätze sowie Marktanteile nachgewiesen werden. Grund dafür war der reine Fokus auf die Produktivität, der andere wesentliche Erfolgsfaktoren wie die Innovationskraft oder die Mitarbeitermotivation negativ beeinflusste.

Performance Measurement Systeme, die als eine Erweiterung von klassischen Kennzahlensystemen anzusehen sind und als Zusammenschluss der im Rahmen des PM eingesetzten Kennzahlen zu verstehen sind, werden in Kapitel 2.4 besprochen.¹⁴ Das wohl bekannteste System ist die Balanced Scorecard (BSC), auf die näher eingegangen werden soll.

Kapitel 3 widmet sich dem Supply Chain Management (SCM). Im Fokus steht hier die Darstellung der Grundlagen, Aufgaben und Ziele des SCM.

Der in dieser Arbeit entwickelte Ansatz zur Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken basiert auf den Grundlagen des Performance Measurement. Daher werden in Kapitel 4 Konzepte zum Performance Measurement im Kontext des Supply Chain Management besprochen. Näher betrachtet werden die Balanced Scorecard sowie das Supply Chain Operations Reference (SCOR) Modell.

Der Fokus wird bei der Entwicklung des Performance Measurement Systems auf Lean-Kennzahlen gelegt. Für ein allgemeines Verständnis des Lean Management wird in Kapitel 5 ein kurzer Überblick über die grundlegenden Inhalte und Aspekte des Lean Management gegeben sowie wesentliche Kennzahlen des Produktionsmanagements angeführt.

¹² Vgl. *Neely, et al. (1995)*, S.80

¹³ Vgl. *Skinner (1986)*

¹⁴ Vgl. *Neely, et al. (1995)*, S.81

Die theoretischen Grundlagen der agentenbasierten Simulation sollen speziell mit dem Ausblick auf das Forschungsprojekt BeStNet in Kapitel 6 dargestellt werden. Da es sich bei der agentenbasierten Simulation um eine relativ neue Simulationsmethodik handelt, wird ebenfalls der Reifegrad der Technologie besprochen sowie das methodische Vorgehen zur Erstellung eines agentenbasierten Simulationsmodells erörtert.

Zur Erarbeitung der angeführten Themengebiete wurde eine Literaturrecherche mit dem Fokus aktueller Fachpublikationen durchgeführt. Im Zuge dieser Recherche wurden folgende Datenbanken zur Erhebung der Literaturquellen genutzt: Emerald Insight, Science Direct, Springer Link, T&I ProQuest, EBSCO sowie die Datenbanken der Universitätsbibliotheken der Wirtschaftsuniversität Wien und der Technischen Universität Wien. Zusätzlich wurden auch Grundlagenbücher für einleitende Thematiken herangezogen.

Kapitel 7 bildet die Forschungslücke ab, die als Motivation dieser Arbeit dient und die Forschungsfrage definiert. Die Methodik bezüglich des Praxisteils wird ebenfalls kurz angeführt. Dieser gliedert sich in zwei Kernsegmente. In Kapitel 8 wird auf Basis der recherchierten Literatur und der bestehenden SCPMS ein eigenes SCPMS vorgestellt. Dieses ist als Erweiterung der bestehenden Konzepte der BSC und des SCOR-Modells zu verstehen, da sich durch die Symbiose dieser beiden Ansätze positive Synergieeffekte ergeben. Die Wahl der Kennzahlen und der Perspektiven orientieren sich an den Kerninhalten des Lean Management.

Die Auswirkungen operativer Steuerungsmaßnahmen auf die Kennzahlen des SCPMS sollen am Beispiel einer Rüstzeitreduktion untersucht werden.

Hierzu wird eine mathematische Formulierung zur Lösung des Zielkonflikts zwischen Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten durch die geeignete Wahl der Kennzahl des Servicegrades bei Lagerfertigung durch das Bestellbestandsverfahren entwickelt (Kapitel 9) und dadurch die Parameter des Bestellbestandsverfahrens ausgelegt.

Die Auswirkungen dieser mathematischen Formulierung werden anhand eines Fallbeispiels aus der Lebensmittelindustrie untersucht. Hier steht die Untersuchung des Einflusses der Rüstzeitreduktion auf die Kennzahlen der Produktion und des SCPMS im Vordergrund. Zusätzlich sollen Teilaspekte dieser mathematischen Formulierung durch ein agentenbasiertes Simulationsmodell abgebildet werden.

In Kapitel 10 werden die Ergebnisse der mathematischen Formulierung dargestellt. Dabei wird zunächst auf die resultierenden Gesamtkosten des Fallbeispiels eingegangen sowie signifikante Wirkzusammenhänge auf operative Kennzahlen erörtert. Die Ergebnisse des Simulationsmodells werden in Kapitel 10.2 diskutiert sowie ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der Simulation und der Berechnung aufgrund der statischen Auslegung durch die mathematische Formulierung angeführt.

Kapitel 10.3 zeigt die qualitativen Wirkzusammenhänge der Rüstzeitreduktion des Fallbeispiels und der damit einhergehenden Beeinflussung der operativen Kennzahlen durch die Auslegung der Bestellbestandsparameter über die vorgestellte mathematische Formulierung auf die Kennzahlen des SCPMS. Diese qualitativen Wirkzusammenhänge sind wesentlich zur Ableitung und Beurteilung von Verbesserungsmaßnahmen im unternehmensübergreifenden Kontext.

In Kapitel 11 erfolgt das Resümee. Dabei wird eine kritische Würdigung der Diplomarbeit vorgenommen sowie ein Ausblick an weiterführenden Forschungsfragen diskutiert.

2 Performance Measurement

„What you measure is what you get.“¹⁵

Diese Aussage von Norton und Kaplan spiegelt die Relevanz der betrieblichen Messung über Kennzahlensysteme bzw. modernen Performance Measurement Systemen wieder. In diesem Zusammenhang haben Kennzahlensysteme mit rein finanzorientierten Kennzahlen zwar in der industriellen Ära ihren Zweck erfüllt, heutige Anforderungen werden allerdings verfehlt. Um diese zu befriedigen, müssen Kennzahlensysteme erweitert werden. Neben finanzorientierten Kennzahlen müssen auch nicht-finanzielle Kennzahlen eingesetzt werden, um ein balanciertes, ausgewogenes Bild des Unternehmens und der Zielsetzungen in dem Unternehmen sicherzustellen. Diese Erweiterung des traditionellen Ansatzes wird unter dem Begriff des Performance Measurements behandelt.¹⁶

2.1 Begriffsabgrenzung

Aufgrund der hohen Komplexität und des weitreichenden Begriffs der betrieblichen Leistungsmessung (=Performance Measurement) existiert keine einheitliche Definition für dieses.¹⁷ Für diese Arbeit wird die Definition von Neely herangezogen, welche die weiteste Verbreitung hinsichtlich einer definitorischen Abgrenzung des Begriffs genießt:

„Performance measurement can be defined as the process of quantifying the efficiency and effectiveness of action.“¹⁸

Nach Neely ist also das Performance Measurement ein Prozess, der zur Quantifizierung der Effektivität und Effizienz von Handlungen und Maßnahmen dient. Die Effektivität beschreibt im Kontext eines wirtschaftlichen Umfelds das Ausmaß, mit dem Kundenanforderungen erfüllt werden, die Effizienz ist ein Maß für die Wirtschaftlichkeit des Ressourceneinsatzes, um ein spezifiziertes Niveau der Kundenzufriedenheit zu erreichen.¹⁹ Abbildung 2 stellt die beiden Begrifflichkeiten vereinfacht dar. Eine Handlung ist dann effektiv, wenn das angestrebte Ziel erreicht und effizient, wenn die Zielerreichung mit einem möglichst geringen Einsatz an Ressourcen umgesetzt wird.

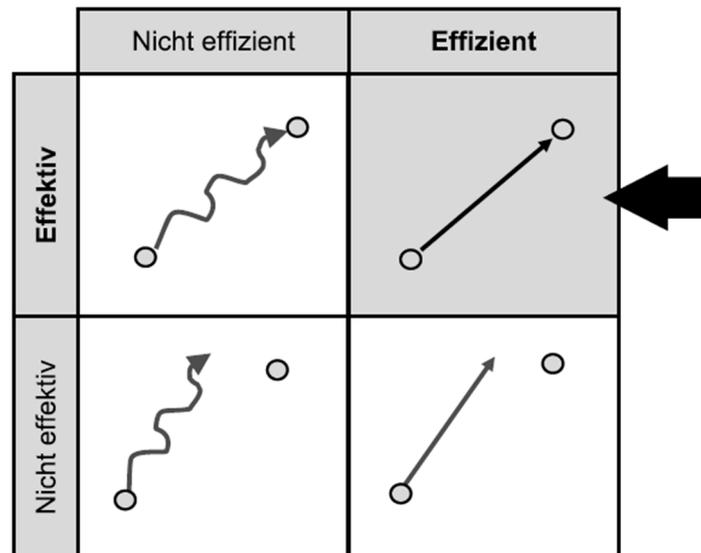
¹⁵ Norton/Kaplan (1992), S. 71

¹⁶ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 71

¹⁷ Vgl. Giese (2012), S. 36

¹⁸ Neely, et al. (1995), S.80

¹⁹ Vgl. Arif-Uz-Zaman/Nazmul Ahsan (2014), S. 590

Abbildung 2 - Effektivität und Effizienz²⁰

Zur Realisierung dieser Quantifizierung werden Kennzahlen, die sogenannten Performance Measures, eingesetzt, die die zu messenden Sachverhalte erfassen und aufbereiten. Sandt spricht sich für eine synonyme Bezeichnung der Begriffspaare Kennzahlensystem - Performance Measurement System sowie Performance Measure - Kennzahl aus.²¹

Allerdings ist diese Gleichstellung der Begriffe für Richert nicht zweckmäßig, da das moderne Performance Measurement als eine Weiterentwicklung des internen Rechnungswesens, welches sich auf finanzielle Werte fokussiert, anzusehen ist. Daher definiert Richert den Performancebegriff und grenzt den Begriff des Performance Measurements als eine Weiterentwicklung der ursprünglich rein finanziellen Kennzahlensysteme ab.²²

Für diese Arbeit wird der Begriff der Kennzahl synonym für den Begriff des Performance Measures verwendet, da die Aufgaben und Definitionen ähnlich sind (Kapitel 2.3). Allerdings wird zwischen Kennzahlensystemen und Performance Measurement Systemen unterschieden, da hier eine eindeutige Abgrenzung und Differenzierung dieser Ansätze gegeben ist. In Kapitel 2.4 werden bezüglich dieser Thematik Unterscheidungsmerkmale ausgewiesen.

2.2 Aufgaben des Performance Measurements

Die Bedeutung der Orientierung der Leistungsmessung an der Unternehmensstrategie, die auf operativer Ebene kurzfristiger Natur sein kann, ist eine zentrale Aufgabe des PM und soll die langfristige Sicherung des Unternehmenserfolgs

²⁰ Becker (2008), S. 12

²¹ Vgl. Sandt (2005), S. 429

²² Vgl. Richert (2006), S. 26ff

gewährleisten.²³ Daher ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor eines effektiven Performance Measurements und der damit verbundenen Leistungsverbesserung die Strategieausrichtung der Kennzahlen. Es muss eine Balance zwischen finanziellen und nicht-finanziellen Kennzahlen herrschen. Zudem muss eine Verbindung zur Unternehmensstrategie sowie den strategischen, taktischen und operativen Entscheidungs- und Kontrollmechanismen geschaffen werden.^{24,25} Diese Verbindung zwischen dem Performance Measurement und der Unternehmensstrategie, welche aufgrund der wechselnden Bedingungen und der damit verbundenen Adaptierung der Strategie regelmäßig überprüft werden sollte, bringt wesentliche Vorteile mit sich:²⁶

- Informationen über die strategische Ausrichtung für Mitarbeiter
- Kommunikation der strategischen Prioritäten
- Verknüpfung von Handlungen mit der strategischen Ausrichtung
- Kontrolle und Aufzeichnung der Strategie-Implementierung
- Schutz gegen Sub-Optimierung

Hanson et al. weisen den dualen Charakter des Performance Measurements aus. Zum einen wird die Strategie kommuniziert, zum anderen wird die Leistung gemessen und überwacht.²⁷ Gunasekaran und Kobu geben folgende detailliertere Inhalte als Aufgaben des Performance Measurements an:²⁸

- Identifikation des Erfolgs
- Identifikation der Kundenwünsche
- Schaffung eines Prozessverständnisses
- Aufdecken von Verschwendungen, Bottlenecks und Verbesserungsmöglichkeiten
- Faktenbasierte Grundlage zur objektiven Entscheidungsfindung, so dass subjektive Einflüsse ausgeschlossen werden können
- Überwachung der Verbesserungsmaßnahmen auf deren Umsetzung und Wirksamkeit

Wie aus den Aufgaben ersichtlich, dient das Performance Measurement dazu, betriebliche Erfolgspotenziale zu identifizieren und eine fundierte Entscheidungsgrundlage zur Unterstützung des Managements zu generieren. Werden Maßnahmen getroffen, dient das PM als Controlling-Tool, um die Effektivität und Effizienz der getroffenen Maßnahmen zu überwachen.

²³ Vgl. *Deming* (1994), S. 25

²⁴ Vgl. *Gunasekaran, et al.* (2001), S. 335

²⁵ Vgl. *Johnston/Pongatichat* (2008), S. 942

²⁶ Vgl. *Johnston/Pongatichat* (2008), S. 942ff

²⁷ Vgl. *Hanson, et al.* (2011), S. 1090

²⁸ Vgl. *Gunasekaran/Kobu* (2007), S. 2820

2.3 Performance Measures - Kennzahlen

Unter einer Performance Measure definiert Neely eine Metrik, die zur Quantifizierung der Effektivität und Effizienz von Handlungen und Maßnahmen im Kontext des Performance Measurements dient.²⁹ Eine analoge Definition liefern Dankowski und Uffmann: „*Unternehmenskennzahlen quantifizieren die Effizienz und den Erfolg von Unternehmen.*“³⁰

Für diese Arbeit ist diese Definition allerdings zu breit gesetzt. Daher wird in diesem Kapitel der Begriff der Kennzahl und dessen Aufgaben und Anforderungen präzisiert.

Nach Weber sind Kennzahlen „*quantitative Daten, die als bewusste Verdichtung der komplexen Realität über zahlenmäßig erfassbare betriebswirtschaftliche Sachverhalte informieren sollen.*“³¹

Eine ähnliche Definition gibt Gladen, nachdem Kennzahlen betriebswirtschaftliche Informationskonzentrate darstellen, um eine Informationsüberlastung des Managements zu vermeiden.³²

Aus diesen Definitionen lassen sich wesentliche Anforderungen von Kennzahlen ableiten. Die Forderung der Informationsentlastung des Managements ist von wesentlicher Bedeutung. Für das Management muss schnell und klar ersichtlich sein, in welchem Zustand sich das Unternehmen befindet. Zu diesem Zweck müssen Kennzahlen die aufzubereitenden Informationen verdichten und in einer möglichst einfachen Weise abbilden, damit das Management nicht überlastet wird und die rasche Steuerungs- und Handlungsfähigkeit gewährleistet ist. Gladen weist aus, dass mit der Verdichtung die Informationsentlastung gewährleistet wird, welche speziell für höhere Führungsebenen notwendig ist. Der Grund für diese Forderung liegt begründet in der Ressourcenknappheit des Managements, speziell die limitierte Verfügbarkeit von Aufmerksamkeit und Zeit.³³

Die Quantifizierbarkeit ist eine zentral geforderte Eigenschaft von Kennzahlen. Dabei kann die Kennzahl als absolute Zahl, Gliederungszahl, Beziehungszahl oder als Messzahl angeführt werden.³⁴ All diesen Kategorisierungen ist die Zuweisung eines Wertes gemein. Koch zählt die Ermittlung aussagekräftiger Kennzahlen zu den wichtigsten Aufgaben des Logistikcontrollings, welches einen schnellen und komprimierten Überblick über die komplexen Logistikstrukturen bietet.³⁵ Weiters ist die Zuordnung von Zahlenwerten für die Prozessverbesserung und Steuerung

²⁹ Vgl. Neely, et al. (1995), S.80

³⁰ Dankowski/Uffmann (2005), S. 26

³¹ Weber (1995), S. 187

³² Vgl. Gladen (2014), S. 9ff

³³ Vgl. Gladen (2014), S. 12

³⁴ Vgl. Gladen (2014), S.15

³⁵ Vgl. Koch (2012), S. 234

unerlässlich, da Ziele definiert werden müssen und diese mit den Ist-Werten verglichen werden. Erst dieser Vergleich ermöglicht eine fundierte Maßnahmenableitung.³⁶

Kennzahlen können allerdings quantitativer oder qualitativer Natur sein. Als Beispiel führt Giese hierfür die Durchlaufzeit als quantitative bzw. die Kundenzufriedenheit als qualitative Kennzahl an, welche oft direkt durch Umfragen gewonnen wird.³⁷

Funktionen und Aufgaben von Kennzahlen

Für Sprotte sind Kennzahlen „eine wichtige Informationsgrundlage und unterstützen als Instrument der Unternehmensführung Managementaufgaben im Bereich der Leistungserstellung.“³⁸

Um die Aufgabe der Unterstützung der Unternehmensführung zu gewährleisten, werden folgende Funktionen von Kennzahlen ausgewiesen:³⁹

- *Operationalisierungsfunktion:* Über Kennzahlen können Ziele operationalisiert und dadurch direkt messbar gemacht werden.
- *Anregungsfunktion:* Durch Verdichtung von Daten lassen sich wesentliche Veränderungen im Unternehmen rascher identifizieren, da aufwendige Aufbereitungen und Analysen der Grunddaten nicht notwendig sind. Daher erhalten Kennzahlen Frühwarncharakter, wodurch die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens zunimmt.
- *Vorgabefunktion:* Die über Kennzahlen operationalisierten Ziele und Strategien können mit Zielwerten versehen werden. Diese Vorgaben können für das gesamte Unternehmen, einzelne Unternehmensbereiche bzw. für einzelne Mitarbeiter gelten. Wesentlich bei der Zielvorgabe ist allerdings die Ausrichtung an der Unternehmensstrategie als Schutz vor Sub-Optimierung.
- *Kontroll- und Steuerungsfunktion:* Über Soll/Ist-Vergleiche wird neben der Bewertung der Leistungserbringung auch eine Kontrollfunktion ermöglicht. Über Analysen von Ursachen-Wirkzusammenhänge können Steuerungsmaßnahmen ergriffen werden. Daher sind Kennzahlen als Unterstützung im Entscheidungsfindungsprozess im Rahmen der Unternehmensführung anzusehen.
- *Informationsfunktion:* Über Kennzahlen kann die Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens ermittelt werden. Dabei informieren sie nicht nur über bestimmte Sachverhalte, vielmehr ist auch eine Bewertung von ergriffenen Maßnahmen hinsichtlich der Zielerreichung möglich.

³⁶ Vgl. Alicke (2005), S.182

³⁷ Vgl. Giese (2012), S. 42

³⁸ Sprotte (2009), S. 31

³⁹ Vgl. Sprotte (2009), S. 31ff

Die Frage, welche Informationen über Kennzahlen erfasst werden sollen, ist von wesentlicher Bedeutung und nicht trivial zu beantworten. Nach Palm und Gladen haben Kennzahlen folgende Aufgaben:^{40,41}

- Schaffung von Transparenz
- Unterstützung der Entscheidungsfindung (Verbesserung der Objektivität)
- Darstellung komplexer Sachverhalte
- Unterstützung des Formulierens von Zielen und Prognosen
- Leistungen und Verbesserungspotenziale werden messbar gemacht
- Ermöglichen von Trendbeobachtungen
- Unterstützung des KVP-Prozesses
- Schaffung von Orientierungs- und Vergleichsmöglichkeiten
- Dokumentation von Zuständen
- Einfache Abbildung von komplizierten betrieblichen Sachverhalten, Strukturen und Prozessen
- Gewährleistung eines umfassenden und schnellen Überblicks
- Unterstützung der Führungsinstanzen bei Analysen
- Ausschaltung irrelevanter Daten

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Kennzahlen eine große Bedeutung zukommt und dem Management dabei dienen, Entscheidungen durch die Schaffung einer fundierten Informationsgrundlage zu treffen.

2.4 Performance Measurement Systeme

Neely et al. definieren Performance Measurement Systeme folgendermaßen:

„A performance measurement system can be defined as the set of metrics used to quantify both the efficiency and effectiveness of actions.“⁴²

Nach Neely ist also ein Performance Measurement System der Zusammenschluss der eingesetzten Kennzahlen, welche die Effektivität und Effizienz von Handlungen und Maßnahmen dient. Sie sind also als Instrumente des Performance Measurements zur Messung des Unternehmenserfolgs anzusehen und unterstützen dabei diesen Prozess.

⁴⁰ Vgl. Palm (2006), S. 96

⁴¹ Vgl. Gladen (2014), S. 10

⁴² Neely, et al. (1995), S. 81

2.4.1 Unterschied zu traditionellen Kennzahlensystemen

Kennzahlensysteme haben sich in den letzten Jahrzehnten von Systemen mit reinem finanz-orientiertem Fokus zu ausgewogenen Systemen zur ganzheitlichen Leistungsmessung entwickelt. Kurien und Qureshi stellen die Entwicklung dieser Kennzahlensysteme zu den heutigen PMS dar.⁴³ Vor den 1980ern war die primäre Aufgabe die Kostenrechnung, welche eine rückwirkende Betrachtung des Unternehmens darstellte, den Profit ins Zentrum der Betrachtung stellte und zur Budgetierung diente. In den Neunzigern wurden erstmals Kennzahlen außerhalb der finanziellen Ebene betrachtet. Dieser Kennzahlenmix sollte eine vorausschauende Betrachtung der Effizienz ermöglichen, wobei der Fokus auf Prozesse, Qualität und den Kunden gelegt wurde. Seit den 2000ern wird eine ausgewogene, integrierte und vorausschauende Betrachtung des gesamten Unternehmens über PMS etabliert. Ein wesentliches Ziel ist dabei die Verbesserung der Reaktionsfähigkeit des Unternehmens. Außerdem werden erstmals unternehmensübergreifende Prozesse wie das SCM in den Betrachtungshorizont eingebettet. Diese Entwicklung und Erweiterung der Systeme obliegt der Tatsache, dass der reine Finanzfokus einige Einschränkungen aufweist und die heutigen Anforderungen im Wettbewerbsumfeld nur unzureichend abbildet.⁴⁴

Da traditionelle Kennzahlensysteme in der Praxis weite Verbreitung genießen, soll hier der Unterschied zu modernen PMS dargestellt werden. Eicker zeigt in einer Studie, dass über fünfzig Prozent der befragten Unternehmen traditionelle Kennzahlensysteme einsetzen, allerdings über zweiundsiebzig Prozent einen zukünftigen Einsatz von modernen PMS planen.⁴⁵

Für Gladen sind traditionelle Kennzahlensysteme Analyseinstrumente. Moderne Performance Measurement Systeme werden hingegen als Steuerungsinstrumente eingesetzt.⁴⁶ Diese These wird von Richert unterstrichen, der als größten Schwachpunkt traditioneller Kennzahlensysteme die Vergangenheitsorientierung der finanziellen Kennzahlen ausmacht.⁴⁷ Aufgrund dieser „Sicht nach Hinten“ ist eine Echtzeit-Steuerung eines Unternehmens nicht zu realisieren. Moderne Performance Measurement Systeme hingegen setzen bei den Treibern bzw. Indikatoren an, die sich schlussendlich verzögert in den Finanzkennzahlen niederschlagen. Nach Richert sind diese Treiber die Strategie und erfüllte Kundenbedürfnisse.⁴⁸ Erdmann sieht weitere Gründe für diesen Wandel zu Performance Measurement Systemen in der zunehmenden Prozess- und Kundenorientierung sowie dem Fokus auf

⁴³ Vgl. *Kurien/Qureshi* (2011), S. 21

⁴⁴ Vgl. *Tangen* (2004), S. 51

⁴⁵ Vgl. *Eicker, et al.* (2005), S. 410

⁴⁶ Vgl. *Gladen* (2014), S. 1

⁴⁷ Vgl. *Richert* (2006), S. 29

⁴⁸ Vgl. *Richert* (2006), S. 29

Qualitätsverbesserungen begründet.⁴⁹ Rachfall spricht sich ebenfalls für eine Erweiterung der Ergebniskennzahlen (=Finanzkennzahlen) der strategischen Kennzahlensysteme mit Leistungstreibern (Performance Measures) aus, da durch deren Indikatoren-Eigenschaft Abweichungen früher erkannt und Maßnahmen rascher ergriffen werden können. Dies ist vor allem in einem dynamischen Marktumfeld von hoher Bedeutung.⁵⁰

Werden rein finanzorientierte Kennzahlensysteme zur Leistungsmessung und Steuerung des Unternehmens eingesetzt, werden im Management oft Maßnahmen zur Beeinflussung der kurzfristigen Resultate bevorzugt. Dies führt zu einer Vernachlässigung der langfristigen, an der Strategie ausgerichteten Zielsetzungen im Unternehmen. Besonders bei produzierenden Unternehmen ist die fehlende Verbindung zur Produktionsstrategie als Schwachstelle anzuführen. So werden weder Kosten für Prozesse, Produkte und Kunden wiedergespiegelt noch Überproduktion sowie Qualitätskosten identifiziert bzw. bestraft.⁵¹

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal ist also die Art der Kennzahlen. PMS erfassen Kennzahlen verschiedener Perspektiven, welche ein ausgeglichenes und balanciertes Abbild des gesamten Unternehmens gewährleisten sollen. Weitere Unterscheidungsmerkmale führen Lynch und Cross an. Herkömmliche Kennzahlensysteme orientieren sich an der Vergangenheit, während moderne PMS eine Zukunftsorientierung durch den Fokus auf die Erfüllung der Kundenanforderungen aufweisen. Außerdem weisen PMS eine höhere Flexibilität auf, die eine rasche Anpassung an dynamischen Prozessen und Änderungen von Umwelteinflüssen sowie Strategieänderungen ermöglicht. Die bereits angeführte Ausrichtung an der Strategie wird durch traditionelle Kennzahlensysteme nicht erfüllt. Diese Anforderung wird erst durch die Berücksichtigung nicht-monetärer Zielgrößen und Kennzahlen ermöglicht.

Ein PMS ist als integriertes System zu betrachten, welches eine Leistungsverbesserung in allen Bereichen verfolgt sowie Zielkonflikte darstellt. Herkömmliche Kennzahlensysteme zielen hingegen auf Kostensenkung ab, bilden Zielkonflikte der einzelnen Teilziele nicht ab und stellen kein integriertes System dar. Ein weiterer Unterschied ist die Art der Anreizsysteme bzw. Lernprozesse. PMS orientieren sich an einer ganzheitlichen Leistungsverbesserung, die durch die Strategieausrichtung erreicht werden soll.

Anreizsysteme werden am Erfolg von Gruppen bzw. dem gesamten Unternehmen ausgerichtet, während bei traditionellen Kennzahlensystemen oft individuelle, am kurzfristigen Finanzerfolg ausgerichtete Anreizsysteme verbreitet sind. Dadurch wird

⁴⁹ Vgl. *Erdmann* (2007), S. 63ff

⁵⁰ Vgl. *Rachfall/Rachfall* (2013), S. 64

⁵¹ Vgl. *Tangen* (2004), S. 727

oft die individuell richtige Entscheidung zur Erhöhung des persönlichen Boni dem Erfolg des Unternehmens bzw. der Strategieumsetzung vorgezogen.⁵²

2.4.2 Anforderungen an Performance Measurement Systeme

Neben den Funktionen und Aufgaben von Kennzahlen, die bereits in Kapitel 2.3 angeführt wurden und als Basis für die Auswahl geeigneter Kennzahlen herangezogen werden sollen, muss ein PMS, also die Gesamtheit an Kennzahlen, weitere Anforderungen erfüllen. Diese Anforderungen definiert Tangen folgendermaßen:⁵³

- *Unterstützung der strategischen Ziele:* Ein PMS soll von den strategischen Zielen des Unternehmens abgeleitet werden. Aus diesem Grund muss das PMS auch flexibel gestaltet sein, sodass bei einer Änderung der Strategie das PMS sich an die neue strategische Ausrichtung anpassen kann.
- *Balance zwischen den verschiedenen Perspektiven:* Hier fließt die Forderung ein, dass nicht nur Finanzkennzahlen zur Leistungsmessung eingesetzt werden sollen. Vielmehr muss eine Balance zwischen den einzelnen Perspektiven sowie des Zielhorizonts (langfristige strategische Ziele, kurzfristige operative Ziele) gegeben sein.
- *Schutz gegen Sub-Optimierung:* Durch die klare Ableitung der Kennzahlen von der Strategie und der damit verbundenen Ausrichtung an einem unternehmensweiten Ziel schützen moderne PMS gegen Sub-Optimierung.
- *Limitierte Anzahl an Kennzahlen:* Um eine Informationsüberlastung zu vermeiden, darf in einem PMS nur eine limitierte Anzahl an Kennzahlen eingesetzt werden.
- *Leichte Zugänglichkeit und einfaches Verständnis:* Das Hauptziel eines PMS ist es, wichtige Informationen zur richtigen Zeit der richtigen Person aufzubereiten. Daher muss ein PMS so gestaltet werden, dass die beinhalteten Informationen verständlich und nachvollziehbar präsentiert werden.
- Performance Measures sollen klare Zielsetzung haben sowie Informationen bezüglich der Messung (Häufigkeit, Art, Anwender) und des Zeitrahmens der Zielerreichung anführen.

Somit lässt sich abschließend zusammenfassen, dass in einem heutigen Wettbewerbsumfeld traditionelle Kennzahlensysteme zur Steuerung von Unternehmen wesentliche Einschränkungen aufweisen und somit der Schritt zu PMS, welche eine proaktive, reaktionsschnelle und strategiekonforme Steuerung von Unternehmen gewährleisten, notwendig ist. Als das wohl bekannteste und am weitesten verbreitete PMS gilt die Balanced Scorecard, deren Konzept im folgenden Kapitel näher besprochen werden soll.

⁵² Vgl. Lynch/Cross (1995), S. 38

⁵³ Vgl. Tangen (2004), S. 727f

2.4.3 Balanced Scorecard

Eicker et al. zeigen in seiner Studie, dass knapp ein Drittel der untersuchten Unternehmen (Logistik-, Instandhaltungs- und Entsorgungsdienstleister) die BSC als Kennzahlensystem einsetzen, allerdings ist bei rund zwei Drittel der Unternehmen ein zukünftiger Einsatz geplant.⁵⁴ Dies untermauert den Wandel zu Performance Measurement Systemen und den Stellenwert der Balanced Scorecard.

2.4.3.1 Überblick

Die BSC entstand in den frühen 90ern durch ein jahrelanges Forschungsprojekt bezüglich Performance Measurement und wurde federführend von Robert Kaplan und David Norton entwickelt. Dabei ist das ursprüngliche Ziel dem Top-Management einen schnellen und umfangreichen Überblick über das Unternehmen zu geben.⁵⁵ Der Kennzahleneinsatz in der BSC beläuft sich zum einen auf Finanzkennzahlen, welche die bereits getätigten Maßnahmen und Ergebnisse aufzeigen. Zum anderen wird die BSC über operative Kennzahlen komplettiert, welche Bereiche wie die Kundenzufriedenheit, interne Prozesse sowie die Innovations- und Verbesserungsaktivitäten des Unternehmens abbilden sollen.⁵⁶

Als Veranschaulichung für die Funktionsweise der BSC benutzen die Autoren Kaplan und Norton den Vergleich zu einem Flugzeug-Cockpit. Zur Steuerung und Navigation eines Flugzeuges benötigen die Piloten detaillierte Informationen über verschiedene Aspekte des Fluges wie Treibstoffverbrauch und Füllstand des Tanks, Fluggeschwindigkeit, Flughöhe etc. Verlässt man sich allerdings nur auf eine dieser Anzeigen, kann dies fatale Auswirkungen haben. Ähnlich sehen die Autoren die Steuerung von Unternehmen. Die Komplexität der Unternehmensführung verlangt die Performance-Messung in verschiedenen Bereichen.⁵⁷ Als wesentliche Bereiche werden vier Perspektiven, denen übergeordnet vier Basisfragen zugeordnet werden, identifiziert:⁵⁸

- Finanzperspektive – Wie sehen uns die Shareholder?
- Kundenperspektive – Wie sehen uns die Kunden?
- Interne Perspektive/ Prozessperspektive – Worin müssen wir uns auszeichnen?
- Potenzialperspektive (Innovations- und Lernperspektive) – Können wir uns verbessern und Werte generieren?

„Die Kernidee einer BSC ist die Umsetzung der Vision und Strategie eines Unternehmens in qualitative und quantitative Zielsetzungen und Kennzahlen.“⁵⁹ Diese

⁵⁴ Vgl. Eicker, et al. (2005), S. 410f

⁵⁵ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 71

⁵⁶ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 71

⁵⁷ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 71f

⁵⁸ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 72

⁵⁹ Barthélemy, et al. (2011), S. 28

Philosophie geht auch durch Abbildung 3, welche das Schema einer BSC darstellt, hervor. Zentraler Bestandteil der BSC ist die Vision und Strategie des Unternehmens, aus denen schließlich Kennzahlen und damit verbundene Zielsetzungen in den jeweiligen Perspektiven abgeleitet werden. Für ein effektives Handeln der Akteure werden ebenfalls Soll-Werte ausgegeben sowie Maßnahmen definiert, die zur Zielerreichung und damit zur Umsetzung der Strategie dienen sollen. Zur Überwachung des Zielerreichungsgrades ist dabei auch die Angabe eines zeitlichen Rahmens sinnvoll, da dadurch eine zeitlich gebundene Zustandsüberwachung ermöglicht wird.

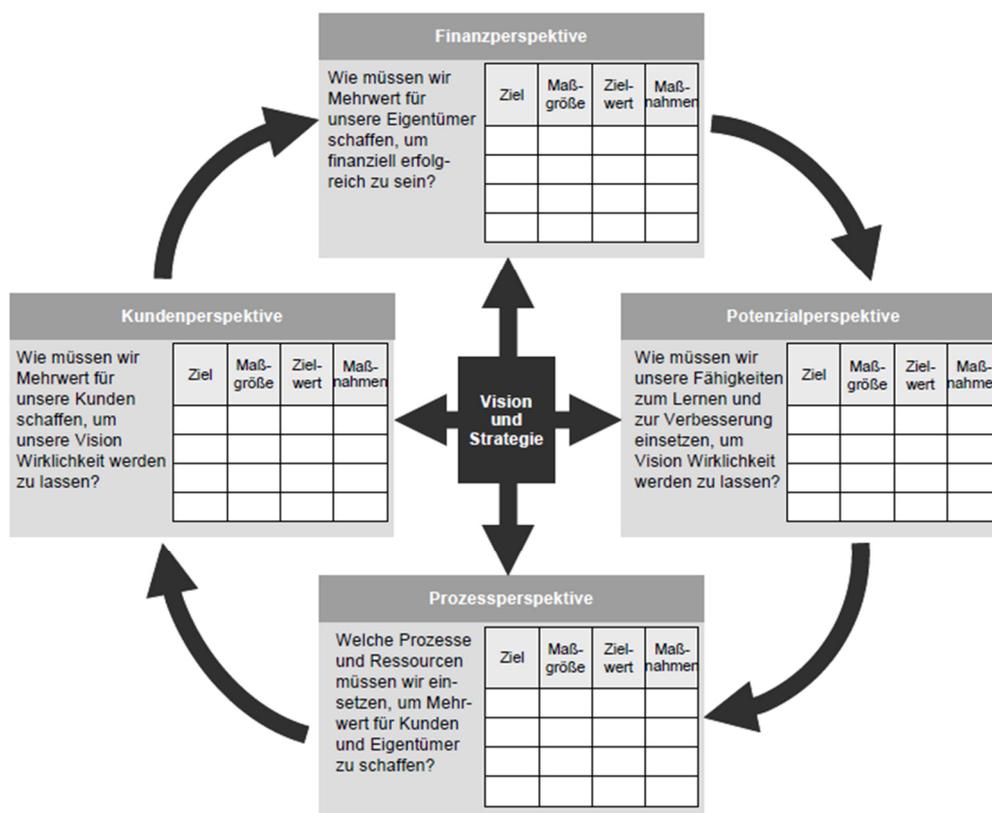


Abbildung 3 - Die Perspektiven der Balanced Scorecard⁶⁰

Auf den folgenden Seiten sollen die Inhalte der einzelnen Perspektiven aufgeführt werden.

Finanzperspektive

Kennzahlen der Finanzperspektive definieren die Langzeit-Ziele des Unternehmens bzw. der Organisationseinheit. Während der Fokus der meisten Unternehmen auf Kennzahlen bezüglich der Profitabilität des Unternehmens liegt, weisen Kaplan und

⁶⁰ Barthélemy, et al. (2011), S. 27

Norton auch die Möglichkeit der Implementierung weiterer Finanzkennzahlen aus, wobei diese Unterteilung von der Phase des Unternehmens abhängt.⁶¹

- Rapid Growth
- Sustain
- Harvest

Rapid Growth-Unternehmen stehen am Anfang ihres Lebenszyklus und müssen daher oft große Investitionen tätigen. Unter anderem sind Investitionen in Einrichtungen, Anlagen und Infrastruktur ebenso notwendig wie in die Forschung und Entwicklung (F&E) und die Produktentwicklung.⁶²

Der Großteil der Unternehmen befindet sich in der Phase *Sustain*. Diese Unternehmen halten allerdings schon Marktanteile inne und lukrieren Umsätze. Investitionen werden weiterhin getätigt, allerdings unterscheiden sich diese wesentlich von Unternehmen in der *Rapid-Growth-Phase*. Investitionen erfolgen zur Umsetzung von Projekten zur kontinuierlichen Verbesserung (KVP-Projekte), dem Aufdecken von Schwachstellen sowie zur Kapazitätserweiterungen.⁶³

Erreichen Unternehmen die *Harvest*-Phase, wird das Investitionsvolumen im Vergleich zu den vorangegangenen zwei Phasen reduziert um Gewinne zu generieren. Generell sind in dieser Phase daher keine großen Investitionen geplant, da diese nur zum Erhalt des Unternehmens getätigt werden.⁶⁴

Kaplan und Norton führen an, dass die eingesetzten Kennzahlen von der jeweiligen Phase und der damit verbundenen variablen Strategie abhängig sind. Während in der Growth-Phase Umsatzwachstum im Vordergrund steht wird in der Harvest-Phase der Cash-Flow im Vordergrund stehen.

Kundenperspektive

Speziell die Kundenperspektive ist ein wesentlicher Bestandteil der BSC, die damit den Fokus auf die Kundenorientierung ausdrückt. Die Identifikation und Befriedigung von Kundenwünschen ist ein wesentlicher Erfolgsgarant. Norton und Kaplan weisen vier Bereiche aus, in denen sich Kundenwünsche äußern: Zeit, Qualität, Kosten sowie Leistung und Service.⁶⁵

⁶¹ Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 56

⁶² Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 56

⁶³ Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 57

⁶⁴ Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 57

⁶⁵ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 73

Die Kundenperspektive beinhaltet generische Kennzahlen, die die Strategie-Implementierung bewerten sollen: Kundenzufriedenheit, Kundenbindung, Neukundenquote sowie Marktanteile.⁶⁶

Prozessperspektive

Die Prozessperspektive soll aufzeigen, wie die zur Befriedigung der Kundenwünsche identifizierten Anforderungen aus betrieblicher Sicht zu realisieren sind. Der Fokus muss in der Prozessperspektive auf den Kernprozessen liegen, die für die Erhöhung bzw. Erfüllung der Kundenanforderungen hauptverantwortlich sind. Daher stehen Kennzahlen bezüglich Qualität, Durchlaufzeit sowie Produktivität im Fokus.⁶⁷

Kaplan und Norton betonen hier auch die hierarchische Zuordnung und Verdichtung von Kennzahlen. Kennzahlen des Top-Managements, die einen groben Überblick über die internen Kernprozesse geben sollen, müssen in für den Mitarbeiter auf Shopfloor-Ebene beeinflussbare und in seiner Einflussphäre liegende Kennzahlen abgeleitet werden. Diese Verbindung ermöglicht es, dass Mitarbeiter auf operativer Ebene klare Zielsetzungen und Handlungsmöglichkeiten besitzen, die an der Vision und Strategie des gesamten Unternehmens ausgerichtet sind.⁶⁸

Potenzialperspektive

Die Kunden- und Prozessperspektive richten sich auf die wesentlichen Elemente des Erfolgs im Wettbewerb. Aufgrund der Dynamik dieser Erfolgsfaktoren ändern sich die Anforderungen laufend. In der Potenzialanalyse wird daher die Fähigkeit des Unternehmens bzw. der Organisationseinheiten hinsichtlich Innovation, Verbesserung sowie des Lernens betrachtet. Aufgrund dieser Fähigkeiten wird die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit sichergestellt.⁶⁹

Betrachtungsobjekte sind Menschen, Systeme sowie organisatorische Prozesse. Um auch zukünftige Wettbewerbsfähigkeit zu gewährleisten, müssen die Fähigkeiten diese Betrachtungsobjekte erweitert und angepasst werden. Typische Kennzahlen dieser Perspektive sind Mitarbeiter-bezogene Kennzahlen wie die Mitarbeiterzufriedenheit.⁷⁰

2.4.3.2 Stärken und Schwächen der BSC

Striteska analysiert diverse Performance Measurement Systeme und bewertet diese hinsichtlich deren Stärken und Schwächen. Zu den Stärken der BSC zählen die Klarheit der Darstellung der Vision und der Strategie des Unternehmens sowie die konsequente Abbildung und Überwachung der Strategie. Durch diese klare

⁶⁶ Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 58

⁶⁷ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 75

⁶⁸ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 75

⁶⁹ Vgl. Norton/Kaplan (1992), S. 75

⁷⁰ Vgl. Kaplan/Norton (1996), S. 75

Darstellung der Strategie kann sich das Unternehmen auf die wesentlichen, strategisch bedeutendsten Aspekte konzentrieren und relevante Maßnahmen ergreifen. Die BSC gestattet eine interdisziplinäre und Hierarchie-durchquerende Kommunikation, durch die eine Integration und Ableitung von strategischen Zielsetzungen auf die operative Ebene und damit eine strategiekonforme Umsetzung ermöglicht wird. Durch diese direkte Ableitung aus der Strategie sind auch Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge bekannt und ein Instrument des Managements.⁷¹

Butilca sieht in der Konsistenz zwischen Vision und Aktion und der hohen Flexibilität beim Ändern von Strategien, die durch die dargestellten Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge ermöglicht wird, Stärken der BSC.⁷²

Die Schwächen identifiziert Striteska in der Nicht-Berücksichtigung der Interessen aller Stakeholder, die Unklarheit der richtigen Anzahl an Kennzahlen sowie die fehlende Eignung der BSC für das Benchmarking. Striteska und Spickova weisen außerdem aus, dass die BSC als Controlling-Tool und nicht als Verbesserungs-Tool zu sehen ist.⁷³

Die Schwierigkeit, Interaktionen zwischen den einzelnen Kennzahlen darzustellen bzw. zu erkennen kritisieren Agami et al. Die Autoren führen als weitere Schwachstelle im Kontrast zu Striteska und Spickova die Statik der Balanced Scorecard an, wodurch keine Möglichkeit der Kommunikation, Weiterentwicklung und Implementierung der Strategie ermöglicht wird.⁷⁴ Um die Abhängigkeiten und Beeinflussungen der einzelnen Kennzahlen der Balanced Scorecard qualitativ abzubilden, wurde die Strategy Map entwickelt, welche im folgenden Kapitel besprochen wird.

2.4.4 Strategy Map

Die Vision eines Unternehmens, welche durch das Top-Management kreiert wird, muss klar verständlich und einfach an das gesamte Unternehmen kommuniziert werden.⁷⁵ Lueg beschreibt die Aufgabe der Strategy Map als Erweiterung der Balanced Scorecard als Kommunikationstool für Manager, um die Strategie und deren Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge nachvollziehbar zu visualisieren. Dadurch soll die Strategy Map für ein besseres Verständnis der Zusammenhänge der einzelnen Kennzahlen in der BSC führen, Widerstände der Mitarbeiter abbauen, das Engagement fördern, ein generelles Verständnis schaffen und damit mehr Akzeptanz der individuellen Ziele generieren.^{76,77}

⁷¹ Vgl. *Striteska/Spickova* (2012), S. 5

⁷² Vgl. *Butilca/Ilies* (2011), S. 42

⁷³ *Striteska/Spickova* (2012), S. 5

⁷⁴ Vgl. *Agami, et al.* (2012), S. 6

⁷⁵ Vgl. *Lueg* (2015), S. 34

⁷⁶ Vgl. *Lueg* (2015), S. 34f

⁷⁷ Vgl. *Kaplan/Norton* (2004), S. 44f

Abbildung 4 zeigt den beispielhaften Aufbau einer Strategy Map. Mit diesem Tool ist die strategische Ausrichtung des Unternehmens rasch zu erkennen.

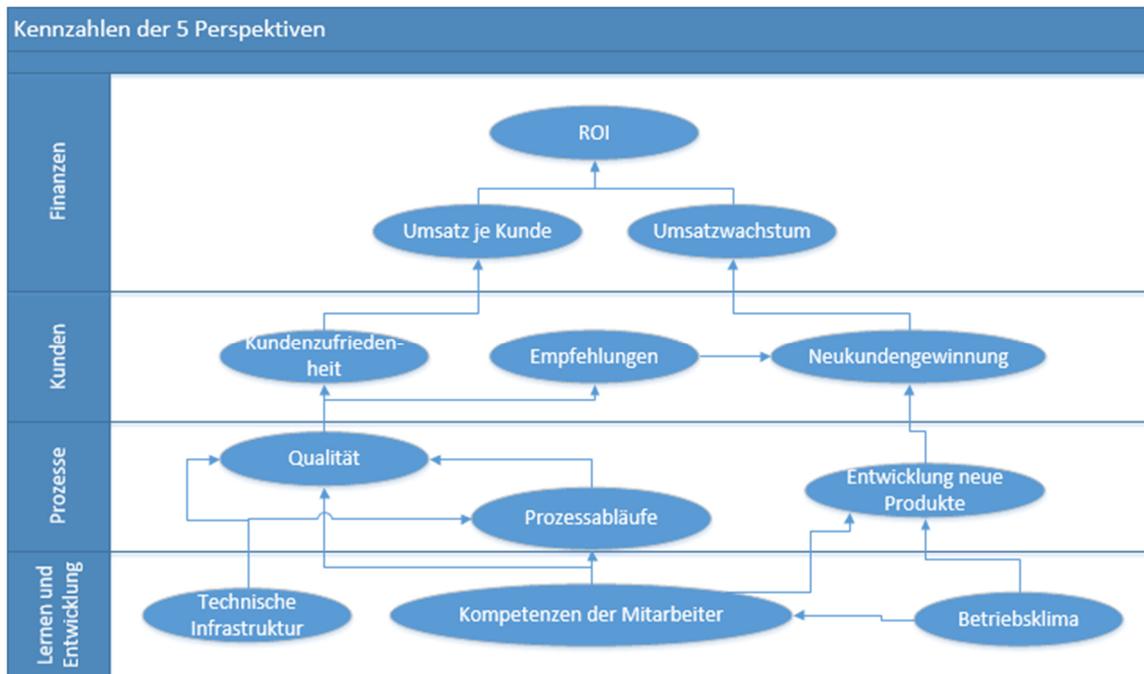


Abbildung 4 - Darstellung einer beispielhaften Strategy Map⁷⁸

Wird in etwa die Kompetenz der Mitarbeiter gesteigert, beeinflusst dies die Prozessqualität positiv. Diese wiederum verbessert die Kundenzufriedenheit, welche sich zu guter Letzt auch in den Finanzkennzahlen durch steigende Umsätze niederschlägt. Somit ergibt sich der Vorteil von modernen PMS gegenüber herkömmlichen Kennzahlensystemen. Veränderungen werden frühzeitig erkannt wodurch die Reaktionsfähigkeit des Unternehmens gesteigert wird. Wird hingegen das Unternehmen über herkömmliche Kennzahlensysteme nur über die Finanzperspektive erfasst, lassen sich Umsatzrückgänge erst reaktiv zum Zeitpunkt des Auftretens eines Nachfragerückgangs erkennen. Erfasst man hingegen über die BSC Indikatoren und kennt die qualitativen Abhängigkeiten der Kennzahlen zueinander, lassen sich z.B. bereits bei einem Rückgang der Kundenzufriedenheit korrektive Steuerungsmaßnahmen ergreifen.

Für einen unternehmensübergreifenden Einsatz von Kennzahlensystemen ist zunächst ein Grundverständnis für das Supply Chain Management notwendig. Die Grundlagen dieses breiten Themengebietes werden im nachfolgenden Kapitel diskutiert.

⁷⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an <http://www.business-wissen.de/hb/so-sieht-eine-strategy-map-aus/> (Gelesen am 23.01.2016)

3 Supply Chain Management

Aufgrund von Globalisierung, Exportquoten-Erhöhung sowie Outsourcing und die damit verbundene Reduktion der Wertschöpfungstiefen findet der Konkurrenzkampf nicht mehr zwischen einzelnen Unternehmen statt.⁷⁹ Vielmehr stehen gesamte Wertschöpfungsnetzwerke, sogenannte Supply Chains, in Konkurrenz zueinander.⁸⁰ Das Management dieser Wertschöpfungsnetzwerke ist Aufgabe des Supply Chain Management, dessen Grundlagen in diesem Kapitel besprochen werden.

3.1 Wertschöpfungskette - Supply Chain

Die Wertschöpfungskette wird in zwei verschiedene Sichtweisen in Abhängigkeit der Systemgrenzen eingeteilt:^{81,82}

Die unternehmensinterne Supply Chain bezieht sich auf Prozesse in einem Unternehmen, die zur Leistungserstellung notwendig sind. Die unternehmensexterne Supply Chain hingegen fokussiert sich auf die Schnittstellen des Unternehmens mit der Umwelt. Darunter sind Kunden, Lieferanten und andere Stakeholder des Unternehmens zu verstehen.

Busch und Dangelmaier definieren den Begriff der Supply Chain im engeren Sinn als Lieferkette, Versorgungskette oder unternehmensübergreifende Wertschöpfungskette, wobei eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Logistikkette angestrebt wird.⁸³ Daher ist eine Supply Chain eine zusammenhängende Kette funktionaler Bereiche, deren Charakteristikum ein durchgängiger Material- sowie Informationsfluss ist, welcher vom Lieferanten bis zum Endkunden miteinander verknüpft ist.

Betrachtet werden kann die SC als Kette von verknüpften Prozessen oder als System. Werden statt einzelnen, parallel ablaufenden Wertschöpfungsketten mehrere Akteure einer Stufe miteinander verknüpft, spricht man von einem Wertschöpfungsnetzwerk.⁸⁴ Der Begriff des Netzwerks bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Tatsache, dass eine Supply Chain in der Praxis keine lineare Kette darstellt, sondern als komplexes Gebilde verschiedener Akteure zu verstehen ist, die in Kooperation oder Konkurrenz zueinander stehen.⁸⁵ Diese Darstellung bildet die in der Praxis herrschenden realen Bedingungen besser ab.

Ein Unternehmensnetzwerk, also eine wiederholte und dauerhafte Zusammenarbeit zwischen Unternehmen, ist ein Schlüsselkonzept der wirtschaftlichen Zusammenarbeit. Als Grund für diese Kooperationsbeziehungen zwischen Unternehmen zur Sicherung der eigenen Wettbewerbsfähigkeit sind die vertikale

⁷⁹ Vgl. Meyer/Schüler (2011), S. 1

⁸⁰ Vgl. Kumar/Nambirajan (2013), S. 37

⁸¹ Vgl. Werner (2013), S. 7

⁸² Vgl. Giese (2012), S. 7

⁸³ Vgl. Busch/Dangelmaier (2004), S. 4

⁸⁴ Vgl. Sennheiser/Schnetzler (2008), S. 2

⁸⁵ Vgl. Busch/Dangelmaier (2004), S. 4

Desintegration, flexible Spezialisierung sowie der erhöhte Innovationsdruck zu nennen.⁸⁶

Abbildung 5 zeigt hier ein exemplarisches Wertschöpfungsnetzwerk. Hier sind die Vernetzungen der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette zu erkennen. Rohstoff-Produzenten beliefern mit ihren Produkten mehrere Teileproduzenten, welche wiederum mehrere Modulhersteller beliefern usw. Dadurch entsteht das sogenannte Unternehmensnetzwerk.

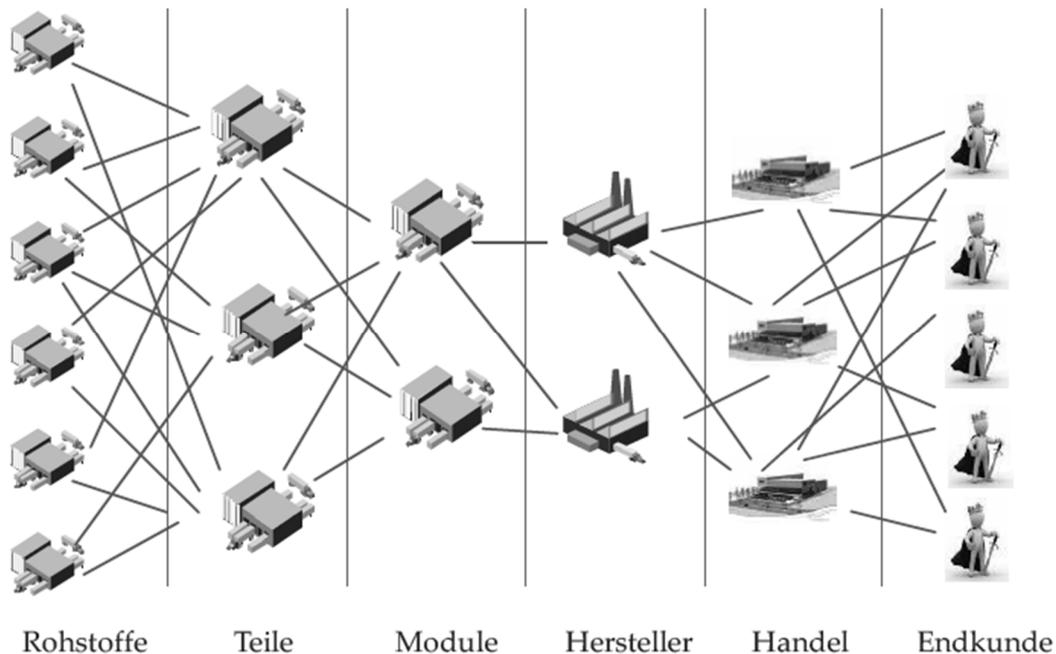


Abbildung 5 - Wertschöpfungsnetzwerk⁸⁷

In folgenden sollen Grundbegriffe des Supply Chain Management geschaffen werden.

3.2 Grundlagen des Supply Chain Management

Generell befasst sich das Supply Chain Management mit dem Management der eben definierten Supply Chain. Definitionen und Begriffsabgrenzungen des Supply Chain Management zu verwandten Kategorien sind in der Literatur vielfältig anzutreffen. Daher gibt es Definitionen, die für den jeweilig spezifischen Anwendungskontext passender sind als andere, da unterschiedliche Aspekte des SCM beleuchtet werden. Werner gibt folgende Definition des SCM:

*"Ein Supply Chain Management kennzeichnet interne wie netzwerkgerichtete integrierte Unternehmensaktivitäten von Versorgung, Entsorgung und Recycling, inklusive begleitende Geld- und Informationsflüsse."*⁸⁸

Diese Definition richtet sich stärker an den reinen Logistikprozessen des Unternehmens aus und ist für den Kontext dieser Arbeit zu eng definiert, da zum einen

⁸⁶ Vgl. Glückler (2012), S. 1

⁸⁷ Werner (2013), S. 28

⁸⁸ Werner (2013), S. 7

der Kooperationsaspekt ausgeklammert wird sowie Produktionsprozesse nicht berücksichtigt werden. Da im Rahmen dieser Arbeit die Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken analysiert werden soll, ist folgende Definition von Sennheiser und Schnetzler zweckmäßiger:

*"SCM ist die langfristige und kooperative Gestaltung, Lenkung und Entwicklung von Wertschöpfungsketten und -netzwerken."*⁸⁹

Fasst man die Gemeinsamkeiten der diversen Definitionen zusammen kann man folgende Eigenschaften des Supply Chain Management ausweisen:

- SCM ist ein generalistischer Managementansatz für Wertschöpfungsketten⁹⁰, bei dem die *"kostenoptimale Planung, Gestaltung, Steuerung und Kontrolle der logistischen Prozesse, die zur Entwicklung, Erstellung und Verwertung von Sachgütern und/oder Dienstleistungen führen"*⁹¹ im Vordergrund steht.
- Die Beziehungen zwischen den Unternehmen des Wertschöpfungsnetzwerkes ist ein wesentlicher Bestandteil des SCM. Dabei erstreckt sich dieses Wertschöpfungsnetzwerk vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden. Allerdings erstreckt sich das SCM in der Praxis oft nur bis zum direkt vor- bzw. nachgelagerten Unternehmen.⁹²
- Die Kundenorientierung bzw. die Befriedigung der Bedürfnisse des Endkunden ist ein zentraler Bestandteil. Jede Aktivität ist *"auf ihre Relevanz bezüglich ihrer Auswirkung auf den Endkunden zu prüfen."*⁹³
- Durch das SCM ergeben sich Wettbewerbsvorteile gegenüber Unternehmen, die auf ein Management der Wertschöpfungskette verzichten.⁹⁴
- Erschließung interorganisationaler Erfolgspotentiale: Betrachtungshorizont der Optimierungsansätze ist die gesamte Wertschöpfungskette. Das Streben nach einem Gesamtoptimum ist daher von zentraler Bedeutung und dem Optimum der Einzelunternehmen übergeordnet.⁹⁵
- Das SCM ist ein prozessorientierter Ansatz, bei dem Güter-, Informations-, Dienstleistungs- und Finanzflüsse koordiniert und optimiert werden.⁹⁶

Das SCM ist also ein prozessorientierter, an der Befriedigung der Kundenbedürfnisse ausgerichteter Managementansatz, der sich über die Unternehmensgrenzen hinweg vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden erstrecken kann und damit interorganisationale Erfolgspotenziale erschlossen werden sollen.

⁸⁹ Sennheiser/Schnetzler (2008), S. 4

⁹⁰ Vgl. Richert (2006), S. 20

⁹¹ Giese (2012), S. 14

⁹² Vgl. Giese (2012), S. 7

⁹³ Richert (2006), S. 20

⁹⁴ Vgl. Richert (2006), S. 22

⁹⁵ Vgl. Giese (2012), S. 14

⁹⁶ Vgl. Giese (2012), S. 14

3.3 Aufgaben und Ziele des Supply Chain Management

Dem SCM können drei Betrachtungsebenen zugeordnet werden. Der normativen, der strategischen sowie der operationellen Ebene, deren Strukturen, Aktivitäten und Verhalten in Abbildung 6 dargestellt sind.⁹⁷

Die normative Ebene beinhaltet grundsätzliche Fragen, die die Sicherung der Lebens- und Entwicklungsfähigkeit der Akteure des Wertschöpfungsnetzwerkes behandelt. Diese Ebene beschäftigt sich mit der Vision der Supply Chain. Dadurch wird ein Zukunftsbild geschaffen, an dem sich das strategische SCM ausrichten kann. Der Zeithorizont ist langfristig, die Verantwortlichkeit liegt üblicherweise auf der Ebene des Aufsichts- bzw. Verwaltungsrates.

Die strategische Ebene legt Supply Chain-Strategien fest, mit denen die SCM-Vision der normativen Ebene umgesetzt wird. Hier werden strategische Zielsetzungen und logistische Erfolgspotenziale definiert. Außerdem werden Maßnahmen bezüglich der Konfiguration und Organisation der Wertschöpfungsnetzwerke ergriffen, die zur Umsetzung der SCM-Vision notwendig sind. Dazu zählen die Standortwahl sowie das Kunden- und Lieferantenmanagement. Weitere Aktivitäten sind die Grobkonzeption von Wertschöpfungsprozessen sowie das Ausschöpfen von Verbesserungspotenzialen. Der Zeithorizont dieser Ebene ist mittel- bis langfristig, die Verantwortlichkeit liegt üblicherweise bei der Geschäftsleitung bzw. der SCM-Leitung.

Die operative Ebene ist als Ausführungsebene zu sehen. Hier werden Planziele und konkrete Maßnahmen in Projekten zur Umsetzung der Strategie ausgeführt. Weiters befasst sich die operationelle Ebene mit der Planung und Steuerung des Tagesgeschehens. Dabei ist das Ziel ein effizientes Betreiben der Wertschöpfungsprozesse entlang der SC. Zu den Inhalten zählen unter anderem die Auftragsabwicklung mit Lieferanten und Kunden sowie die Ausgestaltung von Material- und Informationsflüssen in der Beschaffung, Produktion sowie im Vertrieb. Der Zeithorizont ist hier kurz- bis mittelfristig, die Verantwortlichkeit liegt hier in der SCM- bzw. Logistikleitung. Die konkrete Umsetzung der Maßnahmen wird den betroffenen Bereichen wie der Produktionsplanung, dem Vertrieb etc. zugerechnet.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die Integration der Strategie in konkrete Maßnahmen. Daher dürfen die angeführten Ebenen nicht getrennt und unabhängig voneinander betrachtet werden, sondern müssen zueinander in Verbindung stehen. Die Bedeutung dieser Forderung zeigt eine Studie der WHU - Otto Beisheim School of Management zum Thema Kennzahleneinsatz. High-Performer zeigen eine klar bessere Verknüpfung der strategischen mit der operativen Ebene, wodurch die Kopplung der

⁹⁷ Vgl. *Sennheiser/Schnetzler* (2008), S. 12ff

Vision und Strategie des SCM mit der operativen Ebene und damit den Wertschöpfungsprozessen gegeben ist.⁹⁸

Ebene	Strukturen	Aktivitäten	Verhalten
Normatives SCM 	Logistik-/SCM-Vision als Zukunftsbild des Wert- schöpfungsnetzwerks Wertvorstellungen grundlegende Zielsetzungen und -ausrichtungen	Ausrichten des strategischen SCM Design des Wertschöpfungs- netzwerks	Kooperationskultur Kooperationsbereitschaft Make-or-buy-Haltung
Strategisches SCM 	Ressourcen Wertschöpfungsnetzwerk SCM-/Logistik-Organisation	Entwicklung von Supply Chain-Strategien zum Aufbau logistischer Erfolgs- potentiale Prioritätensetzung	SCM-Fähigkeiten Kooperationsfähigkeit Problemlösungsfähigkeit Kunden-/Marktorientierung
Operationelles SCM 	Wertschöpfungsprozesse	Implementierung der Supply Chain-Strategie (Projekte) Planung und Steuerung der Leistungserstellung („Operations Management“) Ausführung von Prozessen	Kooperationsverhalten Leistungsverhalten

Abbildung 6 - Ebenen des SCM⁹⁹

Als Hauptmotiv für das Supply Chain Management weisen Busch/Dangelmaier die Synchronisation von Nachfrage und Angebot und damit die Eliminierung bzw. Abschwächung des Bullwhip-Effekts in einem unternehmensübergreifenden Kontext aus. Der Bullwhip-Effekt beschreibt den Effekt der Verzerrung und Aufschaukelns der Nachfrage in Wertschöpfungsnetzwerken aufgrund von mangelndem und verzögertem Informationsaustausch zwischen den Partnern der Wertschöpfungskette.

Durch diese verzögerte Weitergabe an wesentlichen Informationen bezüglich der Kundennachfrage, zusätzlichen Zeitverzug im Informationsfluss sowie lokalen Bestands- und Sicherheitsreserven schaukelt sich die Bestellmengen entlang des Informationsflusses (flussabwärts) immer stärker auf. Spezifischere Zielsetzungen des SCM leiten sich von diesem Kernproblem ab.¹⁰⁰

Als Kernaufgabe ist daher die unternehmensübergreifende Informationsversorgung, Planung und Steuerung anzusehen.

⁹⁸ Vgl. Weber, et al. (2012), S. 28

⁹⁹ Sennheiser/Schnetzler (2008), S. 15

¹⁰⁰ Vgl. Busch/Dangelmaier (2004), S. 33f

Als Zielbereiche des SCM definieren Sennheiser und Schnetzler folgende Bereiche:¹⁰¹

- Qualität
- Lieferzuverlässigkeit
- Lieferdurchlaufzeit
- Flexibilität
- Operationelle Kosten
- Zusammenarbeit
- Koordination
- Veränderbarkeit

Die Bereiche Zusammenarbeit, Koordination und Veränderbarkeit sind unternehmensübergreifende Aspekte, die bei der Gestaltung der SC berücksichtigt werden müssen und daher der strategischen und normativen Ebene zuzurechnen sind. Die Zielbereiche Qualität, Lieferzuverlässigkeit, Lieferdurchlaufzeit, Flexibilität und operationelle Kosten sind hingegen der operativen Ebene zuzurechnen.

Aufgrund der Heterogenität der Akteure und den vorhandenen Konkurrenzverhältnissen in Wertschöpfungsnetzwerken entsteht ein latentes Spannungsverhältnis. Auf der einen Seite wird eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch das SCM angestrebt, auf der anderen Seite streben die einzelnen Akteure nach Autonomie. Dieser Balanceakt der konkurrierenden Zielsysteme und der damit verbundenen Aufgabe des Lösens dieser Zielkonflikte ist eine große Herausforderung im SCM.¹⁰² Als Paradebeispiel für Zielkonflikte dient das magische Dreieck aus den Kriterien Kosten, Zeit und Qualität. Dabei wird postuliert, dass man nur zwei dieser drei Zielbereiche verbessern kann, während die dritte Kategorie dadurch negativ beeinflusst wird. Heute spricht man allerdings vermehrt von einem magischen Viereck aus den Zielbereichen Kosten, Zeit, Qualität und Flexibilität.¹⁰³

Um Steuerungsmaßnahmen im SCM ergreifen zu können ist eine Erfassung der Vorgänge entlang der Supply Chain notwendig. Hierzu dient das Supply Chain Performance Measurement (SCPM), welches sich der Thematik der unternehmensübergreifenden Leistungsmessung annimmt und im nachfolgenden Kapitel besprochen wird.

¹⁰¹ Vgl. *Sennheiser/Schnetzler* (2008), S. 8ff

¹⁰² Vgl. *Werner* (2013), S. 29

¹⁰³ Vgl. *Werner* (2013), S. 30

4 Supply Chain Performance Measurement

Unternehmen können nur dann Profit aus dem SCM lukrieren, wenn die SC vollständig verstanden und gut gemanagt wird.¹⁰⁴ Diese Aussage spiegelt die Aufgabe des Performance Measurements in Supply Chains wieder. So ist eine Messung der Vorgänge einer Supply Chain über Performance Measurement Systeme notwendig, um einen Überblick und ein Verständnis über die Wertschöpfungskette zu erhalten und somit Management-Maßnahmen zur Steuerung und Verbesserung zu ergreifen. Das Hauptziel, Kundenaufträge schneller und effizienter als der Wettbewerb abzuwickeln, verlangt einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess und wettbewerbsfähige Strategien, die entlang der gesamten Wertschöpfungskette implementiert werden.¹⁰⁵ Zu glauben, dass durch die Messung der Leistung und die damit verbundene Zielsetzung über numerische Ziele bereits Verbesserungen erzielt werden, ist falsch. Die Leistungsmessung ist als Grundlage für die Identifikation und Überwachung von Verbesserungspotenzialen anzusehen. Für das Ergebnis ist allerdings die Methode ausschlaggebend, mit der die entsprechenden Maßnahmen zur Zielerreichung umgesetzt werden.¹⁰⁶

Für Gunasekaran et al. findet PM in Supply Chains im Gegensatz zu PM auf Unternehmensebene wenig Beachtung, obwohl dieses essenziell für den Erfolg der SC ist.¹⁰⁷ Aufgrund der verschiedenen Akteure, den unterschiedlichen Zielsystemen und den daraus resultierenden Zielkonflikten ist die Leistungsmessung einer Wertschöpfungskette eine komplexe Herausforderung.¹⁰⁸ Die Anforderungen an PM und PMS für Supply Chains sind analog zu den Anforderungen auf Unternehmensebene, allerdings sind diese spezifisch auf den SC-Bezug zu adaptieren. Folgende Anforderungen werden an die Kennzahlen gestellt:¹⁰⁹

- Verknüpfung der SC-Kennzahlen mit der Unternehmensstrategie
- Einsatz von ausgewogenen, umfassenden Kennzahlen
- Ausrichtung der Ziele an Benchmarks
- Transparenz und Einsatz in allen Ebenen
- SC-Kennzahlen dienen zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen

¹⁰⁴ Vgl. *Elrod*, et al. (2015), S. 39

¹⁰⁵ Vgl. *Karim/Arif-Uz-Zaman* (2013), S. 588

¹⁰⁶ Vgl. *Deming* (1994), S. 41

¹⁰⁷ Vgl. *Gunasekaran*, et al. (2003), S. 333

¹⁰⁸ Vgl. *Estampe*, et al. (2013), S. 247

¹⁰⁹ Vgl. *Cohen/Roussel* (2006), S. 204

Agami et al. fassen folgende Charakteristika zusammen, die für ein erfolgreiches Supply Chain Performance Measurement (SCPM) notwendig sind:¹¹⁰

- *Inklusivität*: Abdeckung aller Aspekte und Prozesse der Supply Chain
- *Allgemeingültigkeit*: Eine Vergleichbarkeit unter verschiedenen Bedingungen muss ermöglicht werden
- *Messbarkeit*: Der Output muss quantifizierbar und messbar sein
- *Konsistenz*: Die ausgewählten Kennzahlen müssen eine Konsistenz mit den Zielen der Supply Chain aufweisen

Außerdem führen die Autoren folgende Gründe für den Einsatz eines Supply Chain Performance Measurement Systems (SCPMS) an:¹¹¹

- *Maßnahmen werden vorangetrieben*: Kennzahlen haben eine starke Sichtbarkeit in einer Organisation und die Personen richten ihr Handeln am Erreichen der Zielwerte dieser Kennzahlen aus. Zusätzlich werden über Kennzahlen Schwachstellen identifiziert, die über konkrete Verbesserungsmaßnahmen optimiert werden.
- *Framework zur Entscheidungsfindung*: SCPMS bieten die Basis zur Auswahl von Maßnahmen und dienen als Entscheidungsgrundlage auf strategischer, taktischer und operativer Ebene.
- *Closed Loop Control*: Ein effektives SCPMS bietet auch die notwendigen Feedback-Informationen zur Überwachung des Fortschrittes, zur Diagnose von Problemen und zur Identifikation von Verbesserungsmöglichkeiten.

Das SCPMS entwickelte sich aus ursprünglich rein finanziellen Kennzahlensystemen ohne Bezug auf sonstige strategische Komponenten zu den heutigen, modernen SCPMS. Der Grund für diese Entwicklung liegt an dem kurzfristigen Zeithorizont, der Nichtberücksichtigung wesentlicher strategischer Komponenten sowie der Vergangenheitsorientierung, da die operative Effektivität und Effizienz nicht gemessen wird.¹¹²

Bis in die Achtziger wurden rein finanzorientierte Kennzahlensysteme verwendet. Erst in den späten Neunzigern wurden auch Kennzahlen anderer Perspektiven betrachtet. Nach der Jahrtausendwende sind SCPMS integrierte Systeme, die eine ausgewogene Sicht auf die Prozesse des SCM ermöglichen.¹¹³

In den folgenden Kapiteln soll ein Überblick über PMS für Supply Chains dargestellt werden. Die wohl bekanntesten und am weitest verbreiteten Systeme, das SCOR-Modell sowie die Supply Chain Balanced Scorecard (SCBSC) werden besprochen. Bezüglich der SCBSC werden verschiedene Ansätze der Wissenschaft angeführt,

¹¹⁰ Vgl. Agami, et al. (2012), S. 3

¹¹¹ Vgl. Agami, et al. (2012), S. 2f

¹¹² Vgl. Agami, et al. (2012), S. 4f

¹¹³ Vgl. Agami, et al. (2012), S. 4f

welche eine Adaptierung bzw. Weiterentwicklung der herkömmlichen BSC für den Kontext des Supply Chain Management darstellen.

4.1 Supply Chain Balanced Scorecard

Die Balanced Scorecard im Supply Chain-Kontext (SCBSC) ist als eine Erweiterung der ursprünglich von Norton und Kaplan entwickelten BSC anzusehen. Ziele und Kennzahlen werden aus der Unternehmensstrategie abgeleitet. Daher ist für die Messung und Steuerung einer Supply Chain über eine SCBSC eine Adaption des vorgestellten Konzepts notwendig.

In diesem Kapitel sollen einige Ansätze in der Wissenschaft angeführt werden, die zur Leistungsmessung der Supply Chain eine Adaption der BSC vorschlagen.

Brewer/Speth, 2000

Der Ansatz von Brewer und Speth verändert die Perspektiven der BSC nicht. Stattdessen richtet sie die Auswahl der Ziele und Kennzahlen an der Strategie der Supply Chain aus. Als Hauptziele werden die Reduzierung von Verschwendung, die Reduzierung der Auftragsdurchlaufzeit, die Flexibilität der Supply Chain sowie die Kostenreduktion pro Einheit identifiziert.¹¹⁴

Weber et al., 2002

Für die Autoren ist die BSC ein geeignetes Instrument zum Controlling von Supply Chains, wenn diese eine inhaltliche und strukturelle Anpassung erfährt.¹¹⁵ Der Wettbewerb der Supply Chains und die damit verbundenen Herausforderungen der Steuerung dieser verlangen neue Instrumente des Controllings. Dazu muss das Controlling das SCM vor allem bezüglich Koordinationsentscheidungen der Supply Chain Partner und der Abbildung der unternehmensübergreifenden Prozesse, welche durch ein einheitliches und konsistentes Informationssystem gewährleistet werden soll, unterstützen.¹¹⁶

Für die Autoren ist ein intensiver Informationsaustausch in einer unternehmensübergreifenden Supply Chain von zentraler Bedeutung. Dieser soll durch eine Abstimmung der Informationssysteme, die zur Optimierung der Schnittstellen eine wesentliche Voraussetzung ist, gewährleistet werden. Der Grad der Abstimmung gibt Rückschlüsse auf die Intensität der Kooperation.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Kooperationsqualität, die sich mit folgenden Größen operationalisieren lässt: Vertrauen, die Art und Weise der Zielfestlegung

¹¹⁴ Vgl. *Brewer/Speth* (2000), S. 79f

¹¹⁵ Vgl. *Weber, et al.* (2002), S. 133

¹¹⁶ Vgl. *Weber, et al.* (2002), S. 135

zwischen den SC-Akteuren, die Verteilung der langfristigen Erlöse und Risiken sowie die Art der Konfliktlösung.¹¹⁷

Somit definieren die Autoren die vier Perspektiven der SCBSC:¹¹⁸

- Prozessperspektive
- Finanzperspektive
- Kooperationsintensität
- Kooperationsqualität

Richert, 2006

Für Richert ist die SCBSC ein PMS der Führung, welche divergierende Ziel- und Interessensysteme der Akteure einer Supply Chain nach den Vorgaben des SCM koordiniert. Sie dient als Instrument zur Strategieimplementierung und Prozessoptimierung.¹¹⁹ Für eine erfolgreiche Anwendung fordert Richert eine zwischen den Akteuren abgestimmte und akzeptierte SC-Strategie sowie ein Verständnis für die Ursache-Wirkzusammenhänge der Kennzahlen und der strategischen Ziele.¹²⁰

Richert wählt fünf Perspektiven für seine SCBSC, wobei die in diesen Perspektiven gewählten Kennzahlen sich stark am SCOR-Modell orientieren:¹²¹

- Finanzperspektive
- Kundenperspektive
- Prozessperspektive
- Kooperationsperspektive
- Lern- und Entwicklungsperspektive

Giese, 2012

Giese entwickelt in Abhängigkeit der Art der Wertschöpfungskette differenzierte SCPMS. Die Autorin kategorisiert Supply Chains in schlanke und agile Supply Chains. Schlanke Supply Chains betrachten die Zieldimensionen Kosten, Qualität und Zeit, streben eine hohe Auslastung der Kapazitäten mit den Methoden der Lean Production an, verlangen eine stabile und gut prognostizierbare Nachfrage und bedienen bestehende Märkte. Die agile Supply Chain hingegen verfolgt die Zieldimensionen Flexibilität, Qualität und Zeit. Die Fertigungsmethode ist die der agilen Produktion, daher steht die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit im Vordergrund wodurch bewusst Kapazitätsreserven zur Glättung von Bedarfsschwankungen vorbehalten werden. Die

¹¹⁷ Vgl. *Weber, et al. (2002)*, S. 135f

¹¹⁸ Vgl. *Weber, et al. (2002)*, S. 140

¹¹⁹ Vgl. *Richert (2006)*, S. 78

¹²⁰ Vgl. *Richert (2006)*, S. 78

¹²¹ Vgl. *Richert (2006)*, S. 82ff

agile SC bedient neue Märkte mit kürzeren Produktlebensdauern unter 2 Jahren und weist eine schlecht prognostizierbare Nachfrage auf.¹²²

Giese entwickelt für diese zwei Typologien verschiedene PMS, wobei sie für die schlanke SC den Ansatz der SCBSC als am geeignetsten betrachtet. Abbildung 7 zeigt die für den Ansatz gewählten Perspektiven samt eingesetzter Kennzahlen.

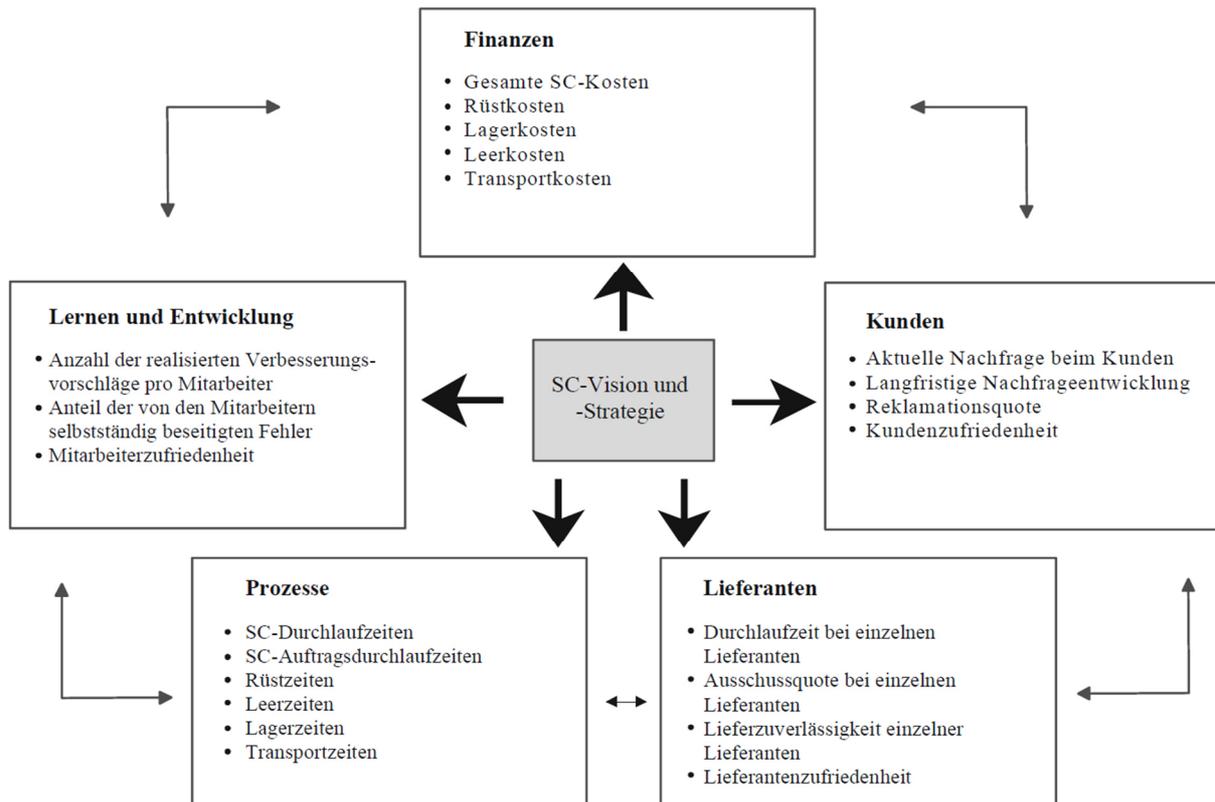


Abbildung 7 - SCBSC nach Giese¹²³

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch das Performance Measurement mit SCBSC eine hohe Flexibilität in der Wahl der Kennzahlen und Perspektiven gegeben ist, die je nach Fokus auf die spezielle Strategie des Unternehmens angepasst werden kann. Der bereits in 2.4.3 angesprochene Nachteil des erschwerten Benchmarkings aufgrund dieser Flexibilität lässt sich mit standardisierten Kennzahlen verbessern. Dazu kann das SCOR-Modell dienen, welches ein für das SCPM angepasstes Prozessreferenzmodell darstellt. Dieses wird im folgenden Kapitel 4.2 besprochen.

4.2 Das SCOR-Modell

In den Neunzigern wurde der Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt immer intensiver. Durch die damit verbundene Steigerung der Kundenorientierung wuchsen

¹²² Vgl. Giese (2012), S. 130

¹²³ Giese (2012), S. 176

auch die zu erfüllenden Kundenanforderungen. Schnelle Auftragsabwicklung sowie kurze Durchlaufzeiten wurden immer wichtiger, um in diesem globalen Wettbewerbsumfeld zu bestehen. Dadurch gewann auch die Thematik des SCM an Bedeutung und das Management der SC-Aktivitäten wurde zu einer kritischen Anforderung. Aus diesen Gründen kam es zu einem Wechsel des vertikalen, funktionellen zu einem horizontalen, prozessorientierten Management. Zur Unterstützung der SC-Effektivität und des Wandels zum prozessorientierten Management wurde 1996 das Supply Chain Council gegründet, welches in Kooperationen mit Supply Chain Managern aus führenden Unternehmen das Supply Chain Operations Modell entwickelte.¹²⁴

Das SCOR-Modell zielt auf eine ganzheitliche Evaluierung und Verbesserung der Aktivitäten einer Supply Chain ab. Dabei ermöglicht das SCOR-Modell den Unternehmen¹²⁵

- die eigenen Prozesse zu evaluieren
- die Leistungen mit anderen Unternehmen branchenübergreifend zu vergleichen
- Wettbewerbsvorteile zu generieren
- Benchmarking und Best Practice zu betreiben
- Vorteile von Handlungsalternativen abzuschätzen und
- die Identifikation von passenden Software-Programmen für die unternehmensspezifischen Anforderungen

Im Rahmen dieser Diplomarbeit ist speziell die Prozess-Evaluierung, die Leistungsmessung sowie die Möglichkeit des Benchmarkings über standardisierte Kennzahlen von Interesse. Nachfolgend werden diesbezüglich die wesentlichen Inhalte des SCOR-Modells dargestellt.

4.2.1 Überblick des SCOR-Modells

Das SCOR-Modell ist ein Prozessreferenzmodell für das SCM. Ein Prozessreferenzmodell beschreibt, charakterisiert und evaluiert komplexe Managementprozesse in einer standardisierten Form, sodass ein Vergleich mit anderen Unternehmen bzw. Kooperationspartnern möglich ist. Daher stellt ein Prozessreferenzmodell die Grundlage für ein unternehmensübergreifendes Benchmarking, die Messung, das Controlling sowie das Management der Prozesse dar.^{126,127}

¹²⁴ Vgl. Stewart (1997), S. 62f

¹²⁵ Vgl. Stewart (1997), S. 63

¹²⁶ Vgl. Stewart (1997), S. 63f

¹²⁷ Vgl. supply chain council (2010), S. 6

Das SCOR-Prozessreferenzmodell beinhaltet Kennzahlen zur Performance-Messung, Methoden zur Verbesserung, Prozessbeschreibungen sowie Anforderungsbeschreibungen an das Personal.¹²⁸

Die Systemgrenzen des Modells sind in Abbildung 8 dargestellt. Die Reichweite des SCOR-Modells beläuft sich auf die jeweils zwei vor- und nachgelagerten Partner. Es werden alle Kunden-Interaktionen von der Auftrags-Aufnahme bis zur Bezahlung, alle Produkt-Transaktionen (inklusive Ausrüstung, Ersatzteile, Software, ...) und alle Markt-Interaktionen (von der Nachfrage-Analyse bis zur Bestellabwicklung) berücksichtigt. Allerdings beschreibt das SCOR-Modell keineswegs alle Unternehmensprozesse. Aktivitäten des Verkaufs, Marketings, F&E und Produktentwicklung werden nicht berücksichtigt.¹²⁹



Abbildung 8 - Grenzen des SCOR-Modells¹³⁰

In Abbildung 8 werden die Kernprozesse dargestellt, mit denen das SCOR-Modell die Supply Chain abbildet: Source, Make, Deliver, Plan, Return und Enable. Die Leistungsmessung erfolgt über fünf Kernattribute: Zuverlässigkeit, Reaktionsfähigkeit, Flexibilität, Kosten sowie Assets.¹³¹

In dieser Arbeit wird sich an der Version 11.0 des SCOR-Modells orientiert, welches beim Verfassen der Arbeit die aktuellste Version darstellt und 2012 veröffentlicht wurde. Diese unterscheidet sich zu den Vorgängerversionen speziell durch die Aufnahme eines sechsten Kernprozesses *Enable* sowie leichten Unterscheidungen bezüglich der Kennzahlen von der Vorgängerversion.¹³²

4.2.2 Prozesse im SCOR-Modell

Die Struktur der Prozesse ist in hierarchische Ebenen aufgeteilt, die durch Dekomposition gebildet werden, wobei die Prozesse mit den Kennzahlen der ersten

¹²⁸ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 6

¹²⁹ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 6

¹³⁰ SCOR supply chain operations reference model (2012), S. i.2

¹³¹ Vgl. *Agami*, et al. (2012), S. 6

¹³² Vgl. *supply chain council* (2015), S. 1ff

beiden Level verbunden sind.¹³³ Abbildung 9 zeigt den prinzipiellen Aufbau dieser Prozessebenen.

	Level		Examples	Comments
	#	Description		
Within scope of SCOR	1	 Process Types (Scope)	Plan, Source, Make, Deliver, Return and Enable	Level-1 defines scope and content of a supply chain. At level-1 the basis-of-competition performance targets for a supply chain are set.
	2	 Process Categories (Configuration)	Make-to-Stock, Make-to-Order, Engineer-to-Order, Defective Products, MRO Products, Excess Products	Level-2 defines the operations strategy. At level-2 the process capabilities for a supply chain are set. (Make-to-Stock, Make-to-Order)
	3	 Process Elements (Steps)	<ul style="list-style-type: none"> Schedule Deliveries Receive Product Verify Product Transfer Product Authorize Payment 	Level-3 defines the configuration of individual processes. At level-3 the ability to execute is set. At level-3 the focus is on the right: <ul style="list-style-type: none"> Processes Inputs and Outputs Process performance Practices Technology capabilities Skills of staff
Not in scope	4	 Activities (Implementation)	Industry-, company-, location- and/or technology specific steps	Level-4 describes the activities performed within the supply chain. Companies implement industry-, company-, and/or location-specific processes and practices to achieve required performance

Abbildung 9 - Überblick der Prozesse des SCOR-Modells¹³⁴

Der Fokus des SCOR-Modells beläuft sich auf die ersten drei Ebenen. Aus den sechs Kernprozessen der ersten Ebene werden durch Zerlegung der Prozesse Teilprozesse der zweiten Ebene gebildet. Durch eine weitere Dekomposition erhält man schließlich Prozesselemente der dritten Ebene. Diese Ebene ermöglicht eine Verzahnung mit den Input- und Output-Größen des Prozesses. Außerdem werden auf dieser Ebene Kennzahlen zur Messung der Prozessleistung vorgeschlagen. Weitere Verfeinerungen werden in der vierten Ebene zusammengefasst, die allerdings nicht mehr im SCOR-Modell betrachtet werden.¹³⁵

Eine Beschreibung der sechs Kernprozesse des Top-Levels sind in Tabelle 1 dargestellt:

¹³³ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 8

¹³⁴ SCOR supply chain operations reference model (2012), S. i.3

¹³⁵ Vgl. *Giese* (2012), S. 150

Prozess	Beschreibung
Plan	Beschreibt alle Planungsaktivitäten zum Betreiben der Supply Chain. Dazu zählen das Sammeln von Kundenanforderungen, Informationssammlung von verfügbaren Ressourcen, und das „Balancieren“ von Anforderungen und Ressourcen zur Bestimmung der Kapazitäten und Ressourcen-Gaps sowie die Ableitung von Maßnahmen zur Schließung dieser Unterschiede.
Source	Bestellung und Erhalt von Ware und Dienstleistungen, Einkauf und Erhalt von Lieferungen, Lagerung von Waren. Nicht inkludiert: Lieferantenauswahl und -entwicklung
Make	Aktivitäten, die mit der Umwandlung von Materialien oder mit der Erstellung der Inhalte für Dienstleistungen verbunden sind. Darunter fallen der Zusammenbau, chemische Prozesse, Instandhaltung, Reparaturen, Recycling, etc.
Deliver	Aktivitäten zur Erstellung, Erhaltung oder Erfüllung von Kundenbestellungen, der Planung von Lieferungen, Durchführung der Lieferungen (inkl. Verpackung etc.)
Return	Beschreibt die Aktivitäten, die mit dem Güterstrom flussabwärts zusammenhängen.
Enable	Aufgabe ist die Herstellung, Aufrechterhaltung und Aufzeichnung von Informationen, Beziehungen, Ressourcen, Assets, Geschäftsregeln, Compliance und Verträgen, die zum Betreiben der Supply Chain notwendig sind. Dieser Prozess ist als Unterstützungsprozess zu sehen, der den problemlosen Betrieb der Supply Chain gewährleistet.

Tabelle 1 - Die 6 Kernprozesse des SCOR-Modells^{136, 137}

4.2.3 Leistungsmessung im SCOR-Modell

Die Leistungsmessung im SCOR-Modell erfolgt über fünf Attribute:¹³⁸

- Die Zuverlässigkeit beschreibt die Fähigkeit, eine Aufgabe wie erwartet auszuführen. Der Fokus liegt auf der Vorhersagbarkeit des Outputs des Prozesses.
- Die Reaktionsfähigkeit beschreibt die Geschwindigkeit, mit der Aufgaben ausgeführt werden.
- Die Agilität beschreibt die Fähigkeit, auf externe Einflüsse zu reagieren sowie die Wandlungsfähigkeit des Unternehmens bzw. der Wertschöpfungskette. Unter externen Einflüssen werden Nachfrageschwankungen, Insolvenz von

¹³⁶ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 2.0.1f

¹³⁷ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 12

¹³⁸ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.0.1f

Zulieferern bzw. Partnern, Naturkatastrophen, (Cyber-)Terrorismus etc. verstanden.

- Das Kostenattribut beschreibt die Kosten der ausführenden Prozesse. Hierzu zählen Arbeits-, Material- sowie Transportkosten.
- Das Attribut „Asset Management Efficiency“ beschreibt die Fähigkeit der effizienten Nutzung der Vermögenswerte. Zu den wesentlichen Supply Chain-Strategien zählen die Reduktion des Lagerbestandes sowie das In- bzw. Outsourcing.

Diesen Attributen werden Kennzahlen zugeordnet. Die Kennzahlen sind, analog zu den Prozessen, hierarchisch in drei Ebenen gegliedert, wobei die Level-1-Metriken strategische KPIs sind, die prozessübergreifend Informationen verdichten. Das SCOR-Modell besteht aus zehn Level-1-Metriken, welche in Tabelle 2 dargestellt werden:

Attribut	Level-1-Metrik
Zuverlässigkeit	Perfect Order Fulfillment
Reaktionsfähigkeit	Order Fulfillment Cycle Time
Agilität	Upside Supply Chain Flexibility
	Upside Supply Chain Adaptility
	Downside Supply Chain Adaptility
	Overall Value at Risk
Kosten	Total Cost to Serve
Asset Management Efficiency	Cash-to-Cash Cycle Time
	Return on Supply Chain Fixed Assets
	Return on Working Capital

Tabelle 2 - Level-1-Metriken des SCOR-Modells 11.0¹³⁹

Level 1-Kennzahlen dienen der Diagnose des gesamten Zustands der Supply Chain. Diese Kennzahlen sind strategischer Natur (KPIs). Über das Benchmarking dieser Kennzahlen wird die Einführung von realistischen Zielsetzungen zur Umsetzung der Strategie realisiert.

Level 2-Kennzahlen dienen zur Diagnose und detaillierteren Analyse der Level-1-Metriken. Dadurch kann die Ursache von Problemen, die in den stark verdichteten KPIs des ersten Levels nicht ersichtlich ist, analysiert werden.

Level 3-Kennzahlen dienen analog der Diagnose von Level 2-Kennzahlen und weisen den größten Detaillierungsgrad auf.¹⁴⁰

Die Kennzahlen weisen oft eine hierarchische Struktur auf, daher setzen sich die Kennzahlen aus den jeweiligen Kennzahlen des darunterliegenden Levels zusammen.

¹³⁹ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. i.5

¹⁴⁰ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 8

Diese, durch Dekomposition gebildete hierarchische Abhängigkeit lässt einen flexiblen Detaillierungsgrad der Betrachtung zu und ermöglicht dadurch eine zweckmäßige Analyse.¹⁴¹ Abbildung 10 zeigt diesen hierarchischen Aufbau exemplarisch an der Kennzahl der „Order Fulfillment Cycle Time“, welche in Kapitel 8.2.3 näher beschrieben wird.

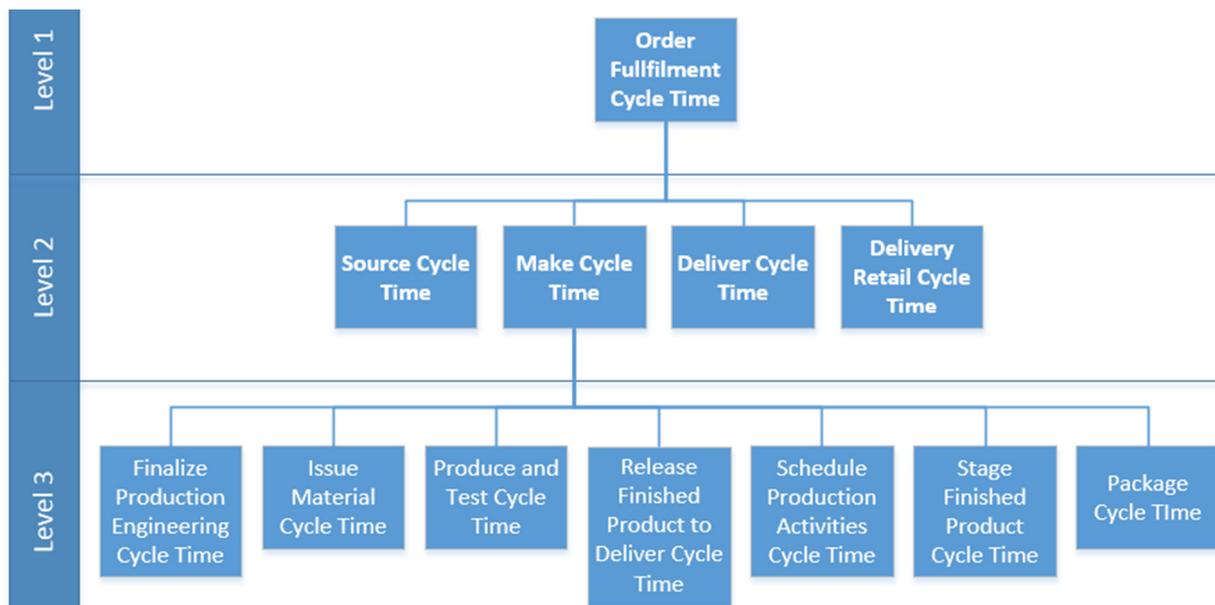


Abbildung 10 - Hierarchie der SCOR-Kennzahlen¹⁴²

4.2.4 Vor- und Nachteile des SCOR-Modells

Die wesentlichen Vorteile des SCOR-Modells werden folgendermaßen angeführt:¹⁴³

- Schnelle Einschätzung der SC-Performance
- Klare Identifikation von Schwachstellen
- Effiziente Optimierung und Umstrukturierung des SC-Netzwerks
- Verbesserung des operativen Controllings durch die Standardisierung der Kernprozesse
- Modernisierte und rationalisierte Organisationsstruktur
- Anpassung der Fähigkeiten an den strategischen Zielen

Außerdem stellt das SCOR-Modell ein hierarchisches Kennzahlensystem dar, bei dem die verschiedenen Ziele ausgewogen berücksichtigt werden.¹⁴⁴ Ein klarer Vorteil ist außerdem die Möglichkeit des Benchmarkings, das aufgrund des einheitlichen Prozessverständnisses einen Vergleich mit branchenübergreifenden Unternehmen ermöglicht.¹⁴⁵

¹⁴¹ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 8

¹⁴² Eigene Darstellung in Anlehnung an: *supply chain council* (2015), S. 8

¹⁴³ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 2

¹⁴⁴ Vgl. *Alicke* (2005), S. 184

¹⁴⁵ Vgl. *Estampe, et al.* (2013), S. 250

Als Einschränkung ist auszuweisen, dass nicht alle Prozessaktivitäten abgebildet werden. Prozesse des Marketings, der F&E sowie der Produktentwicklung werden nicht berücksichtigt.¹⁴⁶ Vielmehr beschränkt sich das SCOR-Modell auf logistische Prozesse.¹⁴⁷ Cai et al. weisen außerdem aus, dass das SCOR-Modell keine definierten Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Kennzahlen darstellen sondern vielmehr eine Unabhängigkeit der Kennzahlen annehmen. Daher eignet sich das SCOR-Modell nach Cai et al. generell zur Abbildung des Business-Modells und zur Kommunikation der Prozesse und Strategie gut, zur Verbesserung der Gesamt-Performance ist es allerdings weniger geeignet.¹⁴⁸

Werden die Konzepte des Lean Management entlang der gesamten Wertschöpfungskette angewandt, spricht man von einer Lean Supply Chain. Automobilhersteller haben längst die Philosophie des Lean Management adaptiert, um ihre Effizienz zu steigern. Allerdings ist es auch wichtig, dass deren Lieferanten ebenfalls diese Konzepte adaptieren. Dies führt zu einer integrierten, schlanken Supply Chain.¹⁴⁹ In Lean Supply Chains wird der gesamte Materialfluss als ein ganzheitlicher Fluss angesehen. Grenzen innerhalb dieses Flusses, die Unternehmensgrenzen, werden als unnatürlich, aber notwendig angesehen.¹⁵⁰ Supply Chains können durch die Einführung der Lean-Inhalte Verschwendung eliminieren und Kosten reduzieren.¹⁵¹

Da sich diese Arbeit auf die Entwicklung eines SCPMS mit dem Fokus Lean Management beschäftigt, werden in Kapitel 5 die Grundlagen und wesentlichen Elemente des Lean Management erörtert. Spezifische Kennzahlen, die eine Relevanz zur Steuerung von Lean Supply Chains aufweisen, werden im Praxisteil erarbeitet.

¹⁴⁶ Vgl. *supply chain council* (2010), S. 6

¹⁴⁷ Vgl. *Richert* (2006), S. 43f

¹⁴⁸ Vgl. *Cai, et al.* (2009), S. 513

¹⁴⁹ Vgl. *Marin-Garcia/Bonavi* (2011), S. 123

¹⁵⁰ Vgl. *Lamming* (1996), S. 187

¹⁵¹ Vgl. *Arif-Uz-Zaman/Nazmul Ahsan* (2014), S. 589

5 Lean Management

Bis Ende der 1980er wurden in den USA und in Europa in der Automobilindustrie weitgehend Produktionssysteme und -philosophien analog zur Massenproduktion eingesetzt. In Japan boomten zu dieser Zeit bereits neue Methoden und Systeme, die der westlichen Industrie überlegen und deren Inhalte dieser noch unzureichend bekannt waren. Daher versuchte die USA über Handelsbarrieren einen Ausbau der Marktanteile japanischer Unternehmen in den USA zu verhindern. Diese Taktik war allerdings nach Meinung der Wissenschaftler Womack, Jones und Roos eine reine Verzögerungstaktik, die die Probleme der westlichen Industrie kaschierten.

Daher wurde 1985 im Rahmen des Programms International Motor Vehicle Program (IMVP) am MIT eine Studie zur Analyse und Erforschung der japanischen Philosophie und Produktionstechniken gestartet, welche 1990 unter den Namen "The Machine that changed the world" veröffentlicht wurde.¹⁵²

Besonders die Unterschiede zur westlichen Massenproduktion wurden untersucht und dargestellt. Die aufgezeigten Unterschiede, speziell hinsichtlich Produktivität, Qualität und Arbeitskraft waren enorm. Die Bearbeitungszeit pro Auto belief sich in Japan auf rund siebzehn Stunden während in Nordamerika über fünfundzwanzig und in Europa über sechsunddreißig Stunden benötigt wurden. Bezüglich der Qualität belief sich die Fehlerrate beim gesamten Assembly-Prozess pro einhundert Fahrzeugen in Japan auf sechzig, in Nordamerika auf über zweiundachtzig und in Europa sogar auf siebenundneunzig. Auch bezüglich der Verbesserungsvorschläge hatten die Japaner einen eklatanten Vorsprung. Die durchschnittliche Zahl der eingebrachten Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter in Japan belief sich auf über sechzig Stück, in Europa und den USA gar auf unter einem.¹⁵³ Die Studie schuf für diese japanische Philosophie damit den Begriff der Lean Production.

Als Vater des Toyota Produktionssystem (TPS) gilt Taiichi Ohno, früherer Geschäftsführer von Toyota, welcher als *"der Begründer der schlanken und agilen Form der Produktion und Unternehmensführung"*¹⁵⁴ bezeichnet wird. Dabei ist TPS ein ganzheitliches Produktionssystem, welches zur Optimierung der Produktions- und Arbeitsorganisation dient und als wesentliche Säule das Lean Management beinhaltet.¹⁵⁵ Durch die weltweite Rezession Anfang des 21. Jahrhunderts wurden viele Firmen zur Kostenreduktion gezwungen, wodurch die Inhalte des Lean Management einen neuerlichen Boom erlangten, da dadurch Verschwendung ohne Entstehung von Kosten reduziert werden kann.¹⁵⁶

¹⁵² Vgl. Womack, et al. (1990), S. 3ff

¹⁵³ Vgl. Womack, et al. (1990), S. 92

¹⁵⁴ Brunner (2008), S. 103

¹⁵⁵ Vgl. Brunner (2008), S. 103f

¹⁵⁶ Vgl. Bhamu/Singh Sangwan (2014), S. 876

Die wesentlichen Inhalte des Lean Management sollen in den folgenden Seiten dargestellt werden.

Brunner weist die übergeordneten Vorteile der schlanken Produktion wie folgt aus:¹⁵⁷

- Reduktion der Bestände
- Abnahme des Flächenbedarfs sowie Fabrikpersonals
- Kürzere Produktentwicklungszeit
- Steigerung der Produktvielfalt
- Abnahme der Fehlerzahlen

Der Begriff der Lean Production soll allerdings nicht irreführen. Die *"Integration sämtlicher Unternehmensbereiche von der Management- bis zur operativen Ebene wie auch die Miteinbeziehung der Unternehmensumwelt"*¹⁵⁸ nimmt eine zentrale Rolle ein und gilt nicht nur für Produktionsunternehmen sondern auch für Handels- und Dienstleistungsunternehmen (Lean Administration).¹⁵⁹

5.1 Philosophie

Der Begriff *Lean*, wörtlich übersetzt *schlank*, bezeichnet Aktivitäten und Lösungen zur Beseitigung von Verschwendung, den Abbau von nicht-wertsteigernden und die Verbesserung von wertsteigernden Prozessen.¹⁶⁰ Ähnlich definiert der Gründervater des TPS, Taiichi Ohno, den Fokus des TPS:

*"Das wichtigste Ziel des Toyota-Systems war die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Produktion durch konsequente und gründliche Beseitigung jeglicher Verschwendung."*¹⁶¹

Verschwendung wird als Grundübel der Produktion angesehen, welche eliminiert werden muss. Dabei werden 8 verschiedene Arten der Verschwendung definiert, die im japanischen als „*Muda*“ bezeichnet werden:^{162,163}

1. *Überproduktion*: Als Überproduktion werden produzierte Produkte angesehen, welche keine Bestellung aufweisen und somit keinen Kundenauftrag besitzen. Sie wird als die größte Verschwendung angesehen, da durch Überproduktion andere Verschwendungsarten wie zu große Lagerbestände verursacht werden.
2. *Wartezeit und Leerlauf*: Wartezeiten und Leerläufe treten an verschiedenen Stellen im Produktionsprozess auf. Verschwendung tritt im Sinne einer Wartezeit auf, wenn ein Mitarbeiter auf Vorprodukte warten muss. Weiters sind

¹⁵⁷ Vgl. Brunner (2008), S. 60

¹⁵⁸ Brunner (2008), S. 60

¹⁵⁹ Vgl. Brunner (2008), S. 59

¹⁶⁰ Vgl. Wee/Wu (2009), S. 336

¹⁶¹ Ohno/Hof (2013), S. 28

¹⁶² Vgl. Brunner (2008), S. 65

¹⁶³ Vgl. Tegel (2012), S. 13f

Maschinenstillstände bzw. zu lange Rüstzeiten und die damit verbundene Erhöhung der Durchlaufzeit zu eliminieren.

3. *Unnötige oder falsche Prozessschritte*: Aufgrund einer mangelhaften Organisation der Arbeitsprozesse kann es zu unnötigen Prozessschritten kommen.
4. *Unnötige und lange Transportwege*: Transporte von Vor- und Endprodukten an sich müssen vermieden werden. Daher ist das Ziel des TPS das Fließprinzip, sodass keine Verschwendung aufgrund von Transportwegen auftritt.
5. *Große Lagerbestände*: Große Lagerbestände, die durch Überproduktion verursacht werden, verursachen ihrerseits Kosten durch Kapitalbindung, erhöhtem Platzbedarf, unnötigen Prozessschritten wie Ein- und Auslagerprozessen sowie Transportwege.
6. *Unnötige Bewegungen*: Unnötige Bewegungen, die durch schlecht organisierte Abläufe und Arbeitsplätze auftreten, verursachen Verschwendung. Dazu zählen das Suchen bzw. Holen von Werkzeugen und Teilen.
7. *Fehler und Fehlerfolgen*: Durch Nacharbeit, Ausschuss und Reparaturen werden Kosten verursacht, welche durch eine Elimination dieser Fehlerquellen vermieden werden können. Das Ziel ist dabei die Identifikation und Elimination dieser Fehlerquellen.
8. *Ungenutzte Kreativitätspotentiale der Mitarbeiter*: Mitarbeiter werden als wesentliches Potenzial im TPS angesehen. Wird dieses Potenzial nicht genutzt, tritt Verschwendung ein. Nicht-beachtete Verbesserungsvorschläge können Verluste verursachen und zu einer Demotivation der Mitarbeiter führen.

Neben der Eliminierung von Verschwendung (Muda) gilt es auch, Muri und Mura zu vermeiden. Zusammen werden diese drei Begriffe als die „drei Mus“ bezeichnet.¹⁶⁴

- *Muda*: Eliminierung von Verschwendung
- *Muri*: Die Vermeidung der Überlastung von Mensch und Maschine verhindert Kosten durch Maschinenstillstände, Krankenstände und Verletzungen. Bezüglich des Mitarbeiters kann sich die physische oder psychische Überlastung in Form von Übermüdung, Stress, Fehlern oder Arbeitsunzufriedenheit äußern.
- *Mura*: Durch Unausgeglichenheit bzw. Unregelmäßigkeiten in der Produktion können Verluste durch unvollständiger Harmonisierung der Kapazitäten entstehen. Dazu zählen Verluste durch Warteschlangenbildung sowie nicht optimal genutzte Kapazitäten.

Um diese übergeordnete Zielsetzung der Elimination der drei MUs zu erreichen, gibt es eine Vielzahl an Methoden und Praktiken, die im Rahmen des TPS bzw. Lean Management zum Einsatz kommen. Zielsetzung dieser Arbeit ist es nicht, einen

¹⁶⁴ Vgl. Brunner (2008), S. 65

kompletten Überblick all dieser Methoden zu geben. Vielmehr sollen hier die relevantesten Inhalte des Lean Management beschrieben werden. Diese Methoden verfolgen allesamt das Ziel, Verschwendung zu vermeiden, obwohl der Fokus von der jeweiligen Methode abhängt und somit auch die Schwerpunkte auf verschiedene Teilbereiche des Unternehmens und der wertschöpfenden Prozesse gelegt werden.

5.2 Kennzahlen des Produktionsmanagements

Zur Beschreibung von Produktionsprozessen werden im Wertstromdesign vier unterschiedliche Zeitarten eingesetzt:¹⁶⁵

- Die Bearbeitungszeit (BZ) beschreibt die Zeitdauer, die ein Teil in einem Produktionsprozess bearbeitet wird. Sie beinhaltet die manuelle Arbeitsinhalt der MA sowie die Laufzeit des Betriebsmittels.
- Die Prozesszeit gibt die Zeitdauer an, in der sich Teile in einem bestimmten Produktionsprozess befinden. Diese unterscheidet sich dann zur Bearbeitungszeit, wenn mehrere Teile in einem Prozess gleichzeitig bzw. in Chargen bearbeitet werden (bei Durchlauf oder Chargen).
- Die Rüstzeit (RZ) beschreibt die Stillstandzeit eines Betriebsmittels aufgrund von Umrüstvorgängen. Dazu zählen das Wechseln von Vorrichtungen, Werkzeugen oder Materialien.
- Die Zykluszeit (ZZ) gib das Zeitintervall an, in dem ein Produkt in einem Produktionsprozess fertiggestellt wird. Sie gibt daher die Leistungsfähigkeit des Produktionsprozesses in Zeiteinheiten bei einem kontinuierlichen Betrieb ohne Störungen und Rüstvorgänge an.

Anlagenverfügbarkeit - Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Die OEE ist eine zentrale Kennzahl im Produktionsmanagement und bildet die Produktivität einer Anlage ab. Die OEE berücksichtigt dabei, dass eine Ressource nicht die komplette Arbeitszeit verfügbar ist, sondern durch diverse Einflussparameter nicht genutzt werden kann sowie die Ausbringungsmenge durch Leistungs- und Qualitätsverluste vermindert wird. Abbildung 11 zeigt die nach den drei Kategorien eingeteilten unterschiedlichen Verlustbringer.

¹⁶⁵ Vgl. *Erlach* (2010), S. 60f

Abbildung 11 - Darstellung der OEE¹⁶⁶

Die Zeitverluste bilden dabei unbeabsichtigte (Störungen, fehlendes Material oder Personal) und beabsichtigte (Rüsten) Anlagenstillstände ab. Die zweite Kategorie bildet Geschwindigkeitsverluste durch Kurzstillstände und einem Langsamlauf der Anlage ab. Die dritte Kategorie berücksichtigt Qualitätsverluste, die durch fehlerhafte Teile und Verluste im Anlauf der Anlage nach einem Stillstand entstehen.

Die technische Verfügbarkeit (Abbildung 11, oben) gibt Auskunft über die verfügbare Betriebszeit einer Anlage, in dem ausgehend von der Arbeitszeit Zeitverluste aufgrund von Kurzstillständen, Langsamlauf, Störungen und Wartungen abgezogen werden. Sie wird als Verhältnis der verfügbaren Betriebszeit zur Arbeitszeit angegeben.

Zusammenfassend berechnet sich die OEE über Formel 1.

$$OEE = \text{Anlagenverfügbarkeit} \cdot \text{Leistungsgrad} \cdot \text{Qualitätsgrad}$$

Formel 1 - Berechnung der OEE¹⁶⁷

Die Berechnung der drei Kategorien an Verlustbringern ist in den folgenden Formeln dargestellt. Formel 2 berücksichtigt dabei die Verlustquellen des Rüstens und von Anlagenstillständen durch ungeplante Störungen.

$$\text{Anlagenverfügbarkeit} = \frac{\text{Geplante Bearbeitungszeit} - \text{Stillstandzeiten}}{\text{Geplante Bearbeitungszeit}}$$

Formel 2 - Berechnung der Anlagenverfügbarkeit¹⁶⁸

Der Leistungsgrad stellt die produzierte Menge der theoretisch möglichen Ausbringungsmenge auf Basis der Betriebszeit gegenüber. Sie bildet damit Geschwindigkeitsverluste, die durch Kurzstillstände und Langsamlauf der Anlage entstehen, ab.

¹⁶⁶ Erlach (2010), S. 71

¹⁶⁷ Vgl. Arturo Garza-Reyes, et al. (2010), S. 49

¹⁶⁸ Vgl. Arturo Garza-Reyes, et al. (2010), S. 50

$$\text{Leistungsgrad} = \frac{\text{Ideale Zykluszeit} \cdot \text{produzierte Menge}}{\text{Betriebszeit}}$$

Formel 3 - Berechnung des Leistungsgrads¹⁶⁹

Die dritte Kategorie der Verlustquellen sind Qualitätsverluste. Der Qualitätsgrad berücksichtigt Fehlmengen, die durch Ausschuss oder Anlaufverluste entstehen.

$$\text{Qualitätsgrad} = \frac{\text{Input} - \text{Fehlmengen}}{\text{Input}}$$

Formel 4 - Berechnung des Qualitätsgrads¹⁷⁰

Die OEE ist damit ein Key Performance Indicator (KPI) zur Bewertung der Effektivität von Anlagen und dient der Identifikation von Produktivitätsverlusten von Anlagen.¹⁷¹ Ein KPI ist dabei als Kennzahl zu verstehen, die sich auf den Erfolg, die Leistung oder die Auslastung des Betriebes bezieht.¹⁷²

EPEI - Every Part Every Intervall

Der EPEI-Wert bildet die Variantenflexibilität eines Produktionsprozesses ab und beschreibt die benötigte Zeitdauer, um die Rüstfolge über alle Varianten der Anlage zu durchlaufen. Die schematische Darstellung zur Berechnung des EPEI-Wertes ist in Abbildung 12 dargestellt. In dieser Abbildung werden an eine Produktionsanlage vier Varianten auf Los gefertigt, wobei zwischen den Bearbeitungszeiten der Varianten eine Rüstzeit-bedingte Unterbrechung erfolgt.

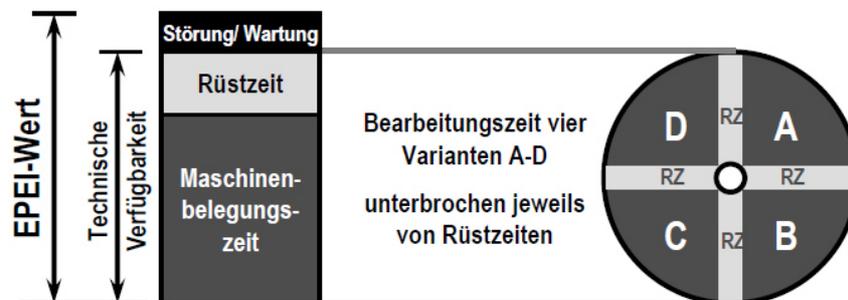


Abbildung 12 - EPEI-Darstellung¹⁷³

Daher lässt sich der EPEI-Wert nach Formel 5 berechnen. Im Zähler werden die Summe aus Bearbeitungszeiten, die zur Produktion eines Loses jeder Variante benötigt werden sowie die anfallenden Rüstzeiten berechnet. Der Nenner berücksichtigt dabei zeitliche Einsparungspotenziale durch die mögliche

¹⁶⁹ Vgl. Arturo Garza-Reyes, et al. (2010), S. 50

¹⁷⁰ Vgl. Arturo Garza-Reyes, et al. (2010), S. 50

¹⁷¹ Vgl. Arturo Garza-Reyes, et al. (2010), S. 49

¹⁷² Vgl. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/key-performance-indicator-kpi.html> (Gelesen am 26.01.2016)

¹⁷³ Erlach (2010), S. 73

Parallelproduktion auf gleichen Anlagen. Da der EPEI in dieser Formulierung auf Basis von Tagen angegeben wird, wird die täglich verfügbare Arbeitszeit angeführt.

$$EPEI = \frac{\sum BZ + \sum RZ}{\#Res \cdot AZ}$$

Formel 5 - Berechnung des EPEI-Wertes¹⁷⁴

Der EPEI-Wert bildet zusammenfassend die Dauer zur einmaligen Produktion aller Varianten an. Dadurch lassen sich Aussagen über die Variantenflexibilität eines Produktionsprozesses treffen.¹⁷⁵

¹⁷⁴ Erlach (2010), S. 73

¹⁷⁵ Vgl. Erlach (2010), S. 74

6 Agentenbasierte Simulation

Komplexe ökonomische Systeme beinhalten oft Fragestellungen und Entscheidungsprobleme, bei der klassische Analyse- und Optimierungstechniken unzureichende Ergebnisse liefern. Besonders Systeme mit unterschiedlichen Akteuren, welche heterogene Zielsetzungen verfolgen und dynamisch interagieren oder vielschichtige Prozesse aufweisen werden als Beispiele für solche komplexe Systeme angeführt.¹⁷⁶ In den letzten Jahren hat sich ein neuer Simulationsansatz entwickelt, der diese Komplexität in geeigneter Weise abbilden kann: Die agentenbasierte Simulation (ABS). Dieser Ansatz trennt das komplexe System in konstituierende Einheiten, die sogenannten Agenten. Diese Agenten folgen bestimmten Regeln um mit anderen Agenten sowie der Umwelt zu interagieren. Die Stärke der agentenbasierten Simulation ist die Fähigkeit, das heterogene Verhalten der verschiedenen individuellen Agenten in einem komplexen Gesamtsystem abzubilden. Andere Ansätze haben bezüglich dieser Rahmenbedingungen Schwierigkeiten diese Komplexität zu erfassen.¹⁷⁷

6.1 Eigenschaften der agentenbasierten Simulation

Der Reifegrad der Technologie wird unterschiedlich beurteilt. Luck et. al bilden die ABS im Gartner Hype Cycle bereits 2005 auf dem "Plateau der Produktivität" ab.¹⁷⁸ Deren Einschätzung resultiert aus einer Befragung von Experten aus Industrie und Wissenschaft. Der Gartner Hype Cycle ist ein Werkzeug zur Identifikation des Reifegrads neuer Technologien, da diese im Verlauf der Entwicklung verschiedene Phasen der öffentlichen Wahrnehmung durchlaufen (Abbildung 13). So werden die Erwartungen an die Technologie zunächst zu hoch angesetzt, wodurch ein Hype entsteht, der allerdings aufgrund der fehlenden Entwicklungsfortschritte wieder abfällt und daher die öffentliche Wahrnehmung zurückgeht. Erst durch weitere Entwicklungsfortschritte und neue Anwendungsfelder ergibt sich dann eine Etablierung im Markt und die neue Technologie erlangt Serienreife.¹⁷⁹

Deckert kommt zu einer anderen Einschätzung bezüglich des Reifegrads, da aufgrund einer einschlägigen Recherche wirtschaftswissenschaftlicher Publikationen ein differenziertes Bild gezeichnet wird. Die ABS befindet sich demnach noch in der Explorationsphase, da es noch wenig Übereinstimmung bezüglich Methodik und Vorgehen gibt sowie eine unzureichende Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse gegeben ist. Diese resultiert aus der fehlenden Diskussion der Modellierungs- und

¹⁷⁶ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 89

¹⁷⁷ Vgl. *Ferreira/Borenstein* (2010), S. 502

¹⁷⁸ Vgl. *Luck, et al.* (2005), S. 68

¹⁷⁹ Vgl. <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp> (Gelesen am 28.01.2016)

Implementierungsdetails. Dadurch bauen Arbeiten unterschiedlicher Autoren selten aufeinander auf.¹⁸⁰

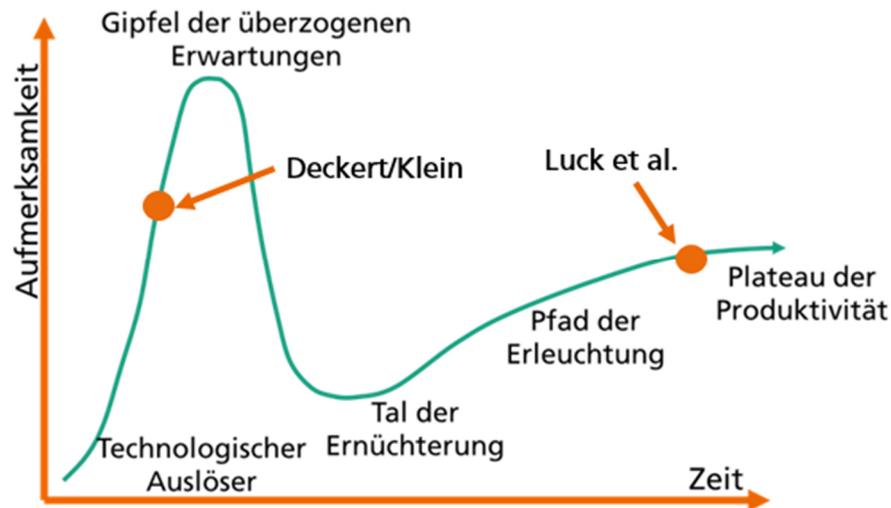


Abbildung 13 - Einordnung der ABS in den Gartner Hype Cycle¹⁸¹

Eigenschaften der agentenbasierten Simulation

Ist eine Problemlösung einer realen Problemstellung durch Experimente nicht sinnvoll bzw. nicht realisierbar, kann die rechnergestützte Simulation herangezogen werden. Durch Abstraktion wird ein Modell gebildet, welches die relevanten Charakteristika des realen Systems abbilden soll, irrelevante Details werden zur Komplexitätsreduktion nicht abgebildet.¹⁸²

Die ABS stellt ein aufwendiges Unterfangen dar, wodurch eine Simulation mittels dieses Ansatzes dann gerechtfertigt ist, wenn das zu simulierende System folgende Charakteristika aufweist:¹⁸³

- Heterogenität der Akteure
- Netzwerkeffekte
- Emergenz

Die Emergenz beschreibt dabei das Phänomen, dass beobachtbare Effekte des Gesamtsystems sich indirekt aus den individuellen Handlungen der Akteure ergeben.¹⁸⁴

Deckert sieht die ABS als Spezialfall der diskreten Simulation. Dabei ist das Ziel der Simulation immer die *"Abbildung eines realen Systems bzw. dessen relevanter*

¹⁸⁰ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 91

¹⁸¹ Eigene Darstellung In Anlehnung an

<http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>

(Gelesen am 23.01.2016)

¹⁸² Vgl. Borshchev (2013), S. 25

¹⁸³ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 96

¹⁸⁴ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 90

Komponenten in einem Simulationsmodell."¹⁸⁵ Das Vorgehen der diskreten Simulation erfolgt periodengesteuert, also zeitdiskret. Ein Anfangszustand zu Beginn der Periode wird durch entsprechende Transformationen innerhalb der Periode in einen Endzustand am Ende der Periode überführt. In der ABS liegt für diesen Zweck jedem Agenten ein Verhaltensmodell zugrunde, welches sowohl die Alternativen als auch deren Bewertung und die Auswahl dieser beschreibt. Zudem können die Agenten untereinander interagieren, daher können Informationen ausgetauscht bzw. zur Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.¹⁸⁶

Eigenschaften und Verhalten der Agenten

Nach Wooldridge und Jennings müssen Agenten in der ABS folgende Eigenschaften aufweisen:¹⁸⁷

- *Autonomie:* Die Agenten führen ihre Handlungen ohne eine äußere Einflussnahme durch und haben Kontrolle über ihre Entscheidungen.
- *Soziale Fähigkeit:* Agenten können untereinander kommunizieren, Informationen austauschen und dadurch interagieren.
- *Reaktivität:* Agenten nehmen die Umwelt des Modells wahr und können auf Änderungen dieser reagieren.
- *Proaktivität:* Agenten reagieren nicht nur reaktiv aufgrund der Änderung von Umwelteinflüssen, sie können auch zielorientiertes Verhalten aufweisen und daher initiativ handeln.

Das Verhalten von Agenten wird durch ein Verhaltensmodell festgelegt. Dieses Verhalten, das die Durchführung von Aktionen und die Interaktion mit anderen Agenten in jeder Periode der Simulation beinhaltet, weist folgende Aspekte auf:¹⁸⁸

Zunächst wird der aktuelle Simulationszustand der jeweiligen Periode analysiert und ausgewertet. Dann wird durch den Agenten eine Menge an agentenspezifischen Alternativen für eine Aktion generiert. Aus diesem Set an Handlungsalternativen wird auf Basis einer Entscheidungsregel eine dieser Alternativen ausgewählt. Nach dieser Auswahl wird die Aktion durchgeführt, wodurch sich der Simulationszustand ändert. Dabei können die Entscheidungsregeln vielfältiger Natur sein. Möglichkeiten der Modellierung dieser Entscheidungsregeln sind Zufallsvariablen, komplexe Regelwerke oder statistisches Verhalten. Abbildung 14 stellt hier den Übergang eines Simulationszustandes zum Nächsten dar. Zwischen diesen zwei Zuständen agieren die Agenten und beeinflussen somit das Modell.

¹⁸⁵ Deckert/Klein (2010), S. 92

¹⁸⁶ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 92

¹⁸⁷ Vgl. Wooldridge/Jennings (1995), S. 4

¹⁸⁸ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 93-96

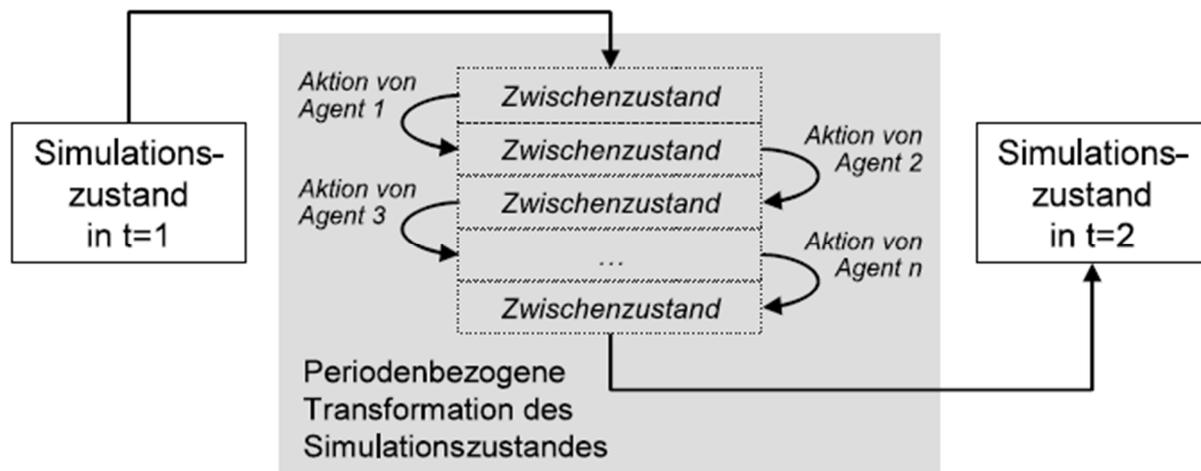


Abbildung 14 - Transformation des Simulationszustands in der ABS¹⁸⁹

Dabei muss die Abfolge der Aktionen der Agenten geregelt werden. Dies kann durch zufällig gewählte Abfolgen, aber auch durch eine definierte Zuteilung der Reihenfolge geschehen.¹⁹⁰

Genau in dieser Fähigkeit der Zusammenarbeit, Koordination und Interaktion untereinander zur gemeinsamen und individuellen Zielerreichung liegt der größte Vorteil der agentenbasierten Simulation. Dadurch kann durch bekannte interne Mechanismen der Agenten ein sonst nicht zu modellierendes Gesamtsystem abgebildet werden.¹⁹¹

6.2 Methodisches Vorgehen der Simulation

Deckert und Klein empfehlen einen fünfstufigen Anwendungsprozess zur agentenbasierten Simulation (Abbildung 15). Der Aufbau des Simulationsmodells dieser Arbeit orientiert sich an diesem Vorgehen. Daher wird diese fünfstufige Methodik kurz besprochen.



Abbildung 15 - Anwendungsprozess einer ABS¹⁹²

¹⁸⁹ Deckert/Klein (2010), S 95

¹⁹⁰ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 95

¹⁹¹ Vgl. Hilletoth, et al. (2009), S. 679

¹⁹² Deckert/Klein (2010), S. 111

Problemanalyse und Spezifikation

In diesem ersten Schritt wird die Problemstellung spezifiziert und die Forschungsfrage definiert. Dabei muss geklärt werden, welches Ziel und Zweck das Modell verfolgt bzw. welcher Output generiert werden soll.¹⁹³

Modellierung

Ist die Problemstellung definiert, kann die tatsächliche Modellierung des Systems in einer Softwarelösung starten. Dabei wird zwischen der individuellen, der kollektiven und der Infrastrukturebene unterschieden. Die individuelle Ebene definiert dabei die Charakteristika der einzelnen Agenten. Dazu zählen die Input-Daten (Informationen über die Umwelt und andere Agenten), Funktionen zur Generierung von Alternativen und die dazugehörigen Entscheidungsregeln, Output-Daten sowie Schnittstellen, die den Empfang und die Weitergabe von Informationen regeln.¹⁹⁴ Die kollektive Ebene modelliert Aspekte, die sich auf die Gesamtheit der Agenten beziehen. Dazu zählt die Anzahl der Agenten sowie die Art der Interaktion zwischen den Agenten.¹⁹⁵ Die Infrastrukturebene beschreibt alle restlichen Aspekte, die nicht den Agenten zugerechnet werden können.¹⁹⁶ Sie beinhaltet grundlegende Simulationsfunktionen und -parameter wie die Ablaufsteuerung der Simulation, die Zeit in der Simulation sowie die grafische Oberfläche und Präsentationselemente (Diagramme und Schaubilder).

Implementierung und Test

Zunächst wird ein Prototyp, also ein vereinfachtes Modell mit reduziertem Funktionsumfang zur Kontrolle der Machbarkeit implementiert. Fällt diese positiv aus, wird das Modell erweitert. Dadurch entsteht eine parallele Top-down- und Bottom-up-Modellierung, da ausgehend von einem groben Modell immer mehr Details hinzugefügt werden.¹⁹⁷

Parametrisierung und Ablauf der Simulation

In diesem vierten Schritt erfolgt nun die Definition von Werten nicht-veränderlicher Parameter sowie der Ablauf der Simulation.¹⁹⁸

Analyse und Aufbereitung der Ergebnisse

Im letzten Prozessschritt werden nun die aus dem Simulationsablauf gewonnenen Ergebnisse und Daten analysiert, aufbereitet und zu relevanten Aussagen verdichtet.

¹⁹³ Vgl. *Chang/Harrington* (2006), S. 1275

¹⁹⁴ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 114

¹⁹⁵ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 114f

¹⁹⁶ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 116

¹⁹⁷ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 117f

¹⁹⁸ Vgl. *Deckert/Klein* (2010), S. 118

Die Verdichtung erfolgt durch Selektion, Aggregation oder mittels statistischer Kennzahlen und Analysen.¹⁹⁹

Im Rahmen dieser Diplomarbeit beschränkt sich die Modellierung auf eine unternehmensinterne Problemstellung. Aufgrund der Zielsetzung des Forschungsprojekts BeStNet, in dessen Rahmen diese Diplomarbeit verfasst wird sowie der weiterführenden Forschungsfragen, die ebenfalls in Kapitel 11 angeführt werden, soll hier im speziellen die Thematik der agentenbasierten Simulation von Wertschöpfungsketten angeführt werden. Das hier aufgebaute Simulationsmodell sowie die erarbeitete Thematik in diesem Gebiet soll eine Grundlage für diese weiteren Forschungsfragen liefern.

Eine Wertschöpfungskette ist ein komplexes, adaptives System, welches dynamisch agiert, Unsicherheiten aufweist und durch partiellen Informationsaustausch zwischen den Akteuren charakterisiert wird.²⁰⁰ Die Komplexität wird durch Outsourcing sowie den Übergang von hierarchischen Unternehmensstrukturen hin zu vernetzten Matrixorganisationen erhöht.²⁰¹ Die diskrete bzw. kontinuierliche Simulation ermöglicht zwar die Modellierung der Logistik, allerdings beschränken sich diese Modelle auf ein Unternehmen. Werden hingegen Wertschöpfungsketten betrachtet, stoßen die diskreten bzw. kontinuierlichen Simulationen an ihre Grenzen.²⁰² Für Decker und Klein ist die ABS *"ein hilfreiches Werkzeug mit erheblichem Potenzial."*²⁰³

Für Ferreira und Borenstein weist die ABS für Supply Chains allerdings noch einen niedrigen Reifegrad auf. Auch die fehlende Kopplung an praxisrelevanten Problemstellungen und Anwendungen sehen die Autoren als kritisch. Da in der Literatur meist Lösungen für eine spezifische Problemstellung gesucht werden, fehlen generische Lösungen, welche die Basis zur Lösung neuer, unerforschter Probleme liefern.²⁰⁴

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich die agentenbasierte Simulation für komplexe Systeme, die sich durch Heterogenität, Emergenz und Netzwerkeffekte auszeichnen, als ein geeignetes und hilfreiches Werkzeug darstellt. Allerdings ist der Reifegrad, besonders bezüglich der Simulation von Wertschöpfungsnetzwerken noch niedrig.

¹⁹⁹ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 119

²⁰⁰ Vgl. Long/Zhang (2014), S. 567

²⁰¹ Vgl. Deckert/Klein (2010), S. 120

²⁰² Vgl. Ferreira/Borenstein (2010), S. 501f

²⁰³ Deckert/Klein (2010), S. 120

²⁰⁴ Vgl. Ferreira/Borenstein (2010), S. 502

7 Forschungslücke und Methodik

Wie bereits in der Ausgangssituation angeführt, nimmt die Bedeutung der unternehmensübergreifenden Kooperation hinsichtlich einer gesamtheitlichen Steuerung und Optimierung von Wertschöpfungsketten zu. Speziell durch Entwicklungen wie der Globalisierung, der Technologisierung und der damit verbundenen Komplexitätszunahme in Produkt- und Produktionssystemen ergeben sich Effekte des Outsourcings, der Reduktion der Wertschöpfungstiefen sowie der zunehmenden globalen Kollaboration von Unternehmen. Diese Effekte bewirken eine Verlagerung der Konkurrenzverhältnisse. Es stehen nicht mehr einzelne Unternehmen, sondern vielmehr Wertschöpfungsketten in einem Konkurrenzverhältnis.²⁰⁵

Dies stellt natürlich auch neue und komplexe Anforderungen an die Steuerung und Optimierung dieser Supply Chains, da durch Zielkonflikte zwischen den Akteuren, der Heterogenität der Akteure und durch die vorherrschenden globalen Marktverhältnisse eine Komplexitätszunahme zu beobachten ist.

Als zusätzliche Herausforderung ist die Steigerung der Kundenanforderungen hinsichtlich Qualität, Preis, Nachhaltigkeit sowie der Lieferzeiten anzusehen, welche in Kombination mit den internen Anforderungen an Kostensenkungen zusätzliche Ansprüche an Wertschöpfungsketten stellen. Diese Schere aus Kundenanforderungen und Einsparungsdruck stellt hohe Ansprüche an die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit der Akteure entlang der Wertschöpfungskette.²⁰⁶

Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, gibt es eine Vielzahl an Ansätzen. So wird versucht, über eine Intensivierung der Kollaboration der Akteure zu einer Verbesserung und Verstärkung des Informationsaustausches zur gemeinsamen Steuerung und Planung beizutragen.²⁰⁷

Für eine ganzheitliche Steuerung und Planung und der damit verbundenen Identifikation von Potenzialen ist ein Verständnis der Prozesse entlang der SC wesentlich.²⁰⁸ Diese Aufgabe wird dem Performance Measurement zugesprochen. Es dient als Grundlage zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen sowie der Überwachung von Maßnahmen.²⁰⁹ Gladen weist aus, dass die Aufgabe des Performance Measurements die Vermeidung der *"Bevorzugung der kurzfristigen Aktivitäten zu Lasten der langfristigen, auf die Existenzsicherung der Unternehmung gerichteten Aufgaben"*²¹⁰ und die damit einhergehende Sicherstellung der Impulsgebung der strategischen Planung auf die operative Planung ist.²¹¹

²⁰⁵ Vgl. Kumar/Nambirajan (2013), S. 37

²⁰⁶ Vgl. Witthaut/Hellingrath (2009), S. 60

²⁰⁷ Vgl. Witthaut/Hellingrath (2009), S. 60

²⁰⁸ Vgl. Elrod, et al. (2015), S. 39

²⁰⁹ Vgl. Deming (1994), S. 41

²¹⁰ Gladen (2014), S. 360

²¹¹ Vgl. Gladen (2014), S. 360

Arif-Uz-Zaman und Ahsan weisen ebenfalls eine Unterentwicklung des Supply Chain Performance Measurements, speziell hinsichtlich der strategischen Ausrichtung, aus.²¹² Hierzu soll in Kapitel 8 ein eigenes SCPMS entwickelt werden, welches zur strategischen Leistungsmessung von SCs eingesetzt werden kann. Zu diesem Zweck wird aufgrund der im Theorieteil besprochenen Konzepte des SCPM ein hybrides Modell aus einer Erweiterung der BSC und dem SCOR-Modell erarbeitet.

Speziell die Fähigkeit des Benchmarkings sowie die Ausrichtung an der Strategie stehen bei der Entwicklung im Vordergrund, da diese Eigenschaften oft als Schwachstellen der bestehenden Systeme angeführt werden. Außerdem soll ein ausbalanciertes Bild auf wesentliche Erfolgsfaktoren gegeben werden, welches das SCOR-Modell durch die Beschränkung auf logistische Prozesse nicht bietet.

Das entwickelte System soll zur strategischen Steuerung der Wertschöpfungskette dienen. Wesentlich für die Steuerung der SC ist das Verständnis der Wirkzusammenhänge, sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Mittels der Strategy Map werden die Wirkzusammenhänge der einzelnen strategischen Kennzahlen des SCPMS qualitativ abgebildet (Kapitel 8.3).

Kapitel 9 beschäftigt sich mit der Untersuchung der Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen auf die Kennzahlen des SCPMS, da diese essenziell zur Beurteilung der Bewertung von Maßnahmen durch das SCPMS sind und eine komplexe Herausforderung darstellen. Hierzu wird eine mathematische Formulierung zur Lösung des Zielkonflikts aus Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten bei Lagerfertigung vorgestellt. Die Lagerhaltung wird dabei durch das Bestellbestandsverfahren geregelt. Zielsetzung ist die kostenoptimale Definition des Servicegrades. Die Untersuchung dieser Formulierung erfolgt anhand eines Fallbeispiels aus der Lebensmittelindustrie.

Zur Überprüfung der Ergebnisse wird ein agentenbasiertes Simulationsmodell aufgebaut. Die Arbeit soll somit hinsichtlich des Forschungsprojektes BeStNet eine Grundlage zur Bewertung und Validierung von Steuerungsmaßnahmen von Wertschöpfungsnetzwerken bieten.

Die Ergebnisse werden ausführlich in Kapitel 10 diskutiert. Hier werden sowohl die Ergebnisse der Auswirkungen der Rüstzeitreduktion auf operativer Ebene sowie auf die Kennzahlen des SCPMS erörtert. Dabei werden sowohl die Ergebnisse aus der mathematischen Berechnung sowie der Simulation angeführt und kritisch verglichen.

Als Nicht-Ziele und Einschränkungen dieser Arbeit sind folgende Aspekte auszuweisen:

- Die unternehmensübergreifende Kooperation verlangt oft nach einer Neustrukturierung der Prozesse bzw. Organisationsstrukturen sowie Investitionen in IT-Systeme. Dadurch wird eine Kosten-Nutzen-Betrachtung

²¹² Vgl. *Arif-Uz-Zaman/Nazmul Ahsan* (2014), S. 590

notwendig.²¹³ Im Rahmen dieser Arbeit soll allerdings keine Analyse der Wirtschaftlichkeitsrechnung solch einer Umstellung bzw. Adaption durchgeführt werden, sondern vielmehr das theoretische Konzept eines SCPMS erarbeitet werden.

- Die konkrete Maßnahmenauswahl zur Beeinflussung der Kennzahlen wird exemplarisch am Beispiel der Rüstzeitreduktion betrachtet.
- Die Auswahl an konkreten Kennzahlen (strategisch und operativ) orientiert sich in dieser Arbeit speziell am Lean-Gedanken. Daher sind für differenzierte SC-Konfigurationen die Kennzahlen zu erweitern bzw. zu adaptieren. Die hier vorgestellten Kennzahlen sind daher variabel und nicht als fixes Set zu verstehen. Vielmehr ist das methodische Konstrukt wesentlich, welches auf die speziellen individuellen Gegebenheiten und Konfigurationen der jeweiligen Wertschöpfungskette zu adaptieren ist.
- Fokus auf den Wertstrom: Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit und des gewählten Ansatzes orientiert sich an den Material- und Informationsflüssen entlang der Wertschöpfungskette. Kooperative Aspekte wie die gemeinsame Produktentwicklung sowie Innovationsprozesse werden nicht berücksichtigt. Hier kann in weiterer Folge eine Erweiterung des Modells erfolgen.
- Eine gemeinsame SC-Strategie ist ebenso Voraussetzung wie das bestehende Vertrauen zwischen den Akteuren. Diese Attribute sind für das Einführen und Betreiben eines SCPMS unerlässlich und als Grundvoraussetzung anzunehmen.²¹⁴

²¹³ Vgl. *Witthaut/Hellingrath* (2009), S. 64

²¹⁴ Vgl. *Giese* (2012), S. 62ff

8 Entwicklung eines SCPMS

In diesem Kapitel soll nun basierend auf den im Theorieteil besprochenen Grundlagen des Performance Measurements ein eigener Ansatz entwickelt werden. Hierzu wird zunächst der theoretische Rahmen des Ansatzes vorgestellt (Kapitel 8.1). Danach wird auf die konkreten Perspektiven und die darin beinhalteten strategischen Kennzahlen eingegangen (Kapitel 8.2). Zuletzt werden die Wirkzusammenhänge anhand der Strategy Map qualitativ visualisiert, um ein Verständnis der gegenseitigen Beeinflussung der vorgestellten Kennzahlen darzustellen (Kapitel 8.3).

8.1 Vorstellung des eigenen Ansatzes

Zur Entwicklung des SCPMS wird ein Wertschöpfungsnetzwerk betrachtet. Hierbei wird ein Unternehmen, in weiterer Folge als fokales Unternehmen bezeichnet, welches in Kunden- sowie Lieferantenbeziehungen steht, detailliert betrachtet. Als fokales Unternehmen wird dabei das Unternehmen einer Wertschöpfungskette bezeichnet, welches die SC regiert oder bestimmt, den direkten Kontakt zum Kunden besitzt und das Produkt oder die Dienstleistung entwickelt.²¹⁵ Als Systemgrenze wird dabei die Grenze des Betrachtungshorizonts bezeichnet, in dessen Rahmen die Implementierung des Wertschöpfungsketten-übergreifenden PMS durchgeführt wird. Die organisatorischen Grenzen des Betrachtungsraums sind in Abbildung 16 dargestellt. Durch eine individuelle Konfiguration (Festlegung der Systemgrenze) kann dabei die Anpassung der Betrachtungstiefe vorgenommen werden. So muss es nicht von strategischer Bedeutung sein, eine Kollaboration hinsichtlich der Steuerung und Optimierung der Wertschöpfungskette bis hin zum Rohstofflieferanten durchzuführen. Das hier vorgestellte Modell soll daher eine Adaptionfähigkeit und Individualisierung ermöglichen. Allerdings sollten alle wesentlichen strategischen, erfolgskritischen Partner berücksichtigt werden.

In Abbildung 16 erstreckt sich der Betrachtungshorizont vom Teilelieferanten bis hin zum Endkunden. Abhängig von der konkreten Wertschöpfungskette kann diese Visualisierung andere Formen annehmen.

²¹⁵ Vgl. *Seuring/Müller* (2008), S. 1699

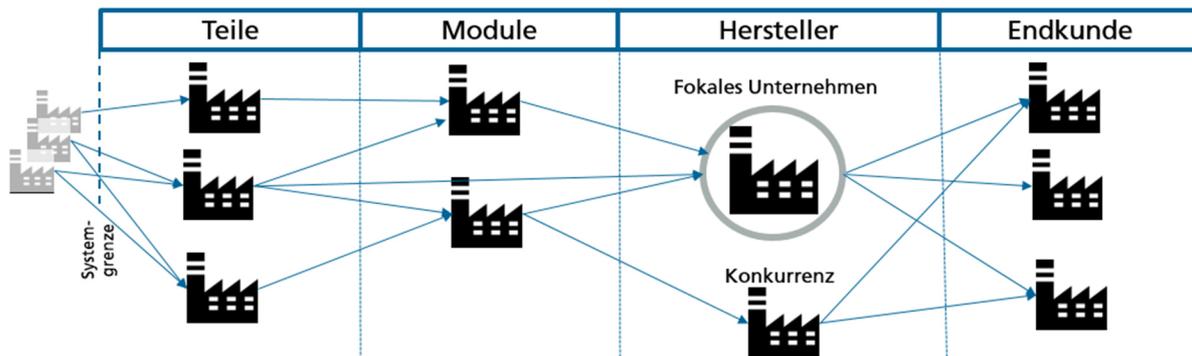


Abbildung 16 - Modellumgebung und Betrachtungshorizont²¹⁶

In Abbildung 17 ist nun das Konzept des vorgeschlagenen SCPMS abgebildet. Ziel ist es, über einen Top-Down-Ansatz die aus der normativen Ebene definierte Vision und die daraus entstehende Strategie in das PMS einzubetten. Dazu wird auf strategischer Supply-Chain-Ebene ein PMS entwickelt, welches die wesentlichen strategischen Zielbereiche abdeckt, die für eine Übersetzung und Quantifizierung der unternehmensübergreifenden Strategie notwendig ist. Dabei wird eine Symbiose der in 4.1 und 4.2 angeführten und bekannten Konzepte der SCBSC und des SCOR-Modells erarbeitet.

Durch dieses auf strategischer Supply-Chain-Ebene befindliche PMS soll speziell die Forderung nach der Ausrichtung der operativen Planung auf die langfristige, existenzsichernde Strategie der Wertschöpfungskette gewährleistet werden.²¹⁷ Soin weist ebenfalls aus, dass die Ausrichtung der Prozesse und der damit zusammenhängenden Organisationsstruktur auf die Strategie die Basis für eine erfolgreiche Steuerung der SC darstellt.²¹⁸

Der Top-Down-Ansatz beschreibt generell ein Verfahren, bei dem ausgehend vom globalen Systemzustand durch Dezentralisierung und Dekomposition die Anforderungen der Teilkomponenten erarbeitet werden. Beim Bottom-Up-Ansatz hingegen wird ausgehend von den Anforderungen und Fähigkeiten der Teilkomponenten das globale Verhalten des Gesamtsystems gebildet.²¹⁹

In dem hier gewählten Ansatz wird eine Kombination der beiden Ansätze gewählt. Zum einen wird über den Top-Down-Ansatz ein SCPMS entwickelt, welches ausgehend von der Vision der SC eine Übersetzung der Strategie in strategische Kennzahlen zur Steuerung der SC gewährleisten soll. Die Erarbeitung dieses SCPMS ist Inhalt dieses Kapitels.

²¹⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an Werner (2013), S. 28

²¹⁷ Vgl. Gladen (2014), S. 360

²¹⁸ Vgl. Horváth & Partner GmbH (Juni/2011), S. 3

²¹⁹ Vgl. Crespi, et al. (2005), S. 1159f

Zusätzlich werden über den Bottom-Up-Ansatz operative Kennzahlen definiert, die als Grundlage für den Aufbau des Simulationsmodells dienen sollen. Dabei wird sich in deren Granularität am VSM orientiert.

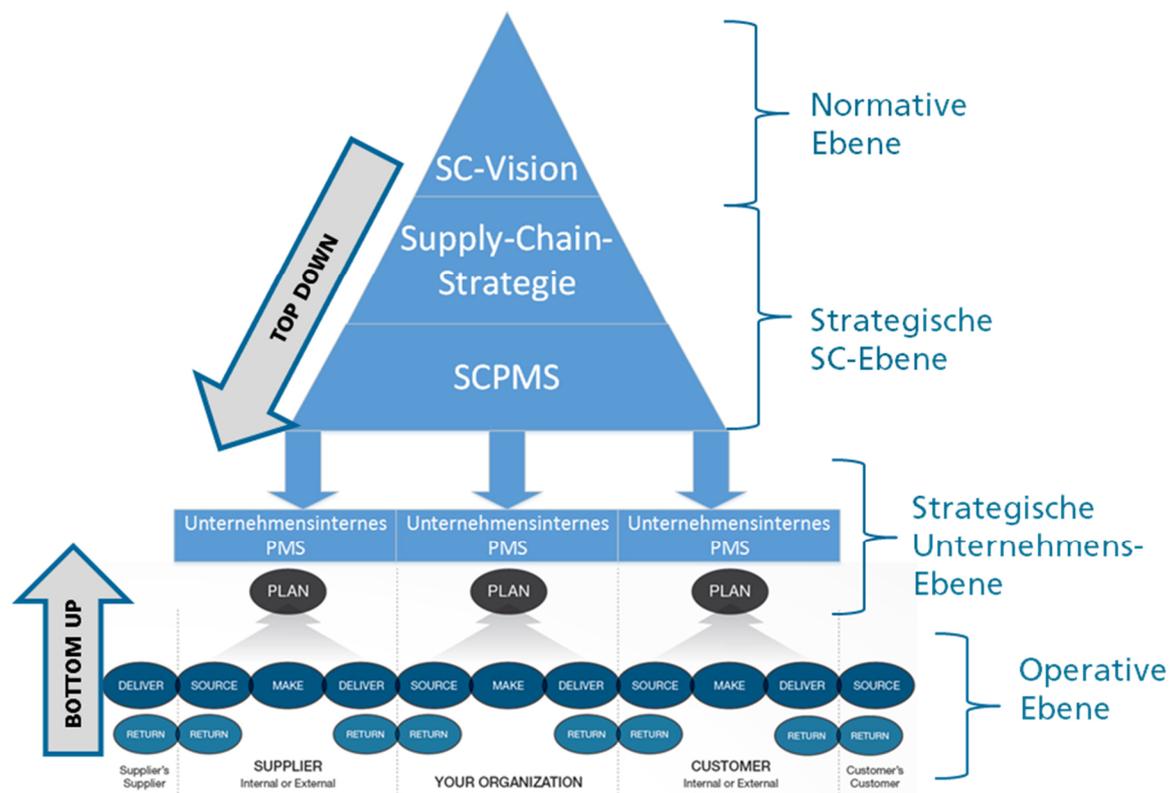


Abbildung 17 - Konzept des vorgeschlagenen SCPMS-Modells²²⁰

Nach Kaplan und Norton sind strategische Kennzahlen erfolgskritisch. Sie beziehen sich auf wesentliche Vorhaben zur Schaffung von materiellen und immateriellen Werten.²²¹ Dabei steht die *"Fokussierung auf bestimmte Schwerpunktaktivitäten"*²²² im Vordergrund. Dabei werden strategische Kennzahlen in der Konzeptionsphase der Strategie zur Analyse eingesetzt. In der Umsetzungsphase dienen die strategischen Kennzahlen dann als dynamische Steuerungskennzahlen und erfassen häufig die Veränderung einer Größe.²²³ Hingegen dienen Steuerungssysteme mit operativen Kennzahlen der Steuerung der täglichen Prozesse und beziehen sich auf das Halten eines statischen Niveaus.²²⁴ Die Steuerungsfunktion steht während der Strategieimplementierung und der strategischen Kontrolle im Vordergrund.

Die Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der in der Theorie diskutierten Konzepte der Supply Chain Balanced Scorecard sowie des SCOR-Modells sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

²²⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an *supply chain council* (2010), S. 6

²²¹ Vgl. *Norton/Kaplan* (1997), S. 157

²²² *Gladden* (2014), S. 371

²²³ Vgl. *Rachfall/Rachfall* (2013), S. 63

²²⁴ Vgl. *Gladden* (2014), S. 371

Supply Chain Balanced Scorecard	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Klarheit der Darstellung der Vision und Strategie • Konsequente Abbildung und Überwachung der Strategie • Hohe Flexibilität • Ableitung der Strategie in operative Zielsetzungen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht-Berücksichtigung aller Stakeholder • Benchmarking ist schwer zu realisieren • Unklarheit bezüglich der Anzahl an Kennzahlen • Controllingtool und kein Verbesserungstool • Schwierigkeit der Darstellung der Interaktionen zwischen den Kennzahlen
SCOR-Modell	
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessreferenzmodell • Benchmarking • Hierarchisches Kennzahlensystem mit ausgewogener Berücksichtigung verschiedener Kennzahlen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Beschränkung auf logistische Prozesse • Keine definierten Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen (Annahme der Unabhängigkeit) • Zur Verbesserung der Gesamt-Performance weniger geeignet

Tabelle 3 - Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der BSC und des SCOR-Modells

Durch die Integration von Teilaspekten und Level-1-Metriken des SCOR-Modells lässt sich speziell der Nachteil der fehlenden Benchmarking-Fähigkeit der BSC verbessern. Der Nachteil des SCOR-Modells, sich auf logistische Prozesse zu konzentrieren wird mittels der Integration in die BSC und die damit verbundene Erweiterung um weitere Perspektiven und zusätzliche Kennzahlen eliminiert. Außerdem wird die fehlende Orientierung an der Strategie und die damit verbundene Schwierigkeit bei der Optimierung der Gesamt-Performance als Schwachstelle ausgewiesen. Diese Fähigkeit ist eine der größten Vorteile der BSC, da hier eine strategiekonforme Ableitung der Kennzahlen erfolgt. Schlussfolgernd lässt sich also feststellen, dass sich die beiden Systeme gut ergänzen und in einer Kombination ein starkes Tool zur Steuerung und Leistungsmessung von Wertschöpfungsketten darstellen kann.

8.2 Wahl der Perspektiven und Kennzahlen des SCPMS

Die Perspektiven der Balanced Scorecard sollen ein ganzheitliches, ausgewogenes Bild auf die wesentlichen, erfolgskritischen Bereiche des Unternehmens bzw. der SC legen. Hierzu werden die ursprünglichen vier Perspektiven der BSC (Finanz, Kunde, Prozess, Potenzial) adaptiert, wobei die folgenden Perspektiven definiert werden.

Diese sollen in den nachfolgenden Unterkapiteln samt den ausgewählten Kennzahlen, welche hinsichtlich des Schwerpunktes Lean ausgewählt wurden, besprochen werden:

- Finanzperspektive
- Kundenperspektive
- Prozessperspektive
- Potenzialperspektive
- Nachhaltigkeitsperspektive

8.2.1 Finanzperspektive

Für die Bewertung der Leistung der Supply Chain ist die finanzielle Performance eine Schlüsselkomponente und entscheidet über das Fortbestehen eines Unternehmens. Wie im Theorieteil bereits erwähnt, ist die Finanzperspektive aufgrund ihres reaktiven, vergangenheitsorientierten Charakters alleine unzureichend, um Trends frühzeitig zu erkennen und proaktive Steuerungsmaßnahmen zu treffen. Dennoch müssen zur endgültigen Bewertung der Leistung einer Wertschöpfungskette Finanzkennzahlen berücksichtigt werden. Die Auswahl der strategischen Kennzahlen dieser Perspektive wurde hinsichtlich deren Relevanz bezüglich der Abbildung der Unternehmensperformance und der Kernkonzepte des Lean Management vorgenommen sowie bei Möglichkeit aus den strategischen Kennzahlen des SCOR-Modells entnommen. Die ausgewählten Kennzahlen sind:

Earnings before Interest and Taxes (EBIT)²²⁵

Das EBIT beschreibt das operative Ergebnis vor Zinsen und Steuern und wird berechnet, indem man von den Umsatzerlösen alle operativen Aufwendungen abzieht. Im SC-Kontext wird hierzu für die gesamten operativen Kosten die SCOR-Level-1-Metrik „Total Cost to Serve“ herangezogen. Im deutschen Sprachgebrauch wird hierfür auch der Terminus des Betriebsergebnisses simultan verwendet.²²⁶

$$EBIT = \text{Umsatzerlöse} - \text{operative Aufwendungen}$$

Formel 6 – EBIT-Berechnung²²⁷

Total Cost to Serve, SCOR²²⁸

Diese Kennzahl gibt die Supply Chain-Gesamtkosten wieder, welche zur Lieferung von Bestellungen bzw. zur Erbringen von Dienstleistungen beim Kunden entstehen. Dazu zählen Kosten bezüglich der Planung der SC, der Beschaffung von Materialien und Produkten, Produktionskosten, Reparaturen, Instandhaltung, Kundenanfragen und

²²⁵ Vgl. Hennig (2008), S. 115

²²⁶ Vgl. Heesen/Gruber (2014), S. 43

²²⁷ Vgl. Heesen/Gruber (2014), S. 43

²²⁸ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.4.3ff

Rücksendungen, Lieferkosten sowie Merchandising. Dabei wird zwischen Gemein- und Einzelkosten unterschieden, wobei Einzelkosten einem direkten Kundenauftrag zugeordnet werden können. Gemeinkosten sind dabei die Kosten, die zum Betrieb der Supply Chain benötigt werden. Dazu zählen unter anderem Abschreibungen, Leasing- und Instandhaltungskosten.

Im SCOR-Modell ergibt sich die Kennzahl über die Summation der Level-2-Metriken Planning Cost, Sourcing Cost, Material Landed Cost, Production Cost, Order Management Cost, Fulfillment Cost und Returns Cost. Die genaue Berechnung dieser Kennzahl ist daher sehr umfangreich und komplex. Zur genaueren Betrachtung der angeführten Kostenfaktoren wird auf die angeführte Literatur verwiesen.²²⁹

Return on Working Capital (ROWC), SCOR²³⁰

Die ROWC beschreibt die Rendite bezüglich des Umlaufvermögens. Sie ergibt sich aus der Differenz des Supply Chain-Ertrags und den SC-Gesamtkosten (EBIT) dividiert durch das Umlaufvermögen. Dieses ergibt sich aus dem Inventar, den Verbindlichkeiten und den Forderungen. Speziell hinsichtlich der Zielsetzung des Lean Management, Bestände zu reduzieren, ist diese Kennzahl ein guter Indikator für die Kapitalbindung aufgrund der bestehenden Bestände.

$$ROWC = \frac{\text{Supply Chain Revenue} - \text{Total Cost to Serve}}{\text{Inventory} + \text{Accounts Receivable} - \text{Accounts Payable}} \cdot 100\%$$

Formel 7 - Berechnung der Kennzahl 'Return on Working Capital'²³¹

8.2.2 Kundenperspektive

Die Ausrichtung der SC an der Erfüllung der Kundenanforderungen ist von großer Bedeutung und wird daher als eigene Perspektive angeführt. Dabei kann der Kunde interner oder externer Natur sein. Im Fokus der gesamten Wertschöpfungskette (abhängig von der Wahl der Systemgrenze) steht natürlich der Endkunde.

Perfect Order Fulfillment, SCOR²³²

Die Perfect Order Fulfillment (POF) gibt den Prozentsatz an Bestellungen an, welcher allen Leistungsanforderungen gerecht wird. Eine Lieferung zählt nur dann als perfekte Lieferung, wenn folgende vier Aspekte erfüllt werden:

- Die Quantität der Lieferung stimmt mit der bestellten Menge überein.
- Die Lieferung erfolgt pünktlich, am richtigen Ort und beim richtigen Kunden.
- Die Dokumentation der Bestellung erfolgt vollständig und pünktlich.

²²⁹ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.4.3ff

²³⁰ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.5.13ff

²³¹ SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.5.13

²³² Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.1.1ff

- Die ausgelieferte Ware ist unbeschädigt, vollständig, in der richtigen Konfiguration und wird vom Kunden reklamationslos angenommen.

Diesen vier Attributen ist jeweils eine Kennzahl hinterlegt, welche die Level-2-Metriken der Level-1-Metrik Perfect Order Fulfillment darstellen. Diese vier Level-2-Metriken wiederum werden über Level-3-Metriken berechnet, auf dessen Darstellung im Rahmen dieser Arbeit verzichtet wird.

Die Berechnung der Perfect Order Fulfillment erfolgt über Formel 8:

$$\text{Perfect Order Fulfillment} = \frac{\text{Total Perfect Orders}}{\text{Total Number of Orders}} \cdot 100\%$$

Formel 8 - Berechnung der Perfect Order Fulfillment²³³

Kundenzufriedenheit²³⁴

Die Kundenzufriedenheit ist eine der wichtigsten Indikatoren für den Erfolg der SC. So bewirkt eine hohe Kundenzufriedenheit eine erhöhte Kundenloyalität, eine höhere Kundenbindung und schließlich schlägt sich dies im ökonomischen Erfolg des Unternehmens nieder. Die Quantifizierung der Kundenzufriedenheit wird meist direkt über Kundenbefragungen ermittelt. Allerdings kann man auch über die Erfassung von Kundenreklamationen indirekt auf die Kundenzufriedenheit schließen.

8.2.3 Prozessperspektive

Der Prozessperspektive kommt auf SC-Ebene eine besondere Bedeutung zu. Die große Herausforderung besteht hier im Abgleich der operativen Prozesse zwischen den einzelnen Akteuren. Speziell hinsichtlich einer gesamtheitlichen Optimierung besteht hier großer Koordinationsbedarf. Durch die komplexen Beziehungen und Abhängigkeiten müssen hier sorgfältig Wirkzusammenhänge und Auswirkungen einzelner unternehmensinterner Prozessänderungen auf die gesamte Wertschöpfungskette untersucht werden. Die Thematik der Sub-Optimierung ist hier von wesentlicher Bedeutung. Als strategische Kennzahlen werden folgende Kennzahlen ausgewählt:

Upside Supply Chain Flexibility, SCOR²³⁵

Die Upside Supply Chain Flexibility beschreibt die benötigte Zeitspanne, um auf eine ungeplante, andauernde Nachfrageerhöhung von 20 Prozent zu reagieren. Dabei muss das neue Output-Level ohne eine signifikante Erhöhung der Stückkosten erreicht werden. Dieser Wert der 20-Prozent-Erhöhung ist im SCOR-Modell aus

²³³ SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.1.1

²³⁴ Vgl. <http://www.surveypark.com/kennzahlen-der-kundenzufriedenheit-messen/> (Gelesen am 28.01.2016)

²³⁵ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.3.1ff

Benchmarking-Zwecken gewählt, allerdings kann dieser Wert für bestimmte Branchen und Märkte zu konservativ oder zu hoch gewählt sein.

Diese Kennzahl bildet somit die Flexibilität der Supply Chain ab und dient als Gradmesser für die Reaktionsfähigkeit der SC. Speziell in dynamischen Märkten mit schwankenden Nachfrageverläufen ist diese Kennzahl von großer Bedeutung.

Order Fulfillment Cycle Time, SCOR²³⁶

Diese Kennzahl gibt die durchschnittliche Durchlaufzeit zur Erfüllung von Kundenaufträgen an (Auftragsdurchlaufzeit). Dabei ergibt sich die Zeitspanne einer Bestell-Durchlaufzeit als die Zeitspanne zwischen dem Eingehen der Kundenbestellung und der Annahme der Lieferung beim Kunden. Sie berechnet sich über Formel 9.

$$\text{Order Fulfillment Cycle Time} = \frac{\text{Sum Actual Times For All Orders Delivered}}{\text{Total Number of Orders Delivered}}$$

Formel 9 - Order Fulfillment Cycle Time²³⁷

Kurze Auftragsdurchlaufzeiten beeinflussen wesentlich die Kundenzufriedenheiten und sollten daher generell als strategische Zielsetzung zur Kundenbindung auf ein möglichst niedriges Niveau gesenkt werden.

Ausschussquote²³⁸

Die Ausschussquote misst den Anteil an fehlerhaften Produkten, die in den SC-Unternehmen entdeckt werden. Dadurch wird die Qualität der Produkte, Zwischenprodukte bzw. Module gemessen. Da die Wahl der Kennzahlen im Rahmen der Diplomarbeit auf den Fokus Lean Management gelegt werden, ist die Ausschussquote ein wesentliches Mittel zur Messung von Verschwendung und sollte daher auch als strategische Zielsetzung über die Abbildung im SCPMS in den Fokus gerückt werden.

$$\text{Ausschussquote} = \frac{\text{Ausschuss}}{\text{gesamte Produktion}} \cdot 100\%$$

Formel 10 – Berechnung der Ausschussquote

Durchlaufzeit^{239,240}

Die Durchlaufzeit (DLZ) bezeichnet die Zeitspanne, die ein Werkstück benötigt, um einen Prozess bzw. einen Wertstrom vollständig zu durchlaufen. Durch die

²³⁶ Vgl. SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.2.1ff

²³⁷ SCOR supply chain operations reference model (2012), S. 1.2.1

²³⁸ Vgl. Giese (2012), S. 152f

²³⁹ Vgl. Rother, et al. (2006), S. 19

²⁴⁰ Vgl. Giese (2012), S. 16f

Verbesserung der Durchlaufzeiten kann die Termintreue, die Flexibilität und somit die Kundenzufriedenheit erhöht werden. Erlach gibt folgende Formel zur Berechnung der Durchlaufzeit eines Wertstroms an:

$$DLZ = \sum_{i=1}^{Prozess\ n} \frac{WIP_i \times \uparrow}{TB \times \#T} + \sum_{i=1}^{Lager\ m} RW_i = \sum_{i=1}^m \frac{(BM_i + WIP_i) \times \uparrow}{TB \times \#T} = \sum_i RW_i$$

mit: DLZ Produktions-Durchlaufzeit [d]
 RW Reichweite der Lagerbestände [d]
 WIP Umlaufbestand [Stck.]
 BM Bestandsmenge [Stck.]
 TB Tagesbedarf [Stck./d]
 ↑ Gutasbeute [%]
 # T Anzahl Gleichteile pro Produkt

Formel 11 – Berechnung der Durchlaufzeit²⁴¹

8.2.4 Potenzialperspektive

In dieser Perspektive werden analog zur klassischen BSC Kennzahlen bezüglich der Mitarbeiter sowie der ungenutzten Potenziale dargestellt. Auf SC-Ebene spielt allerdings speziell die Kooperationsqualität und -intensität zwischen den einzelnen Akteuren eine wichtige Rolle, wodurch diese Perspektive um diesen Aspekt ergänzt wird. Die ausgewählten Kennzahlen sind:

Mitarbeiterzufriedenheit^{242,243}

Die Mitarbeiterzufriedenheit ist für Unternehmen von zentraler Bedeutung. Diese wird direkt durch Mitarbeiterumfragen gemessen. Auf die konkrete Berechnung soll im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht eingegangen werden. Durch eine hohe Mitarbeiterzufriedenheit lassen sich Wechselbeziehungen zu folgenden Erfolgsgrößen identifizieren:

- Senkung der Mitarbeiterfluktuation
- Senkung der Abwesenheitsrate der Mitarbeiter
- Erhöhung des organisationalem Commitment
- Erhöhung der Produktivität auf individueller und auf organisatorischer Ebene

Realisierte Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter (RVM)²⁴⁴

Diese Kennzahl gibt die Anzahl der realisierten Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter (MA) an und ist damit ein Gradmesser für die Aktivität und die Intensität der Nutzung des internen Vorschlagwesens, welches speziell hinsichtlich des KVP-

²⁴¹ Erlach (2010), S. 103

²⁴² Vgl. Drabe (2015), S. 66f

²⁴³ Vgl. Drabe (2015), S. 68ff

²⁴⁴ Vgl. Töpfer (2009), S. 61f

Prozesses und der Mitarbeiterintegration wesentlich ist. Die Kennzahl spiegelt auf strategischer Ebene ebenfalls das langfristige Bemühen wider, die Qualität zu verbessern. Dies ist speziell für Innovationen und neue Produkte ein wichtiger Aspekt. Sie lässt sich wie folgt berechnen:

$$RVM = \frac{\text{realisierte Verbesserungsvorschläge}}{\text{Mitarbeiteranzahl}}$$

Formel 12 - Realisierte Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter²⁴⁵

Umsetzungsquote der Mitarbeiter-Vorschläge²⁴⁶

Neben der Anzahl der Verbesserungsvorschläge ist speziell die Umsetzungsquote der eingebrachten MA-Vorschläge ein Gradmesser für die interne Bemühung der Qualitätsverbesserung. Speziell bei innovativen Produkten, bei denen zu Beginn des Lebenszyklus verstärkt Fehler auftreten können, nimmt diese Kennzahl eine zentrale Rolle ein.

Kooperationsqualität und -intensität^{247,248}

Die Kooperationsqualität, im Ansatz von Weber et al. analog zur Kooperationsintensität eine eigene Perspektive der SCBSC, wird hier als aggregierte Kennzahl zur Abbildung der Kooperationsqualität zwischen den Akteuren der Wertschöpfungskette angeführt.

Auf die jeweiligen Aspekte der Kooperationsqualität und der konkreten Bildung und Verdichtung zu der übergeordneten Kennzahl „Kooperationsqualität“ soll hier nicht näher eingegangen werden. Die gesamtheitliche Steuerung und Koordination entlang der Wertschöpfungskette wird erst durch eine Kooperation, die auch den Austausch von vertraulichen Daten beinhaltet, ermöglicht. Dieser Austausch an Informationen erfordert Vertrauen gegenüber den Akteuren, welche durch die Kooperationsqualität abgebildet wird. Aspekte der Kooperationsqualität sind weiche Faktoren wie die Art der Zusammenarbeit sowie das Vertrauen gegenüber den Akteuren der Wertschöpfungskette und wird hauptsächlich über Umfragen gemessen.²⁴⁹

Analog zur Kooperationsqualität wird die Kooperationsintensität als aggregierte Kennzahl angeführt. Diese kann indirekt über den Umfang der ausgetauschten Daten sowie die Anzahl an unternehmensübergreifenden Sitzungen gemessen werden. Die Kooperationsintensität soll dabei „*die harten Faktoren der Zusammenarbeit abbilden und nach vorne treiben*“²⁵⁰ Kennzahlen als Basis der Kooperationsintensität können die Anzahl gemeinsamer Datensätze sowie die Anzahl an gemeinsamen IT-Systemen

²⁴⁵ Eigene Formulierung in Anlehnung an Giese (2012), S. 152

²⁴⁶Vgl. Giese (2012), S. 153

²⁴⁷ Vgl. Weber, et al. (2002), S. 139ff

²⁴⁸ Vgl. Richert (2006), S. 68f

²⁴⁹ Vgl. Weber, et al. (2002), S. 140

²⁵⁰ Richert (2006), S. 68

sein. Gemeinsam mit der Kooperationsqualität sind diese beiden Aspekte als Basis zur gemeinsamen Zusammenarbeit und als Grundvoraussetzung für eine gemeinsame Steuerung der SC anzusehen. Daher sollten diese Aspekte als strategische Kennzahl in das SCPMS aufgenommen werden.

8.2.5 Nachhaltigkeitsperspektive

Dem Thema der Nachhaltigkeit kommt eine immer größer werdende Bedeutung zu, wobei zur Definition dieses Begriffs folgendes Zitat angeführt werden soll:

*"Humanity has the ability to make development sustainable to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs."*²⁵¹

Daher wird eine Entwicklung als nachhaltig bezeichnet, wenn diese keine negativen Einflüsse auf zukünftige Generationen aufweist.

Speziell die Forderung nach einem schonenden, nachhaltigen Umgang mit den natürlichen Ressourcen ist von zentraler Bedeutung. Als natürliche Ressourcen werden in diesem Kontext auf der Erde begrenzt vorkommende Rohstoffe bezeichnet.²⁵² Durch die immer rascher wachsende Weltbevölkerung sowie den immer höheren Energiebedarf wird der Ressourcenverbrauch intensiviert.²⁵³ So fiel der Welterschöpfungstag im Jahre 2012 auf den 22. August. Dieser plakative Tag ist der Stichtag eines Kalenderjahres, an dem alle Ressourcen aufgebraucht wurden, die die Erde innerhalb eines Jahres bereitstellen kann. Seit den 1980er Jahren, in denen das erste Mal die jährlichen Ressourcenkapazitäten der Erde überschritten wurden, wandert dieser Welterschöpfungstag weiter nach vorne.²⁵⁴ Um dieser Ressourcenverknappung entgegenzuwirken, sind auch Unternehmen gefordert, ein nachhaltiges Wirtschaften zu realisieren.²⁵⁵

Da das Thema der Nachhaltigkeit hochkomplex, multidimensional und inhaltlich anspruchsvoll ist, soll hier einführend der Begriff der Nachhaltigkeit im Kontext des SCM besprochen werden.

Der Trend hin zu einem nachhaltigen Management von Wertschöpfungsketten ist stark ausgeprägt. Als Gründe für diesen Boom lassen sich folgende Aspekte anführen:²⁵⁶

- Klimawandel
- Verknappung natürlicher Ressourcen
- Regulatorische und gesetzliche Anforderungen zum Umweltschutz

²⁵¹ World Commission on Environment and Development (1987), S. 16

²⁵² Vgl. Reller (2013), S. 8

²⁵³ Vgl. Reller (2013), S. 15ff

²⁵⁴ Vgl. Reller (2013), S. 15

²⁵⁵ Vgl. Reller (2013), S. 14ff

²⁵⁶ Vgl. Wittstruck/Teuteberg (2010), S. 141f

- Wandel des Konsumverhaltens des Kunden, der immer öfter nach umweltfreundlichen Produkten verlangt
- Wachsendes öffentliches Interesse am Umweltschutz
- Forderung nach einem ausreichenden Arbeitnehmerschutz

Bezüglich der Leistungsmessung und der Berichterstattung hinsichtlich der Nachhaltigkeit lässt sich ebenfalls ein Trend identifizieren. Nach einer Studie zufolge berichten fast alle der weltweit 250 größten Unternehmen über Nachhaltigkeit, wobei sich 78 Prozent der insgesamt 4100 befragten Unternehmen an den Richtlinien zur Nachhaltigkeitsberichterstattung der Global Reporting Initiative (GRI) orientieren.²⁵⁷ Diese Richtlinien, die aktuellste davon die G4, dienen als Orientierungshilfe für Unternehmen bei der Erstellung dieser Berichte und sollen standardisierte und vergleichbare Berichte ermöglichen.

Die Studie weist allerdings aus, dass speziell im Kontext der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Supply Chains großer Aufholbedarf besteht. Speziell Sektoren mit komplexen Wertschöpfungsketten, welche große potenzielle ökologische und soziale Risiken aufweisen (wie die chemische Industrie) hinken dem Reporting hinterher.²⁵⁸ Die Thematik der nachhaltigen Gestaltung von Supply Chains wird unter den Begriff des Sustainable Supply Chain Management (SSCM) erfasst. Dabei wird der Betrachtungshorizont des SCM um die Perspektive der Nachhaltigkeit erweitert, sodass neben dem Management von Material- und Informationsflüssen auch Ziele der Nachhaltigkeit in die Entscheidungs- und Managementprozesse eingebettet werden, wobei diese aus den Anforderungen von Kunde und Stakeholdern abgeleitet werden.²⁵⁹ Taticchi et al. definieren den Term des SSCM als Integration der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit in die interorganisationalen Praktiken des SCM, speziell die folgenden:²⁶⁰

- Reduktion der negativen Umwelt- und Sozialeinflüsse als Imperativ
- Berücksichtigung aller Stufen entlang der Wertschöpfungskette
- Multidisziplinäre Perspektive, welche den gesamten Produktlebenszyklus berücksichtigt

Die Autoren der Studie üben allerdings auch Kritik an der Nachhaltigkeitsberichterstattung. Die Erstellung der Reports sei demnach für Unternehmen ein teures und komplexes Unterfangen, dem zusätzlich der wirtschaftliche Nutzen fehle. Außerdem wird Kritik an der tatsächlichen

²⁵⁷ Vgl. *KMPG-International* (2013), S. 4ff

²⁵⁸ Vgl. *KMPG-International* (2013), S. 18

²⁵⁹ Vgl. *Seuring/Müller* (2008), S. 1700

²⁶⁰ Vgl. *Taticchi, et al.* (2013), S. 783

"Nachhaltigkeit" dieser Berichte geäußert, da ein Bericht alleine noch keinen Wandel zu einer nachhaltigeren Unternehmensphilosophie ermöglicht.²⁶¹

Dabei deckt das Thema der Nachhaltigkeit ein breites Spektrum ab. Die am meisten verbreitete Kategorisierung erfolgt analog zur G4, die folgende drei Nachhaltigkeits-Dimensionen definiert:²⁶²

- soziale Nachhaltigkeit
- ökologische Nachhaltigkeit
- ökonomische Nachhaltigkeit

Diesen drei Dimensionen werden jeweils Aspekte zugeordnet, welche durch Kennzahlen beschrieben werden. Die soziale und die ökologische Nachhaltigkeit werden als übergeordnete strategische Kennzahlen für das SCPMS vorgeschlagen. Im Rahmen des ausgewählten Ansatzes liegt der Fokus speziell in der sozialen und der ökologischen Nachhaltigkeit.

Soziale Nachhaltigkeit

Die soziale Nachhaltigkeit wird in folgende Aspekte unterteilt, denen Kennzahlen zugewiesen werden. Auf die konkreten Kennzahlen wird hier nicht spezifisch eingegangen und sind weiterführend der hier zitierten Literatur zu entnehmen.²⁶³

- Arbeitspraktiken und -bedingungen
- Menschenrechte
- Gesellschaft
- Produktverantwortung

Die Herausforderung besteht (analog zur ökologischen Nachhaltigkeit) in der Bewertung und Quantifizierung der einzelnen Kennzahlen zu einer übergeordneten Bewertungskennzahl der sozialen bzw. ökologischen Nachhaltigkeit.²⁶⁴ Varsei et al. entwickelten hierzu einen gewichteten Ansatz, der für die vier Kategorien der sozialen Nachhaltigkeit abhängig von der Abweichung zum „Ideal“ eine quantifizierte Bewertung vornimmt, die dann summiert wird. So erhält man schlussendlich einen übergeordneten Summenscore der sozialen Nachhaltigkeit, der einen Vergleich mit anderen Unternehmen etc. zulässt und den Grad der Abweichung bezüglich des Idealzustandes beschreibt.²⁶⁵ Analog dazu ließe sich ebenfalls die ökologische Nachhaltigkeit quantifizieren.

²⁶¹ Vgl. *KMPG-International* (2013), S.9

²⁶² Vgl. *Ganse, et al.* (2012), S. 260

²⁶³ Vgl. *Global Reporting Initiative* (2015), S. 64ff

²⁶⁴ Vgl. *Seuring* (2013), S. 1518

²⁶⁵ Vgl. *Varsei, et al.* (2014), S. 248f

Ökologische Nachhaltigkeit

Die Aspekte, die in der ökologischen Nachhaltigkeit abgebildet und mit untergeordneten Kennzahlen beschrieben werden, sind:²⁶⁶

- Materialien
- Energie
- Wasser
- Biodiversität
- Emissionen
- Abwasser und Abfälle
- Produkte und Dienstleistungen
- Compliance
- Transport
- Lieferantenbewertung hinsichtlich Umwelt-Aspekten
- Umweltbezogene Beschwerdemechanismen

Zusammenhang der Nachhaltigkeit mit dem Lean Management

Diese fünfte Perspektive der Nachhaltigkeit implementiert auch den Lean-Aspekt, da dieser stark mit dem Thema der Nachhaltigkeit korreliert sowie starke Überschneidungen der beiden Themengebiete zu identifizieren sind.²⁶⁷ So wird über die Zielsetzungen des Lean-Gedanken Ausschuss vermieden, Bestände abgebaut, Fehler vermieden, die Qualität verbessert sowie die Mitarbeiter stärker involviert und der Teamgeist verstärkt. In diesem Kontext zeigen Piercy und Rich in einer Langzeitstudie, dass Lean-Maßnahmen einen weitreichenden positiven Einfluss auf die Thematik der Nachhaltigkeit über die Kategorie der ökologischen Nachhaltigkeit hinaus aufweisen. Dazu zählen die Verbesserung der Transparenz, der Mitarbeiter-Behandlung sowie des sozialen Engagements.²⁶⁸ Reefke und Trocchi erarbeiten einen BSC-Ansatz zum Thema SSCM, wobei die Inhalte der fünf gewählten Perspektiven sehr viele Lean-Attribute aufweisen.²⁶⁹ Allerdings widmet sich diese BSC ausschließlich der Nachhaltigkeits-Thematik. In dem hier erarbeiteten Ansatz soll allerdings eine integrative Einbindung dieses Aspekts erfolgen. Die Auswahl der wesentlichen Nachhaltigkeitskennzahlen erweist sich als äußerst schwierig und umfangreich.

Zusammenfassend sind in Tabelle 19 im Anhang die ausgewählten Kennzahlen der verschiedenen Perspektiven dargestellt. Für die Klassifizierung hinsichtlich der Kennzahlentypen wird die Einteilung nach Werner vorgenommen, der zwischen

²⁶⁶ Vgl. *Global Reporting Initiative* (2015), S. 52ff

²⁶⁷ Vgl. *Piercy/Rich* (2015), S. 289

²⁶⁸ Vgl. *Piercy/Rich* (2015), S. 282

²⁶⁹ Vgl. *Reefke/Trocchi* (2013), S. 820

absoluten Kennzahlen und relativen Kennzahlen unterscheidet. Relative Kennzahlen werden in Gliederungszahlen (Teil des Ganzen), Beziehungszahlen (Normierung von Basiszahlen) und Indexzahlen (Beurteilung der zeitlichen Entwicklung) unterteilt.²⁷⁰ Abbildung 18 zeigt hier in Anlehnung an die klassische BSC-Darstellung die Perspektiven und die Kennzahlen des gewählten Ansatzes.



Abbildung 18 - Darstellung des eigenen Ansatzes des SCPMS

Im folgenden Kapitel 8.3 sollen mittels der Visualisierung durch die Strategy Map die qualitativen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge der gewählten Kennzahlen dargestellt werden.

8.3 Strategy Map des erarbeiteten Ansatzes

Die qualitativen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge der eingesetzten Kennzahlen in den fünf Perspektiven werden über die Strategy Map (Abbildung 19) analog zu Kapitel 2.4.4 dargestellt. Dabei werden die Wirkzusammenhänge visualisiert, die eine Veränderung einer Kennzahl auf die jeweils anderen Kennzahlen verursachen.

Wird in etwa die soziale Nachhaltigkeit durch eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen erhöht, wirkt sich dies positiv auf die Mitarbeiterzufriedenheit aus. Diese steigert wiederum die Einbringung der Mitarbeiter in das Unternehmen was zu einer Zunahme der realisierten Verbesserungsvorschläge führt. Dieser Aspekt wirkt sich durch ein konkretes Verbesserungsprojekt positiv auf die Order Fulfillment Cycle Time aus, was schlussendlich zu einer erhöhten Kundenzufriedenheit und damit zu einem besseren operativen Ergebnis führt. Diese Kette an Wirkzusammenhänge ist in Abbildung 19 fett hervorgehoben.

Die in der Strategy Map angeführten Zusammenhänge stellen hierbei einen Auszug

²⁷⁰ Vgl. Werner (2014), S. 13f

der wichtigsten Wirkzusammenhänge dar und geben keine Garantie auf Vollständigkeit. Allerdings ist es zur Übersichtlichkeit zweckmäßig, sich auf diese wesentlichen und erfolgskritischen Zusammenhänge zu fokussieren, da sonst ein rasches sachlogisches Verständnis erschwert wird.

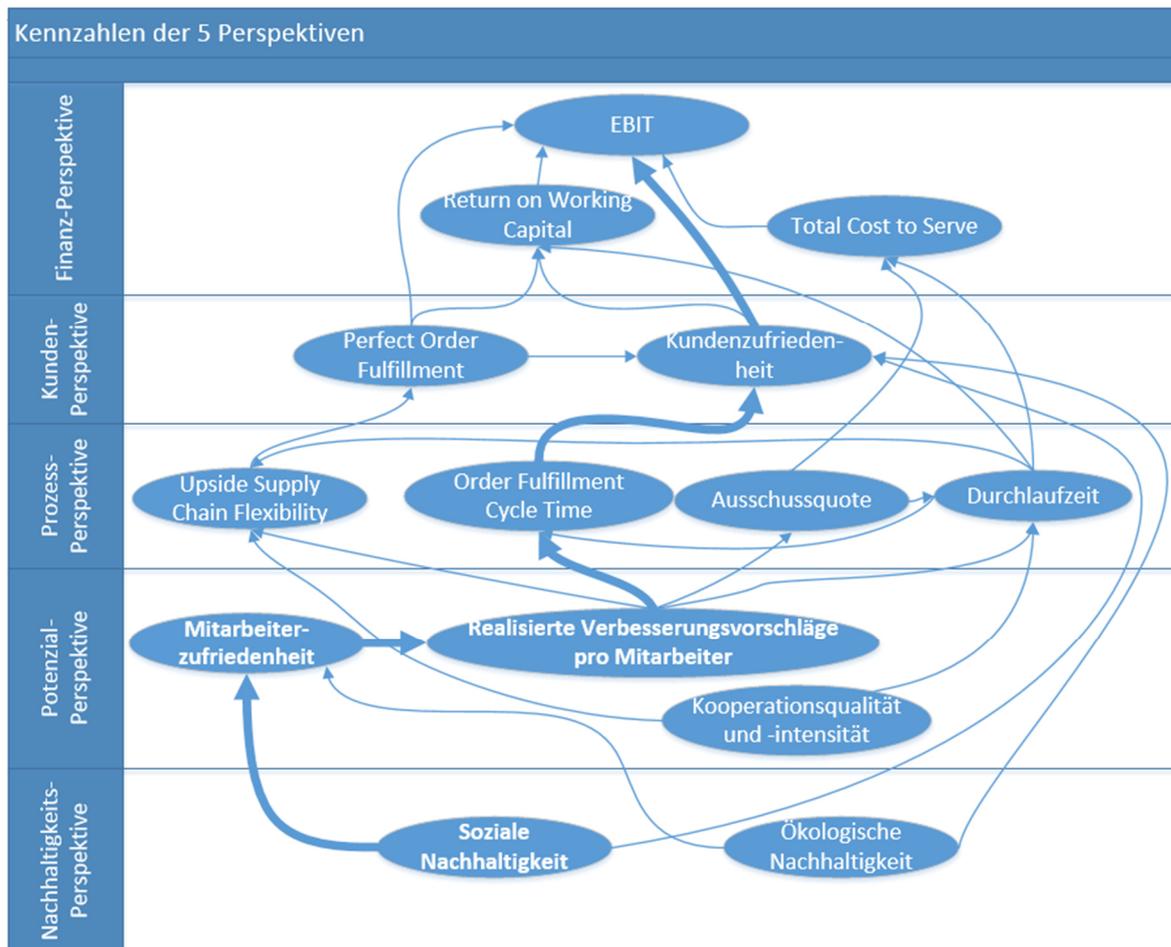


Abbildung 19 - Strategy Map des entwickelten Ansatzes

Zusammenfassung

Zusammenfassend soll das hier vorgestellte SCPMS zur strategischen Steuerung der Wertschöpfungskette dienen. Dazu wurde eine Symbiose aus der Balanced Scorecard und dem SCOR-Modell angestrebt, da nach dem aktuellen Stand der Technik die beiden Systeme sich gut ergänzen. Aufgrund der Beschränkung auf logistische Prozesse des SCOR-Modells war allerdings eine Aufnahme weiterer Kennzahlen und Perspektiven notwendig. Die eingesetzten SCOR-Metriken scheinen nur in den Finanz-, Kunden- und Prozessperspektiven auf.

Da der erarbeitete Ansatz den Fokus auf das Lean Management legen soll, wurden speziell Kennzahlen dieser Kategorie erweitert. So wurde die Prozessperspektive um die Durchlaufzeit sowie die Ausschussquote ergänzt. In der Potenzialperspektive spielt die strategische Kennzahl der Mitarbeiterzufriedenheit eine zentrale Rolle. Um den KVP-Prozess, ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil des Lean Management,

abzubilden, wurde die Kennzahl „realisierte Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter“ implementiert. Durch die steigende Bedeutung der Nachhaltigkeit sowie deren starke Überschneidung mit dem Lean Management (siehe Kapitel 8.2.5) wurde als neue Kategorie die Nachhaltigkeitsperspektive ergänzt, wobei der Fokus auf der sozialen und der ökologischen Nachhaltigkeit liegt.

Somit soll das hier entwickelte SCPMS die wesentlichen strategischen Aspekte von schlanken Wertschöpfungsketten abdecken sowie deren Wirkzusammenhänge qualitativ darstellen. Die Verknüpfung zur operativen Ebene entlang der Wertschöpfungskette soll im folgenden Kapitel 9 erfolgen. Dazu soll die Fragestellung nach den Wirkzusammenhängen zwischen der strategischen und der operativen Ebene an einem Fallbeispiel erarbeitet werden sowie die Verknüpfung von operativen Kennzahlen erfolgen. Hierzu wird eine mathematische Formulierung entwickelt, die die CRM-Kennzahl des Servicegrades in Abhängigkeit von Produktionskennzahlen und des Zielkonflikts zwischen Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten optimieren soll.

9 Untersuchung der Wirkzusammenhänge

Ziel dieses Abschnittes ist es, die Wirkzusammenhänge zwischen Kennzahlen der operativen Ebene eines Standortes mit den Kennzahlen des entwickelten SCPMS an dem konkreten Beispiel einer Rüstzeitreduktion darzustellen. Dazu soll zunächst eine im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelte mathematische Formulierung zur optimalen Auslegung des Servicegrades bei Lagerfertigung durch das Bestellbestandsverfahren vorgestellt werden. Danach wird diese Formulierung an einem Fallbeispiel aus der Lebensmittelbranche angewandt und die Auswirkungen einer Rüstzeitreduktion auf die operativen Kennzahlen sowie die Kennzahlen des SCPMS aufgezeigt.

9.1 Vorstellung der Problemstellung

Bei der Lagerfertigung (Make-to-Stock) erfolgt die Produktion auf Lager. Bei einer Kundenbestellung wird der Auftragsabwicklungsprozess angestoßen, die Ware wird dem Lager entnommen und dem Kunden ausgeliefert.²⁷¹ Somit befindet sich der Kundenentkopplungspunkt bei der Lagerfertigung im Fertigwarenlager. Der Kundenentkopplungspunkt beschreibt dabei die Stelle des Wertstroms, an der konkrete Kundenaufträge den Materialien, Teilen oder Produkten zugewiesen werden. Davor erfolgt die Produktion kundenanonym. Generell ist eine Lagerfertigung nur möglich, wenn die zu fertigenden Produkte keine kundenspezifischen Merkmale aufweisen.²⁷²

Abbildung 20 zeigt hier für ein Fallbeispiel eines Wertstroms verschiedene Möglichkeiten des Kundenentkopplungspunktes, wobei die oberste Darstellung (GT1) hier die Lagerfertigung darstellt. Daher erfolgt die gesamte Produktion bis hin zum Fertigprodukt auftragsunabhängig.

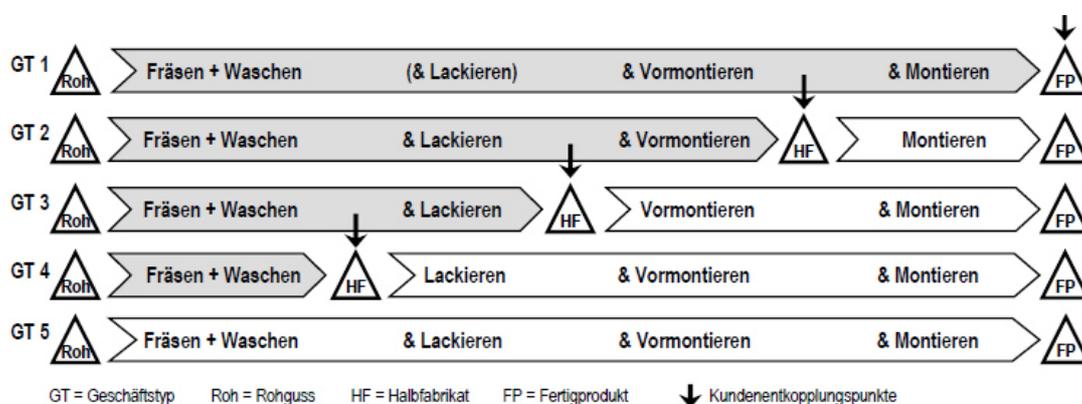


Abbildung 20 - Kundenentkopplungspunkt bei Lagerfertigung²⁷³

²⁷¹ Vgl. Kummer, et al. (2009), S. 192

²⁷² Vgl. Erlach (2010), S. 137f

²⁷³ Erlach (2010), S. 138

Der Servicegrad stellt die wichtigste Zielgröße der Lagerfertigung dar, welcher den prozentualen Anteil an Anfragen, welche sofort (daher aus dem Lager) befriedigt werden kann, angibt.²⁷⁴ Kann eine Anfrage nicht befriedigt werden, besteht die Gefahr von Umsatzverlusten durch den Verlust von Aufträgen, Vertrauensverlusten und die damit verbundene Abnahme der Kundenbindung bis hin zu einem möglichen Verlust des Lieferantenstatus.²⁷⁵ Der Servicegrad lässt sich wie folgt berechnen:

$$SG = \frac{TO_{\text{sofort}}}{TO} \cdot 100$$

Formel 13 - Servicegrad²⁷⁶

Daher gibt der Servicegrad den Prozentsatz an befriedigten Bestellungen (TO_{sofort}) bezogen auf die Gesamtanzahl an Bestellungen (TO) an. Hierbei wird die Größe einer Bestellung nicht berücksichtigt. Der gewichtete Servicegrad (SG_g) berücksichtigt diesen Faktor (Formel 14) indem die Anzahl sofort gelieferter Mengeneinheiten ($AnzME_{\text{sofort}}$) durch die Anzahl nachgefragter Mengeneinheiten ($AnzME$) dividiert wird.

$$SG_g = \frac{AnzME_{\text{sofort}}}{AnzME} \cdot 100$$

Formel 14 - Gewichteter Servicegrad²⁷⁷

Die Formulierung von Lödning deckt sich mit der sonst verbreiteten Einteilung in den α -Servicegrad (Servicegrad) und den β -Servicegrad (gewichteter Servicegrad).²⁷⁸ Der gewichtete Servicegrad berücksichtigt damit auch die Größe an Bestellungen, wodurch große Nachfragen stärker als kleine Nachfragen gewichtet werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird sich in den nachfolgenden Formulierungen auf den gewichteten Servicegrad referenziert.

Als Lagerhaltungsstrategie für die Problemstellung wird ein klassisches Bestellbestandsverfahren für die Produkte ausgewählt. Die Auslegung der wesentlichen Verfahrensparameter des Bestellbestandes und der Bestellgröße erfolgt dabei nach Lödning.²⁷⁹ Zielsetzung ist dabei die Entwicklung einer mathematischen Zielfunktion, die durch die geeignete kostenminimale Auslegung des gewichteten Servicegrades den Zielkonflikt aus Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten lösen soll und somit die Verfahrensparameter des Bestellbestandsverfahrens definiert.

Die hier entwickelte Formulierung wird in weiterer Folge an einem Unternehmen der Lebensmittelindustrie untersucht. Dazu wird auf Basis der Einzelbestellpositionen eines Beispielmonats die vorgestellte Formulierung angewendet.

²⁷⁴ Vgl. Lödning (2005), S. 27

²⁷⁵ Vgl. Lödning (2005), S. 28

²⁷⁶ Vgl. Lödning (2005), S. 27

²⁷⁷ Vgl. Lödning (2005), S. 28

²⁷⁸ Vgl. <http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/servicegrad/servicegrad.htm> (Gelesen am 06.01.2016)

²⁷⁹ Vgl. Lödning (2005), S. 147ff

Dabei werden verschiedene Szenarien bezüglich der Rüstzeiten betrachtet, die die Einflüsse einer Rüstzeitreduktion auf die Wahl der Parameter und den Einfluss auf operative Kennzahlen wie das mittlere Bestandsniveau, den gewählten Servicegrad sowie auf die Kennzahlen des SCPMS untersuchen soll.

Zusammenfassend lässt sich nun die Methodik der hier vorliegenden Herangehensweise der Kapitel 9 und 10 wie folgt darstellen:

1. Darstellung der Auslegung der Parameter des Bestellbestandsverfahrens nach Lödding
2. Formulierung der Zielfunktion zur kostenminimalen Wahl des gewichteten Servicegrades
3. Darstellung des Fallbeispiels inklusive Szenarien-Bildung bezüglich der Rüstzeitreduktion
4. Anwendung der vorgestellten mathematischen Formulierung auf das Fallbeispiel
5. Darstellung der Ergebnisse bezüglich der operativen Kennzahlen
6. Darstellung der Wirkzusammenhänge durch die Rüstzeitreduktion
7. Aufbau eines agentenbasierten Simulationsmodells zur Untersuchung der Ergebnisse der mathematischen Formulierung
8. Vergleich der Ergebnisse
9. Darstellung der Wirkzusammenhänge auf die Kennzahlen des SCPMS

Im folgenden Kapitel soll nun zunächst auf die Auslegung der Parameter des Bestellbestandsverfahrens eingegangen werden.

9.2 Auslegung der Parameter des Bestellbestandsverfahrens

Für die dargestellte Problemstellung wird zur Auslegung der Parameter der Lagerhaltungsstrategie das Bestellbestandsverfahren ausgewählt. Abbildung 21 stellt hier schematisch den idealisierten Bestandsverlauf bei diesem Verfahren dar. Über die Auswahl der Parameter wird der Servicegrad der durch dieses Verfahren gesteuerten Varianten direkt beeinflusst und legt damit die Lieferbereitschaft des Unternehmens fest.²⁸⁰ In diesem Verfahren wird ein Auftrag in der Größe der Bestellmenge für eine Variante erzeugt, wenn ein Bestellbestand erreicht bzw. unterschritten wird. Dieser Bestellbestand wird so gewählt, dass innerhalb der Wiederbeschaffungszeit der Sicherheitsbestand bei einer mittleren Lagerabgangsrate nicht unterschritten wird.

²⁸⁰ Vgl. Lödding (2005), S. 147

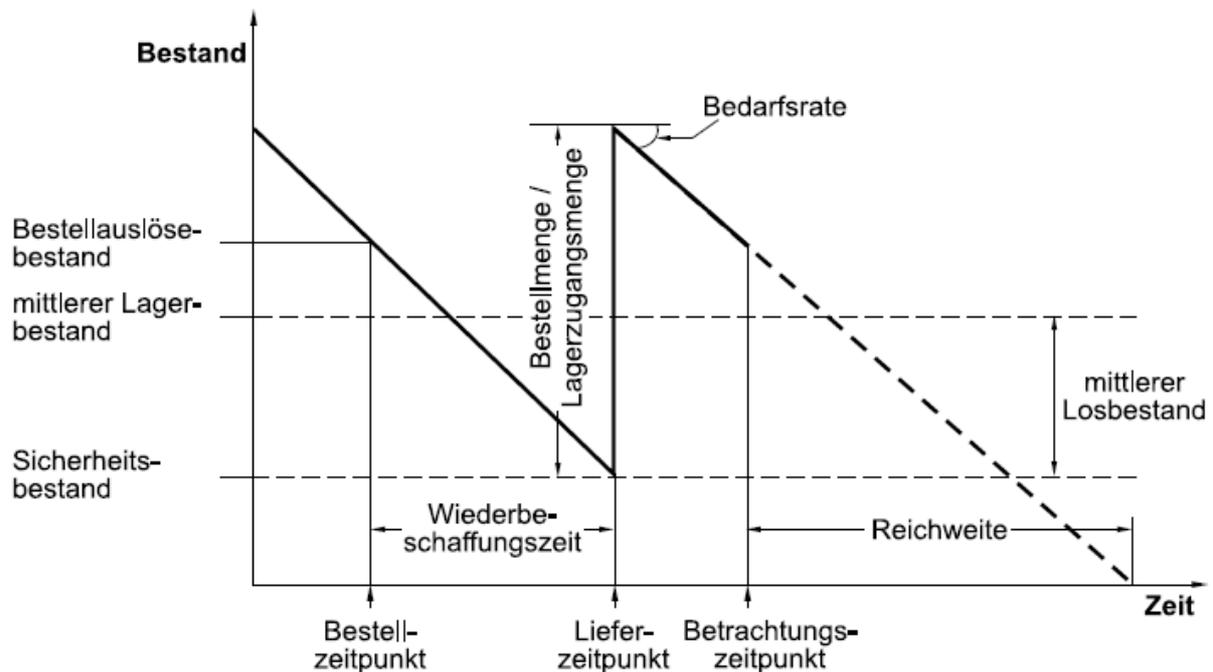


Abbildung 21 - Idealisierter Bestandsverlauf beim Bestellbestandsverfahren²⁸¹

Durch die Wahl der Parameter ergibt sich ein mittlerer Lagerbestand, der ausschlaggebend für Berechnung der Lagerhaltungskosten ist. In den folgenden Unterkapiteln soll nun die Berechnung der Parameter des Bestellbestandsverfahrens dargestellt werden.

9.2.1 Bestellmenge

Unter der Bestellmenge ist in diesem Kontext die Losgröße der Produktion zu verstehen. Dabei gibt es unzählige Verfahren zur Bestimmung der Losgröße, wobei die meisten Verfahren auf die Minimierung der losgrößenabhängigen Kosten abzielen, zu denen speziell die Rüst- und Bestandskosten zu zählen sind.²⁸²

Zu den Rüstkosten zählen Kosten für das Personal und das Material, welches während des Rüstvorgangs eingesetzt wird. Zusätzlich können Opportunitätskosten in Höhe des entgangenen Deckungsbeitrags aufgeschlagen werden, wenn die Kapazität der Anlage stark ausgelastet ist. Die Rüstkosten pro Produkt sinken mit zunehmender Losgröße. Die Bestandskosten, welche sich aus Kapitalbindung, Zinskosten und den Lagerhaltungskosten zusammensetzen, steigen hingegen bei zunehmender Losgröße.²⁸³ Lödding führt an, dass aufgrund der oftmals reinen Kostenfokussierung aus Rüst- und Bestandskosten die Losgrößen oft zu groß veranschlagt werden. Durch diese Kostenfixierung werden wesentliche Vorteile kleinerer Losgrößen ausgeklammert. So sinken die Durchlaufzeiten, wodurch die Flexibilität und die

²⁸¹ Lödding (2005), S. 148

²⁸² Vgl. Lödding (2005), S. 88

²⁸³ Vgl. Lödding (2005), S. 89

Reaktionsfähigkeit der Produktion sowie die notwendigen Sicherheitsbestände bei Lagerfertigung bzw. der Lieferzeiten bei auftragsbezogener Fertigung reduziert werden können.

Ein zusätzlicher Grund für die Wahl zu großer Losgrößen ist die zu hohe Bewertung der Rüstkosten. So weist Lödning aus, dass zur Bewertung der Rüstkosten Maschinenstundensätze inklusive Abschreibungen berücksichtigt werden. Diese Berücksichtigung der Abschreibungen ist aus Sicht des Autors falsch, da die Investitionskosten zur Losgrößenberechnung nicht entscheidungsrelevant sind.^{284,285}

Die Andler'sche Losgrößenformel, welche zur Bestimmung der optimalen Losgröße (X_{opt}) das Optimum aus Rüstkosten und Bestandskosten anstrebt, wird nach Formel 15 berechnet.

$$X_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot A}{h}}$$

Formel 15 - Andler'sche Losgrößenformel^{286,287}

Mit

- D...Gesamtnachfragemenge der betrachteten Periode
- A...Rüstkosten für einen Rüstvorgang
- h...Lagerhaltungskosten eines Produktes der betrachteten Periode

9.2.2 Bestellbestand

Der Bestellbestand ist neben der Bestelllosgröße der zweite Verfahrensparameter. Er gibt an, bei welchem Bestandsniveau eine Bestellung bzw. Nachproduktion eines Loses in Auftrag gegeben wird.

Der Bestellbestand (BB) berechnet sich dabei aus dem Sicherheitsbestand (SB), der Wiederbeschaffungszeit des Produkts (WBZ), der mittleren Bedarfsrate (BR_m) sowie einem abgangslosgrößenabhängigen Parameter ($P(X_{AB})$), welcher die Entnahmegrößen aus dem Lager berücksichtigt. Generell sind für das Bestellbestandsverfahren häufige Entnahmen mit geringen Losgrößen vorteilhaft.²⁸⁸

$$BB = SB + WBZ \cdot BR_m + P(X_{AB})$$

Formel 16 - Bestellbestand²⁸⁹

²⁸⁴ Vgl. Lödning (2005), S. 88f

²⁸⁵ Vgl. Erlach (2010), S. 70

²⁸⁶ Vgl. Wannewetsch (2014), S. 106

²⁸⁷ Vgl. Minner/Silver (2007), S. 389f

²⁸⁸ Vgl. Lödning (2005), S. 165

²⁸⁹ Lödning (2005), S. 158

Sicherheitsbestand SB

Der Sicherheitsbestand lässt sich beim Bestellbestandsverfahren auf folgende Weise in Abhängigkeit des gewichteten Ziel-Servicegrades ($SG_{g,Ziel}$) berechnen:

$$SB(SG_{g,Ziel}) = BL_0 \cdot \left(\frac{SG_{g,Ziel}^2}{100} - 1 \right) + (BL_1 - BL_0) \cdot \sqrt[1 - \left(1 - \frac{SG_{g,Ziel}}{100}\right)^c]{c}$$

Formel 17 - Berechnung des Sicherheitsbestandes²⁹⁰

Dabei ist BL_0 der Losbestand, BL_1 der theoretische Grenzbestand sowie c der C-Norm-Parameter, deren Berechnung bzw. Bedeutung nun eingegangen werden soll.

Losbestand BL_0

Der Losbestand entspricht der halben Zugangslosgröße $X_{Zu,m}$, welche in diesem Anwendungsfall mit der Losgröße des Produktes gleichzusetzen ist:

$$BL_0 = \frac{X_{Zu,m}}{2}$$

Formel 18 - Losbestand BL_0 ²⁹¹

Praktisch minimaler Grenzbestand BL_1

$$BL_1 = \frac{X_{Zu,m} - X_{Ab,m}}{2} + \sqrt{(LTA_{max}^+ \cdot BR_m)^2 + (MA_{max}^-)^2 + ((BR_{max} - BR_m) \cdot WBZ)^2}$$

Formel 19 - Praktisch minimaler Grenzbestand²⁹²

Der erste Summand beschreibt dabei die Differenz aus den mittleren Losgrößen im Zugang ($X_{Zu,m}$) und dem Abgang ($X_{Ab,m}$). Der Wurzelterm beschreibt den Sicherheitsbestand bei einem 100-prozentigem Servicegrad, wobei drei Störungsarten, die eine Abweichung des Verlaufs der idealisierten Bestandslinie (Abbildung 21) verursachen, berücksichtigt werden:²⁹³

1. Maximal negative Mengenabweichung
2. Maximale positive Terminabweichung
3. Schwankungen hinsichtlich der Bedarfsrate während der WBZ

Die maximale positive Lieferterminabweichung (LTA_{max}^+) beschreibt dabei den längsten Lieferverzug des Beschaffungsauftrags, der über den Sicherheitsbestand abzudecken ist. Diese Lieferterminabweichung resultiert für die Eigenproduktion aus

²⁹⁰ Lödning (2005), S. 159

²⁹¹ Lödning (2005), S. 47

²⁹² Lödning (2005), S. 48

²⁹³ Vgl. Lödning (2005), S. 202

Fertigungsrückständen.²⁹⁴

Die maximal negative Liefermengenabweichung (MA_{\max}^-) beschreibt die größtmögliche Unterschreitung der beauftragten Bestellmenge, welche ebenfalls aus dem Sicherheitsbestand abzudecken ist.

Die dritte Störungsart ist die maximale Bedarfsabweichung innerhalb der WBZ, welche durch schwankende Nachfragemengen aus der Differenz zwischen der maximalen Bedarfsrate (BR_{\max}) und der mittleren Bedarfsmenge (BR_m) berechnet wird.

C-Norm-Parameter

Der C-Norm-Parameter beeinflusst die Krümmung der gewichteten Servicegradkennlinie, welche in Abbildung 22 dargestellt ist. Diese Servicegradkennlinie trägt den notwendigen mittleren Lagerbestand (Abszisse) über dem damit erreichbaren gewichteten Servicegrad (Ordinate) auf. Bei einem idealen Verlauf kann bei einem mittleren Lagerbestand, der dem Losbestand (BL_0) gleicht, bereits ein Servicegrad von 100 Prozent erreicht werden. Um reale Verläufe abzubilden, wird der Verlauf dieser Kurve durch den C-Norm-Parameter gekrümmt. Dieser C-Norm-Parameter soll damit Planabweichungen abbilden, die eine Abweichung der Servicegradkennlinie vom idealisierten Verlauf berücksichtigt. Planabweichungen sind in diesem Fall die in Formel 19 abgebildeten Störterme. Je stärker diese Abweichungen streuen, desto stärker muss die berechnete Lagerkennlinie von der idealen Kennlinie gelöst sein.²⁹⁵

Dabei wird für den C-Norm-Parameter im Anwendungsfall der Lagerkennlinien ein oberer und unterer Grenzwert definiert. Der obere Grenzwert (C_{\max}) wird dabei mit 0,5 festgelegt. Der untere Grenzwert (C_{\min}) berechnet sich über Formel 20.

$$C_{\min} = \frac{\ln\left(\frac{1}{2}\right)}{\ln\left(\frac{BL_0}{4 \cdot BL_1}\right)}$$

Formel 20 - Berechnung von C_{\min} ²⁹⁶

Für normalverteilte Planabweichungen kann damit der C-Norm-Parameter über Formel 21 berechnet werden.

$$C_{NV} = 0,15 \cdot (C_{\max} - C_{\min}) + C_{\min}$$

Formel 21 - Berechnung des C-Norm-Parameters bei normalverteilten Planabweichungen²⁹⁷

Lödning empfiehlt hierfür mäßig streuende Planabweichungen einen C-Wert zwischen 0,33 und 0,37.²⁹⁸ Der praktisch minimale Grenzbestand (BL_1) bildet den Punkt der

²⁹⁴ Vgl. Lödding (2005), S. 159f

²⁹⁵ Vgl. Nyhuis (2003), S. 259f

²⁹⁶ Nyhuis (2003), S. 259

²⁹⁷ Nyhuis (2003), S. 259

²⁹⁸ Vgl. Lödding (2005), S. 48

Kennlinie, bei dem für jeden C-Wert ein 100-prozentiger Servicegrad realisiert werden kann.²⁹⁹

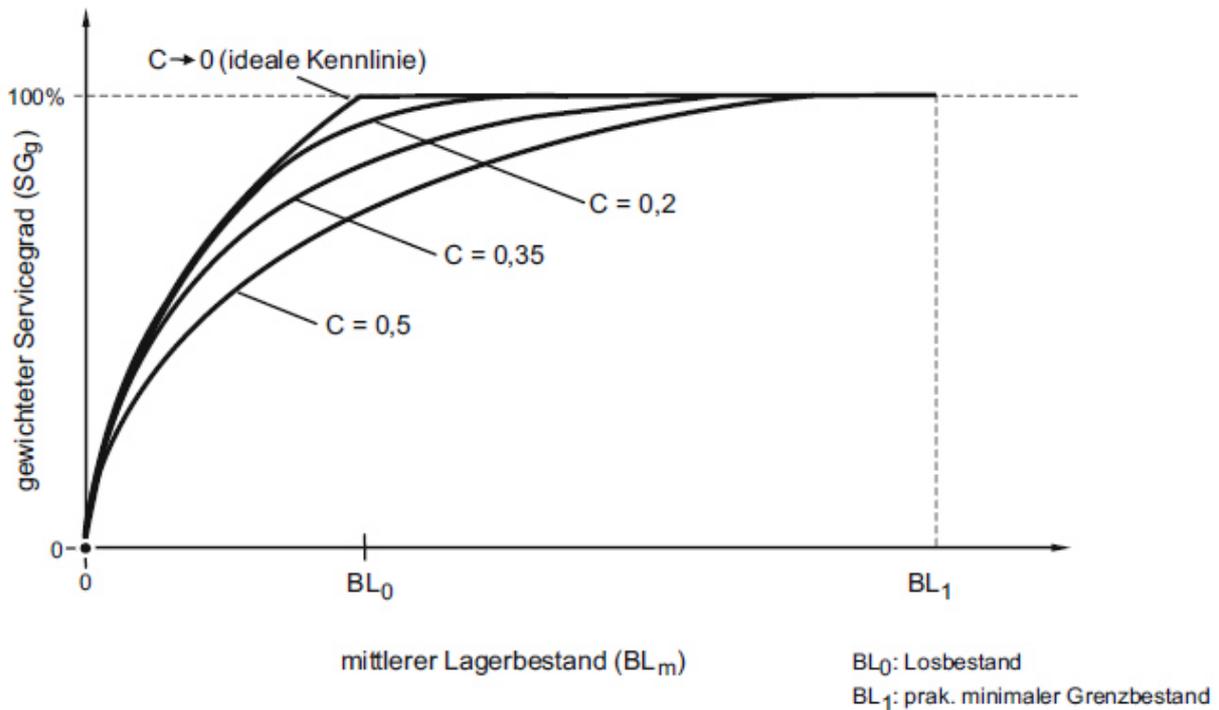


Abbildung 22 - Verlauf der Servicegradkennlinie³⁰⁰

Wiederbeschaffungszeit

Die Wiederbeschaffungszeit (WBZ) ist die Zeitspanne, die zwischen der Bestellauslösung und dem Eingang der Ware im Warenausgangslager verstreicht. Allgemein lässt sich die WBZ als Summe aus der Durchlaufzeit (ZDL), der Beschaffungszeit (ZB), dem Lieferzeitpuffer (ZLP), der Versandzeit (ZV), der Administrationszeit (ZAD) sowie der Belastungsverschiebung (BV) berechnet werden.

$$WBZ = ZDL + ZB + ZLP + ZV + BV + ZAD$$

Formel 22 - allgemeine Berechnung der Wiederbeschaffungszeit³⁰¹

Für das Bestellbestandsverfahren entfallen allerdings einige dieser Komponenten. Die Beschaffungszeit ist nur dann zu berücksichtigen, wenn Material für den Nachfertigungsauftrag beschafft werden muss. Der Lieferzeitpuffer kann ebenso wie die Versandzeit, die Administrationszeit sowie die Belastungsverschiebung vernachlässigt werden. Im Kontext des Bestellbestandsverfahrens können daher die meisten Terme vernachlässigt werden, wodurch die Wiederbeschaffungszeit näherungsweise mit der Durchlaufzeit gleichzusetzen ist.³⁰²

²⁹⁹ Vgl. Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 278

³⁰⁰ Nyhuis/Wiendahl (2012), S. 278

³⁰¹ Lödding (2005), S. 164

³⁰² Vgl. Lödding (2005), S. 164f

Mittlere Bedarfsrate BR_m und maximale Bedarfsrate BR_{max}

Die mittlere Bedarfsmenge gibt den durchschnittlichen Bedarf pro Zeiteinheit an. Berechnet wird sie durch Division der Gesamtnachfragemenge und der Anzahl an Betriebskalendertagen des Betrachtungszeitraums.

$$BR_m = \frac{D}{BKT}$$

Formel 23 - Mittlere Bedarfsrate³⁰³

Die maximale Bedarfsmenge gibt die maximale Bedarfsmenge des jeweiligen Produktes eines Betriebskalendertages an. Sie kann aus den Nachfrageverläufen der Vergangenheit gebildet werden.

Abgangslosgrößenabhängiger Parameter

Um die negativen Effekte seltener, großer Entnahmen abzudecken, wird der abgangslosgrößenabhängige Parameter definiert, da dadurch der Bestellbestand deutlich unterschritten wird und daher der Bestellbestand um diese Differenz erhöht werden muss. Dieser Effekt ist in Abbildung 23 dargestellt. In Abbildung 23 (a) kommt es durch kleine Lagerabgangslosgrößen zu geringen Unterschreitungen des Bestellbestandes, während große Lagerabgangslosgrößen (Abbildung 23 (b)) eine deutliche Unterschreitung festzustellen ist. Deshalb wird der Bestellbestand um die mittlere Lagerabgangsgröße erhöht.

Generell beeinflussen große, seltene Entnahmen die Effizienz des Bestellbestandsverfahrens negativ.³⁰⁴

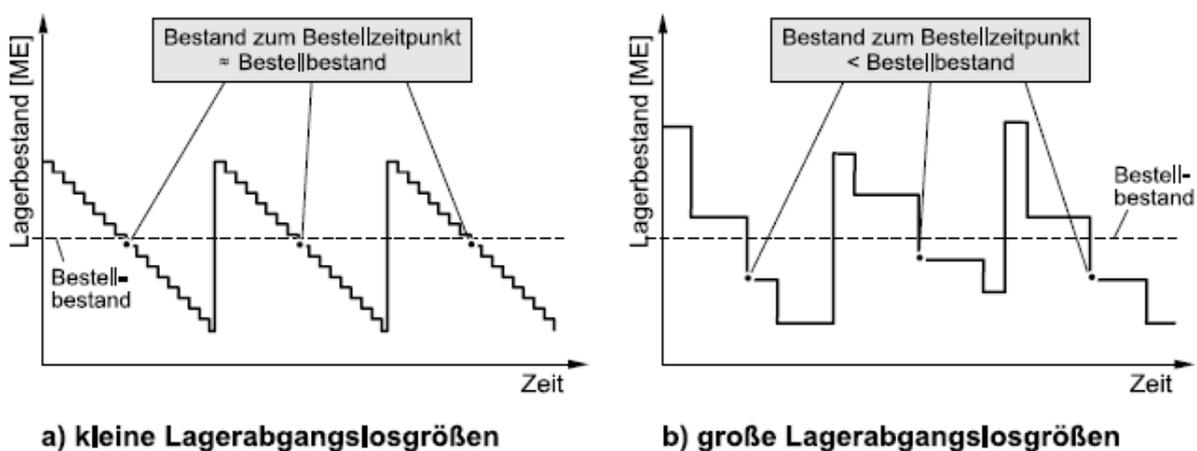


Abbildung 23 - Auswirkung von großen Lagerabgangslosgrößen³⁰⁵

³⁰³ In Anlehnung an Lödning (2005), S. 48

³⁰⁴ Vgl. Lödning (2005), S. 165

³⁰⁵ Lödning (2005), S. 166

9.2.3 Bestandskosten

Der mittlere Lagerbestand im Bestellbestandsverfahren berechnet sich nach Formel 24. Dieser ist für die Kalkulation der Bestandskosten eines Produktes wesentlich.

$$BL_m = BL_0 \cdot \left(\frac{SG_g}{100}\right)^2 + (BL_1 - BL_0) \cdot \sqrt[c]{1 - \left(1 - \frac{SG_g}{100}\right)^c}$$

Formel 24 - Mittlerer Lagerbestand in Abhängigkeit des Servicegrades³⁰⁶

Die Bestandskosten eines Produktes errechnen sich damit durch die Multiplikation des mittleren Bestandes und den Lagerhaltungskosten nach Formel 29.

$$BK_n = BL_{mn}(SG_{gn}) \cdot h_n$$

Formel 25 - Berechnung der Bestandskosten³⁰⁷

Die Lagerhaltungskosten h_n berechnet sich üblicherweise aus zwei Komponenten. Zum einen gibt es Angaben bezüglich der Lagerkosten eines Lagerplatzes, der aus den gesamten Lagerkosten heruntergebrochen werden kann. Die zweite Komponente berechnet sich aus den Kosten aus der Kapitalbindung, welche über den kalkulatorischen Zinssatz und dem Einstandspreis berechnet wird.³⁰⁸ Weiters können auch Risikokosten berücksichtigt werden. Diese bilden die monetär bewerteten Risiken der Lagerhaltung ab. Dazu zählen die Möglichkeiten der Beschädigung von Lagergut, der Schwund sowie die Entstehung von „Ladenhütern“.³⁰⁹

9.2.4 Rüst- und Fehlmengenkosten

Die gesamten Rüstkosten eines Produktes über den Betrachtungszeitraum ergibt sich durch Multiplikation der Kosten eines Rüstvorganges (A_n) mit der Anzahl an Rüstvorgängen (AR_n), die zur Produktion der zu produzierenden Nachfragemenge benötigt wird.

$$RK_n = A_n \cdot AR_n = A_n \cdot \frac{D_n \cdot SG_{gn}}{100 \cdot X_{zu,m,n}}$$

Formel 26 - Berechnung der gesamten Rüstkosten eines Produkts³¹⁰

Die Berechnung der Fehlmengenkosten (FK), die bei der Nichterfüllung eines Kundenauftrages entstehen, ist in Formel 27 dargestellt. Da die Verlustkosten (VK_n) nur den direkten Barwert des verlorenen Auftrages darstellen, sollen über den Kundenfaktor (KF_n) auch langfristige Effekte wie Vertrauensverluste und

³⁰⁶ Lödding (2005), S. 47

³⁰⁷ Vgl. Minner/Silver (2007), S. 390

³⁰⁸ Vgl. Wannewetsch (2014), S. 102ff

³⁰⁹ Vgl. Matyas (2001), S. 39

³¹⁰ In Anlehnung an Minner/Silver (2007), S. 390

Nachfragerückgänge aufgrund der schlechteren Lieferfähigkeit qualitativ abgebildet werden.

$$FK_n = \left(1 - \frac{SG_{gn}}{100}\right) \cdot D_n \cdot VK_n * (1 + KF_n)$$

Formel 27 - Fehlmengenkosten als Funktion des gewichteten Servicegrades³¹¹

Aufbauend auf den hier angeführten Berechnungsgrundlagen soll im Folgenden nun die mathematische Formulierung der Zielfunktion zur Berechnung der Gesamtkosten in Abhängigkeit des gewählten Servicegrades erfolgen.

9.3 Mathematische Formulierung der Problemstellung

Die Gesamtkosten der hier vorgestellten Problemstellung der Lösung des Zielkonflikts berechnen sich aus den Beschaffungskosten, den Bestandskosten des Fertigwarenlagers (BK) sowie den Fehlmengenkosten (FK).³¹² Die Beschaffungskosten bei einer internen Beschaffung berechnen sich über die entstehenden Rüstkosten (RK).³¹³ Für diese Problemstellung wird daher die folgende mathematische Funktion zur Berechnung der Kosten in Abhängigkeit des Servicegrades erarbeitet (Formel 28).

$$GK_n(SG_{gn}) = BK_n(SG_{gn}) + RK_n(SG_{gn}) + FK_n(SG_{gn})$$

Formel 28 – Die Zielfunktion - Gesamtkosten der entwickelten Formulierung

Für die drei Kostenfaktoren können für die Lagerfertigung durch das Bestellbestandsverfahren die in Kapitel 9.2 angeführten Formeln (Formel 25, Formel 26, Formel 27) eingesetzt werden.

Ein in dieser Formulierung herrschendes Minimum der Gesamtkosten eines Produktes n liegt dann vor, wenn die Summe aus Bestandskosten (BK_n), Rüstkosten (RK_n) und Fehlmengenkosten (FK_n), welche als Funktion des gewichteten Servicegrades (SG_n) dargestellt werden können, ein Minimum aufweist.

Die Bestandskosten sind abhängig von den Lagerhaltungskosten des Produktes pro Zeiteinheit (h_n) sowie dem mittleren Bestand (BL_{mn}) im Lager. Der mittlere Lagerbestand ist als Funktion des Servicegrades zu deuten, welcher einen nichtlinearen, progressiven Verlauf aufweist.

Die Rüstkosten berechnen sich aus den Rüstkosten eines Rüstvorganges (A_n) sowie der Anzahl an Rüstvorgängen (AR_n). Dieser ist wiederum vom Servicegrad abhängig, da in dieser Formulierung ein nichtbefriedigter Kundenwunsch zu einem

³¹¹ In Anlehnung an *Lödding* (2005), S. 28

³¹² Vgl. *Matyas* (2001), S. 37

³¹³ Vgl. *Matyas* (2001), S. 38

Auftragsverlust und daher zu einem Rückgang der Nachfrage- bzw. Produktionsmenge führt.

Die Fehlmengenkosten lassen sich durch den Servicegrad, der Gesamtnachfragemenge des Betrachtungszeitraumes (D_n), den Verlustkosten eines Produktes (VK_n) sowie einem Kundenfaktor (KF_n) berechnen. Der Kundenfaktor soll dabei langfristige Effekte von Auftragsverlusten qualitativ abbilden, welche durch die direkten Fehlmengenkosten nicht abgedeckt werden. Zu diesen Effekten zählen eine nachlassende Kundenbindung, Vertrauensverluste bis hin zu einem Verlust des Lieferantenstatus.³¹⁴

$$ZF(SG_{gn}) = \min \left[BL_{mn}(SG_{gn}) \cdot h_n + A_n \cdot AR_n(SG_{gn}) + \left(1 - \frac{SG_{gn}}{100} \right) \cdot D_n \cdot VK_n * (1 + KF_n) \right]$$

Formel 29 - Konkretisierte Zielfunktion zur Auslegung des Servicegrades

Die Berechnung und Auslegung der Parameter für die Zielfunktion erfolgt in den folgenden Unterkapiteln. Zur Visualisierung des Zielkonflikts aus Bestandskosten, Fehlmengenkosten sowie Rüstkosten ist der exemplarische Verlauf der Zielfunktion eines Produktes in Abbildung 24 dargestellt. Dabei geht speziell der progressive Verlauf der Bestandskosten hervor, wodurch ein hundertprozentiger Servicegrad selten die Ideallösung darstellt.

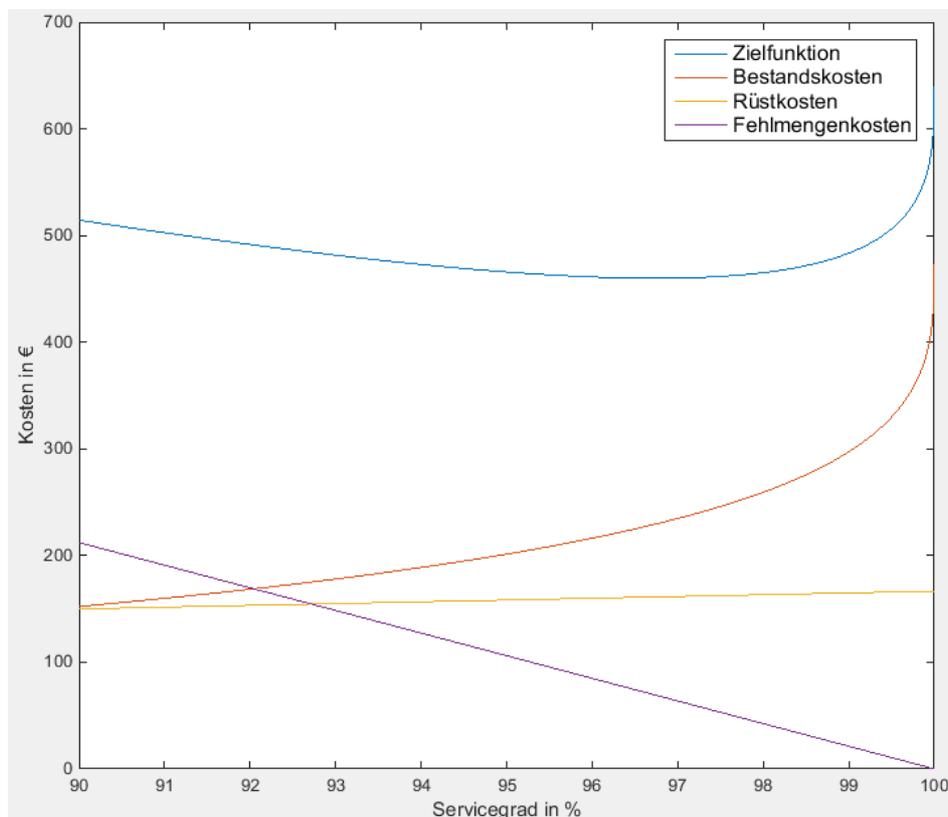


Abbildung 24 - Verlauf der Zielfunktion in Abhängigkeit des Servicegrades

³¹⁴ Vgl. Lödging (2005), S. 28

Im folgenden Abschnitt soll nun diese Formulierung an einem Beispiel der Lebensmittelindustrie dargestellt werden.

9.4 Vorstellung des Fallbeispiels

In diesem Beispiel soll nun die dargestellte Formulierung zur Auslegung des Servicegrades an einem Fallbeispiel aus der Lebensmittelindustrie erfolgen.

Die hier eingesetzten Unternehmensdaten dieses Forschungspartners wurden aus Gründen der Vertraulichkeit verfremdet. Die Datenbasis stellen dabei Einzelbestellpositionen des Absatzes eines Beispielmonats dar. Alle angeführten produktspezifischen Daten sind gewichtsspezifische Daten zur Einheit Kilogramm.

Hauptzielsetzung ist dabei die Darstellung der Wirkzusammenhänge, die sich durch eine potenzielle Rüstzeitreduktion ergeben. Dazu wird die Lagerfertigung einer Produktionsmaschine analysiert, bei der eine theoretische Rüstzeit- und Rüstkostenreduktion realisiert wird. Dabei werden vier Szenarien betrachtet:

- Szenario 1: Ursprüngliche Rüstzeiten und -kosten
- Szenario 2: Reduktion um fünf Prozent der Rüstzeiten und -kosten
- Szenario 3: Reduktion um zehn Prozent der Rüstzeiten und -kosten
- Szenario 4: Reduktion um 20 Prozent der Rüstzeiten und -kosten

Der Servicegrad der Produkte dieser Anlage, welche auf Lager produziert werden, soll so gewählt werden, dass der Zielkonflikt aus Bestandkosten, Fehlmengenkosten durch Nicht-Erfüllung von Kundenaufträgen aufgrund der Nichtverfügbarkeit des Produktes zum Lieferzeitpunkt und den Rüstkosten minimiert wird.³¹⁵ Hierzu wird die in 9.3 vorgestellte mathematische Formulierung angewandt.

Abbildung 25 zeigt den schematischen Wertstrom der betrachteten Problemstellung. Ausgangspunkt ist das Halbfertigwarenlager, in dem die Halbfertigprodukte gelagert werden. Dieses ist entkoppelt zur Grundproduktion zu betrachten und weist eine Reichweite der darin gelagerten Produkte von zwei Wochen auf. Daher ist die maximal mögliche Losgröße mit diesem zweiwöchigen Durchschnittsbedarf begrenzt.

Aus diesem Halbfertigwarenlager wird, wenn ein Produktionsauftrag für ein Produkt ausgelöst wird, die benötigte Menge entnommen und der Produktionsanlage zugeführt. Diese Auslösung eines Produktionsauftrages erfolgt in der gewählten Formulierung über Bestellbestandsverfahren, daher durch die Unterschreitung des Bestellbestandes im Fertigwarenlager.

Nach der Produktion wird das Produkt im Fertigwarenlager eingelagert. Hier gibt es zwei verschiedene Lager für die Fertigprodukte, welche sich im Gebindetyp unterscheiden. Zum einen erfolgt die Einlagerung auf Paletten im Palettenlager, zum

³¹⁵ Vgl. Lödning (2005), S. 28

anderen in einem automatischen Kistenlager (AKL) in Kisten. Diese Unterscheidung hat bezüglich der Bestandskosten einen wesentlichen Einfluss, da abhängig vom Lagerort und der Anzahl an Produkten pro Lagergebinde unterschiedliche Lagerhaltungskosten zu veranschlagen sind.

Erfolgt eine Bestellung, wird die Ware aus dem Fertigwarenlager entnommen, kommissioniert und zum Versand bereitgestellt. Anzumerken ist, dass hier aufgrund der unterschiedlichen Lieferrouten zu den Kunden ein kundenspezifischer spätester Bestellzeitpunkt für die diversen Liefertermine festgelegt ist. Daher existiert ein von der Lieferroute und dem Kunden abhängiger Zeitpuffer (Vorlaufzeit) zwischen spätestem Bestellzeitpunkt und spätester Kommissionierzeit, damit eine pünktliche Lieferung erfolgen kann.

Eine Bestellung gilt somit dann als erfüllt, wenn zum definierten Lieferzeitpunkt die Ware kommissioniert und zum Versand bereitgestellt ist. Dazu ist die Bestandführung im Fertigwarenlager von zentraler Bedeutung, da auf Lager produziert wird und diesem Fertigwarenlager die Ware zur Kommissionierung direkt entnommen wird.

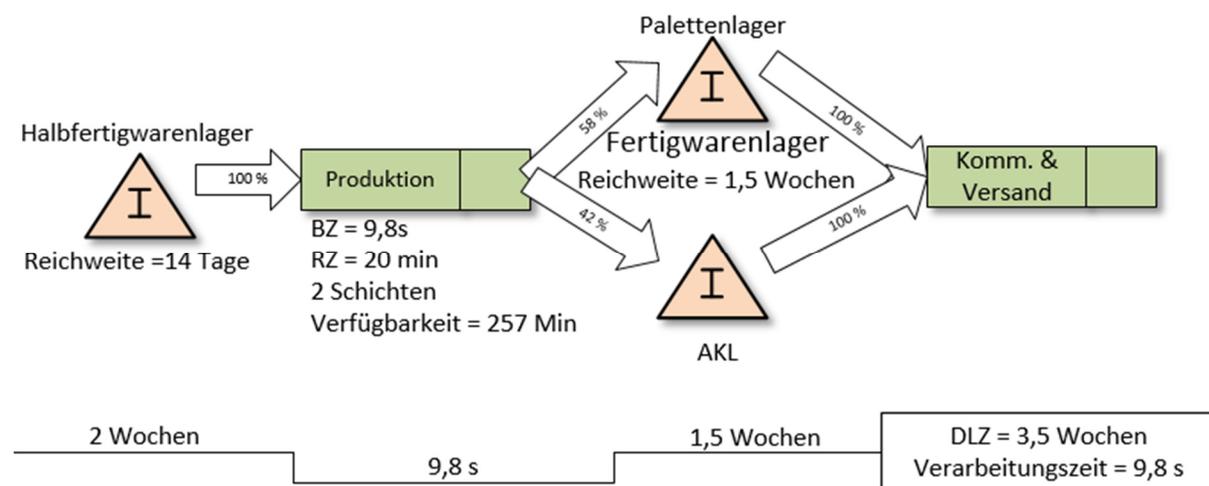


Abbildung 25 - Wertstrom der betrachteten Problemstellung

Auf der betrachteten Anlage werden sowohl auftragsbezogene als auch bedarfsgesteuerte Produkte produziert. Für die Auslegung des Servicegrades werden nur die bedarfsgesteuerten Produkte betrachtet. Für den Betrachtungszeitraum des Beispielmonats ergeben sich folgende Produktdetails:

	Anzahl	Absatz in kg	Bearbeitungszeit netto in h
Produkte gesamt	40	124.770	302
bedarfsgesteuerte Produkte	26	63.710	173

Tabelle 4 – Produktangaben der Anlage bezogen auf das Beispielmonat

Die Produktionsanlage produziert eine Gesamtanzahl an 40 unterschiedlichen Produkte, wobei 26 davon bedarfsgesteuert produziert werden. Die Absätze der gesamten und der betrachteten Produkte sind in Tabelle 4 gegenübergestellt. Über die produktspezifische Produktionsgeschwindigkeit der Anlage kann durch Multiplikation

mit der Absatzmenge im Betrachtungszeitraum auf die gesamte benötigte Bearbeitungszeit der Anlage hochgerechnet werden. Dabei ist die Bearbeitungszeit als reine, effektive Bearbeitungszeit ohne Rüstvorgänge und sonstige Maschinenstillstände zu verstehen. Bezogen auf diese Bearbeitungszeit werden damit über 57 Prozent der Gesamtbearbeitungszeit betrachtet. Dieser prozentuale Anteil dient später der Zuteilung an der verfügbaren Arbeitszeit.

Im folgenden Abschnitt werden nun die wesentlichen Parameter und Kennzahlen dargestellt und berechnet.

Darstellung der Daten des Fallbeispiels

Die berechneten Daten und Parameter zur weiterführenden Berechnung werden hier in diesem Abschnitt angeführt. Zunächst werden die Ausgangswerte wie die Lagerkosten, die Rüstzeiten sowie das Schichtmodell der Produktionsanlage abgebildet.

In weiterer Folge werden die Servicegrad-unabhängigen Berechnungen dargestellt. Die Auslegung des Servicegrades sowie die dazugehörigen Ergebnisse werden erst in Kapitel 10 diskutiert.

Das Bestellverhalten auf Basis der Einzelbestellpositionen der betrachteten Produkte des Beispielmonats ist im Anhang in Tabelle 20 angeführt. Dabei variieren die Anzahl der Bestellungen, die durchschnittlichen sowie die maximalen Bestellmengen sowie der Gesamtbedarf des Betrachtungszeitraumes zwischen den Produkten stark.

Bezüglich der Lagerrestriktionen des Betrachtungszeitraumes wird für die betrachteten Produkte die verfügbare durchschnittliche Lagerkapazität näherungsweise berechnet. Dazu werden ausgehend von der Gesamtanzahl an möglichen Lagerplätzen des jeweiligen Fertigwarenlagers und dem Verhältnis aus Lagergebinden der betroffenen Produkte zu der Gesamtanzahl an Lagergebinden (bezogen auf die Absatzmenge des Betrachtungszeitraumes) die verfügbare Lagerplatz-Anzahl für die betrachteten 26 Produkte berechnet. Die Kalkulation ergibt folgende Ergebnisse:

- Verfügbare Paletten für das betrachtete Produktspektrum: 164 Paletten
- Verfügbare Kisten für das betrachtete Produktspektrum: 1603 Kisten

Schichtmodell

Im Schichtmodell der betrachteten Produktionsanlage wird an sechs Wochentagen (Montag bis Samstag) im Zweischichtbetrieb zu je acht Stunden pro Schicht produziert. Pro Schicht fallen allerdings geplante Stillstandzeiten durch An- und Abrüsten von einer halben Stunde an, wodurch die geplante Produktionszeit der Maschine auf 7,5 Stunden pro Schicht reduziert wird. Die wöchentliche geplante Produktionszeit der Anlage beträgt damit 90 Stunden. Die geplante Produktionszeit reduziert sich durch

die Pausen der Mitarbeiter nicht, da durch einen Pausenersatz ein durchgängiger Betrieb gewährleistet wird.

Bearbeitungszeiten, Rüstzeiten und –kosten

Im Anhang sind die spezifischen Arbeitszeiten der untersuchten Produkte aufgeschlüsselt (Tabelle 21).

Die Rüstkosten und -zeiten pro Rüstvorgang für die vier Szenarien sind in Tabelle 5 dargestellt. Zur Berechnung der Rüstkosten werden in Anlehnung an Lödding die Maschinenabschreibungen nicht berücksichtigt.³¹⁶ Somit berechnen sich die hier angeführten Rüstkosten aus den anfälligen Personalkosten.

Szenario	Rüstkosten je Rüstvorgang in €	Rüstzeit je Rüstvorgang in min
Szenario 1	58,3	20
Szenario 2	55,4	19
Szenario 3	52,5	18
Szenario 4	46,7	16

Tabelle 5 - Rüstkosten und -zeiten pro Rüstvorgang

Lagerhaltungskosten h_n

Zur Berechnung der in Formel 25 dargestellten Bestandskosten müssen die Lagerhaltungskosten der Produkte (h_n) berechnet werden. Diese setzen sich einerseits aus den Kosten des gebundenen Kapitals und den Lagerkosten zusammen.³¹⁷ Bezüglich der Lagerkosten liegen Angaben der monatlichen Kosten pro Lagergebinde vor:

- Lagerkosten pro Kiste (AKL): 2 €/Monat
- Lagerkosten pro Palette (PAL-Lager): 6 €/Monat

Um die produktspezifischen Lagerkosten zu berechnen, erfolgt eine Umrechnung durch Division der Lagerkosten pro Lagergebinde durch das Füllgewicht pro Lagergebinde.

Die Berechnung des gebundenen Kapitals erfolgt über den kalkulatorischen Zinssatz (p), der in Anlehnung an Wannewetsch mit acht Prozent angenommen wird.³¹⁸ Durch Multiplikation mit dem Warenwert des jeweiligen Produktes im Warenausgangslager ergeben sich somit die Lagerhaltungskosten pro Monat eines Produktes nach Formel 30:

³¹⁶ Vgl. Lödding (2005), S. 88f

³¹⁷ Vgl. Wannewetsch (2014), S. 315ff

³¹⁸ Vgl. Wannewetsch (2014), S. 314

$$h_n = \frac{\text{Lagerkosten pro Lagergebilde}}{\text{Füllgewicht pro Lagergebilde}} + \frac{p}{12} \cdot \text{Warenwert}$$

Formel 30 - Berechnung der Lagerhaltungskosten h_n eines Produktes

Tabelle 23 zeigt die Lagerhaltungskosten sowie den Lagerort der betrachteten Produkte. Dabei fallen speziell die höheren Lagerhaltungskosten des AKL auf.

Losgrößenberechnung nach Andler

Die Berechnung der Losgrößen erfolgt nach der Andler'schen Losgrößenformel, die in Formel 15 vorgestellt wurde. Als Restriktion ist hier allerdings die Verfügbarkeit an Halbfertigprodukten aus dem Halbfertigwarenlager zu identifizieren, wodurch eine produktspezifische Obergrenze der Losgröße des zweiwöchigen Durchschnittsbedarfs festgelegt wird. Dadurch ergeben sich für manche Produkte keine Unterschiede bezüglich der Losgröße über die vier Szenarien. Die Losgrößen der jeweiligen Produkte sind im Anhang in Tabelle 22 abgebildet.

Bestimmung der Bestellbestandsparameter

Zur Berechnung der in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Parametern des Bestellbestandsverfahrens wurde ein umfangreiches MS-Excel-File aufgebaut, welches die Verfahrensparameter aus den vorhandenen Unternehmensdaten berechnet. Die Suche nach einem Minimum der Zielfunktion für das jeweilige Produkt durch die geeignete Wahl des gewichteten Servicegrades der 26 analysierten Produkte erfolgt über MATLAB®. MATLAB® stellt eine hochentwickelte Sprache zur numerischen Berechnung, Datenanalyse und Visualisierung sowie der Programmierung und Algorithmen-Entwicklung dar.³¹⁹ Sie erfährt speziell in den Mathematik- und Ingenieurwissenschaften weite Verbreitung und basiert auf Vektor- und Matrizenoperationen.³²⁰

Der Quelltext des MATLAB-Files zur Bestimmung des Servicegrades des jeweiligen Produkts, bei dem die formulierte Zielfunktion ein Minimum aufweist, ist im Anhang in Abbildung 30 dargestellt. Die Ergebnisse der Losgrößen- und Bestellbestandsberechnung der vier Szenarien sind im Anhang in Tabelle 22 angeführt. Weiterführende Ergebnisse werden in Kapitel 10 diskutiert.

Die Losgrößen wurden dabei nach der Andler'schen Losgrößenformel berechnet und sind in Tabelle 22 quantifiziert.

Bezüglich der Terme zur Berechnung des praktisch minimalen Grenzbestandes sowie des Sicherheitsbestandes werden folgende Annahmen getroffen: Der C-Norm-Parameter wird in Anlehnung an die Empfehlung von Lödding mit 0,35 festgesetzt. Die maximale Lieferterminabweichung berechnet sich über den EPEI, die Wiederbeschaffungszeit durch die Durchlaufzeit der Produktion eines Loses. Die

³¹⁹ Vgl. <http://de.mathworks.com/products/matlab/> (Gelesen am 28.01.2016)

³²⁰ Vgl. Pietruszka (2012), S. 1

Mengenabweichung wird vernachlässigt, da von einer mengenmäßig korrekten Produktion ausgegangen werden kann.

Die Lösungsfindung des optimalen gewichteten Servicegrades für ein Produkt erfolgt über die Berechnung eines Minimalwertes der Kosten-Zielfunktion in MATLAB. Dabei wird eine numerische Berechnung des Kostenverlaufs (Abbildung 24) durch eine Parametervariation des Servicegrades durchgeführt.

Die konkreten Ergebnisse der Rüstzeitreduktion auf den Servicegrad, die Kostenfaktoren und die Kennzahlen des SCPMS werden in Kapitel 10 diskutiert.

Im folgenden Abschnitt soll nun ein agentenbasiertes Simulationsmodell aufgebaut werden, welches einen Teilausschnitt der analysierten Produkte für den Beispielmonat simulationsgestützt untersuchen soll. In Kapitel 10.2 werden die Ergebnisse der Simulation diskutiert sowie ein Vergleich der Ergebnisse zur mathematischen Berechnung angeführt werden.

9.5 Simulationsmodell

In diesem Kapitel soll nun das agentenbasierte Simulationsmodell vorgestellt werden, dass zur Überprüfung der in Kapitel 9.2 definierten Parameter des Bestellbestandsverfahrens und den damit theoretisch erreichbaren Servicegraden und Einsparungspotenzialen für die vier Szenarien dienen soll. Hierzu soll kurz die Simulationssoftware Anylogic vorgestellt und danach das Vorgehen zur Erstellung des Simulationsmodells nach der in Kapitel 6.2 vorgestellten Methodik beschrieben werden.

9.5.1 Vorstellung der Simulationssoftware Anylogic

Die Simulationssoftware Anylogic ist eine auf Eclipse basierende JAVA-Applikation die betriebssystemunabhängig agiert.³²¹ Sie vereint die drei Modellierungsarten ereignisdiskrete sowie agentenbasierte Modellierung und System Dynamics, welche innerhalb eines Simulationsmodells beliebig kombiniert werden können. In dieser Diplomarbeit wird eine Kombination aus der agentenbasierten und der diskreten Modellierung eingesetzt. Die Kernidee der diskreten Modellierung ist dabei die Modellierung eines Systems als Prozess. Dabei beginnen diese Prozesse normalerweise mit einer Quelle und Enden mit einer Senke, welche Entitäten generieren bzw. eliminieren. Dazwischen werden grafische Prozessbausteine definiert, die bestimmte Operationen repräsentieren. Als Entitäten können Produkte,

³²¹ Vgl. <https://www.simplan.de/de/software/tools-simulation/anylogic.html> (Gelesen am 28.01.2016)

Kunden, Paletten etc. eingesetzt werden.³²² Die wesentlichen Ergebnisse einer diskreten Modellierung sind:³²³

- Einsatz und Verwendung von Ressourcen
- Wartezeiten
- Längen von Warteschlangen (Lager)
- Bottleneck-Identifikationen
- Kostenanalyse

Die agentenbasierte Simulation wird speziell dann eingesetzt, wenn das Verhalten eines Gesamtsystems nicht bekannt ist, die Akteure in diesem System allerdings modellierbar sind. Daher wird ein solches Modell bottom-up über die Modellierung der einzelnen Akteure und deren Verhalten zueinander modelliert.³²⁴ Dabei können Agenten verschiedene Dinge wie Fahrzeuge, Werkzeugeinheiten, Produkte, Organisationen, Personen und andere wesentliche Elemente des Modells repräsentieren.³²⁵

Anylogic ist ein sehr intuitives, größtenteils über grafische Oberflächen zu bedienendes Simulationstool. Dadurch ist der Einstieg in die Software auch für Einsteiger gut zu bewältigen. Für komplexere Modelle benötigt man zur Erweiterung der vorhandenen grafischen Möglichkeiten oftmals JAVA-Codes. Daher ist ein Grundwissen in der JAVA-Programmierung Voraussetzung für eine Modellerstellung komplexerer Aufgabenstellungen.

Der große Vorteil der Software ist die hohe Flexibilität des Einsatzspektrums. Durch die Verbindung der drei Simulationsmethoden können nahezu alle unternehmensbezogenen Anwendungsbereiche modelliert werden. Dabei eignet sich die Software speziell für die Simulation von Produktion, Logistik, Supply Chains, Geschäftsprozessen sowie Märkten und ist daher für den hier vorgestellten Anwendungsfall sinnvoll.³²⁶

9.5.2 Problemanalyse und Spezifikation

Zur Überprüfung der berechneten Parameter des Bestellbestandsverfahrens soll ein agentenbasiertes Simulationsmodell aufgebaut werden. Hier steht speziell die Kapazitätsrestriktion der Produktionsanlage im Vordergrund, die in der mathematischen Formulierung bislang nur indirekt (durch die statische Berechnung der Wiederbeschaffungszeit und der Lieferterminabweichung) berücksichtigt wurde und dadurch zu Einschränkungen der Ergebnisse führen kann. Durch

³²² Vgl. *Borshchev* (2013), S.37f

³²³ Vgl. *Borshchev* (2013), S. 46

³²⁴ Vgl. *Borshchev* (2013), S. 50

³²⁵ Vgl. *Borshchev* (2013), S. 57

³²⁶ Vgl. <https://www.simplan.de/de/software/tools-simulation/anylogic.html> (Gelesen am 28.01.2016)

Kapazitätsengpässe an der Maschine können Produktionsrückstände entstehen, die die Wiederbeschaffungszeit stärker erhöhen als in der Auslegung der Parameter bislang berücksichtigt.

Als Ausgangspunkt für die Maschinenverfügbarkeit liegt das in Kapitel 9.4 angeführte Schichtmodell für den Betrachtungszeitraum zu Grunde. Da in dieser Zeit allerdings alle 40 Produkte über die Anlage laufen, muss eine Skalierung der Maschinenzeiten für die betrachteten Produkte erfolgen. Hierzu wird die gesamte Bearbeitungszeit auf Basis der Absätze der jeweiligen KW mit der Bearbeitungszeit der betrachteten Produkte in ein Verhältnis gesetzt. Der prozentuelle Anteil der Produkte an der Gesamtbearbeitungszeit ergibt somit durch dessen Multiplikation mit der geplanten Produktionszeit (90 Stunden pro Woche) die verfügbare Maschinenarbeitszeit, die gleichmäßig auf die vorhandenen Schichten aufgeteilt wird. Dies ist natürlich nur eine grobe Näherung an die tatsächlichen Gegebenheiten, soll für diese Aufgabenstellung allerdings ausreichend sein. Wird ein Los etwa in einer Schicht nicht fertiggestellt, wird die verbleibende Bearbeitungszeit in der folgenden Schicht abgearbeitet und erst dann dem Fertigwarenlager zugeführt. Dadurch kommt es natürlich zu einer Verzerrung der Wiederbeschaffungszeiten sowie einer Reduktion der Flexibilität in der Produktion. Speziell durch die Priorisierung und Reihung von Aufträgen, dem Abarbeiten von Eilaufträgen sowie anderen Fertigungssteuerungsverfahren können hier Potenziale ausgeschöpft werden, die im Modell allerdings nicht berücksichtigt werden.

Zur Komplexitätsreduktion der Simulation soll hier außerdem eine weitere Reduktion der Produkte erfolgen. Betrachtet werden nur noch sieben Produkte (Produkte 1, 4, 13, 14, 16, 21 und 25). Im Folgenden werden diese sieben Produkte allerdings auch unter den Indizes eins bis sieben gekennzeichnet. Zur Vergleichbarkeit mit den Berechnungen aller 26 Produkte dient die im Anhang (Tabelle 24) abgebildete Zuweisung der jeweiligen Kennzeichnungen.

Die Ergebnisse der Berechnung der verfügbaren Maschinenarbeitszeit für die betrachteten Produkte ist in Tabelle 6 dargestellt.

verfügbare Maschinenarbeitszeit	pro KW [h]	pro Schicht [h]
KW10	20,4	1,7
KW11	19,5	1,6
KW12	24,8	2,1
KW13	18,7	1,6
KW14	37,4	3,1
Durchschnitt	24,2	2,0

Tabelle 6 - Verfügbare Maschinenzeiten für die Simulation der betrachteten Produkte

Die Bestellbestandsparameter (Losgröße und Bestellbestand) sind im Anhang in Tabelle 30 dargestellt.

Generell orientiert sich der Prozessablauf des Modells an Abbildung 25. Ausgehend von einem Bestandsniveau zu Beginn der Simulation (siehe Kapitel 9.5.4) wird bei Erreichen bzw. Unterschreiten des Bestellbestandes im Fertigwarenlager ein Produktionsauftrag zur Produktion eines Loses des betroffenen Produktes veranlasst.

Auf Basis der vorhandenen Einzelbestellpositionen des Unternehmens werden diese über ein MS-Excel-File in das Simulationsmodell eingelesen. Hierzu ist für jede Bestellposition die bestellte Menge, der Bestellzeitpunkt sowie der Kommissionierzeitpunkt, der für eine zeitgerechte Lieferung des Produktes notwendig ist, hinterlegt. Geht also eine Bestellung ein, wird die bestellte Menge vom Lagerbestand (BL) abgebucht (reservierter Lagerbestand BL_{res}). In Anlehnung an Lödning wird also ein Auftrag für die Nachproduktion generiert, wenn der Lagerbestand und die offenen Lageraufträge (LA_{offen}) die Summe aus Bestellbestand und reserviertem Lagerbestand (BL_{res}) unterschreitet.

$$BL + \sum LA_{offen} \leq BB + BL_{res}$$

Formel 31 - Bedingung zur Auslösung eines Produktionsauftrags³²⁷

Zum Kommissionierzeitpunkt wird die bestellte Ware dem Fertigwarenlager entnommen, kommissioniert und zur Lieferung bereitgestellt. Ist zu diesem Zeitpunkt der Lagerbestand zu gering, um die benötigte Nachfrage zu decken, kommt es zu einem Ausfall der gesamten Bestellung wodurch Fehlmengenkosten entstehen und der Servicegrad gesenkt wird.

Im Simulationsmodell wird hierbei die Kommissionierung als Prozess nicht mehr abgebildet, sondern nur kontrolliert, ob die benötigte Produktanzahl vorrätig ist, da damit die Zielsetzung der Simulation erreicht wird. Die generelle Zielsetzung des Modells ist also die Überprüfung, ob die definierten Parameter des Bestellbestandsverfahrens hinsichtlich der Engpasskapazität der Produktionsanlage korrekt sind und inwiefern sich diese Restriktion auf die Ergebnisse bezüglich des Servicegrades und der Bestandsführung auswirkt. Hierzu werden in 10.2 die Simulationsergebnisse analysiert und kritisch bewertet. Speziell die Eignung sowie Vor- und Nachteile des Bestellbestandsverfahrens im konkreten Anwendungsfall sollen hier nochmals diskutiert werden.

9.5.3 Modellierung

In diesem Abschnitt soll das Modell überblicksmäßig dargestellt werden. Hierzu werden zunächst die eingesetzten Agenten und die wesentlichen Prozessbausteine beschrieben.

³²⁷ In Anlehnung an Lödning (2005), S. 148

Die Agenten

Zur Bearbeitung der konkreten Problemstellung werden folgende Agenten definiert:

- Das fokale Unternehmen
- Produkte
- Bestellung
- Schichtzeit

Das fokale Unternehmen stellt dabei die Systemgrenzen des Unternehmens dar und soll für eine spätere Erweiterung in einem unternehmensübergreifenden Kontext implementierbar sein. Die Prozessabläufe sowie die gesamte Modellierung der Problemstellung findet innerhalb dieses Agenten statt. Für die betrachteten Produkte wird jeweils ein eigener Agent erstellt. Dieser beinhaltet sämtliche zum Produkt zählenden Attribute, welche über eine MS-Excel-Tabelle in das Simulationsmodell eingespielt werden. Die wesentlichen Attribute dieses Agenten sind die Losgröße, die Bearbeitungszeit sowie der Bestellbestand. Zusätzlich werden auch weitere Informationen für etwaige weiterführende Berechnungen wie Stückgewichte oder eventuelle Energieverbräuche für die jeweiligen Prozessbausteine mitgeführt.

Der Agent „Bestellung“ beinhaltet alle Informationen bezüglich einer Einzelbestellposition. Grundlage dazu sind die vom Forschungspartner bereitgestellten Einzelbestellpositionen des betrachteten Beispielmonats.

- Bestellzeitpunkt
- Kommissionierzeitpunkt
- Bestelltes Produkt
- Menge des bestellten Produkts

Entitäten dieses Agenten werden beim Auftreten des Bestellzeitpunktes erstellt, wobei hier die bestellte Menge des Produktes als reservierter Bestand vermerkt und zum Kommissionierzeitpunkt aus dem Lager abgebucht wird, sofern genügend Lagerkapazitäten zur Erfüllung des Kommissionierauftrags vorrätig sind. Ist dies zu diesem Zeitpunkt nicht der Fall, wird die Bestellung als Fehlmenge deklariert.

Durch die variablen Schichtzeiten (siehe Tabelle 6) wird ebenfalls ein Agent „Schichtzeit“ erstellt, der die Schichtzeiten regelt. Hier wird ebenfalls über eine erstellte MS-Excel-Liste, die in das Simulationsmodell geladen wird, die Produktionsanlage an- bzw. ausgeschaltet.

Beschreibung der wesentlichen Prozessbausteine

Abbildung 26 zeigt den Prozessablauf eines Produktes. Der erste Block „source1“ stellt hier die Quelle des Produktes dar. Wird ein Produktionsauftrag des Produktes veranlasst, werden Entitäten des Agenten „Produkt“ in der Menge einer Losgröße in

dieser Quelle erstellt. Diese werden dann mittels dem Prozessbaustein „batch1“ zu einem Los zusammengefasst, welches in dem Block „service1“ der Produktionsanlage zugeführt wird. Diese Kapazität wird von allen Produkten geteilt und die Aufträge nach einem Warteschlangenprinzip (FIFO) abgearbeitet.

Die Verfügbarkeit der Produktionsanlage wird über den Agenten „Schichtzeit“ geregelt. Die Dauer der Produktion eines Loses ergibt sich aus den Attributen der Bearbeitungszeit, welche in dem Agenten „Produkt“ gespeichert ist sowie einer Rüstzeit, die bei der Auflage eines Loses eines neuen Produktes veranschlagt wird. Hierzu wird bei der Neuauflage eines Loses geprüft, ob es sich um ein zum Vorgänger unterschiedliches Produkt handelt. Nach der Bearbeitung wird das Los durch den Baustein „unbatch1“ wieder mengenmäßig aufgeteilt und in das Fertigwarenlager „queue1“ eingelagert (Hier gilt ebenfalls das FIFO-Prinzip). Der Block „enter1“ hat zu Beginn der Simulation die Aufgabe, den Anfangsbestand des jeweiligen Produktes im Fertigwarenlager zu generieren.

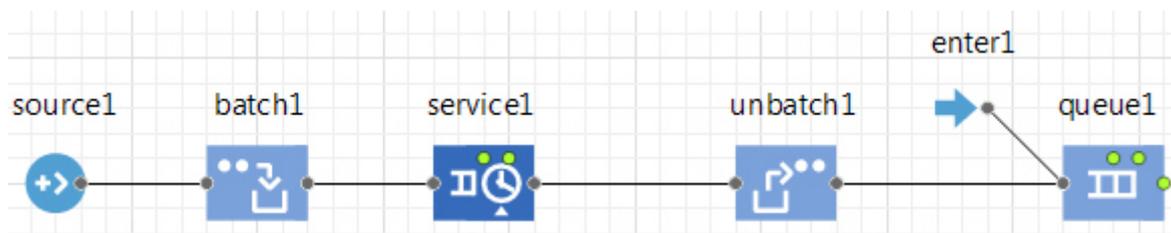


Abbildung 26 - Prozessablauf eines Produktes

Auf die detaillierte Ausarbeitung des Simulationsmodells soll hier in weiterer Folge nicht eingegangen werden. Außerdem wird der dritte Methodik-Baustein „Implementierung und Test“ nicht ausformuliert, sodass im nächsten Kapitel die Parametrisierung und der Ablauf der Simulation besprochen wird. Die grafische Darstellung des Hauptelements der Simulation, des Agenten „fokales Unternehmen“, ist im Anhang in Abbildung 31 dargestellt.

9.5.4 Parametrisierung und Ablauf der Simulation

Für die Parametrisierung und die Durchführung der Simulationsläufe werden die vorgestellten Szenarien betrachtet. Bezüglich der Anfangsbestände des Simulationszeitraumes werden zufällige Anfangsbestände in einem definierten Wertebereich definiert. Die untere Grenze dieses Wertebereichs stellt der mittlere Lagerstand (BL_{m1}) des ersten Szenarios minus der halben Losgröße aus Szenario 1 des Produktes dar, für die obere Grenze wird die halbe Losgröße dem mittleren Lagerstand aufaddiert.

Für die Simulation werden fünf verschiedene Konfigurationen der Anfangsbestände definiert, die als Startwerte der Simulationsläufe der vier Szenarien dienen. Die Anfangsbestände sind im Anhang in Tabelle 25 dargestellt. Durch die Definition der gleichen fünf Bestandsniveaus zu Beginn der Simulation wird die Vergleichbarkeit der

Simulationsergebnisse gewährleistet.

Das Modell basiert auf einer Kombination aus der diskreten (auf Sekundenbasis) und agentenbasierten Modellierung.

Die aufbereiteten Ergebnisse der Simulation werden in Kapitel 10.2 besprochen sowie ein Vergleich zu den in Kapitel 10.1 angeführten Ergebnissen der mathematischen Modellierung aus Kapitel 9.3 diskutiert.

10 Ergebnisse

In diesem Abschnitt sollen nun die Ergebnisse der mathematischen Formulierung abgebildet werden. Zunächst werden die Ergebnisse der Auslegung der Bestellbestandsparameter hinsichtlich der entwickelten mathematischen Formulierung aus Kapitel 9 angeführt (Kapitel 10.1). In Kapitel 10.2 erfolgt dann die Analyse der Simulationsergebnisse sowie ein Vergleich zu den Ergebnissen der mathematischen Modellierung. Hierbei wurde allerdings zur Komplexitätsreduktion nur ein Ausschnitt des in der Optimierung betrachteten Produktspektrums analysiert. Die qualitativen Wirkzusammenhänge zu den Kennzahlen des in Kapitel 8 vorgestellten SCPMS werden in Kapitel 10.3 anhand der Strategy Map diskutiert.

10.1 Ergebnisse der mathematischen Modellierung

In diesem Kapitel soll nun die Ergebnisse der mathematischen Modellierung nach Kapitel 9.4 erfolgen. Hierzu wird zunächst die Auswirkung der Rüstzeitreduktion auf den optimalen Servicegrad sowie die Bestellbestandsparameter angeführt.

Der wesentliche Schritt zur Auslegung des gewichteten Servicegrades eines Produktes die Suche nach dem Minimum der Zielfunktion (Formel 29) der Produkte. Dies erfolgte über die numerische Lösungsfindung mittels MATLAB (siehe Kapitel 9.4). Ist dieses Minimum gefunden, werden für alle vier Szenarien die jeweiligen optimalen Servicegrade sowie die dazugehörigen Kosten der Zielfunktion, die Rüst-, Fehlmengen- und Bestandskosten in ein MS-Excel-File berechnet. Die aufbereiteten und zusammengefassten Ergebnisse werden nun diskutiert.

Aufgrund der niedrigen Lagerhaltungskosten und der in der Formulierung veranschlagten hohen Fehlmengenkosten sind im Optimum sehr hohe Servicegrade zu realisieren, wodurch durch die Rüstzeitreduktion nur geringe Veränderungen hinsichtlich des Servicegrades zwischen den Szenarien zu erkennen sind. Die Ergebnisse auf Produktniveau sind im Anhang angefügt (Tabelle 26, Tabelle 27, Tabelle 28, Tabelle 29).

Dabei fällt auf, dass für Produkt 6 keine Bestandskosten anfallen. Dies resultiert aus einem theoretischen mittleren Bestandsniveau gleich Null. Daraus lässt sich ableiten, dass für dieses Produkt kein Bestellbestandsverfahren notwendig ist sondern eine Umstellung auf eine Auftragsfertigung möglich wäre.³²⁸ Zur gesamten Berechnung wird dieses Produkt allerdings weiterhin betrachtet.

Da die Rüstzeiten und -kosten einen direkten Einfluss auf die Losgröße, die Wiederbeschaffungszeit und die maximal positive Lieferterminabweichung haben, beeinflussen diese in der Berechnung ebenfalls die mittleren Bestände. Durch eine

³²⁸ Vgl. Lödging (2005), S. 89

Rüstzeitreduktion werden daher Bestände abgebaut, die Flexibilität durch geringere Losgrößen und raschere Wiederbeschaffungszeiten abgebaut und somit der Servicegrad erhöht bzw. Kosten gespart.

Der erreichbare gewichtete Servicegrad über die 26 Produkte ist in Tabelle 7 dargestellt. Aufgrund des hohen Servicegrad-Niveaus des Ausgangsszenarios 1 ist hier nur eine geringe Verbesserung zu beobachten. Allerdings ist der Effekt, dass durch die Rüstzeitreduktion eine Servicegrad-Verbesserung ermöglicht wird, erkennbar.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
gewichteter Servicegrad in %	99,76%	99,77%	99,78%	99,80%

Tabelle 7 - Gemittelter gewichteter Servicegrad der vier Szenarien

Tabelle 8 führt die kostenseitige Bewertung der Gesamtergebnisse für das Fallbeispiel auf. Für das betrachtete Produktsortiment ergibt sich somit ein monatliches Einsparungspotenzial von 972 Euro. Eine grobe Hochrechnung auf einen zehnjährigen Betrachtungshorizont ergibt somit ein theoretisches Einsparungspotenzial von 116.640 Euro.

Die größten Einsparungspotenziale ergeben sich durch den Abbau der Bestände in den Bestandskosten sowie durch die Rüstkosten. Durch die sehr hohe Lage des Servicegrades ist der absolute Anteil der Fehlmengenkosten an den Gesamtkosten im konkreten Fallbeispiel nur gering.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Gesamtkosten [€]	8.527	8.294	8.052	7.555
Bestandskosten [€]	4.308	4.240	4.161	3.987
Rüstkosten [€]	3.926	3.769	3.616	3.312
Fehlmengenkosten [€]	294	284	275	256

Tabelle 8 - Kostenseitige Bewertung der Gesamtergebnisse

Die prozentualen Einsparungspotenziale bezüglich des Ausgangsszenarios 1 zeigt Tabelle 9. So lassen sich bei einer zwanzigprozentigen Rüstzeitreduktion und der hier vorgestellten optimierten Auslegung der Servicegrade die Gesamtkosten um 11,4 Prozent reduzieren. Die größte prozentuale Reduktion weisen dabei die Rüstkosten auf.

prozentuale Veränderung zu Szenario 1:	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Gesamtkosten in %	-2,7%	-5,6%	-11,4%
Bestandskosten in %	-1,6%	-3,4%	-7,4%
Rüstkosten in %	-4,0%	-7,9%	-15,6%
Fehlmengenkosten in %	-3,2%	-6,4%	-12,8%

Tabelle 9 - Prozentuale Veränderungen der Kosten bezüglich Szenario 1

Der grafische Verlauf der Bestands-, Rüst- und Fehlmengenkosten ist in Abbildung 27 dargestellt. Der Anteil der Fehlmengenkosten an den Gesamtkosten der Zielfunktion ist aufgrund der im Ausgangsszenario schon herrschenden sehr hohen optimalen Servicegrade sehr gering. Hier sind deutlich stärkere Effekte durch eine Rüstzeitreduktion zu erwarten, wenn der optimale Servicegrad auf einem niedrigeren Niveau zu definieren ist.

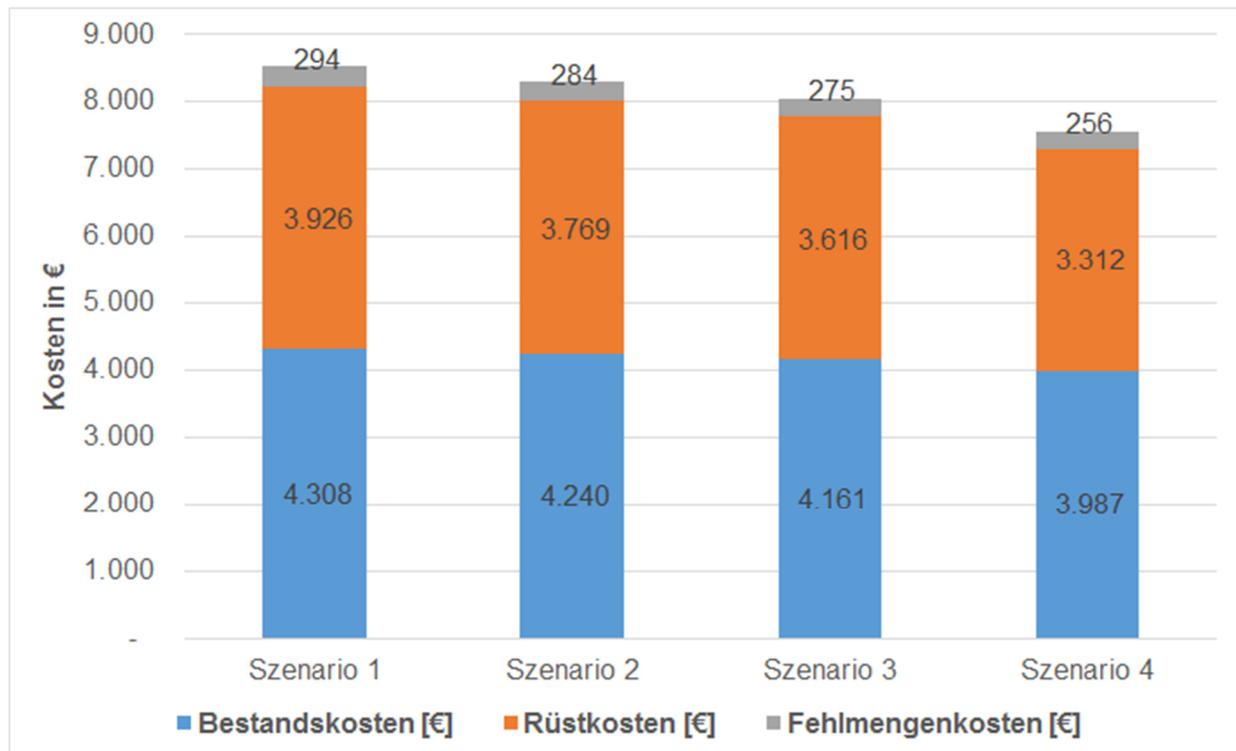


Abbildung 27 - Kostenanteile in den Szenarien

Die Entwicklung des Bestandsniveaus zeigt hier ebenfalls signifikante Abnahmen. Der Kilogramm-bezogene durchschnittliche Bestand lässt sich dabei um rund 1500 Kilogramm von über 22 Tonnen auf unter 21 Tonnen reduzieren. Rechnet man die Durchschnittsbestände der einzelnen Produkte auf die benötigte Lagergebäude-Anzahl um³²⁹, lassen sich elf Paletten bzw. über 100 E2-Kisten einsparen (Tabelle 10). Bezüglich der in 9.4 berechneten maximal verfügbaren Lagergebäude-Anzahl von 1603 E2-Kisten bzw. 164 Paletten wird diese Restriktion nicht unterschritten.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Durchschnittsbestand [kg]	22.283	21.997	21.622	20.777
Palettenanzahl in Stk	157	155	152	146
Anzahl an E2-Kisten in Stk	1.439	1.416	1.390	1.331

Tabelle 10 - Entwicklung des Durchschnittsbestandes sowie der Lagergebäude

³²⁹ Die Form des Lagergebüdes (Palette oder E2-Kiste) definiert auch gleichzeitig den Lagerort (AKL-Lager für E2-Kisten sowie MPL-Lager für Paletten) und ist von Produkt zu Produkt unterschiedlich

Die prozentuale Entwicklung bezogen auf das Szenario 1 zeigt Tabelle 11.

prozentuale Veränderung zu Szenario 1:	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Durchschnittsbestand	-1,3%	-3,0%	-6,8%
Palettenanzahl	-1,5%	-3,3%	-7,4%
Anzahl an E2-Kisten	-1,6%	-3,4%	-7,5%

Tabelle 11 - Prozentuale Veränderung des Durchschnittsbestandes sowie der Lagergebände

Die grafische Auswertung der Bestandsreduktion in Abhängigkeit der Rüstzeit ist in Abbildung 28 dargestellt.

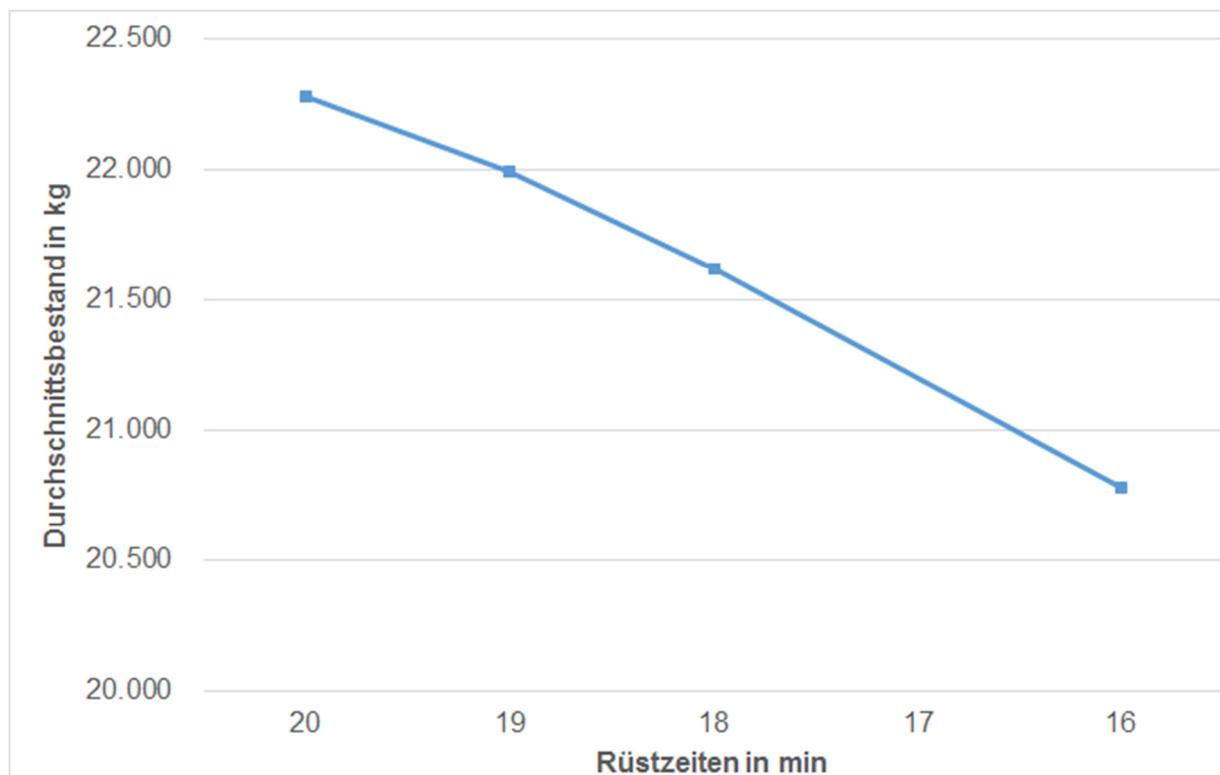


Abbildung 28 - Durchschnittsbestand in Abhängigkeit der Rüstzeit

Die Auswirkungen der Wahl des Servicegrades in Abhängigkeit der Rüstzeitreduktion auf die in Kapitel 5.2 dargestellten Kennzahlen des Produktionsmanagements werden in Tabelle 12 dargestellt. Ausgangspunkt dieser Analyse sind die Detailergebnisse auf Produktniveau (Tabelle 26 bis Tabelle 29).

Zur Berechnung der OEE werden aufgrund fehlender Angaben zum Leistungs- und Qualitätsgrad diese beiden Faktoren auf eins gesetzt (siehe dazu Formel 1 bis Formel 4).

Die verfügbare Maschinenarbeitszeit für die 26 betrachteten Produkte ergibt sich aus der gesamten verfügbaren Maschinenarbeitszeit des Betrachtungsmonats und dem prozentualen Anteil der Bearbeitungszeiten an der gesamten Bearbeitungszeit (siehe Tabelle 4). Damit ergibt sich eine verfügbare Maschinenarbeitszeit der betrachteten Produkte im Beispielmonat von 12.889 Minuten.

Die Maschinenauslastung ergibt sich somit aus dem Verhältnis aus der Summe der Bearbeitungs- und Rüstzeiten und der verfügbaren Maschinenarbeitszeit.

Der EPEI wird gemittelt über die technische Verfügbarkeit pro BKT berechnet. Dieser ergibt sich durch Division der technischen Verfügbarkeit des Betrachtungsmonats mit der Anzahl an BKT. Die benötigte Zeitdauer in Minuten, um die Produktion jedes Loses aufzulegen, ist analog dazu ebenfalls angegeben (siehe Formel 5).

So lässt sich die Summe der Rüstzeiten deutlich senken. Dadurch lässt sich zum einen der Rüstzeitanteil reduzieren, was einen positiven Effekt zum einen auf die Gesamtanlageneffektivität (OEE) hat. Zum anderen wird ebenfalls die Maschinenauslastung sowie der EPEI reduziert, was zu einer Steigerung der Flexibilität führt.

Szenario:	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Summe der Bearbeitungszeiten in min	10.371	10.372	10.373	10.374
Summe der Rüstzeiten in min	1.346	1.292	1.240	1.136
Summe BZ + RZ in min	11.717	11.664	11.613	11.510
Rüstzeitanteil in %	11,5%	11,1%	10,7%	9,9%
OEE in %	88,5%	88,9%	89,3%	90,1%
Maschinenauslastung in %	90,9%	90,5%	90,1%	89,3%
EPEI in BKT	7,8	7,6	7,5	7,1
EPEI in min	4.094	4.014	3.931	3.756

Tabelle 12 - Ergebnisse bezüglich der Produktionskennzahlen

Die prozentualen Veränderungen bezogen auf das Szenario 1 werden in Tabelle 13 analysiert. So lässt sich in Szenario 4 eine Reduktion der gesamten Rüstzeiten von über 15 Prozent realisieren. Zusätzlich wird die Gesamtanlageneffizienz um knapp zwei Prozent verbessert. Außerdem lässt sich eine Steigerung der Variantenflexibilität durch die Reduktion des EPEI-Wertes um über acht Prozent realisieren. Zusätzlich wird eine Reduktion der Maschinenauslastung realisiert. Da die hier angeführte Maschinenauslastung in den vier Szenarien rund neunzig Prozent beträgt, dabei allerdings keine Störungen sowie Qualitäts- und Leistungsverluste berücksichtigt werden, liegt die tatsächliche Maschinenauslastung im realen Betrieb wohl bereits am Kapazitätsmaximum. Daher ist hier speziell die Reduktion der Maschinenauslastung ein wesentliches Ergebnis.

prozentuale Änderungen bezüglich Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Summe der Rüstzeiten	-4,0%	-7,9%	-15,6%
OEE	0,5%	0,9%	1,8%
EPEI	-1,9%	-4,0%	-8,2%
Maschinenauslastung	-0,5%	-0,9%	-1,8%

Tabelle 13 - Prozentuale Änderungen gegenüber Szenario 1

Zusammenfassend lassen sich vielzählige positive Effekte durch die Rüstzeitreduktion und die durch die mathematische Modellierung vorgenommene kostenoptimale Wahl des gewichteten Servicegrades realisieren.

Kostenseitig ergibt sich ein hohes Einsparungspotenzial, welches speziell durch die Abnahme der Bestands- und Rüstkosten lukriert wird.

Das mittlere Bestandsniveau lässt sich dabei gleichzeitig deutlich senken. Dies führt zu einem zu einer höheren Umschlagshäufigkeit des Lagers, einer Abnahme der Lagerreichweite sowie einer Reduktion der benötigten Lagergebäude.

Durch die Erhöhung des Servicegrades lässt sich eine Verbesserung der Kundenzufriedenheit umsetzen. Dies hat speziell langfristig positive Vorteile, da dadurch eine höhere Kundenbindung ermöglicht wird.

Bezogen auf die angeführten Produktionskennzahlen ist sowohl eine Verbesserung der Effektivität sowie der Flexibilität nachzuweisen.

Im folgenden Kapitel werden nun die Ergebnisse der Simulation angeführt und mit den hier vorgestellten Ergebnissen bezüglich der mathematischen Auslegung des Servicegrades diskutiert.

10.2 Analyse der Simulationsergebnisse

Wie in 9.5.2 erwähnt, wurde für das agentenbasierte Simulationsmodell eine weitere Eingrenzung der betrachteten Produkte auf sieben Produkte vorgenommen. Für diese sieben Produkte soll in diesem Kapitel nun die Auswertung der Simulationsergebnisse erfolgen sowie ein kritischer Vergleich mit den aus der statischen Berechnung erhaltenen Ergebnisse angeführt werden.

Für die Auswertung der Simulationsergebnisse wurde das Hauptaugenmerk auf die zwei wesentlichen Attribute gelegt, den gewichteten Servicegrad sowie die mittleren Bestände in den Fertigwarenlagern.

Simulationsergebnisse

Die Detailergebnisse bezüglich des gewichteten Servicegrades und der mittleren Bestände der fünf Simulationsläufe der vier betrachteten Szenarien sind im Anhang in Tabelle 31 dargestellt. Die Ergebnisse bezüglich der Bearbeitungs- und Rüstzeiten sind in Tabelle 32 angeführt. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels sollen die gemittelten Ergebnisse der fünf Simulationsläufe diskutiert werden.

Tabelle 14 zeigt die gewichteten Servicegrade und die mittleren Bestände der betrachteten Produkte sowie die summierten Ergebnisse. Anzumerken ist, dass aufgrund des kurzen Betrachtungshorizonts statistische Schwankungen in die Resultate miteinfließen. So lässt sich nur schwer eine signifikante Aussage über die Entwicklung des Servicegrades treffen, allerdings befindet sich dieser in allen vier Szenarien auf einem sehr hohen Niveau.

Die mittleren Bestände hingegen weisen eine signifikante Abnahme durch die

Reduktion der Rüstzeiten entlang der vier Szenarien auf. So lässt sich das Bestandsniveau um knapp sechs Prozent senken.

	SG _g in Prozent				Mittlere Bestände (BL _m) in kg			
Szenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
Produkt 1	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1705	1695	1695	1696
Produkt 2	99,95%	100,00%	100,00%	100,00%	1748	1677	1617	1487
Produkt 3	99,27%	99,27%	100,00%	100,00%	1089	1050	1037	974
Produkt 4	99,64%	99,43%	98,51%	99,64%	1221	1151	1095	1038
Produkt 5	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	793	779	773	760
Produkt 6	100,00%	100,00%	100,00%	99,88%	664	663	652	607
Produkt 7	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	684	684	689	694
Gesamt:	99,78%	99,75%	99,68%	99,91%	7903	7699	7558	7257

Tabelle 14 - Gewichteter Servicegrad und mittlere Bestände der Simulation

In Tabelle 15 werden die gemittelten Bearbeitungs- und Rüstzeiten sowie der sich daraus berechnete Rüstzeitanteil der Simulation angeführt. So geht aus diesen Ergebnissen speziell die Tendenz der Abnahme der Rüstzeiten hervor. Dadurch lässt sich der Rüstzeit-Anteil von 9,6 auf 8,6 Prozent senken.

	BZ in min	RZ in min	Rüstzeit-Anteil in %
Szenario 1	3761	400	9,6%
Szenario 2	3693	380	9,3%
Szenario 3	3716	378	9,2%
Szenario 4	3729	352	8,6%

Tabelle 15 - Bearbeitungs- und Rüstzeiten der Simulation

Rechnet man die aus der Simulation erhaltenen mittleren Bestände auf die benötigte Anzahl an Lagergebinden um, ergeben sich folgende Werte für die zwei Lagergebinde (Palette, E2-Kiste) der zwei Fertigwarenlager. Speziell die E2-Kisten weisen ein erhebliches Einsparungspotenzial auf:

	S1	S2	S3	S4
E2-Kisten in Stk	532	514	500	470
Paletten in Stk	64	62	61	57

Tabelle 16 - Anzahl an Lagergebinden - Simulationsergebnisse

Vergleich mit den Ergebnissen der mathematischen Modellierung

Zielsetzung der Simulation war die Überprüfung der Ergebnisse aus der mathematischen Modellierung. Allerdings wurde nur ein Auszug der dargestellten Produkte in der Simulation abgebildet. In diesem Abschnitt sollen nun die grundlegenden Ergebnisse bezüglich des Servicegrades sowie der mittleren Bestände der Simulation mit denen der mathematischen Modellierung abgebildet werden. Der Vergleich auf Produktniveau ist im Anhang in Tabelle 33 dargestellt. Die Ergebnisse zeigen dabei eine sehr genaue Übereinstimmung und bestätigen somit die Richtigkeit

der in Kapitel 9 vorgenommenen mathematischen Auslegung der Bestellbestandparameter sowie dessen Umrechnung auf das Bestands- und Servicegradniveau.

Kritisch zu betrachten ist der Vergleich mit der idealen Parameterauslegung aus der mathematischen Formulierung. So weichen die mittleren Bestände der Simulationsläufe signifikant von den idealen Durchschnittsbeständen aus 10.1 ab. Die Gründe hierfür sind zum einen sicherlich der kurze Betrachtungszeitraum sowie die Abweichung der realen Wiederbeschaffungszeit und Lieferterminabweichung der Simulation im Vergleich zu der in der mathematischen Formulierung berechneten Wiederbeschaffungszeit und Lieferterminabweichung, da hierfür konservative Werte angenommen wurden. Dieser Effekt wird durch die Tatsache verstärkt, dass ein Zeitpuffer zwischen Bestellungseingang und Entnahme aus dem Lager zum Kommissionierzeitpunkt vorliegt. Die Parameterauslegung des Bestellbestandsverfahrens geht hier von einer zeitgleichen Entnahme bei Bestellungseingang aus. In der Simulation ergibt sich durch diese Effekte eine deutlich niedrigere WBZ sowie LTA, wodurch Bestellungen zu früh ausgelöst werden und damit die Bestandsverlaufslinie (vergleiche dazu Abbildung 21) zu höheren Beständen hin verschoben wird. Ein Hauptgrund ist sicherlich auch die Betrachtung einer eingeschränkten Produktauswahl, die allerdings zur Komplexitätsreduktion notwendig war. Durch die Kalenderwochen-bezogene Aufteilung der verfügbaren Maschinenbearbeitungszeit auf einen konstanten Wert pro Schicht (Tabelle 6) büßt das Fertigungssystem an Flexibilität ein, wodurch die schlechteren Servicegrade im Vergleich zur statischen Auslegung erklärbar sind.

Eine Gegenüberstellung der mittleren Bestände der in der Simulation betrachteten Produkte gibt Tabelle 17.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
BL _m der Simulation in kg	7.903	7.699	7.558	7.257
BL _m der math. Formulierung in kg	8.000	7.874	7.744	7.485
Prozentuale Abweichung	-1,2%	-2,3%	-2,5%	-3,1%

Tabelle 17 - Vergleich der durchschnittlichen Bestände der mathematischen Formulierung und der Simulation

Der Vergleich zwischen den Servicegraden zeigt Tabelle 18. Hier lassen sich nur marginale Unterschiede zwischen der Simulation und der mathematischen Formulierung identifizieren.

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
SG _q der Simulation in %	99,78%	99,75%	99,68%	99,91%
SG _q der math. Formulierung in %	99,83%	99,83%	99,84%	99,85%
Prozentuale Abweichung	0,0%	0,1%	0,2%	-0,1%

Tabelle 18 - Vergleich der gewichteten Servicegrade der mathematischen Formulierung und der Simulation

Die Simulation bestätigt daher die Wirksamkeit der Aussagen der mathematischen Formulierung. Die in Kapitel 10.1 angeführten Detailergebnisse für alle 26 Produkte können daher für dieses Beispielmonat als korrekt angenommen werden.

Die Zielsetzung, die Ursachen-Wirkungszusammenhänge von operativen Maßnahmen einer Rüstzeitreduktion auf die Kennzahlen des SCPMS qualitativ abzubilden, gelingt durch diese Untersuchung und wird im folgenden Kapitel ausgeführt.

10.3 Auswirkungen auf das SCPMS

Eine zentrale Zielsetzung dieser Diplomarbeit ist es, die Steuerungsfähigkeit des entwickelten SCPMS darzustellen. Hierzu ist ein wesentlicher Inhalt die Darstellung der Wirkzusammenhänge der Kennzahlen der operativen Ebene mit den vorgeschlagenen Kennzahlen des SCPMS. In diesem Fallbeispiel wurde eine virtuelle Rüstzeitreduktion durchgeführt, die sich auf operativer, standortinterner Ebene speziell auf folgende Bereiche positiv auswirkt:

- Abbau von Beständen
- Reduktion der Losgrößen
- Erhöhung der Flexibilität (EPEI-Senkung)
- Verbesserung des Servicegrades
- Erhöhung der Produktivität (OEE-Erhöhung)

Wesentlich für diese Arbeit ist allerdings die Darstellung der Wirkzusammenhänge zwischen operativer Ebene und den in dem SCPMS dargestellten strategischen Kennzahlen, die zur Steuerung der Wertschöpfungskette dienen sollen. Abbildung 29 zeigt in diesem Zusammenhang die direkten Beeinflussungen dieser Rüstzeitreduktion auf die Kennzahlen des SCPMS. Dabei werden durch die angeführten positiven Effekte auf operativer Eben folgende Kennzahlen der jeweiligen Perspektive des SCPMS direkt positiv beeinflusst:

Prozessperspektive

Durch die Reduktion an Beständen wird die Durchlaufzeit positiv beeinflusst, da im konkreten Anwendungsfall die Bestandsreichweite des Fertigwarenlagers und damit die Verweildauer der Produkte reduziert wird sowie durch den Einsatz geringerer

Losgrößen auch die Produktionszeit für ein Los abnimmt.

Zusätzlich wird über die Reduktion der Losgrößen sowie durch die geringeren Rüstzeiten die Upside Supply-Chain Flexibility verbessert. Keinen Einfluss lässt sich auf die Ausschussquote und die Order Fulfillment Cycle Time aufgrund der Lagerfertigung identifizieren.

Kundenperspektive

Bei Lagerfertigung stellt der Servicegrad eine wesentliche Einflussgröße auf die Perfect Order Fulfillment dar. Formel 8 stellt hierzu die eigene Formulierung zur Berechnung der POF im Falle der Lagerfertigung dar, wobei sich die POF aus den Teilquoten der in Kapitel 8.2.2 genannten Fehlerquellen zusammensetzt. Bildet man die einzelnen Einflussfaktoren einer Fehlbestellung ab, ergibt sich die POF als Produkt der Einflussfaktoren einer fehlerhaften Bestellung durch Formel 32:

$$POF = SG \cdot LV \cdot DQ \cdot Q$$

Formel 32 - Einflussgrößen auf die Perfect Order Fulfillment

Mit:

- POF... Perfect Order Fulfillment in Prozent
- SG...Servicegrad in Prozent
- LV...Lieferverzugsquote
- DQ...Dokumentationsquote
- Q...Qualitätsquote

Durch die Steigerung des Servicegrades wird nach Formel 32 eine Verbesserung der POF erreicht. Diese Verbesserung bewirkt indirekt auch eine Erhöhung der Kundenzufriedenheit, welche eine der wichtigsten Indikatoren für den Erfolg von Supply Chains darstellt.

Finanzperspektive

Die Kennzahlen der Finanzperspektive werden durch zwei Effekte beeinflusst.

Zum einen können Einsparungspotenziale durch die Reduktion der Bestands- und Rüstkosten dargestellt werden. Zum anderen wird durch die Verbesserung des Servicegrades der Umsatz erhöht. Dieser Effekt wird durch die Steigerung der Kundenzufriedenheit verstärkt.

Damit werden alle Finanzkennzahlen des SCPMS positiv beeinflusst.

In der Potenzial- sowie Nachhaltigkeitsperspektive hat das analysierte Fallbeispiel keine direkten Auswirkungen.

Abbildung 29 zeigt hier an der bereits vorgestellten Strategy Map die direkten Beeinflussungen der Rüstzeitreduktion auf die strategischen Kennzahlen des SCPMS.

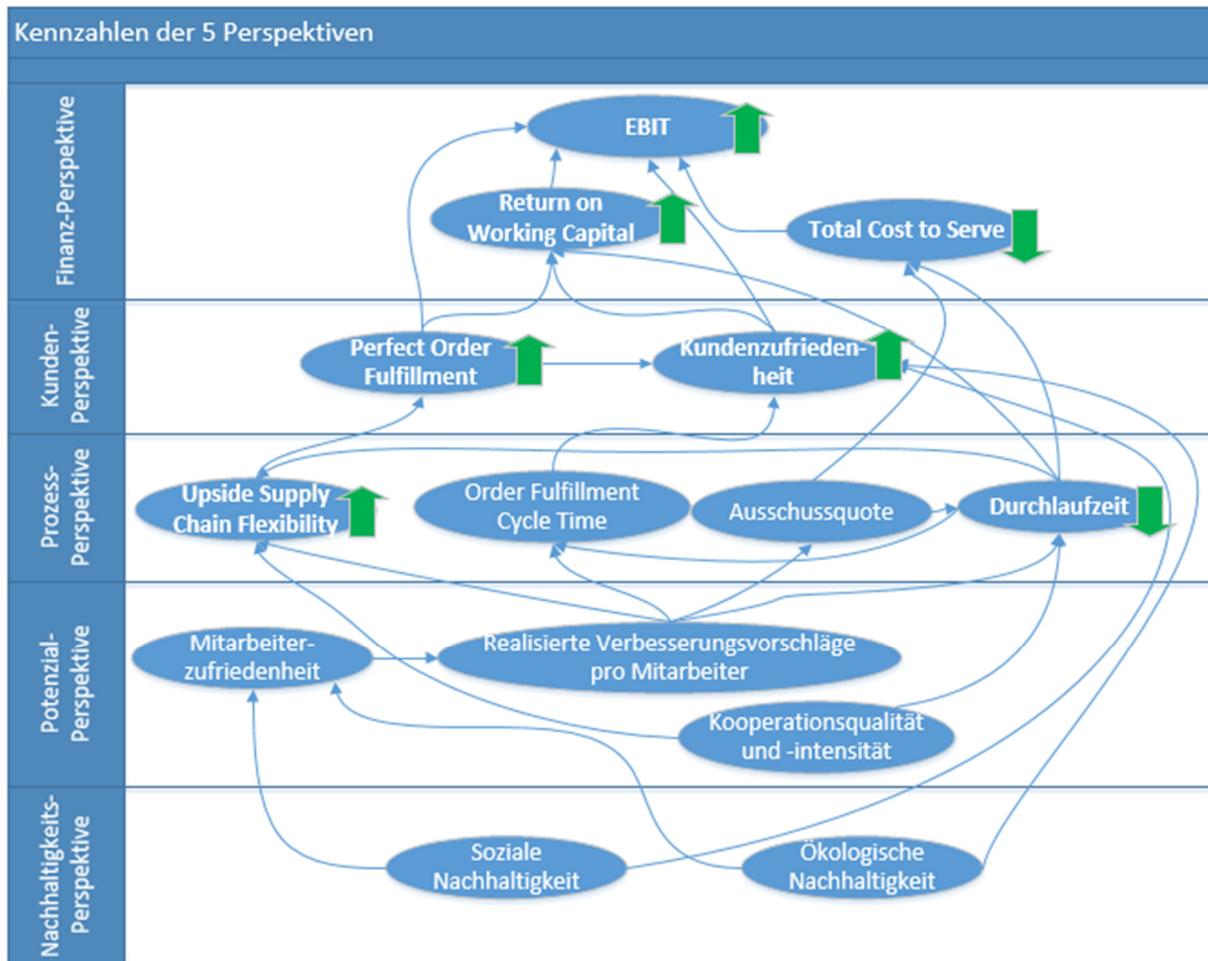


Abbildung 29 - Direkte Auswirkungen auf die Kennzahlen des SCPMS

Abschließend soll nun eine kritische Würdigung der Arbeit bezüglich der Zielsetzung erfolgen sowie ein Ausblick auf weitere Handlungsempfehlungen in diesem Themenbereich gegeben werden.

11 Resümee und Ausblick

Zielsetzung der Diplomarbeit war die Entwicklung eines strategischen SCPMS. Hierzu wurden zunächst über eine Recherche bekannte und wesentliche Konzepte des SCPM identifiziert.

Der erarbeitete Ansatz des SCPMS basiert auf einer Symbiose der beiden Konzepte der SCBSC und des SCOR-Modells, da deren individuelle Vor- und Nachteile sich gut ergänzen. Speziell die hohe Flexibilität und die Klarheit über die Vision und Strategie sind als wesentliche Vorteile der BSC zu nennen. Der größte Vorteil des SCOR-Modells ist hingegen die Benchmarking-Fähigkeit durch den Einsatz standardisierter Kennzahlen. Allerdings beschränkt sich das SCOR-Modell auf logistische Prozesse und bietet kein ausgewogenes Bild auf die Supply Chain.

Die Auswahl an strategischen Kennzahlen des SCPMS orientiert sich an den Lean-Konzepten sowie an heutigen wesentlichen Trends, Anforderungen und Zielbereichen des SCM. Eine der größten Herausforderungen dabei ist das Thema der Nachhaltigkeit. Ein nachhaltiges Management von Wertschöpfungsketten rückt aufgrund des Klimawandels, der Verknappung von natürlichen Ressourcen, dem Wandel des Konsumverhaltens des Kunden sowie eines wachsenden öffentlichen Interesses am Umweltschutz immer stärker in den Fokus von Unternehmen. Außerdem lässt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen Lean-Maßnahmen und einer Verbesserung hinsichtlich der Nachhaltigkeit identifizieren. Deshalb wurde auch die Thematik der Nachhaltigkeit in der Erarbeitung des SCPMS berücksichtigt. Folgende fünf Perspektiven wurden definiert, deren eingesetzten strategischen Kennzahlen in Kapitel 8.2 beschrieben sind:

- Die Finanzperspektive
- Die Kundenperspektive
- Die Prozessperspektive
- Die Potenzialperspektive
- Die Nachhaltigkeitsperspektive

Ein erfolgskritischer Faktor für den Erfolg des vorgestellten SCPMS ist das Verständnis der Wirkzusammenhänge zwischen den Kennzahlen, da dadurch eine Identifikation von Schwachstellen sowie eine Bewertung von Verbesserungspotenzialen zur Leistungsverbesserung ermöglicht wird.

Auf strategischer Ebene wurden die Wirkzusammenhänge der Kennzahlen mittels der Strategy Map qualitativ abgebildet (Abbildung 19). Speziell dieses Wissen ist für die Steuerungsfähigkeit mittels Performance Measurement Systemen entscheidend und als zentrales Unterscheidungsmerkmal zu traditionellen, finanzorientierten Kennzahlensystemen zu verstehen.

Zusätzlich versagen traditionelle Kennzahlensysteme durch die fehlende Prozess- und Kundenorientierung sowie der Vergangenheitsorientierung der Finanzkennzahlen in

der Aufgabe zur Steuerung von Wertschöpfungsketten. Gerade durch den Einsatz von Indikatoren und Treibern (nicht-finanzorientierte Kennzahlen) wird diese Steuerungsfähigkeit durch die frühzeitige Identifikation von Abweichungen und Trends und die damit verbundene Fähigkeit, Maßnahmen rasch ergreifen zu können, ermöglicht. Heutige Markt- und Wettbewerbsverhältnisse verlangen eine proaktive, reaktionsschnelle und strategiekonforme Steuerung von Unternehmen und Supply Chains, welche durch den Ansatz des SCPM ermöglicht werden soll.

Als große Herausforderung ist die Bewertung von Steuerungs- und Verbesserungsmaßnahmen auf operativer Ebene anzusehen. Hierzu müssen die Wirkzusammenhänge der operativen Ebene mit den Kennzahlen des SCPMS bekannt sein.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde dazu der konkrete Fall einer Rüstzeitreduktion eines Lagerfertigers untersucht. Diese Rüstzeitreduktion kann durch die Lean-Methode SMED realisiert werden.

Hierzu wurde eine mathematische Formulierung zur Lösung des Zielkonflikts aus Bestands-, Rüst- und Ausfallkosten am Beispiel der Lagerfertigung durch die Lagerhaltungsstrategie des Bestellbestandsverfahrens entwickelt.

Hinsichtlich dieser Formulierung wurden für verschiedene Rüstzeiten die Auswirkungen auf operativer Ebene am Beispiel eines Unternehmens der Lebensmittelindustrie untersucht.

Die Ergebnisse der Auswirkungen einer Rüstzeitreduktion sind in Kapitel 10.1 dargestellt. So lassen sich durch eine zwanzig-prozentige Rüstzeitreduktion die Gesamtkosten (Summe aus Rüst-, Bestands- und Fehlmengenkosten) um über elf Prozent bei einer zeitgleichen Erhöhung des Servicegrades reduzieren. Weitere identifizierte Effekte sind die Verbesserung der Produktivität sowie der Flexibilität der Produktion.

Die Wirkzusammenhänge dieser operativen Verbesserungsmaßnahme auf die Kennzahlen des vorgestellten strategischen SCPMS wurden in Kapitel 10.3 diskutiert.

Zur Überprüfung der mathematischen Modellierung wurde ein agentenbasiertes Simulationsmodell aufgebaut, welches die berechneten Ergebnisse bestätigt. Die ABS stellt hinsichtlich des Forschungsprojekts BeStNet ein geeignetes Tool zur Bewertung von Steuerungsmaßnahmen dar.

Kritische Würdigung

Da Fokus der Arbeit die Entwicklung und Darstellung eines kennzahlenbasierten SCPMS ist, sollen hier kurz die Grenzen des Kennzahleneinsatzes aufgezeigt werden. Eine wesentliche Komponente ist dabei die Interpretationsschwierigkeit, da Kennzahlen zwar Sachverhalte abbilden, allerdings kein Automatismus zur Verbesserung des Sachverhalts geboten wird.³³⁰ Daher reicht die Messung der Leistungsfähigkeit alleine nicht aus, um eine Optimierung von Wertschöpfungsketten voranzutreiben. Vielmehr dienen sie als Entscheidungsgrundlage zur Ergreifung von Maßnahmen sowie als Controlling-Tool zur Überwachung des Zustandes dieser Maßnahmen sowie der Supply Chain.

Das Treffen korrekter Entscheidungen erfordert ein erfahrenes Management, das die im SCPMS abgebildeten Sachverhalte richtig interpretieren kann. Im Ausblick wird hier unter anderem die Erstellung eines Maßnahmenkatalogs empfohlen, der für konkrete Maßnahmen dessen Wirkzusammenhänge auf das SCPMS abbilden und somit als Hilfswerkzeug für die Entscheidungsfindung dienen soll.

Bezüglich des Simulationsmodell müssen hier die vereinfachten Rahmenbedingungen kritisch betrachtet werden. So wurden nur sieben der ursprünglich 26 betrachteten Produkte in das Simulationsmodell integriert. Eine weitere Einschränkung ist die Bestimmung der verfügbaren Maschinenarbeitszeit, welche konstante Verteilungen auf Wochenbasis aufweist. Außerdem wurden bezüglich der Lagerkapazitäten keine Einschränkungen vorgenommen. Allerdings zeigt die mathematische Modellierung, dass die verfügbaren Lagerplätze durch die vorgenommene Auslegung bezüglich der mittleren Lagerstände nicht überschritten wird.

Kritisch betrachten lässt sich auch die Wahl des Bestellbestandsverfahrens. Dieses ist ein sehr einfaches und verbreitetes Verfahren, das allerdings dementsprechende Einschränkungen bezüglich der logistischen Zielerreichung aufweist. Wird dieses Verfahren starr angewendet, führt dies oft zu hohen Beständen sowie unzureichenden Servicegraden.³³¹ Allerdings eignet sich das Bestellbestandsverfahren aufgrund der Einfachheit speziell bei schwerer Nachfrageplanung, einer großen Variantenvielfalt sowie einer hohen Kundenanzahl.³³²

Da der Fokus der Diplomarbeit auf die Darstellung von Wirkzusammenhängen operativer Steuerungsmaßnahmen gelegt wurde, ist die gewählte Methodik für die angestrebte Zielsetzung legitim.

³³⁰ Vgl. *Werner* (2014), S. 64f

³³¹ Vgl. *Lödding* (2005), S. 155

³³² Vgl. *Lödding* (2005), S. 172

Ausblick

Die hier vorgestellte Arbeit soll einen Beitrag zum Verständnis der Steuerungsfähigkeit von Supply Chains mittels eines kennzahlengestützten Ansatzes in Form des SCPM leisten. Dazu wurde ein eigener Ansatz entwickelt, der sich aus Erweiterung und Symbiose der verbreiteten theoretischen Konzepte der Balanced Scorecard und des SCOR-Modells zusammensetzt. Der Fokus dieser Diplomarbeit lag hier auf der Darstellung der wertschöpferischen Tätigkeiten der Produktion und Logistik. Ein Ansatzpunkt zur Erweiterung des SCPMS ist hier die Integration von kooperativen Aspekten wie der unternehmensübergreifenden Produktentwicklung sowie Innovationsgenerierung.

Hinsichtlich der Beurteilung der Wirkzusammenhänge und des Einflusses von Verbesserungsmaßnahmen soll im Rahmen des weiteren Verlaufs des BeStNet-Forschungsprojektes ein Maßnahmenkatalog erstellt werden. Dieser soll die Wirkzusammenhänge bezüglich des SCPMS analog zu der in 10.3 abgebildeten Strategy Map abbilden.

Dieser Maßnahmenkatalog soll für gezielte Problemstellungen einen Überblick an Möglichkeiten der Optimierung und der Beurteilung bezüglich der Auswirkungen auf die Wertschöpfungskette bieten.

Als wesentliches Hilfsmittel zur Beurteilung von Maßnahmen ist hier die agentenbasierte Simulation zu identifizieren. Speziell in komplexen Umgebungen wie Wertschöpfungsnetzwerken verspricht diese Simulationsmethodik Vorteile gegenüber herkömmlichen Simulationsmethoden (siehe Kapitel 6).

Die hier vorgestellte Arbeit soll die Grundlagen zur Einsatzmöglichkeit der agentenbasierten Simulation hinsichtlich der kennzahlenbasierten Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung von operativen Kennzahlen und deren Auswirkungen auf Wertschöpfungsnetzwerke darstellen. Aufbauend auf dieser Arbeit soll im Rahmen des Forschungsprojektes BeStNet das Modell auf den unternehmensübergreifenden Kontext ausgeweitet werden, da speziell in dieser Umgebung die Vorteile der ABS zum Tragen kommen. Das Ziel dieser agentenbasierten Modellierung ganzer Wertschöpfungsketten ist die Beurteilung der Leistungsfähigkeit und der Ableitung und Bewertung von Steuerungsmaßnahmen.

12 Anhang

Kennzahl des SCPMS	Art	Einheit
Finanzperspektive		
Total Cost to Serve	Absolut	€
EBIT	Absolut	€
Return on Working Capital	Beziehungskennzahl	%
Kundenperspektive		
Perfect Order Fulfillment	Gliederungskennzahl	%
Kundenzufriedenheit	Gliederungskennzahl	%
Prozessperspektive		
Order Fulfillment Cycle Time	Absolut	ZE
Upside Supply Chain Flexibility	Absolut	ZE
Ausschussquote	Gliederungskennzahl	%
Durchlaufzeit	Absolut	ZE
Potenzialperspektive		
Mitarbeiterzufriedenheit	Gliederungskennzahl	%
Realisierte Verbesserungsvorschläge pro MA	Beziehungskennzahl	1/MA
Umsetzungsquote der MA-Vorschläge	Beziehungskennzahl	%
Kooperationsqualität und -intensität	Absolut	-
Nachhaltigkeitsperspektive		
Soziale Nachhaltigkeit	Absolut	-
Ökologische Nachhaltigkeit	Absolut	-

Tabelle 19 - Überblick und Klassifizierung der strategischen Kennzahlen

Artikel	Gesamtbedarf in kg	Anzahl an Bestellungen	Durchschnittliche Bestellmenge in kg	Maximale Bestellmenge in kg
1	4144,9	64	64,8	917,6
2	1381,5	12	115,1	232,8
3	2943,5	22	133,8	722,0
4	5347,8	83	64,4	328,8
5	2508,2	58	43,2	318,9
6	166,1	1	166,1	166,1
7	6435,9	30	214,5	2356,4
8	2661,2	53	50,2	329,9
9	744,3	10	74,4	148,9
10	142,7	35	4,1	34,3
11	1655,9	119	13,9	114,5
12	3515,7	135	26,0	305,9
13	4872,8	406	12,0	253,4
14	5811,6	321	18,1	374,1
15	1504,6	318	4,7	76,8
16	2219,1	194	11,4	184,6
17	1065,3	137	7,8	49,5
18	89,7	34	2,6	8,1
19	837,6	2	418,8	418,8
20	1406,7	276	5,1	127,5
21	2763,4	63	43,9	211,1
22	1104,9	63	17,5	94,4
23	7995,8	54	148,1	646,1
24	150,5	4	37,6	109,4
25	1929,7	149	13,0	189,7
26	310,9	20	15,5	31,1

Tabelle 20 - Aufschlüsselung der Einzelbestellpositionen des Beispielmonats

Artikel	BZ pro 100 kg in min
1	17
2	17
3	17
4	17
5	33
6	16
7	11
8	11
9	33
10	20
11	15
12	14
13	16
14	14
15	29
16	11
17	12
18	29
19	30
20	20
21	13
22	13
23	16
24	17
25	18
26	20

Tabelle 21 - Bearbeitungszeiten der betrachteten Produkte

Artikel	Losgrößen in kg				Bestellbestand in kg			
	LG1	LG2	LG3	LG4	BB1	BB2	BB3	BB4
1	1804	1804	1804	1804	915	906	897	877
2	583	583	583	583	256	253	249	242
3	977	953	927	874	508	500	490	470
4	1819	1773	1726	1627	915	898	879	839
5	648	632	615	580	396	387	378	360
6	66	66	66	66	113	112	111	110
7	3222	3191	3105	2928	2577	2546	2481	2345
8	1064	1064	1064	1064	439	433	425	410
9	298	298	298	298	153	152	151	147
10	89	89	89	89	17	17	17	16
11	712	712	712	712	262	258	253	243
12	1604	1604	1604	1604	593	584	574	552
13	1249	1217	1185	1117	667	654	640	611
14	1377	1342	1306	1231	770	756	740	706
15	566	552	537	506	189	186	182	174
16	1019	1019	1019	1019	348	342	335	322
17	477	477	477	477	163	160	157	151
18	38	38	38	38	15	14	14	14
19	335	335	335	335	382	379	376	371
20	643	643	633	597	185	182	179	171
21	830	809	787	742	347	341	335	321
22	503	503	496	468	136	134	131	126
23	3084	3006	2926	2759	1996	1951	1905	1807
24	60	60	60	60	43	43	43	42
25	822	822	822	822	315	310	304	293
26	144	144	144	144	42	41	41	39

Tabelle 22 - Losgrößen und Bestellbestände der vier Szenarien

Artikel	Lagerhaltungskosten in € pro kg und Monat	Lagerort
1	0,12	MPL
2	0,44	AKL
3	0,41	AKL
4	0,27	MPL
5	0,76	AKL
6	0,12	MPL
7	0,11	MPL
8	0,11	MPL
9	0,76	AKL
10	0,59	AKL
11	0,14	MPL
12	0,13	MPL
13	0,43	AKL
14	0,41	AKL
15	0,62	AKL
16	0,11	MPL
17	0,10	MPL
18	0,18	MPL
19	0,47	AKL
20	0,44	AKL
21	0,52	AKL
22	0,53	AKL
23	0,14	MPL
24	0,60	AKL
25	0,13	MPL
26	0,57	AKL

Tabelle 23 - Lagerhaltungskosten und Lagerort der Produkte

PN bezüglich der eingeschränkten Betrachtung	PN in der ganzheitlichen Darstellung
1	1
2	4
3	13
4	14
5	16
6	21
7	25

Tabelle 24 - Überführungstabelle bezüglich der Produkteinschränkung hinsichtlich der Simulation

```

Produktanzahl=26; %Gibt die Zeilen zum Einlesen des Files an
for Szenario=1:1:4; %%Spielt alle 4 Szenarien durch
data=xlsread('MATLAB-Servicegrad_20160104.xlsx',Szenario);
%%Öffnet das 1,2,3 oder 4te Tabellenblatt (=die 4 Szenarien)
for Zeile=1:1:Produktanzahl;
SGgew=90:0.01:100; %Variation des Servicegrades
%Einlesen der Parameter zur Berechnung:
KF=data(Zeile,1); %Kundenfaktor
VP=data(Zeile,2); %Durchschnittlicher Verkaufspreis pro kg
D=data(Zeile,3); %Gesamte Nachfragemenge
GS=data(Zeile,4); %Gewinnspanne des Produktes (=Lost Sales)
A=data(Zeile,5); %Rüstkosten
Xzu=data(Zeile,6); %Losgröße
c=data(Zeile,7); %C-Norm-Parameter
BL1=data(Zeile,8); %theoretischer Grenzbestand
h=data(Zeile,9); %Lagerhaltungskosten pro kg und Monat
%Berechnung der Ausfallkosten
VK=VP*GS; %Verlustkosten bei nichtverkauftem Produkt
AK=(100-SGgew)/100*D*VK*(1+KF); %Ausfallkosten
%Berechnung der Rüstkosten
ProdArt=D*SGgew/100; %zu produzierende Menge durch Auftragsverluste
RK=A*ProdArt/Xzu; %Gesamte Rüstkosten
%Bestandskosten
BL0=Xzu/2; % Losbestand
BLm=BL0*(SGgew/100).^2+(BL1-BL0)*(1-(1-SGgew/100).^c).^ (1/c);
%Mittlerer Bestand
BK=BLm*h;
%Gesamtkosten:
ZF=BK+RK+AK;
%Suche nach dem Minimum der Zielfunktion:
indexmin = find(min(ZF) == ZF);
xmin = SGgew(indexmin);
ymin = ZF(indexmin);
RKmin = RK(indexmin);
AKmin = AK(indexmin);
BKmin = BK(indexmin);
A = {Zeile,xmin, ymin,RKmin,AKmin,BKmin};
xlswrite('Optimum.xlsx',A,Szenario,['A' num2str(Zeile)]);
end
end

```

Abbildung 30 - MATLAB-Code zur Optimierung des Servicegrades

Anfangsbestände der Produkte in kg					
Produkt	Simulationslauf 1	Simulationslauf 2	Simulationslauf 3	Simulationslauf 4	Simulationslauf 5
1	1.633	1.764	834	1.077	2.510
2	1.562	2.013	1.910	1.617	1.604
3	1.144	1.037	588	1.561	807
4	1.286	778	1.370	1.573	1.486
5	813	958	833	791	1.292
6	659	739	1.016	612	533
7	679	744	550	737	571

Tabelle 25 - Anfangsbestände der Simulationsläufe

Szenario 1							
Artikel	optimaler SG [%]	Kosten ZF [€]	RK [€]	AK [€]	BK [€]	Produktionszeit in min	Rüstzeit in min
1	99,96	249,67	133,99	3,60	112,09	750,29	45,94
2	99,85	298,35	137,97	5,93	154,46	281,80	47,30
3	99,69	487,44	175,12	19,64	292,68	558,88	60,04
4	99,93	489,85	171,34	11,88	306,63	967,23	58,75
5	99,05	720,69	223,64	59,31	437,75	896,50	76,68
6	100,00	144,58	145,83	-	-	76,57	50,00
7	99,82	398,90	116,29	19,18	263,42	746,55	39,87
8	99,96	211,27	145,78	1,86	63,63	342,60	49,98
9	99,35	310,64	144,89	12,74	153,02	293,71	49,68
10	99,38	125,10	92,63	2,25	30,22	60,13	31,76
11	99,98	181,23	135,64	0,94	44,65	294,84	46,51
12	99,97	221,16	127,83	2,49	90,83	535,89	43,83
13	99,76	689,46	227,02	29,94	432,51	855,61	77,83
14	99,67	760,98	245,44	38,63	476,91	895,09	84,15
15	99,62	413,17	154,45	16,46	242,27	487,63	52,95
16	99,98	172,67	127,01	1,01	44,66	287,60	43,55
17	99,98	150,84	130,36	0,44	20,04	172,51	44,69
18	99,98	140,83	138,33	0,07	2,43	73,43	47,43
19	100,00	197,64	145,83	-	51,81	301,28	50,00
20	99,78	313,79	127,40	8,88	177,52	324,40	43,68
21	99,52	540,03	193,36	26,17	320,50	423,81	66,29
22	99,57	308,18	127,55	10,67	169,97	186,75	43,73
23	99,90	468,08	151,08	15,22	301,79	1.329,84	51,80
24	99,88	164,99	145,66	0,51	18,82	75,49	49,94
25	99,97	188,30	136,85	1,46	50,00	394,16	46,92
26	99,26	179,34	124,79	4,35	50,20	104,50	42,78
Gesamt:	99,76	8.527	3.926	294	4.309	11.717	1.346

Tabelle 26 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 1

Szenario 2							
Artikel	optimaler SG [%]	Kosten ZF [€]	RK [€]	AK [€]	BK [€]	Produktionszeit in min	Rüstzeit in min
1	99,96	242,41	127,29	3,60	111,52	748,0	43,6
2	99,85	290,37	131,07	5,93	153,38	279,4	44,9
3	99,70	475,90	170,70	19,01	286,19	557,4	58,5
4	99,93	478,59	167,00	11,88	299,70	965,7	57,3
5	99,09	704,31	218,06	56,81	429,44	894,9	74,8
6	100,00	137,25	138,54	-	-	74,1	47,5
7	99,82	391,10	111,58	19,18	260,33	744,9	38,3
8	99,96	203,53	138,49	1,86	63,18	340,1	47,5
9	99,37	302,49	137,67	12,34	152,48	291,3	47,2
10	99,41	120,34	88,03	2,14	30,17	58,6	30,2
11	99,98	174,14	128,86	0,94	44,34	292,5	44,2
12	99,98	214,16	121,45	1,66	91,05	533,7	41,6
13	99,77	674,28	221,29	28,69	424,30	853,7	75,9
14	99,68	744,33	239,25	37,46	467,63	893,1	82,0
15	99,63	403,78	150,55	16,03	237,20	486,3	51,6
16	99,98	166,02	120,66	1,01	44,36	285,4	41,4
17	99,98	144,18	123,84	0,44	19,91	170,3	42,5
18	99,98	133,90	131,41	0,07	2,41	71,1	45,1
19	100,00	189,32	138,54	-	50,78	298,8	47,5
20	99,79	306,37	121,04	8,48	176,85	322,2	41,5
21	99,53	527,88	188,48	25,63	313,77	422,2	64,6
22	99,58	300,84	121,18	10,42	169,25	184,6	41,5
23	99,90	456,88	147,25	15,22	294,41	1.328,5	50,5
24	99,90	157,51	138,40	0,42	18,69	73,0	47,5
25	99,98	181,11	130,02	0,97	50,12	391,9	44,6
26	99,30	172,83	118,60	4,12	50,12	102,4	40,7
Gesamt:	99,77	8.294	3.769	284	4.242	11.664	1.292

Tabelle 27 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 2

Szenario 3							
Artikel	optimaler SG [%]	Kosten ZF [€]	RK [€]	AK [€]	BK [€]	Produktionszeit in min	Rüstzeit in min
1	99,96	235,08	120,59	3,60	110,89	745,69	41,35
2	99,86	282,25	124,18	5,53	152,53	277,10	42,58
3	99,71	463,86	166,16	18,37	279,32	555,91	56,97
4	99,93	466,80	162,55	11,88	292,37	964,21	55,73
5	99,12	687,27	212,31	54,94	420,02	893,20	72,79
6	100,00	129,92	131,25	-	-	71,57	45,00
7	99,83	380,95	108,62	18,12	254,21	743,99	37,24
8	99,96	195,73	131,20	1,86	62,67	337,60	44,98
9	99,39	294,25	130,45	11,95	151,85	288,86	44,73
10	99,44	115,55	83,42	2,03	30,10	56,99	28,60
11	99,98	167,00	122,08	0,94	43,99	290,18	41,86
12	99,98	207,08	115,06	1,66	90,36	531,56	39,45
13	99,77	658,30	215,39	28,69	414,22	851,70	73,85
14	99,69	726,83	232,89	36,29	457,65	890,95	79,85
15	99,64	393,97	146,55	15,59	231,83	485,01	50,25
16	99,98	159,33	114,31	1,01	44,02	283,25	39,19
17	99,98	137,51	117,32	0,44	19,75	168,04	40,22
18	99,98	126,96	124,49	0,07	2,39	68,69	42,68
19	100,00	180,89	131,25	-	49,64	296,28	45,00
20	99,80	298,77	116,36	8,07	174,35	320,67	39,89
21	99,55	515,14	183,49	24,54	307,11	420,53	62,91
22	99,59	293,35	116,48	10,17	166,70	182,99	39,94
23	99,91	445,26	143,34	13,69	288,22	1.327,31	49,14
24	99,91	150,01	131,13	0,38	18,50	70,51	44,96
25	99,98	173,87	123,17	0,97	49,73	389,51	42,23
26	99,33	166,28	112,39	3,94	49,95	100,29	38,53
Gesamt:	99,78	8.052	3.616	275	4.162	11.613	1.240

Tabelle 28 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 3

Szenario 4							
Artikel	optimaler SG [%]	Kosten ZF [€]	RK [€]	AK [€]	BK [€]	Produktionszeit in min	Rüstzeit in min
1	99,96	220,37	107,19	3,60	109,58	741,10	36,75
2	99,87	265,84	110,40	5,14	150,31	272,40	37,85
3	99,73	438,62	156,69	17,11	264,82	552,76	53,72
4	99,94	442,06	153,27	10,19	278,60	961,12	52,55
5	99,18	651,51	200,29	51,19	400,03	889,57	68,67
6	100,00	115,26	116,67	-	-	66,57	40,00
7	99,84	359,73	102,42	17,05	240,26	741,93	35,11
8	99,96	180,08	116,62	1,86	61,60	332,60	39,98
9	99,43	277,65	116,00	11,17	150,48	284,01	39,77
10	99,50	105,96	74,20	1,81	29,95	53,84	25,44
11	99,98	152,69	108,52	0,94	43,24	285,53	37,21
12	99,98	192,84	102,28	1,66	88,90	527,17	35,07
13	99,79	624,78	203,11	26,20	395,47	847,65	69,64
14	99,71	690,07	219,62	33,95	436,51	886,56	75,30
15	99,67	373,40	138,21	14,29	220,90	482,28	47,39
16	99,98	145,91	101,61	1,01	43,30	278,89	34,84
17	99,98	124,15	104,28	0,44	19,42	163,57	35,75
18	99,98	113,09	110,66	0,07	2,35	63,94	37,94
19	100,00	163,92	116,67	-	47,25	291,28	40,00
20	99,81	282,90	109,71	7,67	165,52	318,42	37,62
21	99,58	488,42	173,05	22,90	292,47	417,06	59,33
22	99,62	277,70	109,85	9,43	158,42	180,76	37,66
23	99,91	420,94	135,14	13,69	272,10	1.324,50	46,33
24	99,94	134,97	116,60	0,25	18,12	65,54	39,98
25	99,98	159,35	109,49	0,97	48,89	384,82	37,54
26	99,40	153,12	99,97	3,53	49,62	96,08	34,28
Gesamt:	99,80	7.555	3.312	256	3.988	11.510	1.136

Tabelle 29 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 4

Artikel	Losgrößen [kg]				Bestellbestand [kg]			
	LG1	LG2	LG3	LG4	BB1	BB2	BB3	BB4
1	1.804	1.804	1.804	1.791	751	743	736	718
2	1.533	1.494	1.454	1.371	682	669	655	626
3	1.155	1.125	1.095	1.033	486	476	466	445
4	1.291	1.259	1.225	1.155	561	550	538	513
5	1.019	1.019	1.019	1.019	273	268	262	251
6	790	770	750	707	257	253	248	238
7	822	822	822	822	242	238	234	224

Tabelle 30 - Bestellbestandsparameter für das Simulationsmodell

Szenario 1:	BLm1	BLm2	BLm3	BLm4	BLm5	SGg1	SGg2	SGg3	SGg4	SGg5	BLm - Durchschnitt	SGg - Durchschnitt
1	1589	1720	1699	1820	1698	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1705	100,00%
2	1730	1653	1718	1864	1773	100,00%	99,77%	100,00%	100,00%	100,00%	1748	99,95%
3	973	1164	1126	1081	1100	96,37%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1089	99,27%
4	1227	1376	1091	1247	1162	100,00%	100,00%	100,00%	98,19%	100,00%	1221	99,64%
5	747	860	835	760	761	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	793	100,00%
6	694	748	592	621	664	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	664	100,00%
7	691	729	669	695	636	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	684	100,00%
Gesamt:	7651	8250	7730	8088	7794	99,36%	99,95%	100,00%	99,61%	100,00%	7903	99,78%
Szenario 2:	BLm1	BLm2	BLm3	BLm4	BLm5	SGg1	SGg2	SGg3	SGg4	SGg5	BLm - Durchschnitt	SGg - Durchschnitt
1	1589	1720	1699	1766	1703	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1695	100,00%
2	1763	1636	1591	1703	1690	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1677	100,00%
3	987	1093	1121	1023	1026	96,37%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1050	99,27%
4	1065	1367	1016	1217	1088	98,98%	100,00%	100,00%	98,19%	100,00%	1151	99,43%
5	714	860	835	726	762	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	779	100,00%
6	679	707	667	622	642	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	663	100,00%
7	718	702	669	695	636	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	684	100,00%
Gesamt:	7515	8085	7598	7752	7547	99,14%	100,00%	100,00%	99,61%	100,00%	7699	99,75%
Szenario 3:	BLm1	BLm2	BLm3	BLm4	BLm5	SGg1	SGg2	SGg3	SGg4	SGg5	BLm - Durchschnitt	SGg - Durchschnitt
1	1589	1720	1699	1766	1703	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1695	100,00%
2	1674	1675	1512	1618	1605	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1617	100,00%
3	1054	1098	1039	970	1026	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1037	100,00%
4	1107	1267	941	1144	1015	94,37%	100,00%	100,00%	98,19%	100,00%	1095	98,51%
5	714	827	835	726	762	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	773	100,00%
6	678	692	609	602	678	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	652	100,00%
7	718	729	669	695	636	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	689	100,00%
Gesamt:	7534	8008	7304	7521	7425	98,81%	100,00%	100,00%	99,61%	100,00%	7558	99,68%
Szenario 4:	BLm1	BLm2	BLm3	BLm4	BLm5	SGg1	SGg2	SGg3	SGg4	SGg5	BLm - Durchschnitt	SGg - Durchschnitt
1	1648	1720	1641	1825	1644	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1696	100,00%
2	1594	1515	1359	1491	1478	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	1487	100,00%
3	1057	874	992	885	1064	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	974	100,00%
4	1047	1214	1039	992	897	100,00%	100,00%	100,00%	98,19%	100,00%	1038	99,64%
5	747	827	835	693	697	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	760	100,00%
6	657	686	565	611	517	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	99,38%	607	99,88%
7	718	756	669	693	636	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	694	100,00%
Gesamt:	7468	7592	7100	7190	6933	100,00%	100,00%	100,00%	99,61%	99,94%	7257	99,91%

Tabelle 31 - Detailergebnisse auf Produktniveau der fünf Simulationsläufe

	Simulationslauf 1		Simulationslauf 2		Simulationslauf 3		Simulationslauf 4		Simulationslauf 5	
Angaben in min	BZ+RZ	RZ								
Szenario 1	4161	400	4365	420	4482	420	4482	420	4278	420
Szenario 2	4073	380	4271	399	4393	399	4506	418	4186	399
Szenario 3	4094	378	4176	378	4302	378	4412	396	4094	378
Szenario 4	4081	352	4081	352	4478	368	4217	352	4084	352

Tabelle 32 - Simulationsergebnisse bezüglich der Bearbeitungs- und Rüstzeiten

Produkt	Mittlere Bestände in kg							
	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3		Szenario 4	
	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.
1	1705	1649	1695	1641	1695	1631	1696	1612
2	1748	1627	1677	1590	1617	1551	1487	1478
3	1089	1190	1050	1164	1037	1137	974	1085
4	1221	1336	1151	1307	1095	1279	1038	1220
5	793	823	779	818	773	812	760	798
6	664	685	663	670	652	656	607	624
7	684	688	684	683	689	678	694	667
Gesamt	7903	8000	7699	7874	7558	7744	7257	7485
Produkt	gewichtete Servicegrade in %							
	Szenario 1		Szenario 2		Szenario 3		Szenario 4	
	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.	Simulation	mathem. Form.
1	100,00%	99,96%	100,00%	99,96%	100,00%	99,96%	100,00%	99,96%
2	99,95%	99,93%	100,00%	99,93%	100,00%	99,93%	100,00%	99,94%
3	99,27%	99,76%	99,27%	99,77%	100,00%	99,77%	100,00%	99,79%
4	99,64%	99,67%	99,43%	99,68%	98,51%	99,69%	99,64%	99,71%
5	100,00%	99,98%	100,00%	99,98%	100,00%	99,98%	100,00%	99,98%
6	100,00%	99,52%	100,00%	99,53%	100,00%	99,55%	99,88%	99,58%
7	100,00%	99,97%	100,00%	99,98%	100,00%	99,98%	100,00%	99,98%
Gesamt	99,78%	99,83%	99,75%	99,83%	99,68%	99,84%	99,91%	99,85%

Tabelle 33 - Vergleich der mathematischen Formulierung und der Simulation

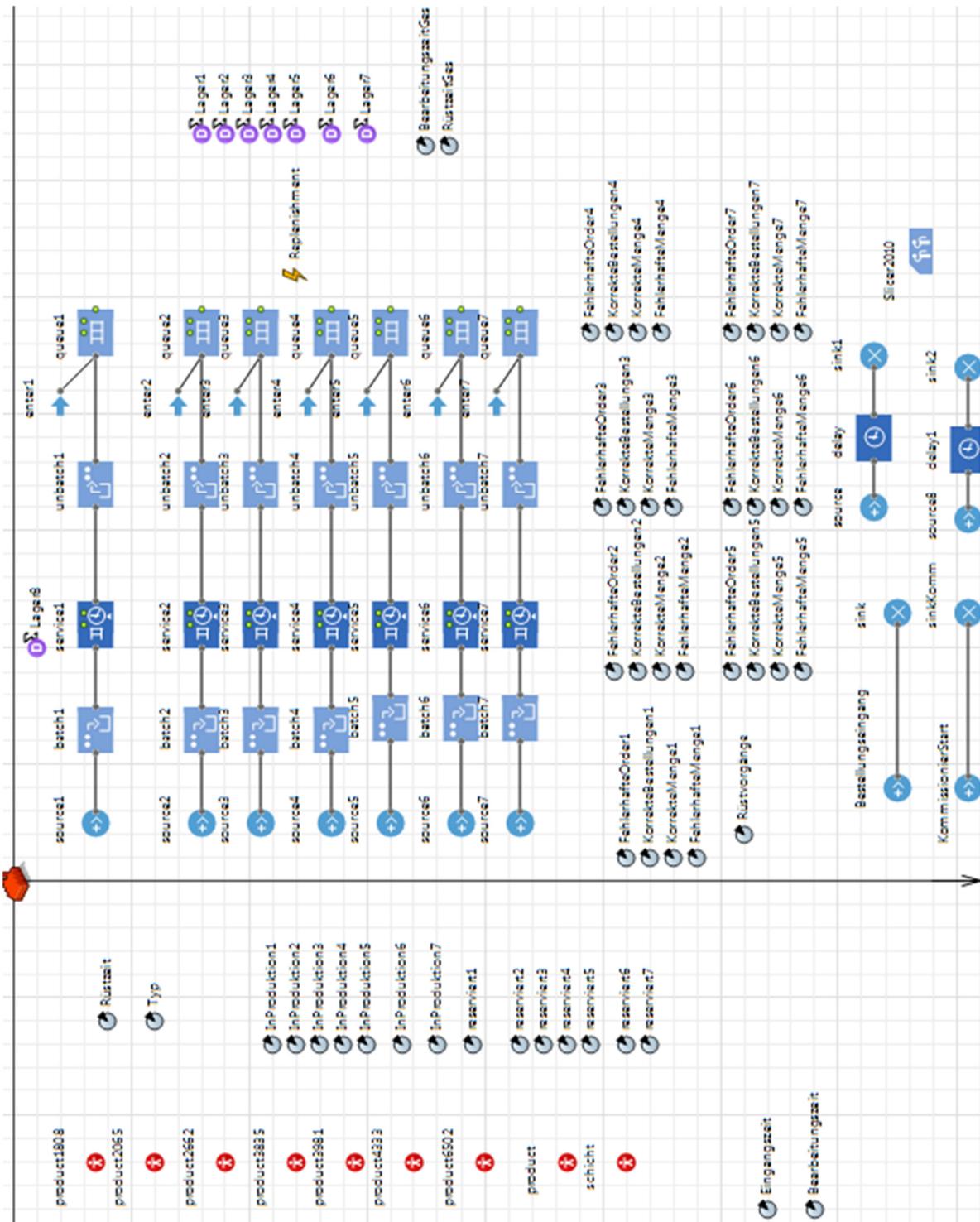


Abbildung 31 - Überblick des Simulationsmodells - Agent "fokales Unternehmen"

13 Literaturverzeichnis

- Agami, N./Saleh, M./Rasmy, M.* (2012), Supply Chain Performance Measurement Approaches. Review and Classification, *The Journal of Organizational Management Studies*, S. 1–20.
- Alicke, K.* (2005), Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken. Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg.
- Arif-Uz-Zaman, K./Nazmul Ahsan, A.* (2014), Lean supply chain performance measurement, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 63. Jg., Nr. 5, S. 588–612.
- Arturo Garza-Reyes, J./Eldridge, S./Barber, K. D./Soriano-Meier, H.* (2010), Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27. Jg., Nr. 1, S. 48–62.
- Barthélemy, F., et al.* (2011), Balanced Scorecard. Erfolgreiche IT-Auswahl, Einführung und Anwendung: Unternehmen berichten.
- Becker, T. Dr.* (2008), Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren, Berlin, Heidelberg.
- Bhamu, J./Singh Sangwan, K.* (2014), Lean manufacturing. Literature review and research issues, *International Journal of Operations & Production Management*, 34. Jg., Nr. 7, S. 876–940.
- Borshchev, A.* (2013), The big book of simulation modeling. Multimethod modeling with AnyLogic 6, [Lisle, IL].
- Brewer, P. C./Speh, T. W.* (2000), Using the Balanced Scorecard to measure Supply Chain Performance, *Journal of Business Logistics*, 2000. Jg., Vol. 21, S. 75–93.
- Brunner, F. J.* (2008), Japanische Erfolgskonzepte. KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance, Shopfloor Management, Toyota Production Management, München.
- Busch, A./Dangelmaier, W.* (2004), Integriertes Supply Chain Management. Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, 2. Aufl., Wiesbaden.
- Butilca, D./Ilies, L.* (2011), Balanced Scorecard versus SCOR in Supply Chain Management. A theoretical Approach, *Managerial Challenges of the Contemporary Society*, Nr. 2, S. 39–43.
- Cai, J./Liu, X./Xiao, Z./Liu, J.* (2009), Improving supply chain performance management. A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment, *Decision Support Systems*, 46. Jg., Nr. 2, S. 512–521.
- Chang, M.-H./Harrington, J. E.* (2006), Chapter 26 Agent-Based Models of Organizations. In: S. 1273–1337.

- Cohen, S./Roussel, J.* (2006), Strategisches Supply Chain Management. In: Strategisches Supply Chain Management, Berlin/Heidelberg, S. 201–235.
- Crespi, V., et al.* (2005), Comparative analysis of top-down and bottom-up methodologies for multi-agent system design.
- Dankowski, R./Uffmann, J.* (2005), Kostenreduktion in Produktion und indirekten Unternehmensbereichen, VDI-Z, Nr. 7/8 - Juli / August, S. 25–27.
- Deckert, A./Klein, R.* (2010), Agentenbasierte Simulation zur Analyse und Lösung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme, Journal für Betriebswirtschaft, 60. Jg., Nr. 2, S. 89–125.
- Deming, W. E.* (1994), The new economics for industry, government, education, 2. Aufl., Cambridge, MA.
- Drabe, D.* (2015), Mitarbeiterzufriedenheit im Organisationskontext. In: *Drabe, D.* (Hrsg.), Strategisches Aging Workforce Management, Wiesbaden, S. 59–98.
- Eicker, S./Kress, S./Lelke, F.* (2005), Kennzahlengestützte Geschäftssteuerung im Dienstleistungssektor - Ergebnisse einer empirischen Untersuchung, Controlling und Management, 49. Jg., Nr. 6, S. 408–414.
- Elrod, C./Murray, S./Bande, S.* (2015), A Review of Performance Metrics for Supply Chain Management, Engineering Management Journal, 25. Jg., Nr. 3, S. 39–50.
- Erdmann, M.-K.* (2007), Supply chain performance measurement. Operative und strategische Management- und Controllingansätze, 2. Aufl., Lohmar [u.a.].
- Erlach, K.* (2010), Wertstromdesign. Der Weg zur schlanken Fabrik, Berlin, Heidelberg.
- Estampe, D./Lamouri, S./Paris, J.-L./Brahim-Djelloul, S.* (2013), A framework for analysing supply chain performance evaluation models, International Journal of Production Economics, 142. Jg., Nr. 2, S. 247–258.
- Ferreira, L./Borenstein, D.* (2010), Normative agent-based simulation for supply chain planning, Journal of the Operational Research Society, 62. Jg., Nr. 3, S. 501–514.
- Ganse, J./Werhahn, F./Gschmack, S.* (2012), Nachhaltigkeit im Supply Chain Management, Controlling & Management, Volume 56, Issue 4, S. 260–265.
- Giese, A.* (2012), Differenziertes Performance Measurement in Supply Chains, Wiesbaden.
- Gladen, W.* (2014), Performance Measurement. Controlling mit Kennzahlen, 6. Aufl., Wiesbaden.
- Global Reporting Initiative* (2015), G4 Sustainability Reporting Guidelines. Reporting Principles and Standard Disclosures, in: <https://www.globalreporting.org/resource/library/GRIG4-Part1-Reporting-Principles-and-Standard-Disclosures.pdf>, abgerufen am 28. 1. 2016.
- Glückler, J.* (2012), Organisierte Unternehmensnetzwerke: Eine Einführung. In: *Glückler, J., et al.* (Hrsg.), Unternehmensnetzwerke, Berlin, Heidelberg, S. 1–18.

- Gunasekaran, A./Kobu, B.* (2007), Performance measures and metrics in logistics and supply chain management. A review of recent literature (1995–2004) for research and applications, *International Journal of Production Research*, 45. Jg., Nr. 12, S. 2819–2840.
- Gunasekaran, A./Patel, C./McGaughey, R. E.* (2003), A framework for supply chain performance measurement, *International Journal of Production Economics*, 87. Jg., Nr. 3, S. 333–347.
- Gunasekaran, A./Patel, C./Tirtiroglu, E.* (2001), Performance measures and metrics in a supply chain environment, *International Journal of Operations & Production Management*, 21. Jg., 1/2, S. 71–87.
- Hanson, J. D./Melnyk, S. A./Calantone, R. A.* (2011), Defining and measuring alignment in performance management, *International Journal of Operations & Production Management*, 31. Jg., Nr. 10, S. 1089–1114.
- Heesen, B./Gruber, W.* (2014), Bilanzanalyse und Kennzahlen. Fallorientierte Bilanzoptimierung, 4. Aufl., Wiesbaden.
- Hennig, A.* (2008), 100 Kennzahlen der Balanced Scorecard, Wiesbaden.
- Hilletoft, P./Lättilä, L./Hilmola, O.-P.* (2009), Agent Based Decision Support in Manufacturing Supply Chain. In: *Hutchison, D.*, et al. (Hrsg.), *Agent and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications*, Berlin, Heidelberg, S. 677–686.
- Horváth & Partner GmbH* (Juni/2011), Supply Chain Performance Management. Über die intelligente Verknüpfung von Strategien, Prozessen und Controlling zur Steuerung der Wertschöpfungskette, Ergebnisbericht, Stuttgart.
- Johnston, R./Pongatichat, P.* (2008), Managing the tension between performance measurement and strategy. Coping strategies, *International Journal of Operations & Production Management*, 28. Jg., Nr. 10, S. 941–967.
- Kaplan, R. S./Norton, D. P.* (1996), Linking the Balanced Scorecard to Strategy, *California Management Review*, 39. Jg., Nr. 1, S. 53–79.
- Kaplan, R. S./Norton, D. P.* (2004), How Strategy Maps Frame an Organization's Objectives, *Financial Executive*, 2004. Jg., Mar/Apr 2004, S. 40–45.
- Karim, A./Arif-Uz-Zaman, K.* (2013), A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations, *Business Process Management Journal*, 19. Jg., Nr. 1, S. 169–196.
- KMPG-International* (2013), The KPMG Survey of Corporate Responsibility Reporting 2013, in: <https://www.kpmg.com/Global/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/corporate-responsibility/Documents/corporate-responsibility-reporting-survey-2013-exec-summary.pdf>, abgerufen am 28. 1. 2016.
- Koch, S.* (2012), Logistik-Controlling. In: *Koch, S.* (Hrsg.), *Logistik*, Berlin, Heidelberg, S. 215–243.
- Kumar, G./Nambirajan, T.* (2013), An Integrated Model for Supply Chain Management Components, *Supply Chain Performance and Organizational*

- Performance: Purification and Validation of a Measurement Instrument, Vol. 8, Issue No. 2, S. 37–56.
- Kummer, S.*, et al. (2009), Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik, 2. Aufl., München [u.a.].
- Kurien, G. P./Qureshi, M. N.* (2011), Study of performance measurement practices in supply chain management, International Journal of Business, Management and Social Sciences, Vol 2., No. 4, S. 19–34.
- Lamming, R.* (1996), Squaring lean supply with supply chain management, International Journal of Operations & Production Management, 16. Jg., Nr. 2, S. 183–196.
- Lödding, H.* (2005), Verfahren der Fertigungssteuerung. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, Berlin, Heidelberg, New York.
- Long, Q./Zhang, W.* (2014), An integrated framework for agent based inventory–production–transportation modeling and distributed simulation of supply chains, Information Sciences, 277. Jg., S. 567–581.
- Luck, M.*, et al. (2005), Agent technology: Coputing as Interaction. A Roadmap for Agent Based Computing.
- Lueg, R.* (2015), Strategy maps. The essential link between the balanced scorecard and action, Journal of Business Strategy, 36. Jg., Nr. 2, S. 34–40.
- Lynch, R. L./Cross, K. F.* (1995), Measure up! Yardsticks for continuous improvement, 2. Aufl., Cambridge, Mass.
- Marin-Garcia, J. A./Bonavi, T.* (2011), Strategic Priorities and Lean Manufacturing Practices in Automotive Suppliers. Ten Years After. In: *Chiaberge, M.* (Hrsg.), New Trends and Developments in Automotive Industry, S. 123–136.
- Matyas, K.* (2001), Taschenbuch Produktionsmanagement. Planung und Erhaltung optimaler Produktionsbedingungen ; [mit CD-ROM], München, Wien.
- Meyer, T./Schüler, F.* (2011), Outsourcing. Schlanke Produktion schafft Wettbewerbsvorteile, Frankfurt am Main, S. 1–7.
- Minner, S./Silver, E. A.* (2007), Replenishment policies for multiple products with compound-Poisson demand that share a common warehouse, International Journal of Production Economics, 108. Jg., 1-2, S. 388–398.
- Neely, A./Gregory, M./Platts, K.* (1995), Performance measurement system design, International Journal of Operations & Production Management, 15. Jg., Nr. 4, S. 80–116.
- Norton, D. P./Kaplan, R. S.* (1992), The Balanced Scorecard - Measures that drive Performance, Harvard Business Review, 1992. Jg., January-February, S. 70–80.
- Norton, D. P./Kaplan, R. S.* (1997), Balanced Scorecard. Strategien erfolgreich umsetzen, Stuttgart.
- Nyhuis, P.* (2003), Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 2. Aufl., Berlin.

- Nyhuis, P./Wiendahl, H.-P.* (2012), *Logistische Kennlinien*, Berlin, Heidelberg.
- Ohno, T./Hof, W.* (2013), *Das Toyota-Produktionssystem*.
- Palm, D.* (2006), *Effiziente Kennzahlen in der Produktion*, Wien.
- Piercy, N./Rich, N.* (2015), The relationship between lean operations and sustainable operations, *International Journal of Operations & Production Management*, 35. Jg., Nr. 2, S. 282–315.
- Pietruszka, W. D.* (2012), *MATLAB und Simulink in der Ingenieurpraxis. Modellbildung, Berechnung und Simulation*, 3. Aufl., Wiesbaden.
- pwc* (2013), Next-generation supply chains. Efficient, fast and tailored, in: <http://www.apics.org/docs/default-source/scc/2013-pwc-global-supply-chain-survey-report.pdf?sfvrsn=2>, abgerufen am 28. 1. 2016.
- Rachfall, T./Rachfall, K.* (2013), Strategische Kennzahlen in dynamischen Märkten, *Controlling & Management Review*, 57. Jg., Nr. 6, S. 60–67.
- Rautenstrauch, T.* (2002), SCM-Integration in heterarchischen Unternehmensnetzwerken. In: *Busch, A./Dangelmaier, W.* (Hrsg.), *Integriertes Supply Chain Management*, Wiesbaden, S. 343–361.
- Reefke, H./Trocchi, M.* (2013), Balanced scorecard for sustainable supply chains. Design and development guidelines, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62. Jg., Nr. 8, S. 805–826.
- Reller, A.* (2013), *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen*, Darmstadt.
- Richert, J.* (2006), *Performance measurement in supply chains. Balanced scorecard in Wertschöpfungsnetzwerken*, Wiesbaden.
- Rother, M., et al.* (2006), *Sehen lernen. Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen*, Aachen.
- Sandt, J.* (2005), Performance Measurement. Übersicht über Forschungsentwicklungsstand, *Controlling und Management*, 49. Jg., Nr. 6, S. 429–447.
- SCOR supply chain operations reference model. Revision 11.0 (2012).
- Sennheiser, A./Schnetzler, M.* (2008), *Wertorientiertes Supply Chain Management*, Berlin, Heidelberg.
- Seuring, S.* (2013), A review of modeling approaches for sustainable supply chain management, *Decision Support Systems*, 54. Jg., Nr. 4, S. 1513–1520.
- Seuring, S./Müller, M.* (2008), From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management, *Journal of Cleaner Production*, 16. Jg., Nr. 15, S. 1699–1710.
- Skinner, W.* (1986), The Productivity Paradox. From the July 1986 Issue, in: <https://hbr.org/1986/07/the-productivity-paradox>, abgerufen am 28. 1. 2016.
- Sprotte, A.* (2009), *Performance Measurement auf der Basis von Kennzahlen aus betrieblichen Anwendungssystemen. Entwurf eines kennzahlengestützten*

- Informationssystem für einen Logistikdienstleister, Arbeitsberichte aus dem Fachbereich Informatik, 9. Aufl., 56070 Koblenz.
- Stewart, G.* (1997), Supply-chain operations reference model (SCOR). The first cross-industry framework for integrated supply-chain management, *Logistics Information Management*, 10. Jg., Nr. 2, S. 62–67.
- Striteska, M./Spickova, M.* (2012), Review and Comparison of Performance Measurement Systems, *The Journal of Organizational Management Studies*, S. 1–13.
- supply chain council* (2010), Supply Chain Operations Reference (SCOR) model. Overview - Version 10.0, in: [http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/download/24758/296095/file/Supply%20Chain%20Operations%20Reference%20\(SCOR\)%20model.pdf](http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/download/24758/296095/file/Supply%20Chain%20Operations%20Reference%20(SCOR)%20model.pdf), abgerufen am 29. 7. 2015.
- supply chain council* (2015), SCOR. Supply Chain Operations Model, Quick Reference Guide Version 11.0, in: http://www.apics.org/docs/default-source/scc/apicsscc_scor_quick_reference_guide.pdf?sfvrsn=2, abgerufen am 28. 1. 2016.
- Tangen, S.* (2004), Performance measurement: from philosophy to practice, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53. Jg., Nr. 8, S. 726–737.
- Taticchi, P./Tonelli, F./Pasqualino, R.* (2013), Performance measurement of sustainable supply chains, *International Journal of Productivity and Performance Management*, 62. Jg., Nr. 8, S. 782–804.
- Tegel, A.* (Hrsg.) (2012), Analyse und Optimierung der Produktionsglättung für Mehrprodukt-Fließlinien, Wiesbaden.
- Töpfer, A.* (2009), Lean Six Sigma, Berlin, Heidelberg.
- Varsei, M./Soosay, C./Fahimnia, B./Sarkis, J.* (2014), Framing sustainability performance of supply chains with multidimensional indicators, *Supply Chain Management: An International Journal*, 19. Jg., Nr. 3, S. 242–257.
- Wannenwetsch, H.* (2014), Integrierte Materialwirtschaft, Logistik und Beschaffung, Berlin, Heidelberg.
- Weber, J.* (1995), Logistik-Controlling. Leistungen - Prozesskosten - Kennzahlen, 4. Aufl., Stuttgart.
- Weber, J., et al.* (2012), Logistik-Controlling mit Kennzahlensystemen. WHU-Studie.
- Weber, J./Bacher, A./Groll, M.* (2002), Konzeption einer BSC für das Controlling von unternehmensübergreifenden Supply Chains, *krp - Zeitschrift für Controlling, Accounting & System-Anwendungen*, 46. Jg., Nr. 3, S. 133–141.
- Wee, H. M./Wu, S.* (2009), Lean supply chain and its effect on product cost and quality. A case study on Ford Motor Company, *Supply Chain Management: An International Journal*, 14. Jg., Nr. 5, S. 335–341.
- Werner, H.* (2013), Supply Chain Management, Wiesbaden.

- Werner, H. (2014), Kompakt Edition: Supply Chain Controlling. Grundlagen, Performance-Messung und Handlungsempfehlungen, Wiesbaden.
- Witthaut, M./Hellgrath, B. (2009), Simulation von SCM-Strategien. In: *Buchholz, P./Clausen, U.* (Hrsg.), Große Netze der Logistik, Berlin, Heidelberg, S. 59–74.
- Wittstruck, D./Teuteberg, F. (2010), Ein Referenzmodell für das Sustainable Supply Chain Management, *Zeitschrift für Management*, 5. Jg., Nr. 2, S. 141–164.
- Womack, J. P., et al. (1990), *The machine that changed the world*. Based on the Massachusetts Institute of Technology 5-million dollar 5-year study on the future of the automobile, New York.
- Wooldridge, M./Jennings, N. R. (1995), Intelligent agents. Theory and practice, *The Knowledge Engineering Review*, 10. Jg., Nr. 02, S. 115.
- World Commission on Environment and Development* (1987), Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future, in: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>, abgerufen am 28. 1. 2016.

14 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Vorteile der Unternehmen mit dem Fokus der Leistungssteigerung der SC	1
Abbildung 2 - Effektivität und Effizienz	8
Abbildung 3 - Die Perspektiven der Balanced Scorecard	17
Abbildung 4 - Darstellung einer beispielhaften Strategy Map	21
Abbildung 5 - Wertschöpfungsnetzwerk	23
Abbildung 6 - Ebenen des SCM	26
Abbildung 7 - SCBSC nach Giese	32
Abbildung 8 - Grenzen des SCOR-Modells	34
Abbildung 9 - Überblick der Prozesse des SCOR-Modells	35
Abbildung 10 - Hierarchie der SCOR-Kennzahlen.....	38
Abbildung 11 - Darstellung der OEE.....	44
Abbildung 12 - EPEI-Darstellung	45
Abbildung 13 - Einordnung der ABS in den Gartner Hype Cycle.....	48
Abbildung 14 - Transformation des Simulationszustands in der ABS.....	50
Abbildung 15 - Anwendungsprozess einer ABS	50
Abbildung 16 - Modellumgebung und Betrachtungshorizont	57
Abbildung 17 - Konzept des vorgeschlagenen SCPMS-Modells	58
Abbildung 18 - Darstellung des eigenen Ansatzes des SCPMS.....	70
Abbildung 19 - Strategy Map des entwickelten Ansatzes	71
Abbildung 20 - Kundenentkopplungspunkt bei Lagerfertigung	73
Abbildung 21 - Idealisierter Bestandsverlauf beim Bestellbestandsverfahren	76
Abbildung 22 - Verlauf der Servicegradkennlinie	80
Abbildung 23 - Auswirkung von großen Lagerabgangslosgrößen	81
Abbildung 24 - Verlauf der Zielfunktion in Abhängigkeit des Servicegrades.....	84
Abbildung 25 - Wertstrom der betrachteten Problemstellung	86
Abbildung 26 - Prozessablauf eines Produktes	95
Abbildung 27 - Kostenanteile in den Szenarien	99
Abbildung 28 - Durchschnittsbestand in Abhängigkeit der Rüstzeit.....	100
Abbildung 29 - Direkte Auswirkungen auf die Kennzahlen des SCPMS.....	107
Abbildung 30 - MATLAB-Code zur Optimierung des Servicegrades	117
Abbildung 31 - Überblick des Simulationsmodells - Agent "fokales Unternehmen"	123

15 Formelverzeichnis

Formel 1 - Berechnung der OEE	44
Formel 2 - Berechnung der Anlagenverfügbarkeit	44
Formel 3 - Berechnung des Leistungsgrads	45
Formel 4 - Berechnung des Qualitätsgrads	45
Formel 5 - Berechnung des EPEI-Wertes	46
Formel 6 – EBIT-Berechnung	60
Formel 7 - Berechnung der Kennzahl 'Return on Working Capital'	61
Formel 8 - Berechnung der Perfect Order Fulfillment	62
Formel 9 - Order Fulfillment Cycle Time	63
Formel 10 – Berechnung der Ausschussquote	63
Formel 11 – Berechnung der Durchlaufzeit	64
Formel 12 - Realisierte Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter	65
Formel 13 - Servicegrad	74
Formel 14 - Gewichteter Servicegrad	74
Formel 15 - Andler'sche Losgrößenformel'	77
Formel 16 - Bestellbestand.....	77
Formel 17 - Berechnung des Sicherheitsbestandes	78
Formel 18 - Losbestand BL_0	78
Formel 19 - Praktisch minimaler Grenzbestand.....	78
Formel 20 - Berechnung von C_{min}	79
Formel 21 - Berechnung des C-Norm-Parameters bei normalverteilten Planabweichungen	79
Formel 22 - allgemeine Berechnung der Wiederbeschaffungszeit	80
Formel 23 - Mittlere Bedarfsrate	81
Formel 24 - Mittlerer Lagerbestand in Abhängigkeit des Servicegrades	82
Formel 25 - Berechnung der Bestandskosten	82
Formel 26 - Berechnung der gesamten Rüstkosten eines Produkts.....	82
Formel 27 - Fehlmengenkosten als Funktion des gewichteten Servicegrades	83
Formel 28 – Die Zielfunktion - Gesamtkosten der entwickelten Formulierung.....	83
Formel 29 - Konkretisierte Zielfunktion zur Auslegung des Servicegrades.....	84
Formel 30 - Berechnung der Lagerhaltungskosten h_n eines Produktes.....	89
Formel 31 - Bedingung zur Auslösung eines Produktionsauftrags	93
Formel 32 - Einflussgrößen auf die Perfect Order Fulfillment	106

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Die 6 Kernprozesse des SCOR-Modells	36
Tabelle 2 - Level-1-Metriken des SCOR-Modells 11.0	37
Tabelle 3 - Zusammenfassung der Vor- und Nachteile der BSC und des SCOR-Modells	59
Tabelle 4 – Produktangaben der Anlage bezogen auf das Beispielmonat	86
Tabelle 5 - Rüstkosten und -zeiten pro Rüstvorgang	88
Tabelle 6 - Verfügbare Maschinenzeiten für die Simulation der betrachteten Produkte	92
Tabelle 7 - Gemittelter gewichteter Servicegrad der vier Szenarien	98
Tabelle 8 - Kostenseitige Bewertung der Gesamtergebnisse	98
Tabelle 9 - Prozentuale Veränderungen der Kosten bezüglich Szenario 1	98
Tabelle 10 - Entwicklung des Durchschnittsbestandes sowie der Lagergebinde	99
Tabelle 11 - Prozentuale Veränderung des Durchschnittsbestandes sowie der Lagergebinde	100
Tabelle 12 - Ergebnisse bezüglich der Produktionskennzahlen	101
Tabelle 13 - Prozentuale Änderungen gegenüber Szenario 1	101
Tabelle 14 - Gewichteter Servicegrad und mittlere Bestände der Simulation	103
Tabelle 15 - Bearbeitungs- und Rüstzeiten der Simulation	103
Tabelle 16 - Anzahl an Lagergebinden - Simulationsergebnisse	103
Tabelle 17 - Vergleich der durchschnittlichen Bestände der mathematischen Formulierung und der Simulation	104
Tabelle 18 - Vergleich der gewichteten Servicegrade der mathematischen Formulierung und der Simulation	105
Tabelle 19 - Überblick und Klassifizierung der strategischen Kennzahlen	112
Tabelle 20 - Aufschlüsselung der Einzelbestellpositionen des Beispielmonats	113
Tabelle 21 - Bearbeitungszeiten der betrachteten Produkte	114
Tabelle 22 - Losgrößen und Bestellbestände der vier Szenarien	115
Tabelle 23 - Lagerhaltungskosten und Lagerort der Produkte	116
Tabelle 24 - Überführungstabelle bezüglich der Produkteinschränkung hinsichtlich der Simulation	116
Tabelle 25 - Anfangsbestände der Simulationsläufe	118
Tabelle 26 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 1	118
Tabelle 27 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 2	119
Tabelle 28 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 3	120
Tabelle 29 - Ergebnisse der mathematischen Optimierung - Szenario 4	121
Tabelle 30 - Bestellbestandsparameter für das Simulationsmodell	121
Tabelle 31 - Detailergebnisse auf Produktniveau der fünf Simulationsläufe	122
Tabelle 32 - Simulationsergebnisse bezüglich der Bearbeitungs- und Rüstzeiten	122
Tabelle 33 - Vergleich der mathematischen Formulierung und der Simulation	122

17 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ABS	Agentenbasierte Simulation
BSC	Balanced Scorecard
BZ	Bearbeitungszeit
bzw.	beziehungsweise
C2C	Cash-To-Cash Cycle Time
d.h.	das heißt
DLZ	Durchlaufzeit
E2	E2-Kiste
EBIT	Earnings before interest and taxes
EFQM	European Foundation for Quality Management
EPEI	Every part - Every Intervall
et al.	Et alia (und andere)
F&E	Forschung und Entwicklung
FIFO	First in First Out
h	Stunde
JIT	Just-in-Time
kg	Kilogramm
KPI	Key Performance Indicators
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KW	Kalenderwoche
MA	Mitarbeiter
MA	Mitarbeiter
ME	Mengeneinheit
OEM	Original Equipment Manufacturer
PAL	Paletten
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PM	Performance Measurement
PMS	Performance Measurement System
POF	Perfect Order Fulfillment
ROSCA	Return on Supply Chain Fixed Assets
ROWC	Return on Working Capital
RZ	Rüstzeit
SC	Supply Chain
SCBSC	Supply Chain Balanced Scorecard
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCPM	Supply Chain Performance Measurement
SCPMS	Supply Chain Performance Measurement Systeme

Abkürzung	Bedeutung
SMED	Single Minute Exchange of Die
SSCPM	Sustainable Supply Chain Performance Measurement
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Produktionssystem
Uvm	Und vieles mehr
VSM	Value Stream Mapping
z.B.	Zum Beispiel
ZE	Zeiteinheit
ZZ	Zykluszeit

18 Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
#Res	-	Anzahl gleicher Ressourcen
A	€	Rüstkosten eines Rüstvorgangs
AnzME	ME	Anzahl nachgefragter Mengeneinheiten
AnzME _{sofort}	ME	Anzahl sofort gelieferter Mengeneinheiten
AR	-	Anzahl an Rüstvorgängen
AZ	ZE	tägliche Arbeitszeit
BB	ME	Bestellbestand
BK	€	Bestandskosten
BKT	-	Betriebskalendertage
BL	ME	Lagerbestand
BL ₀	ME	Losbestand
BL ₁	ME	praktisch minimaler Grenzbestand
BL _m	ME	mittlerer Lagerbestand
BL _{res}	ME	reservierter Lagerbestand
BR _m	ME/ZE	mittlere Bedarfsrate
BR _{max}	ME/ZE	maximale Bedarfsrate
BZ	ZE	Bearbeitungszeit
c	-	C-Norm-Parameter
C _{min}	-	Unterer Grenzwert des C _{Norm} -Wertes
C _{max}	-	Maximal zulässiger C _{Norm} -Wert
C _{NV}	-	C _{Norm} -Wert bei normalverteilten Planabweichungen
D	ME	Gesamtnachfragemenge
DQ	-	Dokumentationsquote
EPEI	ZE	Every Part - every Intervall
FK	€	Fehlmengenkosten
GK	€	Gesamtkosten
h	€/ME/ZE	Lagerhaltungskosten eines Produktes pro Zeiteinheit
KF	-	Kundenfaktor
LA _{offen}	ME	Liefermenge offener Lageraufträge
LTA _{max} ⁺	ZE	maximale positive Lieferterminabweichung
LV	-	Lieververzugsquote
MA _{max} ⁻	ME	maximale negative Mengenabweichung
p	1%	kalkulatorischer Zins
P(X _{AB})	ME	abgangslosgrößenabhängiger Parameter
POF	%	Perfect Order Fulfillment
Q	-	Qualitätsquote
RK	€	Rüstkosten gesamt
ROWC	%	Return on Working Capital

Zeichen	Einheit	Bedeutung
RZ	ZE	Rüstzeit
SB	ME	Sicherheitsbestand
SG	%	Servicegrad
RVM	1/MA	realisierte Verbesserungsvorschläge pro Mitarbeiter
SG _g	%	gewichteter Servicegrad
TO	-	Gesamtanzahl an Bestellungen
TO _{sofort}	-	Anzahl an sofort befriedigten Bestellungen
VK	€/ME	Verlustkosten eines Produktes
VP	€	Verkaufspreis
WBZ	ZE	Wiederbeschaffungszeit
X _{ab,m}	ME	mittlere Abgangslosgröße
X _{opt}	ME	optimale Bestellmenge nach Andler
X _{zu,m}	ME	Zugangslosgröße
ZF	€	Zielfunktion