

# **Ein nachhaltiges Supply Chain Bewertungsmodell unter besonderer Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren**

PhD Thesis in Management

Submitted to the Faculty of Economics, University of Neuchâtel

By

**Dominik Gläßer**

Under the supervision of

Prof. Gerald Reiner - University of Neuchâtel, Switzerland

Members of the evaluation committee:

Prof. Sam Blili - University of Neuchâtel, Switzerland

Prof. Alfred Taudes - University of Vienna, Austria

Prof. Dr. Christian Almeder – University of Frankfurt (Oder)

Defended on January 9<sup>th</sup>, 2012

University of Neuchâtel



IMPRIMATUR POUR LA THÈSE

Ein nachhaltiges Supply Chain Bewertungsmodell unter besonderer Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren

**Dominik GLÄSSER**

---

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL  
FACULTÉ DES SCIENCES ÉCONOMIQUES

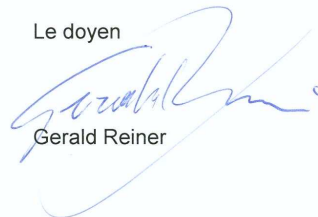
La Faculté des sciences économiques,  
sur le rapport des membres du jury

Prof. Gerald Reiner (directeur de thèse, Université de Neuchâtel)  
Prof. Sam Bili (président du jury, Université de Neuchâtel)  
Prof. Alfred Taudes (Vienna University of Economics and Business)  
Prof. Christian Almeder (Europa Universität Viadrina, Frankfurt/Oder)

Autorise l'impression de la présente thèse.

Neuchâtel, le 23 février 2012

Le doyen



Gerald Reiner



## **Vorwort**

Diese Dissertation, die am Institut de l'entreprise der Universität Neuchâtel im Rahmen meiner Tätigkeit in einem weltweit führenden polymer verarbeitenden Unternehmen entstand, wäre ohne die Unterstützung vieler Personen nicht möglich gewesen.

Als erstes möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Gerald Reiner sehr herzlich für die Betreuung der Arbeit, die Unterstützung, die wertvollen Diskussionen und Hilfestellungen bedanken. Darüber hinaus ermöglichte er mir die Mitarbeit an zahlreichen Forschungsprojekten. Hierdurch konnte ich mich in die akademische Arbeitsweise einfinden und habe gelernt, wie Paper geschrieben, präsentiert und veröffentlicht werden. Zusätzlich danke ich Prof. Reiner für das entgegengebrachte Vertrauen und die Ermutigung eigene Ideen zu verwirklichen.

Auch bedanke ich mich bei Prof. Dr. Sam Blili, der als Zweitgutachter maßgeblich am Gelingen der Arbeit beteiligt war.

Weiterhin danke ich allen Mitarbeitern des Instituts de l'entreprise und besonders denen aus dem Bereich Management de la production et logistique der Universität Neuchâtel für das überaus herzliche und kameradschaftliche Arbeitsverhältnis und die vielen interessanten Kollaborationen.

Ein besonderer Dank gilt auch Prof. Dr. Alfred Taudes für die Aufnahme an den Sommerseminaren, den hochgeschätzten Gesprächen und der Unterstützung im Allgemeinen. Mein Dank gilt auch den Mitarbeitern des Instituts für Produktionsmanagement der WU Wien für den freundlichen und hilfsbereiten Umgang bei zahlreichen Fragen sowie den Informationsaustausch auf vielen wissenschaftlichen Konferenzen.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei Prof. Dr. Christian Almeder, dass er im Bewertungsprozess meiner Arbeit teilgenommen hat. Durch die erhaltenen Kommentare, war ich in der Lage meine Arbeit weiter zu verbessern und zu schärfen.

Das gute und freundschaftliche Arbeitsklima unter meinen Kollegen der Abteilung SCM Sales- / Material Planning eines weltweit führenden polymer verarbeitenden Unternehmens war die Grundlagen dafür, dass mir die Arbeit sehr viel Freude bereitet hat. Danken möchte ich hier vor allem meiner Betreuerin Dr. Heike Rausch, die sich stets Zeit nahm und eine große Hilfestellung war. Hervorzuheben ist auch der Projektleiter Thomas Erhardt, den ich danke, dass er mir eine Doktorandenstelle angeboten hat und mir die nötige Flexibilität

ermöglichte, um z. B. an wissenschaftlichen Konferenzen teilzunehmen. Letzteres gilt auch für meinen späteren Vorgesetzten Alois Maier.

Vielen Dank auch den vielen Mitarbeitern, die mich bei der Datenbeschaffung und –validierung unterstützt haben und nicht namentlich erwähnt wurden.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei Andreas Fürst, der meine Arbeit immer unterstützt und mir es gestattet hat, diese auf zahlreichen Fachgremien vorzustellen. Zusätzlich war sein Netzwerk aus Akademiker, Fachspezialisten und Führungskräften von unschätzbarem Wert.

Vor allem danke ich meinen Eltern Ilona und Karlheinz, die mich in all meinen Bemühungen, Interessen und Vorhaben stets unterstützt und gefördert haben.

## **Abstract**

The focus of the dissertation which deals with the topic of Operations management is on supply chain management and on the assessability of dynamic interactions of lead time with regard to overall performance of the system. Based on progressive globalization (Reiner et al. 2008) which results in competitive pressure from low-wage countries and based on higher service requirements of customers, time-based competitive strategies (Askenazy et al. 2006), in addition to cost and quality, are a success factor which becomes more and more important for companies in many industrial sectors (Krüger und Steven 2000, Suri 2010). In this context, the reduction of lead time is one of the decisive mechanisms for improvement. Irrespective of the positive impact of reduced lead time in many sectors, many managers do not pay sufficient attention to it (Suri 1998). On the one hand, this is due to the fact that attempts for the reduction of lead times are directed against standard management methods, for example, the maximization of resource utilization. The dynamic correlations between lead time, resource utilization, batch size and variability are not always intuitive and, to some extent, difficult to understand (Suri 1998). On the other hand, a time based evaluation model is not yet available which could be used to evaluate the overall performance of interrelations and interactions of measured values relating to effectiveness (for example, customer satisfaction) and efficiency (for example, costs) (Götze et al. 2000, Maskell and Kennedy 2007).

That is why a sustainable supply chain evaluation model is developed in this dissertation, which, above all, takes time-based competition factors into account. The evaluation model provides an attempt of how to better understand, analyze and evaluate the overall performance of lead time reduction methods or, in general, the lead time. The benefit is illustrated based on the application for a real supply chain with subsequent implementation. All in all, the dissertation adds to a better understanding of interrelations within the supply chain.

**Keywords:** Operations Management, Supply Chain Management, Supply Chain Dynamics, Lead Time Reduction, Rapid Modelling, Simulation

## **Abstrakt**

Die Arbeit aus dem Themengebiet des Operationsmanagements hat das Supply Chain Management im Fokus und konzentriert sich auf die Bewertbarkeit der dynamischen Wechselwirkungen der Durchlaufzeit hinsichtlich der Gesamtperformance des Systems. Durch die fortschreitende Globalisierung (Reiner et al. 2008) und dem daraus resultierenden gestiegenen Wettbewerbsdruck aus Niedriglohnländern sowie höheren Serviceanforderungen der Kunden werden zeitbasierte Wettbewerbsstrategien (Askenazy et al. 2006) neben Kosten und Qualität ein immer wichtigerer Erfolgsfaktor für Unternehmen in vielen Industriezweigen (Krüger und Steven 2000, Suri 2010). In diesem Zusammenhang ist die Verkürzung der Durchlaufzeit einer der entscheidenden Mechanismen, um diese zu verbessern. Ungeachtet der Tatsache der positiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung in vielen Branchen, schenken ihr viele Manager nicht die nötige Beachtung (Suri 1998). Das liegt zum einen daran, dass sich Durchlaufzeitverkürzungsansätze gegen Standardmanagementmethoden, wie z. B. die Maximierung der Ressourcenauslastung, richten. Die dynamischen Zusammenhänge von Durchlaufzeit, Ressourcenauslastung, Losgröße und Variabilität sind nicht immer intuitiv und z. T. schwer nachvollziehbar (Suri 1998). Zum anderen gibt es noch kein Zeitbewertungsmodell, das die Interrelationen und Wechselwirkungen der betroffenen Effektivitäts- (z. B. Kundenzufriedenheit) und Effizienzmessgrößen (z. B. Kosten) in Hinsicht auf die Gesamtperformance evaluiert (Götze et al. 2000, Maskell und Kennedy 2007). Deshalb wird in dieser Arbeit ein nachhaltiges Supply Chain Bewertungsmodell unter besonderer Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren entwickelt. Mit dem Bewertungsmodell wird ein Ansatz geliefert, wie Durchlaufzeitverkürzungsmethoden oder allgemein die Durchlaufzeit bezüglich der Gesamtperformance besser verstanden, analysiert und beurteilt werden kann. Durch die Anwendung an einer realen Supply Chain mit anschließender Implementierung wird der Nutzen illustriert. Insgesamt trägt die Arbeit zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge innerhalb der Supply Chain bei.

**Schlagnworte:** Operations Management, Supply Chain Management, Supply Chain Dynamics, Durchlaufzeitverkürzung, Rapid Modelling, Simulation



„Remember that Time is Money”

Benjamin Franklin (\* 17.01.1706 - † 17.04.1790),  
amerik. Wissenschaftler und Politiker

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	i
Abstract.....	iii
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Forschungsfragen und -ziele .....	2
1.3 Gang der Untersuchung .....	3
2 Theoretischer Hintergrund.....	6
2.1 Das SCOR-Modell.....	12
2.2 Best Value Supply Chains .....	13
2.2.1 Adaptable und Agile .....	13
2.2.2 Aligned.....	15
2.3 Entscheidungsfindung in einem komplexen und ungewissen Umfeld.....	16
2.4 Bedeutung der Durchlaufzeit .....	17
2.4.1 Grundlagen der Warteschlangentheorie hinsichtlich der Durchlaufzeit .....	19
2.4.2 Das Operation Management Dreieck .....	23
2.4.3 Losgröße und Durchlaufzeit .....	25
2.4.4 Bewertbarkeit der Durchlaufzeitverkürzung hinsichtlich der Systemperformance	28
2.5 Forschungsansatz.....	30
2.5.1 Konzeptionelles Modell .....	31
2.5.2 Forschungsmethodologie .....	32
2.5.3 Empirische Daten.....	35
2.5.3.1 Eingangsdatenvalidierung.....	36
2.5.3.2 Supply Chain Design.....	36
2.5.4 Supply Chain Bewertung.....	39
2.5.5 Modellvalidierung .....	40
3 Gibt es einen empirischen Beweis für den in der Theorie beschriebenen nicht linearen Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung innerhalb von komplexen Fertigungsprozessen? .....	42
3.1 Einführung.....	42
3.2 Fallbeschreibung.....	43
3.2.1 Auftragsabwicklungsprozess und Werksstruktur .....	44
3.2.2 Datenerfassung und Validierung .....	45
3.3 Datenanalyse und Ergebnisse.....	46
3.4 Schluss .....	52
3.4.1 Ergebnisse.....	52

3.4.2	Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete .....	53
3.4.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	53
4	Ein Modell zur Bewertung von Durchlaufzeitverkürzungsansätzen basierend auf Rapid Modelling und System Dynamis .....	54
4.1	Einführung.....	54
4.2	Auswahl der Performancekenngrößen .....	56
4.3	Das Bewertungsmodell .....	57
4.4	Empirische Illustration .....	64
4.4.1	Datenvalidierung .....	64
4.4.2	Produktionsprozess.....	64
4.4.3	Prozessverbesserungsmaßnahmen zur Durchlaufzeitverbesserung .....	65
4.4.3.1	Anpassung der Ressourcenauslastung .....	66
4.4.3.2	Losgrößenoptimierung .....	67
4.4.4	Szenarienbeschreibung.....	68
4.5	Ergebnisse .....	69
4.6	Langzeitanalyse der Durchlaufzeitverbesserung .....	71
4.7	Schluss .....	77
4.7.1	Ergebnisse .....	77
4.7.2	Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete .....	78
4.7.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	79
5	Performancebewertung und reale Umsetzung von Prozessstrategie zur Durchlaufzeitverkürzung anhand einer existierenden polymeren Supply Chain .....	80
5.1	Einführung.....	80
5.2	Theoretischer Hintergrund.....	81
5.2.1	Postponement Strategien .....	82
5.2.2	Supply Chain Bewertung.....	83
5.3	Illustration der Supply Chain.....	84
5.3.1	Erläuterung des Prozessdesigns .....	84
5.4	Modellbeschreibung .....	86
5.4.1	Modellvalidierung .....	89
5.4.2	Szenario 1 – Forecast basiertes Bestandsmanagement.....	89
5.4.3	Szenario 2 – Verbesserungen des Supply Chain Designs.....	90
5.5	Ergebnisse .....	91
5.6	Reale Umsetzung.....	93
5.7	Schluss .....	94
5.7.1	Ergebnisse .....	94
5.7.2	Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete .....	95

5.7.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	95
6	Schlussfolgerung und Ausblick.....	96
6.1	Reflexion .....	96
6.2	Schlussfolgerungen.....	98
6.3	Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete .....	99
7	Abbildungsverzeichnis.....	101
8	Tabellenverzeichnis.....	103
9	Stichwortverzeichnis.....	104
10	Abkürzungsverzeichnis .....	106
11	Bibliographie .....	107

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf das Supply Chain Management und untersucht die dynamischen und oft nicht intuitiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung hinsichtlich der Gesamtperformance von Supply Chain Prozessen. Angesichts der fortschreitenden Globalisierung und erhöhtem Wettbewerbsdruck aus Niedriglohnländern sowie den gestiegenen Serviceanforderungen der Kunden, gewinnt der Faktor Zeit weiterhin an Bedeutung in vielen Industriezweigen (Götze et al. 2000, Krüger und Steven 2000). Gerade was zeitbasierte Wettbewerbsstrategie (time based competition s. z. B. Askenazy et al. (2006)) betrifft, ist die Verringerung der Durchlaufzeit ein bedeutender Hebel, um diese umsetzen zu können. Die Durchlaufzeit ist seit mehr als 20 Jahren dafür bekannt, die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen als auch von ganzen Supply Chains in vielen Branchen zu verbessern (Suri 1998). Generell führen lange Durchlaufzeiten dazu, dass die Kundenzufriedenheit rückläufig ist und dadurch die Kundenbindung als auch der Marktanteil des Unternehmens leiden (Ittner und Larcker 1998). Gerade Industrieländer sind oft gezwungen, kundenspezifische Produkte schneller auf den Markt zu bringen, damit ein strategischer Vorteil gegenüber Wettbewerbern aus Niedriglohnländern erarbeitet werden kann (Suri 2010). Hier erweisen sich zeitbasierte Erfolgsfaktoren als ausschlaggebend, um die strategische Position zu halten bzw. auszubauen (Götze et al. 2000). Weiterhin führen lange Durchlaufzeiten auch dazu, dass die Supply Chain mit großen Mengen an unnützen Beständen gefüllt sind, was sich wiederum negativ auf der Kostenseite auswirkt (Hammel et al. 2002, Nahmias 2005).

Ungeachtet der Tatsache des großen Potenzials und der angedeuteten Vorteile der Durchlaufzeitverkürzung im Supply Chain Umfeld, schenken ihr immer noch viele Manager nicht die nötige Aufmerksamkeit (Suri 1998).

- Das liegt zum einem daran, dass die sich Durchlaufzeitverkürzung gegen Standardmanagementmethoden und Vergütungssysteme richtet, die eine Erhöhung der Ressourcenauslastung favorisieren. Allerdings wird hierbei der nicht intuitive und z. T. schwer nachvollziehbare Zusammenhang zwischen den funktionalen Abhängigkeiten von Durchlaufzeit, Kapazität und Variabilität vernachlässigt (Suri 1998).
- Zum anderen gibt es kein geeignetes Zeitbewertungsmodell, welches die Interrelationen und Wechselwirkungen der involvierten Effektivitäts- (z. B.

Kundenzufriedenheit) und Effizienzmessgrößen (z. B. Kosten) hinsichtlich der Gesamtperformance evaluiert (Götze et al. 2000, Maskell und Kennedy 2007).

Deshalb soll ein Bewertungsmodell entwickelt werden, das auf offenen Warteschlangen sowie System Dynamics (SD) Grundsätzen basiert und diese Zusammenhänge darstellen kann.

Nach Little (2004) gibt es bereits eine große Anzahl von Modellen im Bereich des Operations Management, die jedoch vom Management nicht bei der Entscheidungsstützung herangezogen werden. Deshalb liegt ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit in der Implementierbarkeit und Anwendung der Ergebnisse. Um das zu gewährleisten, muss zunächst auch der in der Theorie beschriebene nicht lineare Zusammenhang der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung empirisch untersucht werden, weil das Bewertungsmodell z. T. auf diesen Annahmen beruht.

## **1.2 Forschungsfragen und -ziele**

Ziel muss sein, die zeitlichen Aspekte in einem ganzheitlichen und nachhaltigen Bewertungsmodell im Bezug auf die Performance des kompletten Systems zu bewerten. Zusätzlich ist es wichtig, dass dieses Modell die bestehenden Interrelationen und Wechselwirkungen der involvierten Effektivitäts- und Effizienzkenngößen abbilden kann. Daraus ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Lässt sich der in der Theorie beschriebene nicht lineare Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung empirisch nachweisen?
2. Wie kann ein nachhaltiges Bewertungsmodell zur Evaluierung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren entwickelt werden, das die dynamischen Wechselwirkungen der betroffenen Effektivitäts- und Effizienzkenngößen berücksichtigt?
3. Wie lassen sich die Erkenntnisse des Bewertungsmodells auf reale Supply Chain Prozesse anwenden?

Die oben genannten Untersuchungen helfen, die komplexen Vernetzungen und Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung für Supply Chains im Generellen und für Unternehmen im Speziellen in einem dynamischen Umfeld zu schärfen. Weiterhin wird mit dem Bewertungsmodell ein Ansatz geliefert, wie Durchlaufzeitverkürzungsmethoden oder allgemein die Durchlaufzeit bezüglich der Gesamtperformance besser analysiert und

beurteilt werden kann. Insgesamt trägt die Arbeit zu einem besseren Verständnis der Zusammenhänge innerhalb der Supply Chain bei. Sie hilft, theoretische Lücken im Bereich des Operations Managements weiter zu schließen sowie Managern bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen.

### **1.3 Gang der Untersuchung**

Um die genannten Forschungsfragen zu beantworten und das Forschungsziel zu erreichen, ist die Arbeit wie folgt strukturiert:

Zunächst werden die theoretischen Grundlagen beschrieben und ein methodischer Ausblick gegeben, der den Forschungsansatz wiedergibt.

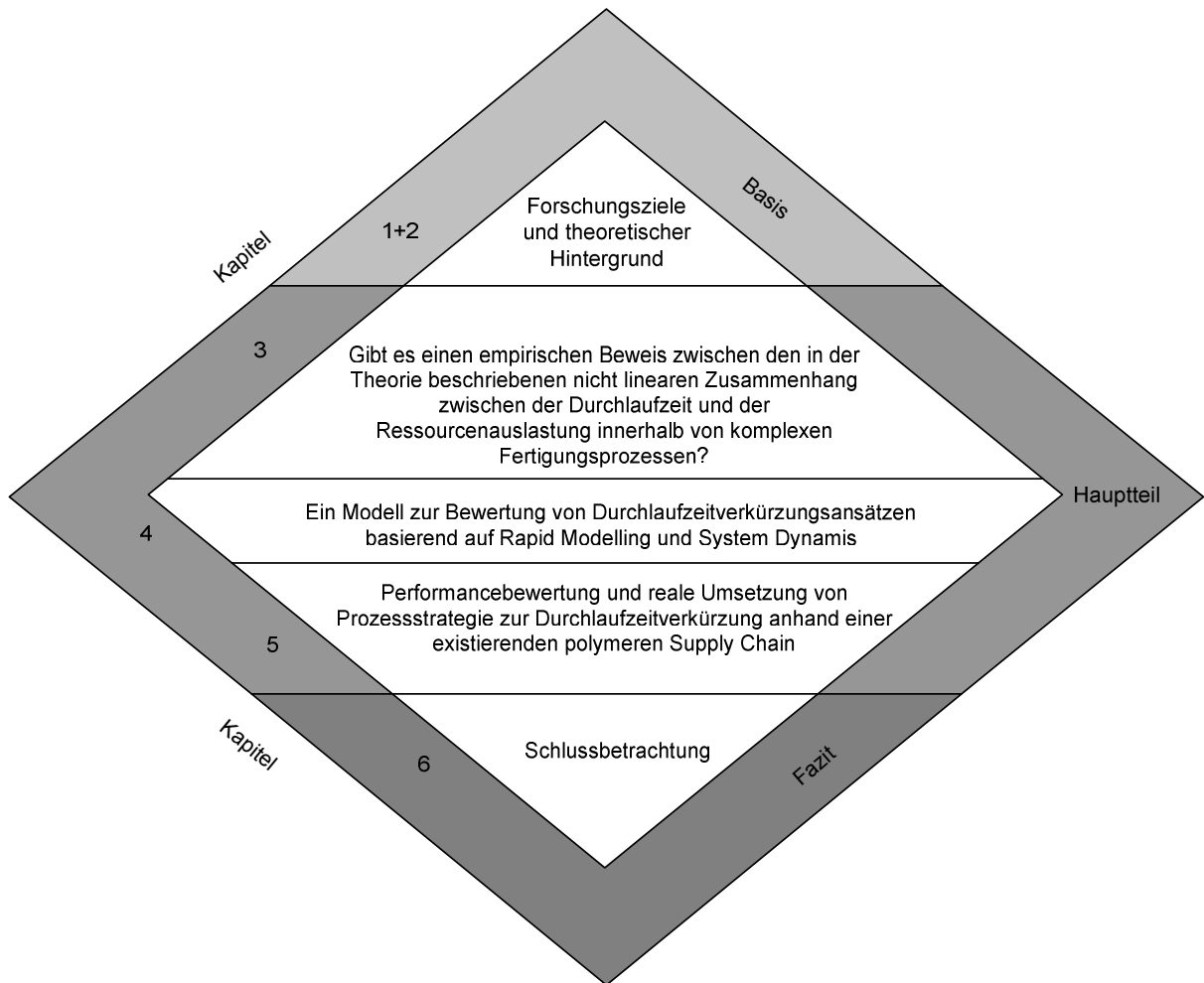
Anschließend untersucht das 3. Kapitel die Warteschlangentheorie empirisch, deren wichtigste theoretische Grundlage für das Produktionsmanagement der funktionale Zusammenhang von Ressourcenauslastung, Variabilität und Durchlaufzeit ist. Auch wenn es keinen Zweifel an der Richtigkeit von axiomatisch, quantitativer Forschung gibt, wurde das exponentielle Verhalten zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung bis jetzt nicht explizit auf Basis empirischer Daten komplexer Produktionssysteme untersucht. Vielfältige Gründe sind für diese Lücke zu sehen. So werden von Unternehmen z. B. implizierte Anstrengungen unternommen, um den Anstieg der Durchlaufzeit in Situationen mit hoher Ressourcenauslastung zu vermeiden. Besonders vor dem Hintergrund einer realen Umsetzung muss geprüft werden, inwieweit sich die theoretischen Grundlagen in der Praxis wiederfinden. Es wird ein weltweit führendes polymer verarbeitendes Unternehmen ausgewählt, damit der Forschungsfrage empirisch nachgegangen werden kann. Diese Industrie ist durch anspruchsvolle Kundenanforderungen gekennzeichnet. Im Speziellen äußert sich dies durch sehr kurze Lieferzeiten, einem großen Reaktionsvermögen auf neue Markttrends und einem hohen Maß an Qualität. Bei mehr als 19.000 verschiedenen Produkten wird über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren das Verhalten zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung untersucht.

Danach wird in Kapitel 4 ein nachhaltiges Supply Chain Bewertungsmodell unter besonderer Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren entwickelt. Dies ist nötig, weil die Maxime der Erhöhung der Ressourcenauslastung immer noch ein weitverbreitetes Ziel für viele Manager in der Herstellungsindustrie und der Servicebranche ist. Der Grund hierfür liegt in nicht geeigneten Leistungsbewertungs- sowie Anreizsysteme für Manager, die die dynamischen Zusammenhänge zwischen produktions-, kunden- und finanzorientierten Leistungsdimensionen vernachlässigen. Deshalb wird ein Bewertungsmodell kreiert, das die dynamischen Zusammenhänge berücksichtigt und es ermöglicht, verschiedene Durchlaufzeitverkürzungsansätze in ihrer Gesamtheit vor der Umsetzung bzw. generell zu

beurteilen. Den Kern des Bewertungsmodells bildet die Kombination aus Rapid Modelling und System Dynamics. Die nötigen empirischen Daten stammen von dem oben erwähnten, führenden Polymerverarbeiter. Dieser hat sich als idealer Untersuchungsgegenstand erwiesen, weil hier der Zusammenhang zwischen der Ressourcenauslastung und der Durchlaufzeit empirisch nachgewiesen werden konnte, eine umfassende Datenbasis vorliegt und zum anderen zeitbasierte Wettbewerbsfaktoren in dieser Branche immer wichtiger werden.

Mit Hilfe des Bewertungsmodells kann für eine Vielzahl von Situationen die Auswirkung der Durchlaufzeit auf die Gesamtperformance untersucht und beurteilt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich jetzt auf Supply Chain Prozesse anwenden (Kapitel 5). Mit Hilfe von Prozesssimulation werden organisationsübergreifende als auch organisationsinterne Leistungskenngrößen gemessen, um strategische/taktische Verbesserungsansätze einer spezifischen Supply Chain zu bewerten. Das angepasste Bewertungsmodell wird anhand des Polymerverarbeiters illustriert. Dessen Supply Chain ist durch ein agiles Umfeld gekennzeichnet, das heißt, dass die Supply Chain Partner in der Lage sein müssen, sich auf eine schwankende Nachfrage einzustellen, ohne dabei das Kundenservicelevel aufs Spiel zu setzen, weil es der market winner ist. Im Anschluss erfolgt die reale Umsetzung des Szenarios mit den besten Resultaten gemäß dem Simulationsmodell.

Zum Abschluss werden in Kapitel 6 die Ergebnisse der Einzelkapitel im Überblick wiedergegeben und ein Fazit sowie Nutzen der Arbeit gezogen. Zusätzlich zeigt dieses Kapitel einen Ausblick über weitere mögliche Forschungsarbeiten auf.



**Abbildung 1: Gang der Untersuchung**

## **2 Theoretischer Hintergrund**

Aktuell fühlen sich viele Unternehmen aufgefordert, Möglichkeiten der Prozessoptimierung auf allen Unternehmensebenen ausfindig zu machen und entsprechende Tätigkeiten abzuleiten. Dies ist aufgrund wirtschaftlicher Entwicklungen (z. B. verkürzte Produktlebenszyklen (Reiner et al. 2009) sowie gesteigener Kundenanforderungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit der Bestell- und Auftragsabwicklung, Qualität und Preis als auch einem wachsenden Wettbewerbsdruck im Zuge der Globalisierung (Reiner et al. 2008) zurückzuführen (Krüger und Steven 2000). Ein wichtiger Schritt diesem Ziel näher zu kommen, ist die Anpassung der Supply Chain Prozesse (Kaihara 2001), z. B. von der Rohmaterialbereitstellung bis zur Auslieferung des fertigen Produkts (Villa 2001).

Eine der wichtigsten Evolutionen der modernen Unternehmensführung ist, dass Firmen nicht mehr als autonome Entitäten agieren, sondern als Netzwerk von Partnern. Diese Partnerschaften, die traditionell aus Lieferant, Hersteller, Handel und Kunden bestehen, sind ein Netzwerk aus Beziehungen und unter dem Begriff Supply Chain bekannt (Bothe und Nissen 2003). Im generellen generiert eine Supply Chain Produkte, Serviceleistungen und Informationen, die für den Kunden und alle Beteiligten einen Wert erzeugen (Soroor et al. 2009).

Christopher und Towill (2000) betonen ebenso die Bedeutung der Supply Chain, indem sie feststellen, dass viel mehr die Supply Chains respektive Supply Chain Allianzen (Gattorna 2006) miteinander im Wettbewerb stehen, als die Firmen selbst. Diese Aussage wird durch Gattorna (2006) bestätigt, indem er die Meinung vertritt, dass sich Supply Chains nicht mehr rein aus Verfahrenstechniken, Lagerplätzen, Logistikcentern, LKWs und Werken definieren lassen. Vielmehr beinhalten moderne und auf die Marktbedürfnisse ausgerichtete Supply Chains zusätzlich alle Prozesse, Funktionen, Aktivitäten, Informationen und Wege, die bei der Verarbeitung sowie des Vertriebs von Produkten und Dienstleistungen als auch bei der Sicherstellung des Informationsaustausch und der Finanzgeschäften innerhalb eines Unternehmens und zwischen den Supply Chain Partnern auftreten.

Damit eng verbunden ist das Supply Chain Management (SCM), welches eines der weitverbreitetsten Konzepte im Bereich der Unternehmenstheorie und –praxis ist (Reiner und Schodl 2002). Der Begriff wurde zum ersten Mal Anfang der 80iger Jahre von Unternehmensberatern verwendet (Oliver und Webber 1992), wobei er noch nicht genauer definiert wurde (Lambert et al. 1998). Viele Themengebiete wie Logistik und

Transportmanagement, Operations Management, Materialmanagement, Absatzmanagement und Informationstechnologie (Giunipero et al. 2008) haben einen Beitrag zum SCM geleistet, weshalb sich ein heterogenes Umfeld ergibt (Burgess et al. 2006). Nach Chopra und Meindl (2009) beschreibt es, das adäquate Verwalten von Supply Chain Produkten, Informationen und Finanzen, sodass die Supply Chain Wettbewerbsfähigkeit und Profitabilität gesteigert werden kann.

Im Einklang dazu steht die Definition von Christopher (1998), der Supply Chain Management als die Verwaltung von vor- und nachgelagerten Beziehungen mit Lieferanten und Kunden ansieht, um einen gesteigerten Kundenwert bei gleichzeitig geringeren Kosten für die Supply Chain als Ganzes zu erzeugen. Mentzer et al. (2001) heben vor allem die langfristigen und damit nachhaltigen Verbesserungspotentiale durch das Supply Chain Management hervor. Insgesamt gewinnt das Supply Chain Management so immer mehr an strategischer Bedeutung (Croom et al. 2000).

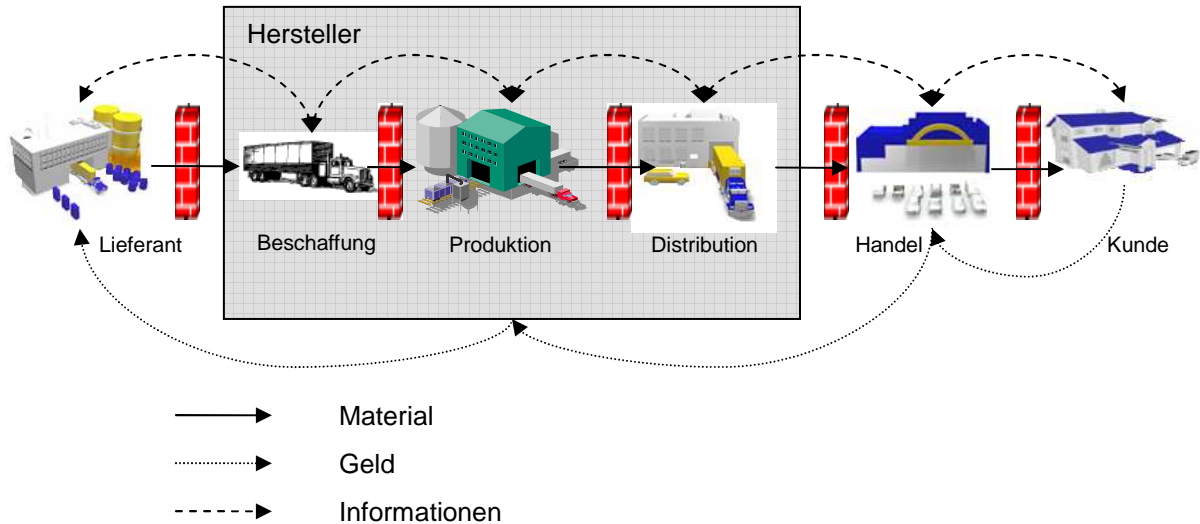
Ein Beispiel für die Wichtigkeit der Ausrichtung der Supply Chain Aktivitäten auf die Kundenbedürfnisse kann bereits zu Beginn der 20iger Jahre gefunden werden. In den Anfängen der Automobilen Revolution konnte Henry Ford, der Pionier der Fließbandproduktion, den Kundenwunsch nach bezahlbaren Autos als erster befriedigen, weshalb sein Unternehmen eine marktdominierte Stellung in den USA innerhalb der Autobranche einnahm (Stalk und Hout 1990). Die Kunden konnten bei dem einzigen Modell „Thin Lizzy“ oder einfach nur „T Modell“ zwischen allen Farben wählen, solange es schwarz war. Durch dieses Vorgehen konnten aufgrund der Variantenreduktion und des standardisierten Produktionsprozesses die Kosten soweit reduziert werden, dass das Modell für eine breitere Bevölkerungsschicht erschwinglich wurde. Weiterhin war die schwarze Farbe nicht ohne Grund gewählt worden. Sie war im Vergleich zu anderen kostengünstiger und trocknete wesentlich schneller, wodurch der Produktionsprozess weiter beschleunigt werden konnte (Stalk und Hout 1990). Dies half, die internen Lagerkosten zu senken und Autos noch zeitnäher auf den Markt zu bringen. Mit zunehmenden Wohlstand der Menschen und dem Bedürfnis nach weiteren Differenzierungs- und Ausstattungsmerkmalen veränderten sich die Kundenbedürfnisse. General Motors (GM) war der erste Autohersteller, der diesen Trend erkannte und bot Autos in verschiedenen Ausstattungsvarianten z. B. verschiedenen Farben an (Hopp und Spearman 2007). Damit wurde zwar die Komplexität der Fertigung erhöht, weshalb nicht so effizient wie bei Ford produziert werden konnte. Jedoch akzeptierten die Kunden den höheren Kaufpreis, weil Autos von GM ihren Wünschen und Erwartungen am ehesten entsprachen. GM steigerte die Umsätze soweit, dass die erhöhten Produktionskosten ohne weiteres gedeckt werden konnten (Hopp und Spearman 2007). Ford hingegen hat diesen Trend verschlafen und die Supply Chain nicht weiterhin

konsequent an den Kundenbedürfnissen ausgerichtet. Ihr oberstes Ziel war es weiterhin, durch ein variantenreduziertes Angebot die Produktionskosten möglichst gering zu halten. Dieses Vorgehen ermöglichte es GM, in den 30igern immer mehr Marktanteile von Ford zu gewinnen (Hopp und Spearman 2007) (s. auch Studie über die Entwicklung der Marktanteile der Autohersteller in den USA, die von Automotive Data Center & R.L. Polk durchgeführt wurde). GM stieg damit zum größten Automobilhersteller der Welt auf und gab diesen Titel nach eigenen Angaben über 70 Jahre nicht ab, bevor sie es selbst verschliefen, den Kundenbedürfnissen nach verbrauchseffizienteren Fahrzeugen nachzukommen. Dieses Beispiel unterstreicht die Forderung von Christopher (1998), Supply Chain Kosten und einen gestiegenen Kundenwert in Einklang zu bringen.

Mit anderen Worten soll durch das SCM das bestmögliche Service- und Qualitätsniveau zu den niedrigsten Kosten erreicht werden, um einen Wettbewerbsvorteil zu erzielen. Bei der Umsetzung dieser Aufgaben ergeben sich branchenübergreifend immer wieder die gleichen Probleme (Bothe und Nissen 2003):

- Behinderung des Wachstums durch hohe Bestände, die das Kapital binden,
- trotz hoher Bestände oft keine zufriedenstellende Verfügbarkeit,
- unübersichtliche Lieferbeziehungen,
- fehlende Abstimmung zwischen Produktion und Vertrieb,
- schlechter bis gar kein Automatisierungsgrad der Planung

Die aufgezählten Probleme entstehen größten Teils aus der funktionsgeprägten Sichtweise der meisten Abteilungen, Unternehmen bzw. Supply Chains. Deshalb werden nur einzelne Teilbereiche optimiert, ohne jedoch das Ganze zu betrachten (s. Abbildung 2) (Bothe und Nissen 2003).



**Abbildung 2: Schaffung von Mauern durch funktionsorientiertes Denken (angelehnt an Bothe und Nissen (2003))**

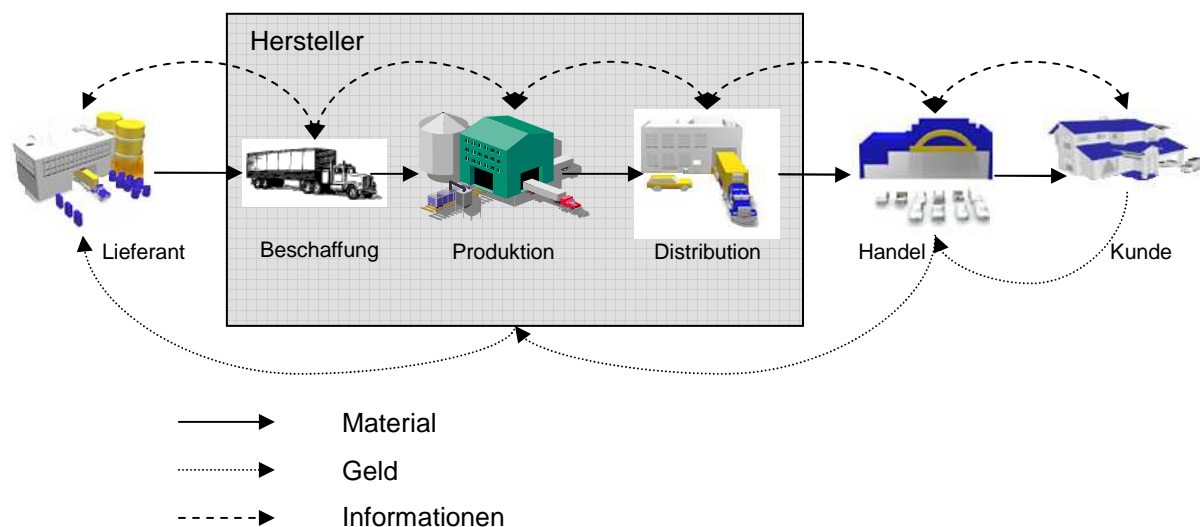
Diese Denkweise führte zu einem großen Problem: dem sog. Bullwhip-Effekt (Lee et al. 1997b, Lee et al. 1997a, Lee und Padmanabhan 2004, Lee et al. 2004). Der Begriff Bullwhip-Effekt beschreibt die Erhöhung der Nachfragevariabilität stromaufwärts in mehrstufigen Supply Chains. Obwohl beispielsweise die Variabilität der Nachfrage des Kunden gering ist, erhöht sich die Variabilität der Nachfrage. Diese verstärkt sich, je weiter man sich am Anfang (stromaufwärts) in der Supply Chain befindet. Der Bullwhip Effekt  $\omega$  berechnet sich für eine beliebige Supply Chain Stufe aus dem Quotienten des Variationskoeffizienten der Bestellungen  $d_{out}$ , der von dieser Supply Chain Stufe ausgeht und den eintreffenden Bestellungen einer vorgelagerten Supply Chain Stufe  $d_{in}$  (Fransoo und Wouters 2000, Kim et al. 2006).

$$\omega = \frac{d_{out}}{d_{in}} \quad (1)$$

Dejonckheere et al. (2003) haben mit Hilfe von empirischen Daten in einer klassischen zweistufigen Supply Chain gezeigt, dass der Variationskoeffizient von Produktionsaufträgen gegenüber dem Variationskoeffizient des Absatzes rund vier bis 20-mal größer ist. Weitere empirische Studien über den Bullwhip Effekt können beispielsweise in Cachon et al. (2007) oder Lee und Whang (2006) nachgelesen werden. Nach Lee et al. (2004) gibt es hierfür vier Gründe. (1) Kleine Abweichungen der Nachfrage des Kunden gegenüber dem Forecast führen zu einer Anpassung der zukünftigen Nachfrage und der Sicherheitsbestände. Aufgrund von langen Durchlaufzeiten ist es nicht unüblich, dass Sicherheitsbestände für mehrere Wochen vorhanden sind. Daher kann die Fluktuation der Bestellmenge über die Zeit

gesehen größer sein als die der Nachfrage. (2) Die Bildungen von Bestelllosgrößen, um z. B. Preisvorteile zu erzielen. (3) Preisschwankungen, die zu einem unregelmäßigen Nachfrageverhalten führen. (4) Antizipierte Minderbelieferung aufgrund von Minderbelieferungen in der Vergangenheit, was zu einer erhöhten, dem Markt nicht entsprechenden, Nachfrage führt.

Deshalb geht es beim Supply Chain Management um eine systemweite Optimierung und nicht um die Verbesserung von schmaler gefassten Interessen der Einzelpartner (Christopher 1998), da die lokale Verbesserung einzelner Bereiche zu Lasten anderer und damit der gesamten Supply Chain führen kann (Cachon und Terwiesch 2009).



**Abbildung 3: Firmenübergreifender Zusammenschluss der Supply Chain (angelehnt an Bothe und Nissen (2003))**

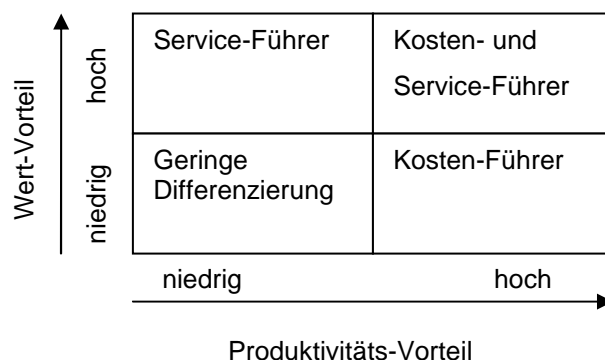
Die zwei nachfolgenden Beispiele zeigen das Potential einer perfekt auf die Marktbedürfnisse ausgerichteten Supply Chain.

ZARA (Ghemawat und Nueno 2003, Ferdows et al. 2004, McAfee et al. 2004), der größte Bekleidungshersteller der Welt (Misonzlmik 2008), hielt gegen den Trend der Kleidungsbranche die Produktion, mit einem niedrigen Maschinenauslastungsgrad, im vergleichsweise teuren Spanien. Darüber hinaus verpackt und transportiert die Firma die Kleidung händlerfreundlich (z. T. bereits auf Kleiderbügel aufgehängt) und ist im ständigen Informationsaustausch mit diesen. Die Anpassungen des Supply Chain Designs führten dazu, dass die Kleidung sehr schnell designed, produziert und ausgeliefert werden kann. Hierdurch ist ZARA im Gegensatz zur Konkurrenz, die sich entschlossen haben, die Produktion in ein Niedriglohnland auszulagern, imstande, auf die Marktbedürfnisse schneller zu reagieren (Hammond und Raman 1996) und dadurch Kundenbedürfnisse besser zu

befriedigen. Wettbewerber mit langen Lieferzeiten müssen sich auf ungenaue Forecasts bei der Produktion verlassen und sind daher gezwungen, die Lagerüberbestände am Ende einer Saison im Schlussverkauf sehr billig zu verkaufen. Der Wettbewerbsvorteil ZARAs ist in einer den Marktbedürfnissen optimal angepassten Supply Chain zu sehen. Sie sind in der Lage Angebot und Nachfrage durch die Verkürzung der Durchlaufzeit sowie der erhöhten Transparenz in Einklang zu bringen, wodurch sie Kundenbedürfnisse in einem Umfeld von Unsicherheiten bestens bedienen können.

Billington et al. (2004) analysierten wie Hewlett-Packard gegen den Trend der Branche den Überseetransport für Druckerzubehör von Luft- auf Seefracht umstellte. Um die Kundenzufriedenheit und den gewohnten Service weiterhin aufrecht zu erhalten, musste aufgrund der längeren Lieferzeiten die Lagergröße der Logistikcentren nach oben korrigiert werden. Insgesamt konnte aber durch diese Maßnahmen 80 Millionen US Dollar eingespart werden.

Die genannten Beispiele verdeutlichen zum einem die Wichtigkeit der Betrachtung der kompletten Supply Chain, um Verbesserungen in der Gesamtheit zu erzielen und zum anderen, dass eine Bewertung der Supply Chain immer spezifisch sein muss (Reiner und Trcka 2004). In beiden Fällen musste ein Teil der Supply Chain Partner Verschlechterungen hinnehmen (ZARA: z. B. höhere Produktionskosten aufgrund der geringen Maschinenauslastung; Hewlett-Packard: erhöhte Lagerkosten im Logistikcenter), um übergeordnete Kosteneinsparungen oder gar strategische Vorteile zu erreichen (Cachon und Terwiesch 2009). Darüber hinaus zeigen diese Beispiele auch, dass die Supply Chain gerade in gesättigten Märkten ein wichtiger strategischer Erfolgs- und Differenzierungsfaktor ist. Eine optimale Abstimmung der Supply Chain ermöglicht es Unternehmen die Service- und/oder Kostenführerschaft gegenüber den Wettbewerbern zu übernehmen (s. Abbildung 4) (Bothe und Nissen 2003).



**Abbildung 4: Logistische Möglichkeiten der Differenzierung (Quelle: Bothe und Nissen (2003))**

Ausgehend von der Bedeutung des Supply Chain Managements, wird in den nächsten Abschnitten zunächst kurz auf gängige Supply Chain Modelle eingegangen, die einen weltweiten Standard definieren sollen. Dennoch ergeben sich in einem komplexen und ungewissen Umfeld immer wieder Probleme hinsichtlich der Entscheidungsfindung im Supply Chain Management. Dynamische und nicht intuitive Wechselwirkungen erschweren zusätzlich die richtigen Entscheidungen zu treffen und Handlungen abzuleiten. Eine besondere Schlüsselrolle nimmt hier das Thema Durchlaufzeitverkürzung innerhalb der Supply Chain ein. Deshalb wird in den darauffolgenden Abschnitt auf die Bedeutung, Komplexität und Wechselwirkungen der Durchlaufzeit eingegangen. Dieses Kapitel endet mit einer detaillierten Erläuterung des Forschungsansatzes, der aufzeigt, wie und mit welcher Methodik die Forschungsfragen beantwortet werden.

## **2.1 Das SCOR-Modell**

Es gibt in der Literatur eine Vielzahl von taktischen und strategischen Supply Chain Optimierungsmethoden und –ansätzen (Chandra und Kumar 2000, Mentzer et al. 2001), um die oben beschriebenen Anforderungen zu erfüllen. Jedoch werden nur die wenigsten effizient gemanagt (Hofmann und Reiner 2006). Darüber hinaus wächst das Bedürfnis nach koordinierten Aktivitäten, um die verschiedenen Operationen zu integrieren und die globalen als auch lokalen Ziele zu erreichen (Soroor et al. 2009). Um dieser Entwicklung standhalten zu können, müssen marktgetriebene Unternehmen neue Supply Chain Strategien in einem dynamischen Umfeld von Nachfrageschwankungen und –unsicherheiten besser umsetzen.

Hierzu hat das Supply Chain Council (SSC) das Supply-Chain-Operations-Referenzmodell (SCOR) entwickelt. Die Organisation besteht aus mehreren Firmen unterschiedlichster Branchen und Industrien. Ziel der nicht gewinnorientierten Organisation ist es, durch die Weiterentwicklung und Verbreitung ihres SCOR-Modells einen Industriestandard zu etablieren (Bartsch und Bickenbach 2001) und damit Prozesse innerhalb der Supply Chain zu standardisieren (Werner 2010). Bei der Entwicklung des SCOR-Modells lag das Hauptaugenmerk auf den folgenden Aspekten (Supply Chain Council 2009):

- Standardbeschreibung von Managementprozessen
- Definition von Beziehungen zwischen Standardprozessen
- Standardmethoden (Kennzahlen) zur Messung der Prozessperformance
- Beschreibung von Best-in-Class-Prozessen
- Standardbeschreibung von Features und Funktionalitäten

Das SCOR-Modell weist einen hierarchischen Aufbau auf. Basis für die Modellierung ist eine Supply Chain, in der der Fluss von Material, Produkten, Informationen und finanziellen Mitteln beschrieben wird. Mit Hilfe des SCOR-Modells sollen auf der größten Ebene alle Produktions- und Logistiknetze durch fünf grundlegende Basisprozesse bzw. Hauptprozesse beschrieben werden (Kuhn und Hellingrath 2002):

- Planen
- Beschaffen
- Herstellen
- Liefern
- Rücksendung von defekten oder überschüssigen Material

Zusätzlich werden auf den feineren Ebenen die Input-Output-Beziehungen der einzelnen Prozesselemente beschrieben und die Prozesskennzahlen definiert (Bartsch und Bickenbach 2001).

## **2.2 Best Value Supply Chains**

Best Value Supply Chains (Ketchen und Hult 2007) implementieren das SCOR oder ähnliche Modell, damit das Management schnell und zielgerichtet über Abweichungen relevanter Performancemessgrößen unterrichtet werden kann (Ketchen et al. 2008). Gemäß Lee (2004) sind diese Supply Chains nicht nur schnell und kosteneffizient, sondern integrieren zusätzlich die drei A's um Wettbewerbsvorteile zu erzielen und die Gesamtperformance zu steigern:

- Agile
- Adaptable
- aligned

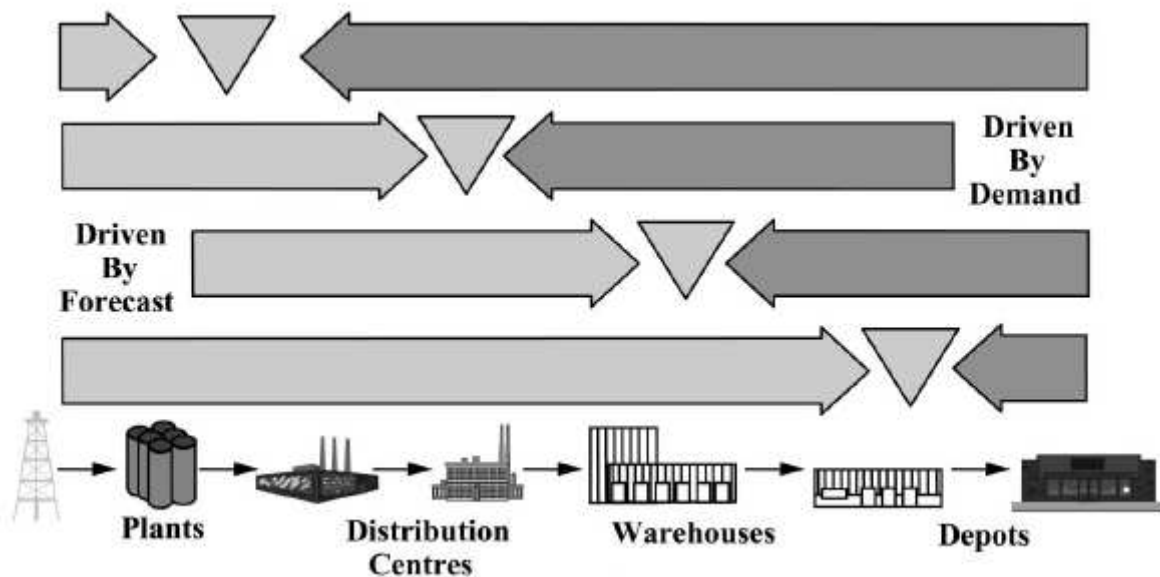
### **2.2.1 Adaptable und Agile**

Ein wichtiger Schritt bei der Definition der Supply Chain ist die Bestimmung der Market Qualifiers und Market Winners (Naylor et al. 1999, Christopher und Towill 2000, Mason-Jones et al. 2000).

Die Qualifiers sind die Grundvoraussetzungen, um in einen Markt einzutreten, wohingegen die Winners definieren, weshalb ein Kundenauftrag gewonnen wird. Diese Klassifizierung ist bei der Bestimmung der Produktions- als auch übergeordneten Supply Chain Strategie essentiell.

Am CODP (Customer Order Decoupling Point) treffen zwei logistische Steuerkreise aufeinander. Zum einen die kundenanonyme Vorratsproduktion, meist in Serie gefertigte Standardkomponenten (PUSH), zum anderen die durch Kundenauftrag oder sonstige Bedarfssignale ausgelöste Auftragsfertigung (PULL). Physisch stellt sich der Decoupling Point in der Supply Chain als letztes Lager dar, in dem Komponenten noch ohne Auftragsbezug bevorratet werden (Mason-Jones und Towill 1999). Je weiter der CODP in der Supply Chain zurückgesetzt ist, desto weniger stimmen die Entnahmen aus den Lägern mit den echten Nachfragen am Verkaufspunkt überein. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten Supply Chains die realen Kundenbedarfe nicht sehen, tendieren sie forecast- und nicht absatzgesteuert zu sein (Christopher und Towill 2000), was auch zum sog. Bullwhip Effekt führt (s. Kapitel 2).

Die Herausforderung für das Supply Chain Management besteht in der Installation einer leanen und funktionalen Supply Chain bis zum CODP und einer agilen und kundenorientierten Supply Chain nach diesem Punkt (Christopher und Towill 2000, Stratton und Warburton 2003).



**Abbildung 5: Customer Order Decoupling Point und strategische Läger (Quelle: Christopher und Towill (2000))**

Das Ziel dieser Hybriden Supply Chain, auch oft als leagile bezeichnet (Naylor et al. 1999), besteht in der Nutzung der Vorteile, die beide Supply Chain Typen (lean und agile) bieten (Christopher und Towill 2000).

Das Problem bei der Verschiebung des CODPs ist oft, dass Entscheidungen nicht zentral für die komplette Supply Chain getroffen werden, sondern von den involvierten gleichberechtigten Partnern des Netzwerks (Reiner 2005a). Daraus kann resultieren, dass der CODP nicht verschoben wird. In diesem Fall bleibt nur die Verkürzung der Durchlaufzeit,

um den gleichen Effekt zu erzielen und die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern (Olhager 2003).

Es sei noch angemerkt, dass der CODP nicht mit dem Point of Differentiation (PoD) zu verwechseln ist (Meyer 2003, Cheng et al. 2010). Dieser Punkt definiert die Stelle im Prozess, bei der ein generisches Produkt an die Kundenbedürfnisse angepasst wird. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass der CODP und der PoD den gleichen Punkt im Prozess beschreiben, wie das Hewlett-Packard Druckerbeispiel zeigt (Feitzinger und Lee 1997).

### 2.2.2 Aligned

Die vielen Partner einer Supply Chain machen eine Kollaboration nötig (Soroor et al. 2009). Holweg et al. (2005) unterscheiden vier Supply Chain Typen hinsichtlich Planungs- und Lagermanagementkollaboration (s. Abbildung 6).

<b>Planning Collaboration</b>	<b>Yes</b>	<b>Type 1</b> Information Exchange	<b>Type 3</b> Synchronized Supply
	<b>No</b>	<b>Type 0</b> Traditional Supply Chain	<b>Type 2</b> Vendor Managed Replenishment
		<b>No</b>	<b>Yes</b>
<b>Inventory Collaboration</b>			

**Abbildung 6: Supply Chain Typen gemäß der Art der Kollaboration (Quelle: Holweg et al. (2005))**

Die einzige Information, die an einer Station (z. B. Werk) in einer Typ 0 Supply Chain (traditionelle Supply Chain) vorliegt, ist der Bestelleingang des darüber liegenden Supply Chain Partners (z. B. Logistik Center). Typ 1 Supply Chains (Informationsaustausch) teilen Absatzinformationen und Aktionspläne, um ihre Kapazitäten den Vorschauzahlen anzupassen und mittelfristiges Planen zu ermöglichen. Hierdurch ist die Nachfrage vorhersehbarer und insgesamt werden Informationen transparenter. In Typ 2 Supply Chains (Vendor Managed Inventory) ist die vorgelagerte Supply Chain Stufe für das Lagerbestandsmanagement der nachfolgenden Stufe verantwortlich. Hierdurch ist die Entscheidungsfindung zentralisierter, jedoch werden Informationen des Kunden nicht genutzt, um die eigenen Produktions- und Lagerprozesse zu unterstützen. Typ 3 Supply Chains (Synchronized Supply) verbinden die Vorteile aus Typ 1 und 2 Supply Chains. Bestellentscheidungen sind zentralisiert und mit der Disposition als auch Produktionsplanung

abgestimmt. Somit entstehen geringere Lagerhaltungskosten bei einer gleichzeitig erhöhten Reaktionsgeschwindigkeit der Supply Chain. Das kann auch gut in dem Simulationsspiel von Holweg und Bicheno (2002) nachvollzogen werden, das eine Erweiterung des klassischen Beer Games ist (s. auch Abschnitt 2.3). Nichtsdestotrotz reduzieren lange Durchlaufzeiten die genannten Vorteile von Typ 3 Supply Chains enorm bzw. machen diese zunichte (Holweg et al. 2005).

### **2.3 Entscheidungsfindung in einem komplexen und ungewissen Umfeld**

Während die Supply Chain Management Ziele noch eingängig und nachvollziehbar sind, ist der Entscheidungsprozess selbst, um die Supply Chain auf eine effiziente Art und Weise zu designen, planen, und auszuführen, ungleich schwieriger. Entscheidungsträgern liegen oft nicht alle benötigten Informationen vor, sodass die Auswirkungen der Handlung auf das Supply Chain Verhalten und dessen Umgebung nicht abgeschätzt werden können oder keine geeigneten Kontrollmechanismen vorliegen (Van der Vorst und Beulens 2002). Darüber hinaus werden Entscheidungen auch nicht wie gefordert zentral getroffen, weil das Netzwerk aus individuellen gleichberechtigten Partnern besteht. Das hat zur Folge, dass Tätigkeiten nicht immer für das komplette Netzwerk von Vorteil sind. Deshalb besteht eine der grundlegenden Aufgaben des Supply Chain Managements im Verstehen der komplexen und dynamischen Beziehungen. Die resultierenden Verknüpfungen implizieren schwer und nicht immer intuitiv zu verstehende Ursachen- Wirkungsbeziehungen. Bemühungen, ein Problem zu lösen, werden oft durch nicht vorgesehene Reaktionen der Partner oder durch Systemhemmnisse zunichte gemacht (Meadows 1982). Die Gründe sind darin zu sehen, dass es fast unmöglich ist in einem dynamischen System Handlungen durchzuführen, ohne dabei ungewollte Seiteneffekte hervorzurufen. Somit hängt die Komplexität des Systemverhaltens nicht von der Komplexität der einzelnen Komponenten, als vielmehr von der Komplexität der Beziehungen der Komponenten ab (Sterman 2000). Als Beispiel kann die künstliche Nachfragevarianzverstärkung stromaufwärts der Supply Chain, auch bekannt als Bullwhip Effekt (s. Kapitel 2), herangezogen werden. Dieses Phänomen wurde zum ersten Mal von Forrester (1958) in seiner wegweisenden Arbeit über die industrielle Dynamik beschrieben. Er hob hervor wie unter anderem rationale Lagerbestandsentscheidungen der nachfolgenden Partner zu unerwünschten Nebenwirkungen, nämlich der Nachfragevarianzverstärkung, entlang der gesamten Supply Chain führen. Dieses Verhalten entspricht nicht dem gängigen Verständnis eines Lagerbestands. So gibt es Lagerbestandsmanagementmethoden, die eine Verstärkung der Nachfragevarianz nach sich ziehen, wenn ihr einziges Ziel in der Absorption von Nachfrageschwankung liegt (Baganha und Cohen 1998). Dieses dynamische Verhalten kann durch eine Reihe von Business

Games wie z. B. dem Beer Game nachvollzogen werden (Sterman 1984, Sterman 1989). Eine übergreifende Einsicht in dynamischen Beziehungen innerhalb der Supply Chain gibt z. B. Sterman (2000).

Die dynamischen und komplexen Zusammenhänge innerhalb der Supply Chain führen dazu, dass Unternehmen oft im Ungewissen hinsichtlich der Wirkung des eigenen Tuns bzw. der Reaktion der Partner sind. Dieser Effekt verstärkt sich umso mehr, je komplizierter die Verknüpfungen sind, weil kleinste Störeinflüsse große Auswirkungen auf das Systemverhalten haben (Gribble 2001). Unsicherheiten sind ein Problem für die Verwaltung und Steuerung von Prozessnetzwerken (Davis 1993). Daher besteht das Interesse, Supply Chain Unsicherheiten zu identifizieren, um die Supply Chain Performance zu verbessern.

Lee (2002) analysiert die Supply Chain gemäß verschiedener Nachfrage- und Lieferunsicherheiten: Agile Supply Chains (hohe Nachfrage- und Lieferunsicherheiten), Responsiv Supply Chains (geringe Lieferunsicherheit und hohe Nachfrageunsicherheit), Risk-Heeding Supply Chains (hohe Lieferunsicherheit und geringe Nachfrageunsicherheit) und Efficient (oder ein gebräuchlicher Begriff wäre Lean) Supply Chains (geringe Liefer- und Nachfrageunsicherheit). Davis (1993) geht einen Schritt weiter und klassifiziert hinsichtlich der Supply Chain Unsicherheiten neben der Nachfrage- und Lieferunsicherheit noch die Produktionsunsicherheit. Die Nachfrageunsicherheit basiert auf einem inakkuraten Absatzplan. Verspätete oder mangelhafte Lieferungen des Lieferanten erzeugen eine Lieferunsicherheit. Eine Produktionsunsicherheit entsteht wegen unvorhersehbarer Betriebsstörungen wie z. B. Maschinenausfälle.

Es gibt eine Vielzahl von Methoden, die Unsicherheiten reduzieren können, wie z. B. die Erhöhung der Transparenz im Netzwerk oder die Verkürzung der Durchlaufzeit. Nach Landeghem und Vanmaele (2002) ist es jedoch nicht möglich, Unsicherheiten komplett zu vermeiden. Deshalb kommt der Kategorisierung gemäß Davis (1993) und Lee (2002) eine hohe Bedeutung zu, damit anhand der Unsicherheiten die richtige Supply Chain Strategie abgeleitet wird. Dies führt dazu, dass ein Unternehmen im vorherrschenden Umfeld besser operieren kann, ohne dabei Unsicherheiten falsch zu interpretieren, wodurch die Supply Chain Performance leidet (Hopp und Spearman 2007), weil es zu z. B. Überbeständen bzw. Stock Outs kommen kann (Lee und Wolfe 2003).

## **2.4 Bedeutung der Durchlaufzeit**

Neben Kosten und Qualität wird Zeit ein immer wichtigerer Erfolgsfaktor für Unternehmen (Stalk 1988, Götze et al. 2000). Kurze Durchlaufzeiten sind essentiell, um die Kundenzufriedenheit aufrechtzuerhalten und keine Kunden an andere Unternehmen zu

verlieren (Suri 2010). Gerade in gesättigten Märkten gewinnt die Kundenorientierung eine immer stärkere Bedeutung, damit Wettbewerbsvorteile erzielt werden können. Deshalb kommen zeitlichen Komponenten des Kundennutzens wie z. B. Liefer- oder Servicezeiten bei Konsum-, Gebrauchs- und Investitionsgütern eine größere Bedeutung zu (Götze et al. 2000). Zusätzlich müssen etablierte Unternehmen maßgeschneiderte Produkte schneller anbieten, damit sie mit Wettbewerbern aus Niedriglohnländern konkurrieren können (Suri 2010). Zeitbasierte Leistungskriterien sind in diesen Fällen der ausschlaggebende Faktor, um sich strategisch gegenüber der Konkurrenz zu positionieren. Götze et al. (2000) fasst diese Art der zeitbasierten Wettbewerbsstrategie mit einem Zitat aus Bitzer (1991) folgendermaßen zusammen: „Sie umfassen die bewusste Gestaltung der zeitlichen Dimension von Wertschöpfungsprozessen und intendieren den Aufbau von Fähigkeiten, die der Unternehmung erlauben, Neuprodukte im Vergleich schneller zu entwickeln und auf den Markt einzuführen, sowie Produkte und Dienstleistungen den Kunden in kürzester Zeit bereitzustellen – oder ganz allgemein, einen sich auftuenden Marktbedarf möglichst schnell durch ein entsprechendes Marktangebot zu befriedigen.“ Hierbei liegt der Fokus analog dem des Supply Chain Managements auf der Verringerung der Zeitdauer des kompletten Prozesses und nicht nur einzelner Teilbereiche. Insgesamt rücken somit zeitbasierte Kundenbedürfnisse (Pünktlichkeit, Zeiteinsparung, Aktualität, etc.) verstärkt in den Vordergrund, um Wettbewerbsvorteile durch die Erhöhung des Kundennutzens zu sichern und auszubauen (Götze et al. 2000).

Aufgrund des fortschreitenden globalen Wettbewerbsdruck, kürzer werdenden Technologiesprüngen und den bereits erwähnten gestiegenen Kundenanforderungen wird die Bewältigung der Supply Chain zu einer immer größeren Herausforderung. Zudem müssen viele Industrien eine große Anzahl kundenspezifischer Produkte zu einem angemessenen Preis bei gleichzeitig kurzen Lieferzeiten anbieten (Stevenson und Spring 2007). Um das bewältigen zu können outsourcen Firmen weiterhin Teilgebiete (Herrmann et al. 2008), damit sie sich auf die Kernkompetenzen konzentrieren können (Prahalad und Hamel 1990). Das daraus resultierende Netzwerk führt dazu, dass pünktliche Lieferungen (z. B. just in time (Zandin und Maynard 2001, Hampson 2006)) bzw. generell kürzere Durchlaufzeiten immer wichtiger werden.

Neben den Kundenvorteilen der Durchlaufzeitverkürzung, sind auch Kosteneinsparungen zu nennen. Anhand der klassischen Formel zur Berechnung des Lagersicherheitsbestands bei einem Bestellpunktverfahren geht eindeutig hervor, dass lange durchschnittliche Lieferzeiten und erhöhte Lieferzeitvariabilität die Supply Chain mit viel Inventar füllt, um die angestrebte Kundenzufriedenheit aufrecht zu halten (Nahmias 2005). In diesem Zusammenhang zeigten

Lee und Wolfe (2003), dass die Durchlaufzeitvariabilität einen noch größeren Einfluss auf die Lagerbestandsperformance hat, als die durchschnittliche Durchlaufzeit. Insgesamt verursacht eine lange durchschnittliche wie auch variable Durchlaufzeit nicht nur höhere Lagerhaltungskosten, sondern verlängert auch den cash-to-cash Zyklus (Hammel et al. 2002). Zudem erhöht sich der in Bearbeitung befindliche Bestand (WIP) sowie die WIP Kosten (Hopp und Spearman 2007). Die Wichtigkeit der Durchlaufzeit wird auch von Cachon und Fisher (2000) unterstrichen, indem sie feststellen, dass die Reduzierung der Durchlaufzeit oder der Losgröße größere Auswirkungen auf die Supply Chain Performance haben können, als der Austausch von Information. Ebenso ist die Verkürzung der Durchlaufzeit ein wichtiger Punkt bei den 12 Regeln zur Vereinfachung des Materialflusses von (Mason-Jones et al. 2000).

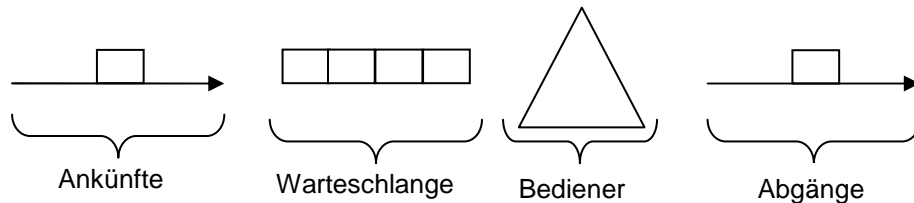
Die Reduzierung der Durchlaufzeit hat nicht nur finanzielle, sondern auch strategische Vorteile (Gunasekaran et al. 2001). Der Grund für das Interesse der Industrie an der Durchlaufzeitverkürzung ist darin zu sehen, dass sowohl die Effektivität (z. B. Kundenzufriedenheit) als auch die Effizienz (z. B. Kosten) gleichermaßen verbessert werden kann. Nichtsdestotrotz scheitern die meisten Entscheidungsträger daran, die komplexen und dynamischen Zusammenhänge der Durchlaufzeitverkürzung zu verstehen (Treville et al. 2009). Für viele geht die rasche Bearbeitung von Aufträgen und die damit verbundene Verbesserung der Durchlaufzeit mit schnellerer, härterer aber vor allem zusätzlicher Arbeit einher. Hierbei werden allerdings die funktionellen Zusammenhänge von Durchlaufzeit, Ressourcenauslastung und Variabilität vernachlässigt (Suri 1998). Dies liegt daran, dass die mathematischen Grundsätze, welche die Durchlaufzeit definieren, nicht eingängig sind und sich gegen Standardmanagementgrundlagentraining, wie z. B. die Erhöhung der Ressourcenauslastung, richten (Treville und Ackere 2006).

#### **2.4.1 Grundlagen der Warteschlangentheorie hinsichtlich der Durchlaufzeit**

Die Warteschlangentheorie stellt die theoretische Grundlage der Durchlaufzeitverkürzung dar. Mit ihrer Hilfe lassen sich die Abhängigkeiten der Einflussgrößen mathematisch aufzeigen. Warteschlangenmodelle bieten die Möglichkeit, Wartezeiten von Aufträgen oder Kunden in einem Warteschlangensystem zu ermitteln. Sie eignen sich z. B. dafür in einem Call Center die Anzahl der Mitarbeiter zu bestimmen, um die Wartezeit auf einem erträglichen Level zu halten (Aksin et al. 2007). Natürlich kann der Service Prozess auch durch einen Produktions- oder Assemblyprozess ersetzt werden (Nahmias 2005, Anupindi et al. 2006, Hopp und Spearman 2007, Nyhuis und Wiendahl 2009). Eine formale

Beschreibung solcher Modelle kann z. B. in Gross und Harris (1998) oder Bolch et al. (2006) gefunden werden.

Abbildung 7 zeigt ein einfaches Warteschlangensystem, welches normalerweise aus einem Ankunftsprozess, einem Produktions- oder Service Prozess und einer Warteschlange besteht, bevor die Entität das System wieder verlässt (Hopp und Spearman 2007).



**Abbildung 7: Prinzipieller Aufbau eines Warteschlangensystems (angelehnt an Sundarapandian (2009))**

Mit dieser überschaubaren Struktur und einigen weiteren Parametrisierungen lassen sich die allermeisten realen Herstellungs- und Serviceaktivitäten beschreiben. So können die eintreffenden Entitäten einzeln oder als Batch auftreten oder die Prozessaktivität kann sich auf eine einzige oder mehreren parallelen Ressourcen beziehen. Im Allgemeinen wird die kurze Form der Kendall'sche Notation (Kendall 1953)  $A/B/C$  als Beschreibung eines solchen Systems verwendet (vergl. Bolch et al. (2006) sowie Hopp und Spearman (2007)).  $A$  steht für die statistische Verteilung der Zwischenankunftszeiten (vergl. Abbildung 8),  $B$  für die statistische Verteilung der Servicezeit und  $C$  für die Anzahl paralleler Bedienstationen.

Wenn man sich eine finite Ressourcenkapazität anschaut, dann ist es offensichtlich, dass sich zu Spitzenzeiten Perioden mit einer Warteschlange bilden können. Dieses Verhalten führt dazu, dass sich die Durchflusszeit für Entitäten verlängert, die auf eine Bearbeitung warten. Die komplette Durchflusszeit  $LT$  (Zeitdauer von Auftragseingang bis zum Versenden der Ware bzw. Erbringen des Services) setzt sich aus der Summe der durchschnittlichen effektiven Bearbeitungszeit  $T_p$  und der durchschnittlichen Wartezeit  $T_i$  zusammen (Hopp und Spearman 2007).

$$LT = T_p + T_i \quad (2)$$

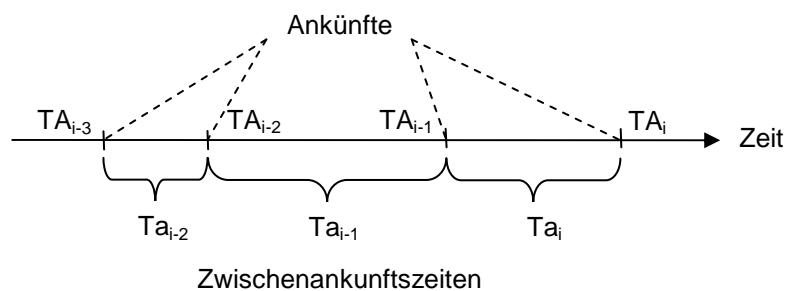
Gemäß Suri (1998) gibt die durchschnittliche effektive Bearbeitungszeit  $T_p$  an, wie lange es dauert bis ein Job abgearbeitet ist. Dabei inkludiert sie Auf- und Abrüstvorgänge, Wartungsarbeiten an der Ressource oder Maschinenfehlzeiten aufgrund von Ausfällen. Der Kehrwert der Bearbeitungszeit ist die durchschnittliche Flussrate  $R_p$ . Sie steht auch für die durchschnittliche Kapazität, weil sie die Anzahl von Jobs definiert, die in einer Zeitperiode abgearbeitet werden können. Die Wartezeit  $T_i$  hängt von der durchschnittlichen effektiven

Bearbeitungszeit, der Ressourcenauslastung  $U$  und der Variabilität der Bearbeitungs- und Zwischenankunftszeit ab.

Bei einer geringen Ressourcenauslastung ist es unwahrscheinlicher, einer Engpasssituation gegenüberzustehen als unter einer hohen Arbeitsbelastung. Die Auslastung ist also die Wahrscheinlichkeit, dass eine Station belegt ist und errechnet sich für eine einzelne Maschine aus der Division der durchschnittlichen Ankunftsrate  $R_a$  und der durchschnittlichen Flussrate.

$$U = \frac{R_a}{R_p} \quad (3)$$

$R_a$  steht hierbei für die durchschnittliche Anzahl von Jobs pro Zeiteinheit, die an einer Maschine eintreffen. Dies entspricht dem Kehrwert der durchschnittlichen Zwischenankunftszeit  $T_a$ .



**Abbildung 8: Schematische Darstellung der Zwischenankunftszeiten (Quelle: Arnold und Furmans (2009))**

Zusätzlich beeinflusst die zugrundeliegende Variabilität die Wartezeit, nicht aber die durchschnittliche Bedienzeit. Die durchschnittliche Zwischenankunftszeit der Bestelleingänge und deren Variabilität wirken sich auf die Arbeitslast des Systems und damit auch auf das Verhalten der Warteschlange aus, was direkten Einfluss auf die Wartezeit hat. Das Gleiche gilt für die Variabilität der Bearbeitungszeit, weil sie sich direkt auf die Engpasssituation und daher Wartezeit niederschlägt. Aus dieser Beschreibung wird klar, dass sich sowohl die interne als auch externe Variabilität des Systems auf die Wartezeit auswirken. Die Variabilität in Warteschlangensystemen wird durch den Variationskoeffizienten ausgedrückt. Der Variationskoeffizient ergibt sich aus der Division der Standardabweichung und dem Durchschnittswert einer Variable (Hopp und Spearman 2007). Der Variationskoeffizient der Bearbeitungszeit  $c_p$  ist durch die Standardabweichung  $\sigma_p$  und die durchschnittliche effektive Bearbeitungszeit  $T_p$  definiert.

$$c_p = \frac{\sigma_p}{T_p} \quad (4)$$

Der Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit  $c_a$  berechnet sich analog aus der Standardabweichung  $\sigma_a$  und der durchschnittlichen Zwischenankunftszeit  $T_a$ .

$$c_a = \frac{\sigma_a}{T_a} \quad (5)$$

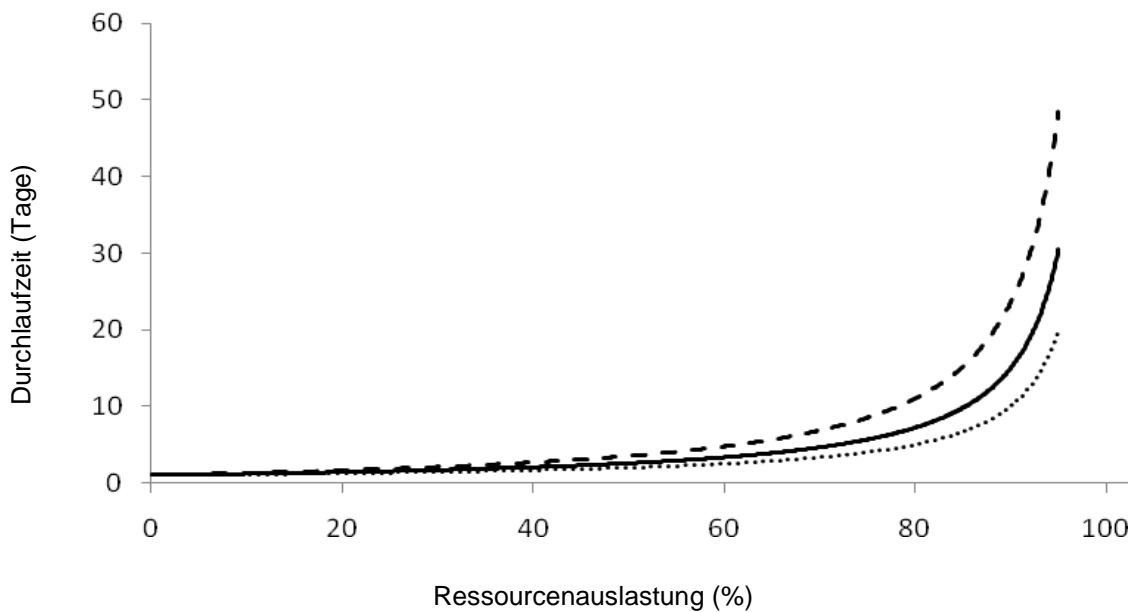
Die Wartezeit für ein  $G/G/1$  Warteschlangenmodell (einzelne Bedienstation mit allgemeinverteilter Zwischenankunfts- und Servicezeit) kann mit Hilfe der Kingmanformel (Kingman 1961) näherungsweise folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$T_i = T_p \times \frac{U}{(1-U)} \times \frac{c_p^2 + c_a^2}{2} \quad (6)$$

Neben diesen Beziehungen ist der Zielkonflikt zwischen Ressourcenauslastung und der Durchlaufzeit in einem make-to-order System eines der wichtigsten Ergebnisse aus der Warteschlangentheorie im Bereich Produktionsmanagement. Hierbei sollte die Auslastung in der Produktion oder einem produktionsähnlichen Umfeld als zeitlicher prozentualer Anteil in der eine Arbeitsstation belegt ist, wie z. B. Maschinenlaufzeit, Rüstzeit, Wartungsarbeiten gesehen werden. Die durchschnittliche Durchlaufzeit kann, wie oben erwähnt, als Summe der durchschnittlichen Wartezeit und der durchschnittlichen Bedienzeit gesehen werden. Suri (1998) zeigt, dass der Wartezeitanteil von der Ressourcenauslastung abhängig ist, wobei sich der Effekt mit zunehmender Auslastung verstärkt. Das führt zu einem exponentiellen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Ressourcenauslastung und der durchschnittlichen Durchlaufzeit. Der sog. Magnifying Effect  $\frac{U}{(1-U)}$  (Suri 1998), der diese

Beziehung definiert, beschränkt sich rein auf die Wartezeit (s. Gleichung (6)), die im Mittel immer noch 85% der gesamten Durchlaufzeit ausmacht (Tatsiopoulos und Kingsman 1983).

Der Zusammenhang von Auslastung, Variabilität und Durchlaufzeit ist in Abbildung 9 erläutert.



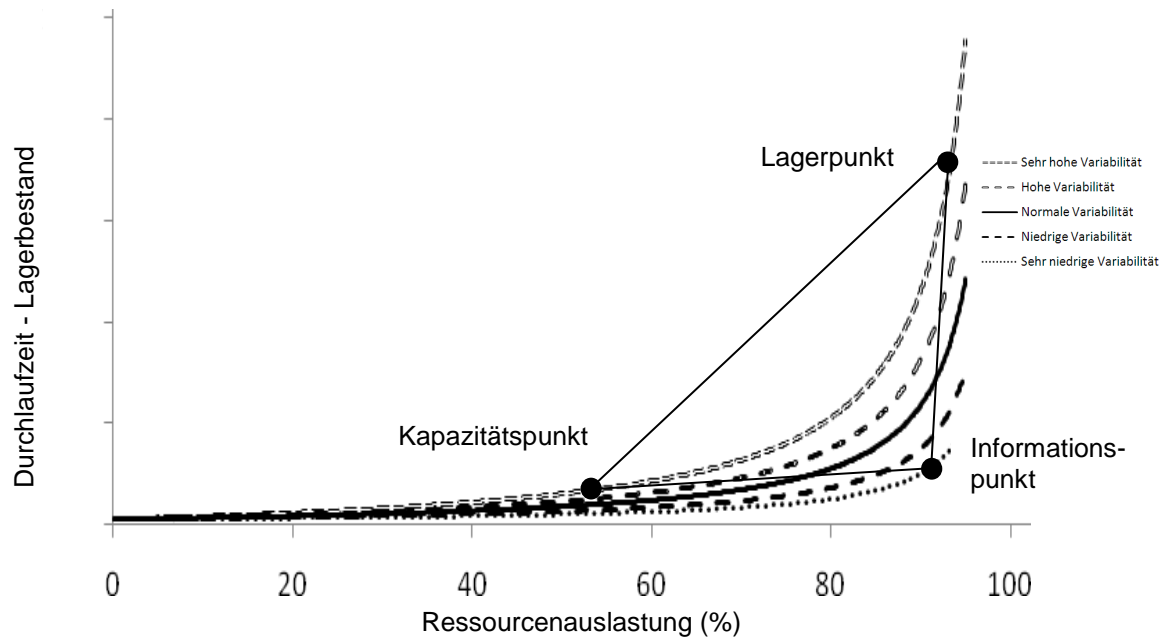
**Abbildung 9: Zusammenhang von Durchlaufzeit, Auslastung und Variabilität. Die gestrichelte Linie steht für eine hohe, die durchgezogene für eine normale und die gepunktete für eine geringe Variabilität (angelehnt an Suri (1998))**

Wenn ein Prozess aus einer Vielzahl von Aktivitäten besteht, kann der Prozess bzw. das Netzwerk in seine einzelnen Knoten zerlegt werden. Jeder Knoten entspricht hierbei einer eigenen Warteschlange (Jackson 1963). Dieser Ansatz, bei dem sich die Durchlaufzeit aus der Summe aller Bedienzeiten und Wartezeiten der Knoten ergibt, ist auch die Basis von Rapid Modellierungen Softwareprodukten (Suri et al. 1995).

#### 2.4.2 Das Operation Management Dreieck

Operations Management (OM) ist die Verschmelzung der Themengebiete Operations und Supply Chain Management. Es umfasst das Design und die Organisation von Transformationsprozessen im Produktions- und Serviceumfeld, um einen Mehrwert für die Gesellschaft zu erzeugen (Chopra et al. 2004).

Das OM Dreieck wurde von Lovejoy (1998) eingeführt. Es basiert auf einem Basiswarteschlangenmodell und sagt aus, dass Kapazität, Lagerbestand und Information, bezogen auf den Kundenservice, substitutive Variablen sind (Schmidt 2005). Das OM Dreieck wird ersichtlich, wenn man die drei Extremwerte Lager-, Kapazitäts- und Informationspunkt auf der Durchlaufzeitkurve einträgt. Der Informationspunkt wird hierbei als Möglichkeit der Variabilitätsreduktion angesehen (s. Abbildung 10) (Klassen und Menor 2006).



**Abbildung 10: Das Operation Management Dreieck (angelehnt an Schmidt (2005))**

Die Y-Achse zeigt gemäß dem Gesetz von Little (Little 1961) nicht nur die Durchlaufzeit, sondern auch den Lagerbestand an. Es ist eines der grundlegendsten Gesetze der Warteschlangentheorie und allgemeingültig einsetzbar, weil es unabhängig von den Verteilungen der Zwischenankunfts- und Servicezeit ist. Voraussetzung ist allerdings ein Gleichgewichtszustand des Systems, d. h., dass die Anzahl der Ankünfte und die Anzahl der Abgänge auf lange Sicht gleich sein müssen. Es beschreibt, wie sich der auf lange Sicht in Arbeit befindliche Lagerbestand  $WIP$  (Work in Process) in Abhängigkeit der Ankunftsrate  $R_a$  und der Durchlaufzeit  $LT$  zusammensetzt.

$$WIP = R_a \times LT \quad (7)$$

Anhand der Formel ist ersichtlich, dass sich in einem stabilen System  $WIP$  und die Durchlaufzeit proportional entwickeln.

Die Abwägung zwischen Kapazität, Lagerbestand und Variabilität wird in der Literatur als CVI trad-offs (hierbei ergibt sich die Abkürzung aus den Anfangsbuchstaben Capacity, Variability und Inventory) bezeichnet (Klassen und Menor 2007) und kann mit einer abgewandelten Pollaczek–Khintchine Formel beschrieben werden (Lovejoy 1998).

$$WIP = K \times \frac{U}{1-U} \times V \quad (8)$$

Hierbei stehen  $K$  für eine Konstante,  $U$  für die langfristige durchschnittliche Auslastung und  $V$  für die Variabilität.

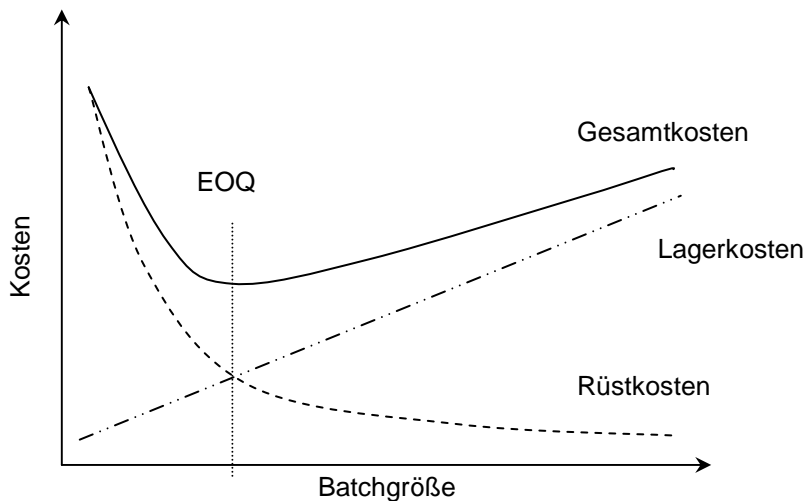
Demnach können Unternehmen mit sehr hohen Ressourcenfixkosten versuchen, die Auslastung auf annähernd 100 Prozent zu bringen und die Nachfragevariabilität über hohe Lagerbestände abzufangen. Sie positionieren sich also am Lagerpunkt (z. B. Rohölindustrie). Eine weitere Möglichkeit ist die Positionierung am Informationspunkt. Hier gelingt es Unternehmen die vorhandene Variabilität aufgrund des besseren Nutzens von Information zu reduzieren, weshalb sie die Auslastung erhöhen können, ohne dabei die Durchlaufzeit zu verschlechtern. Als Beispiel kann hier das Toyotaproduktionsverfahren genannt werden (Schmidt 2005). Unternehmen können aber auch die Positionierung am Kapazitätspunkt wählen. Das ist besonders bei zeitkritischen Kunden oder im Notfallservicebereich zu favorisieren. Hier kann trotz Nachfrageschwankungen schnell auf Kundenbedürfnisse eingegangen werden, ohne dabei Unmengen an Lagerbestand zu führen. Die Positionierung auf der Kurve innerhalb des Dreiecks muss jedes Unternehmen gemäß den Kundenanforderungen selbst treffen. Hierbei gibt es keine optimale Positionierung, sodass es immer eine Abwägung aus verschiedenen strategischen Gesichtspunkten, Kundenanforderungen, Kosten und vielen mehr ist (Schmidt 2005).

### 2.4.3 Losgröße und Durchlaufzeit

Viele Formeln zur Berechnung der Losgröße vernachlässigen den direkten Zusammenhang mit der Durchlaufzeit bzw. gewichten ihn nicht in ausreichender Form. Ein einfaches Beispiel, welches in abgewandelter Form immer noch häufig in Unternehmen zum Einsatz kommt, ist das sog. Economic Order Quantity (EOQ) Modell. Hier wird die optimale Losgröße  $Q$  in Abhängigkeit des durchschnittlichen Kundenbedarfs  $\lambda$ , den Lagerbestandskosten  $C^{(1)}$  und den Rüstkosten  $C^{(2)}$  ermittelt (Nahmias 2005, Hopp und Spearman 2007).

$$Q = \sqrt{\frac{2\lambda C^{(2)}}{C^{(1)}}} \quad (9)$$

Die Vorgehensweise dieses Modells ist in Abbildung 11 schematisch dargestellt.



**Abbildung 11: Veranschaulichung der EOQ (angelehnt an: Reinertsen (2009))**

Die Abbildung zeigt, dass sich Rüstkosten mit zunehmender Batchgröße verringern, wohingegen die Lagerkosten steigen. Die optimale Batchgröße nach der EOQ Formel bildet die Schnittmenge aus Lager- und Rüstkosten, die die niedrigsten Gesamtkosten widerspiegelt.

Die Bildung von Batches ist prinzipiell immer dann nötig, wenn mehrere verschiedene Artikel durch Rüstvorgänge auf einer Ressource gefertigt werden können. Bei Prozessen, bei denen darauf gewartet werden muss, bis ein komplettes Batch gefertigt wird, bevor es an die nächste Arbeitsstation weitergereicht wird, macht es natürlich keinen Sinn, die Durchlaufzeit für ein einzelnes Teil zu berechnen. Deshalb muss die Durchlaufzeit des kompletten Batches  $LT_b$  bestimmt werden, um zu ermitteln, wie lange ein einzelnes Teil benötigt, bevor es für die nächste Arbeitsstation bereitsteht. Die Durchlaufzeit eines ganzen Batches berechnet sich nach Hopp und Spearman (2007) aus der Summe der Wartezeit  $T_i$ , der Rüstzeit  $T_r$ , der Wartezeit bis ein Batch gefertigt ist  $T_{qb}$  und der Bearbeitungszeit pro Einzelteil  $T_o$ .

$$LT_b = T_i + T_r + T_{qb} + T_o \quad (10)$$

Die Wartezeit bis ein Batch gefertigt ist  $T_{qb}$  und die Wartezeit  $T_i$  hängen von der Batchgröße ab, wohingegen die Rüstzeit  $T_r$  und die Bearbeitungszeit pro Einzelteil  $T_o$  davon unabhängig sind.

In Abschnitt 2.4.1 wurde gezeigt, dass sich die Wartezeit hauptsächlich aus der Bearbeitungszeit, Ressourcenauslastung und Variabilität bestimmen lässt. Hopp und Spearman (2007) zeigen, dass je kleiner die Batchgröße  $Q_p$  ist, desto höher die durchschnittliche effektive Bearbeitungszeit  $T_p$  pro Einzelteil ist.

$$T_p = T_o + \frac{T_r}{Q_p} \quad (11)$$

Damit verringert sich auch die durchschnittliche Flussrate  $R_p$  (durchschnittliche Kapazität) (Hopp und Spearman 2007).

$$R_p = \frac{I}{T_p} \quad (12)$$

Eine verringerte Kapazität  $R_p$  führt demnach bei einer gegebenen Ankunftsrate  $R_a$  zu einer höheren Ressourcenauslastung  $U$  und damit auch zu einer längeren Wartezeit  $T_i$ . Die Ressourcenauslastung eines Batchprozesses errechnet sich daher:

$$U = R_a \times T_p = R_a \times \left( T_o + \frac{T_r}{Q_p} \right) = \frac{R_a}{Q_p} \times (Q_p T_o + T_r) \quad (13)$$

Nach Hopp und Spearman (2007) beeinflusst die Batchgröße auch die Wartezeit, weil sie sich auf die Prozessvariabilität niederschlägt. Sie zeigen, dass sich die Batchgröße  $Q_p$  und die Rüstzeit  $T_r$  auf die Varianz der durchschnittlichen Bearbeitungszeit  $\sigma_p^2$  auswirken.

$$\sigma_p^2 = \sigma_o^2 + \frac{\sigma_r^2}{Q_p} + \frac{Q_p - I}{Q_p^2} \times T_r^2 \quad (14)$$

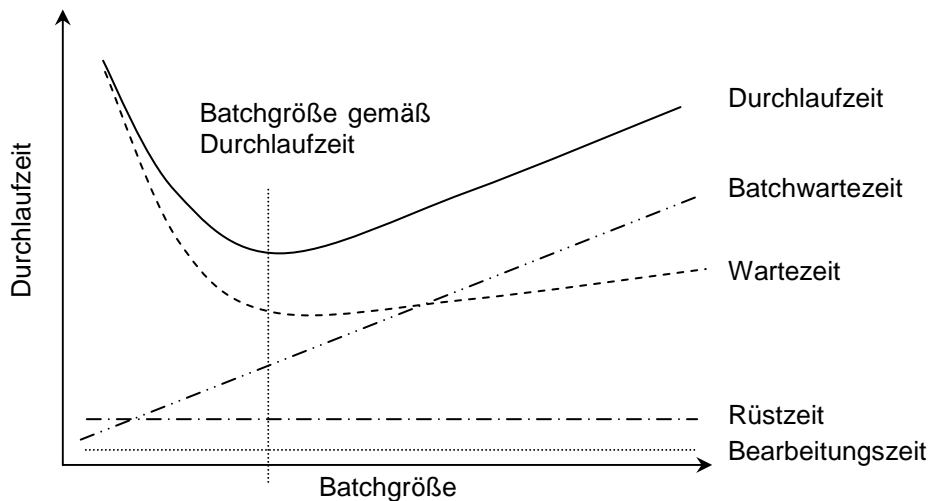
Das wiederum hat direkten Einfluss auf den Variationskoeffizienten der durchschnittlichen Bearbeitungszeit zum Quadrat  $c_p^2$ .

$$c_p^2 = \frac{\sigma_p^2}{T_p^2} \quad (15)$$

Anhand der Formeln (14) und (15) ist ersichtlich, dass sich große Batchgrößen positiv auf die Ressourcenauslastung sowie die Variabilität auswirken und somit die durchschnittliche Wartezeit  $T_i$  erst einmal sinkt. Allerdings beeinflussen große Batchgrößen die Batchwartezeit  $T_{qb}$  negativ.

$$T_{qb} = (Q_p - I) \times T_o \quad (16)$$

Mit zunehmender Batchgröße verlängert sich die Batchwartezeit. Die perfekte Batchgröße gemäß der Durchlaufzeit  $LT_b$  ist eine Abwägung aus der Summe der Wartezeit  $T_i$ , der Rüstzeit  $T_r$ , der Wartezeit bis ein Batch gefertigt ist  $T_{qb}$  und der Bearbeitungszeit pro Einzelteil  $T_o$ . Die Zusammenhänge sind in Abbildung 12 dargestellt.



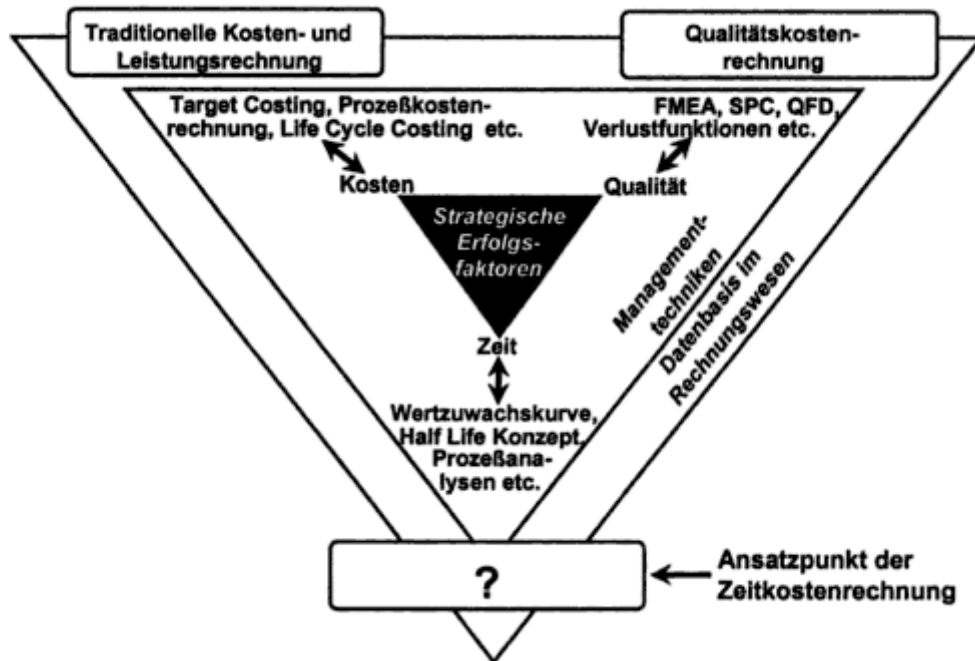
**Abbildung 12: Zusammenhang von Durchlaufzeit, Wartezeit, Rüstzeit, Batchwartezeit und Bearbeitungszeit.**

Die Rüst- und Bearbeitungszeit sind, wie oben erwähnt, unabhängig von der Batchgröße und deshalb konstant. Die Batchwartezeit wächst linear zur Batchgröße. Im Gegensatz dazu sinkt die Wartezeit mit zunehmender Batchgröße rapide und wächst anschließend annähernd linear. Dieses Verhalten ist durch Formel (14) begründet. Alle Faktoren zusammen formen den Verlauf der durchschnittlichen Durchlaufzeit. Daraus folgt, dass die minimale Batchgröße gefunden werden muss, ohne dabei eine Auslastung größer 1 zu erzeugen. Nach der optimalen Batchgröße wächst die Durchlaufzeit proportional zur Zunahme der Batchgröße.

#### **2.4.4 Bewertbarkeit der Durchlaufzeitverkürzung hinsichtlich der Systemperformance**

Ungeachtet der Tatsache der positiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung schenken ihr viele Manager nicht die nötige Aufmerksamkeit. Hierfür sind zwei Gründe zu sehen. Erstens muss gemäß des OM Dreiecks (s. Abschnitt 2.4.2) eine Abwägung bezüglich der Positionierung eines Unternehmens hinsichtlich des Kapazitäts-, Lager-, und Informationspunktes nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Schon vor über 200 Jahren hat Benjamin Franklin darauf hingewiesen, dass Zeit Geld ist (Okada und Hoch 2003). Damit stellt er Zeit und Geld als Äquivalent dar. Doch genau hier liegt das Problem. Aktuell gibt es keine angebrachten Kosten- und Leistungsrechnungssysteme, die die Durchlaufzeitverkürzung in Bezug auf entstehende und einsparende Kosten richtig beurteilen (Maskell und Kennedy 2007). Wie wirkt sich z. B. die verbesserte Kundenzufriedenheit auf der Nachfrageseite und in letzter Konsequenz auf der Kostenseite aus? Oder wie wird der

WIP, der sich durch eine Durchlaufzeitverkürzung verringert, im Zusammenhang mit eventuell höheren Ressourcenkosten beurteilt? Ein Bewertungssystem, das die Kosten als auch Leistungen von Zeitkriterien evaluiert, d. h. eine Zeitkostenrechnung, existiert bis jetzt noch nicht (Götze et al. 2000).



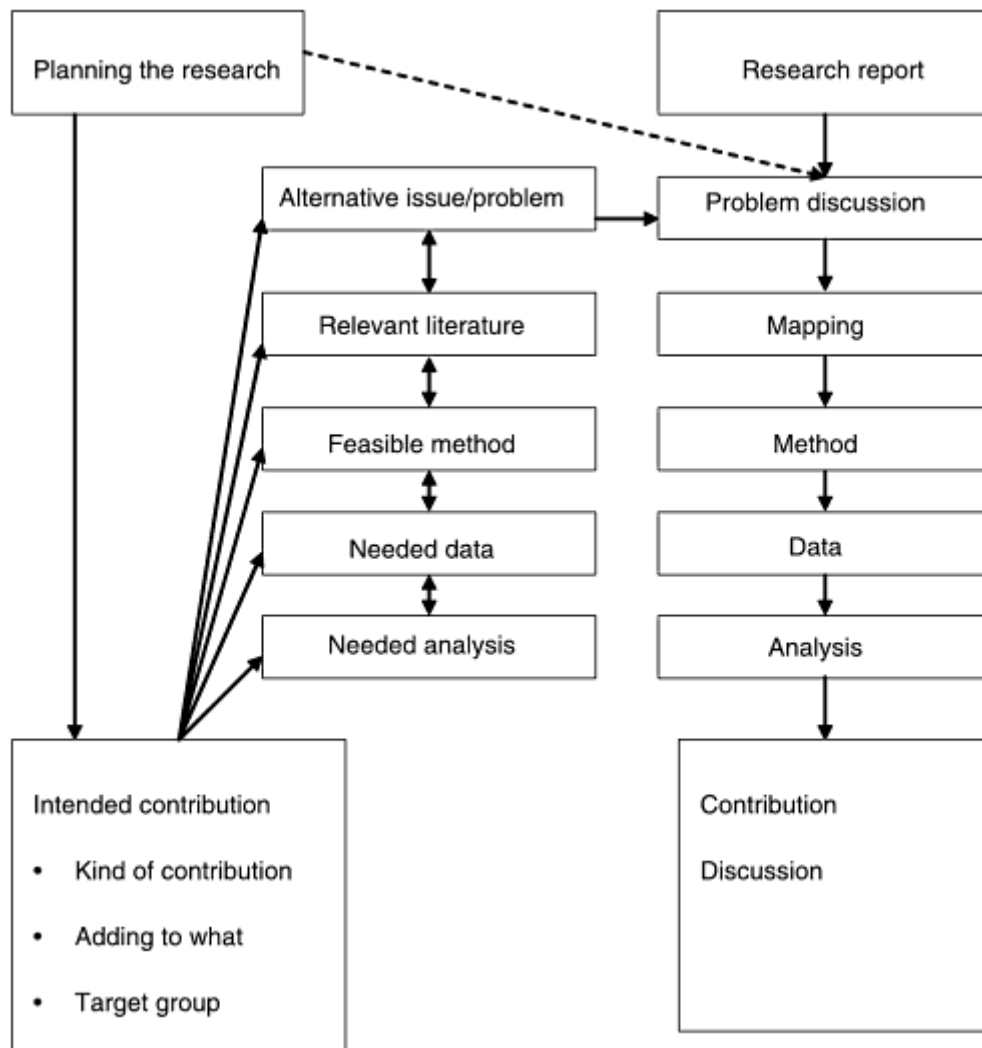
**Abbildung 13: Strategische Erfolgsfaktoren, Managementansätze und Datenbasis des Rechnungswesens (Quelle: Götze et al. (2000))**

Zweitens sind die operativen Zusammenhänge zwischen der Durchlaufzeit, Batchgröße und Ressourcenauslastung nur schwer nachvollziehbar und richten sich gegen Standardmanagementmethoden wie z. B. die Erhöhung der Ressourcenauslastungen, die die vorhandene Wechselwirkung bezüglich der Durchlaufzeit außer Acht lassen (Suri 1998, Treville und Ackere 2006)

Generell besteht aufgrund der erwähnten Dynamik, Komplexität und Intransparenz ein wachsender Bedarf an Entscheidungsunterstützungsmechanismen im Supply Chain Management (Stölzle et al. 2001). Im Speziellen wird also ein erweitertes und ganzheitliches Bewertungsmodell benötigt, welches die zeitlichen Aspekte, fortschreitende Änderungen (Neely et al. 2000) und die Systemdynamik (Zheng und Lai 2008) hinsichtlich der Gesamtperformance widerspiegelt. Dieses Modell muss sowohl in der Lage sein, die Effektivitäts- als auch die Effizienzleistungskenngrößen zu integrieren.

## 2.5 Forschungsansatz

In diesem Abschnitt wird der Forschungsansatz erläutert, der Aufschluss darüber gibt, wie und mit welcher Methodik die Forschungsfragen beantwortet werden sollen. Hierbei bildet die konzeptionelle Struktur von Karlsson (2009) die Grundlage (s. Abbildung 14). Im linken Teil der Abbildung wird beschrieben, wie man anfangs einen ganzheitlichen Überblick der Forschungsaktivitäten bekommt. Durch die Planung der Arbeit muss der beabsichtigte Beitrag klar definiert sein. Dabei wird die Art des Beitrags, für welchen Bereich ein Beitrag entsteht und vor allem die Zielgruppe spezifiziert. Das gibt Aufschluss darüber, welche Probleme entstehen sowie welche Literatur, Methoden, Daten und Analysen von Nöten sind, um den geplanten Beitrag zu erarbeiten. Durch diese Handlungsweise wird die Zielsetzung der Arbeit definiert, was wiederum die Forschungsaktivitäten steuert. Damit wird die Qualität des Aufbaus der Arbeit gewahrt. Die rechte Seite der Abbildung sichert die Qualität der Forschung. Das Ziel einer jeden Studie muss sein, dass der Leser die Forschungsschritte nachvollziehen kann und zumindest theoretisch im Stande sein sollte, die Arbeit selbst zu wiederholen. Natürlich kann der Datenzugang hierbei ein Problem darstellen, jedoch steigert es die Transparenz und die Vertrauenswürdigkeit der Arbeit. Deshalb wird die rechte Hälfte des Bildes auch Beweisführungskette genannt. Der Startpunkt ist der Forschungsreport. Er beinhaltet die praktische und theoretische Betrachtung eines definierten Problems. Häufig entsteht hierdurch ein konzeptionelles Modell, welches die Rahmenbedingungen der Forschungsarbeit setzt. Die Planung der Arbeit und das konzeptionelle Modell bilden die Problemdiskussion. Auf dieser Grundlage kann die entsprechende Forschungsmethodologie gemappt werden, woraus sich die benötigten Daten und Analysen ableiten lassen. Weiterhin muss auch sichergestellt werden, dass die einzelnen Schritte aufeinander abgestimmt sind, d. h. mit den verfügbaren Daten muss es z. B. möglich sein, die Zielfragen zu beantworten.



**Abbildung 14: Aufbau des Forschungsansatzes (Quelle: Karlsson (2009))**

Im folgenden wird ausgehend von dem beschriebenen konzeptionellen Aufbau der Forschungsarbeit, dem Überblick relevanter Literatur aus den Abschnitten 2 - 2.4.4 und den Forschungsfragen aus Abschnitt 1.2, im Detail erläutert, welche Methoden angewandt, Daten verwendet und Analysen durchgeführt werden. Diese Aktivitäten sind darauf abgestimmt, die geplante Zielsetzung zu erreichen und einen Beitrag für die Zielgruppe zu leisten.

### 2.5.1 Konzeptionelles Modell

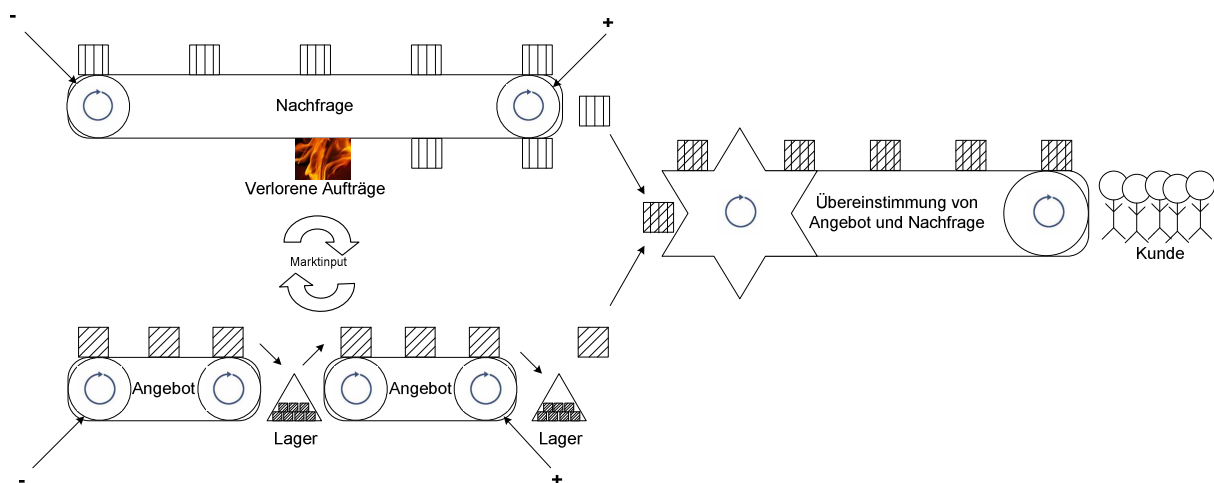
Basierend auf der Literatur-Recherche und der Problemstellung, wird in diesem Abschnitt das konzeptionelle Modell vorgestellt. Es bildet die Grundlage, um den Forschungsfragen nachzugehen.

In dem Framework werden sowohl positive und negative interne Einflussfaktoren, die sich vor allem auf der Angebotsseite befinden, als auch positive und negative externe Einflussfaktoren, welche besonders auf der Nachfrageseite zu finden sind, betrachtet. Das

übergeordnetes Ziel liegt darin, unter optimaler Nutzung der vorhandenen Ressourcen die Kundenanforderungen zu den bestmöglichen Kosten zu erfüllen und somit die Zufriedenheit sowie in letzter Konsequenz die Kundenbindung zu verbessern.

Mit anderen Worten sollen Angebot und Nachfrage in einem dynamischen Umfeld von Nachfrageschwankung und -unsicherheit im Einklang stehen. Jedoch scheint es bei all den Einflussgrößen so, dass entweder der Kunde (Nachfrage) auf einen Service (Angebot) warten muss oder umgekehrt und keine Übereinstimmung zwischen Angebot und Nachfrage erzielt werden kann (Cachon und Terwiesch 2009). Wie schon im Kapitel 2 erläutert, nimmt das Thema Durchlaufzeit hier eine entscheidende Rolle ein, um diesen Zustand näher zu kommen.

Abbildung 15 zeigt das konzeptionelle Modell. Es bezieht sich auf eine make-to-stock (mts) Umgebung, weil es nach Hofmann und Reiner (2006) immer noch die überwältigende Majorität darstellt. Make-to-order (mto) Systeme haben z. B. kein Lager bzw. nur Bufferbestände, jedoch lässt sich der Grundgedanke auch auf diese Systeme übertragen.



**Abbildung 15: Das konzeptionelle Modell**

In diesem Sinn lässt sich für viele Unternehmen nur dann ein Nutzen erzielen, wenn sie in der Lage sind, Nachfrage und Angebot in Einklang bringen, weil sich dies auf den finanziellen Erfolg auswirkt (Hill et al. 2002).

## 2.5.2 Forschungsmethodologie

Bei der Forschungsmethodologie (Kotzab et al. 2005) handelt es sich um Untersuchungen, die quantitative Modelle mit empirischen Daten als Eingangsgrößen nutzen (Bertrand und Fransoo 2009). Generell entsteht durch quantitative Forschung empirischer Daten ein

Modell, welches die kausalen Korrelationen zwischen Kontrollvariablen und Performancevariablen herstellt (Reiner 2005b).

Prozesssimulationsmodelle werden herangezogen, um diese Korrelationen zu demonstrieren sowie ausfindig zu machen. In diesem Kontext ist die Prozesssimulationen als Methode definiert, um Supply Chain Prozesse so nah wie möglich unter der Verwendung von Softwareprogrammen an der Realität zu simulieren (Davis et al. 2007).

Zusätzlich stellen Bertrand und Fransoo (2002) fest, dass diese Methodologie eine hervorragende Möglichkeit bietet, die vorhandene Theorie weiter auszubauen und zu ergänzen. Dieser Ansatz geht auch mit der Forderung von Melnyk und Handfield (1998) nach mehr theoriegetriebener empirischer Forschung einher.

Wenn alternative Supply Chain Strategien auf ihre Performance hin analysiert werden, sind die nötigen Daten in bereits bestehenden IT-Systemen nicht vorhanden. In solchen Fällen können fehlende Werte berechnet, geschätzt oder durch Simulation ermittelt werden. Die Berechnung ist von der Komplexität oft unmöglich und Schätzungen sind nicht immer ausreichend genau, um die Realität zu beschreiben (Jammernegg und Reiner 2007). Daher werden in dieser Arbeit Modelle erstellt z. B. diskret ereignisorientierte Simulation (Sanchez et al. 1996), Rapid Modelling im Sinne von warteschlangenbasierten Modellen (Suri 1998) und System Dynamics Modelle (Sterman 2000, Bossel 2004), weil sie die Möglichkeit schaffen, die Supply Chain bzw. Teile davon als Ganzes zu verstehen sowie zu analysieren und daraus verschiedene taktische wie auch strategische Alternativen abgeleitet werden können.

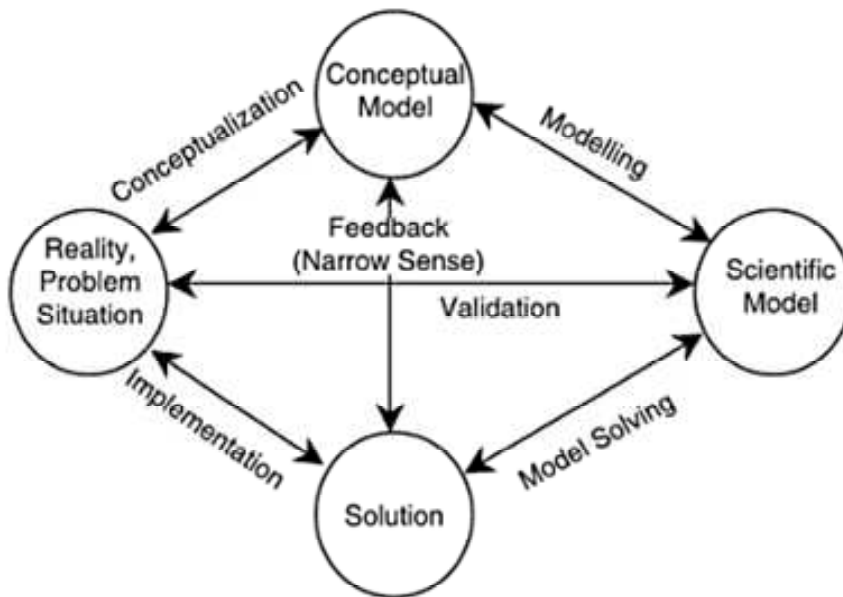
Gemäß Davis et al. (2007) ist die Auswahl der Simulationstechnology von entscheidender Bedeutung, um das Forschungsziel zu erreichen. So können dynamische stochastische Computersimulationen (s. Wyland et al. (2000)) für eine umfassende Review von Simulationen in Supply Chain Umfeld) nicht nur Durchschnittswerte für die gewählten Performanceindikatoren liefern, sondern geben auch Aufschluss über deren statistische Verteilung (Kelton et al. 2003), weil sie in der Lage sind, Zufallsvariablen zu verarbeiten (Jammernegg und Reiner 2007). Zufallsvariablen, die Risiko widerspiegeln, sind essentiell, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, da Variabilität die Performance negativ beeinflusst. Rapid Modelling bietet ebenso die Möglichkeit die statistische Variabilität intern zu verarbeiten (z. B. Betriebszeitvariabilität, Bestellankunftszeitvariabilität, Variabilität in der Arbeitsgerätverfügbarkeit), auch wenn sich die Ausgabe auf Durchschnittswerte beschränkt (Suri 1998, MPX User Manual 2001).

System Dynamics ermöglicht durch das Aufstellen verschiedener Feedbackloops die Untersuchung des Systemverhaltens über eine definierte Zeit (Forrester 1958, Sterman

2000). Hierdurch kann speziell eine Aussage über das Langzeitverhalten eines Systems wie z. B. einer Supply Chain getroffen werden (Zahn 1994).

Demnach ergänzen sich die genannten Simulationstechniken hervorragend. Es können Alternativen wie z. B. Prozessverbesserungen hinsichtlich Durchlaufzeitverkürzung, Veränderung der Produktionsstrategie, Verringerung der Supply Chain Stufen, Verschiebung des Customer Order Decoupling Punkts und/oder Anpassung der Lagebestandspolitik in einem dynamischen Umfeld von Nachfrageunsicherheiten und –schwankungen unter Berücksichtigung der Kundenbedürfnisse (z. B. erwünschte Lieferzeit, Servicelevel, Preis, usw.) untersucht werden. Für jede Alternative kann die Performance gemessen (z. B. Durchlaufzeit, Kundenservicelevel, Maschinenauslastung, Kosten, etc....) und deren oft sehr komplexe und schwer verständliche Zusammenhänge analysiert werden. So können verschiedene Supply Chain Strategien in einer risikofreien Umgebung getestet, ausgewertet und Entscheidungen abgeleitet werden.

Ein zusätzliches Ziel besteht in der realen Implementierung der Ergebnisse eines Simulationsmodells, um Rückschlüsse (z. B. weitere nicht beachtete Einflussfaktoren die zu groben Abweichungen zwischen Simulation und realer Umgebung führen) und Verbesserungspotentiale auf das theoretische Modell zuzulassen (Mitroff et al. 1974, Kilmann und Mitroff 1979, Bertrand und Fransoo 2009). Deshalb soll der komplette Mitroffzyklus durchlaufen werden, der die Identifikation eines real existierenden Problems, die Überführung dieses in ein konzeptionelles Modell, welches in einem wissenschaftlichen Modell mündet, die Findung von Lösungen und deren realen Implementierung, die wiederum Rückschlüsse auf die Problemsituation zulässt, beinhaltet (s. Abbildung 16).



**Abbildung 16: Mitroffzyklus (Quelle: Mitroff et al. (1974))**

Durch die Kooperation mit einem global aktiven und führenden Unternehmen in der Polymerverarbeitung, soll dieses Vorhaben realisiert werden. Dadurch können weitere Einsichten der dynamischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen internen als auch Supply Chain Partnern gewonnen werden, was ein realitätsnahes Modell ermöglicht und somit die Chancen auf eine reelle Implementierung weiter steigen. Zusätzlich können auch nichtmonetäre Bedürfnisse besser erörtert werden, was die Aussagekraft der Simulationsergebnisse weiter steigert.

Es gibt im Operations Management bereits eine Vielzahl von Modellen, die von den Managern nicht angewandt werden bzw. deren Ergebnisse nicht bei der Entscheidungsfindung einfließen (Little 2004). Um die Akzeptanz des geplanten Modells zu steigern, ist es wichtig, dass die Ergebnisse verständlich sind, das Systemverhalten robust ist, verlässliche Schlüsse geliefert werden, aus Sicht des Endanwenders das Modell einfach zu bedienen ist, es leicht an neue Gegebenheiten angepasst werden kann, es komplett ist, es alle wichtigen Phänomene einschließt und es leicht vermittelbare Ergebnisse liefert (Little 2004).

### 2.5.3 Empirische Daten

Die Untersuchungen werden durch ein global führendes Unternehmen im Bereich der polymeren Verarbeitung, welches seinen Firmensitz in der Schweiz hat, unterstützt, um den Forschungsfragen empirisch nachzugehen.

In diesem Abschnitt wird die generelle Bedeutung der Qualität der Eingangsvariablen für die Simulationsmodelle hervorgehoben. Ein empirisches Modell ist zu großen Teilen von der Datenbasis als auch vom Prozessdesign abhängig, damit das Modellverhalten weitestgehend der Realität entspricht. Welche Maßnahmen im Detail ergriffen wurden, ist immer in den jeweiligen Teilkapiteln (3.2, 4.4, 5.3) vor der eigentlichen Untersuchung erörtert.

### **2.5.3.1 Eingangsdatenvalidierung**

Valide Eingangsdaten sind beim Aufbau eines empirischen Modells von entscheidender Bedeutung, weil sie sich direkt auf das Modellverhalten auswirken. Unternehmensdaten werden meistens nach internen Richtlinien gespeichert. Weiterhin hängt die Datenqualität auch von dem jeweiligen Mitarbeiter ab, der für die Datenpflege zuständig ist. Um eine Datenbasis zu erhalten, die frei von organisatorischen Barrieren der Supply Chain Partner ist, wird der Data Triangulation Ansatz gewählt (Croom 2009). (1) Es werden alle verfügbaren IT-Systeme ausgewertet. Der direkte Datenzugang stellte zudem sicher, dass Daten per Datenbankabfragen direkt von der Quelle bezogen werden können und nicht durch eine manuelle Datenzusammenstellung in eine Datenbank gespeichert werden. Nach Forza (2009), kann somit ein 2-4 prozentiges Risiko ausgeschlossen werden, falsche Daten (richtig gelesen, aber falsch übertragen bzw. falsch gelesen und richtig übertragen) zu übernehmen. (2) Indem die gleichen Fragen bezüglich verschiedener Abläufe sowie der Validierung der Datendownloads mehreren Mitarbeitern verschiedener Supply Chain Stufen gestellt werden, kann zudem die Verlässlichkeit der erlangten Daten weiter gesteigert werden (Voss 2009). (3) Darüber hinaus bekommt man durch den Einsatz unstrukturierter Interviews mit Key Usern zusätzliches Prozessverständnis (Voss 2009). (4) Darüber hinaus können qualitative Daten bezüglich Kundenbedürfnissen durch die Auswertung vorhandener Besprechungsberichte (Voss 2009) und die Befragung des Customer Relationship Managers erzielt werden.

### **2.5.3.2 Supply Chain Design**

Bei dem Aufbau der Modelle wird die produktspezifische Supply Chain Design Methode von Reiner und Trcka (2004) gewählt, um Ergebnisse zu erlangen, die der Realität nahe kommen. Dieser Ansatz beachtet, dass eine Supply Chain immer produkt- als auch kundenspezifisch designed werden muss (Fisher 1997). Darüber hinaus führt sie zu einer detaillierten Analyse des zugrundeliegenden Supply Chain Designs. Dies beinhaltet die Auswertung logischer Daten, Produktionsstrategien, Lagerbestandsmanagement, Anzahl der

Supply Chain Elemente, die Kommunikation hinsichtlich Bestellvorgängen etc. (vergl. Abbildung 17). Ferner integriert die produktspezifische Supply Chain Design Methode alle Sequenzen und Ereignisse der realen Supply Chain, wodurch die Richtigkeit des Modells weiter gesteigert wird. Beispiele einer integrierten Prozessanalyse können z. B. in Reiner und Jammernegg (2005) oder Reiner und Poiger (2010) gefunden werden.

Weiterhin basiert das Modell auf Analysen und Beobachtungen der Realität, z. B. teilnehmende Beobachtung (Åhlström und Karlsson 2009, Voss 2009) und Befragung von Supply Chain Managern. Durch diesen zusätzlichen Input wird das Design verfeinert, weil nicht jede benötigte Information auf einer Datenbank zu finden ist.

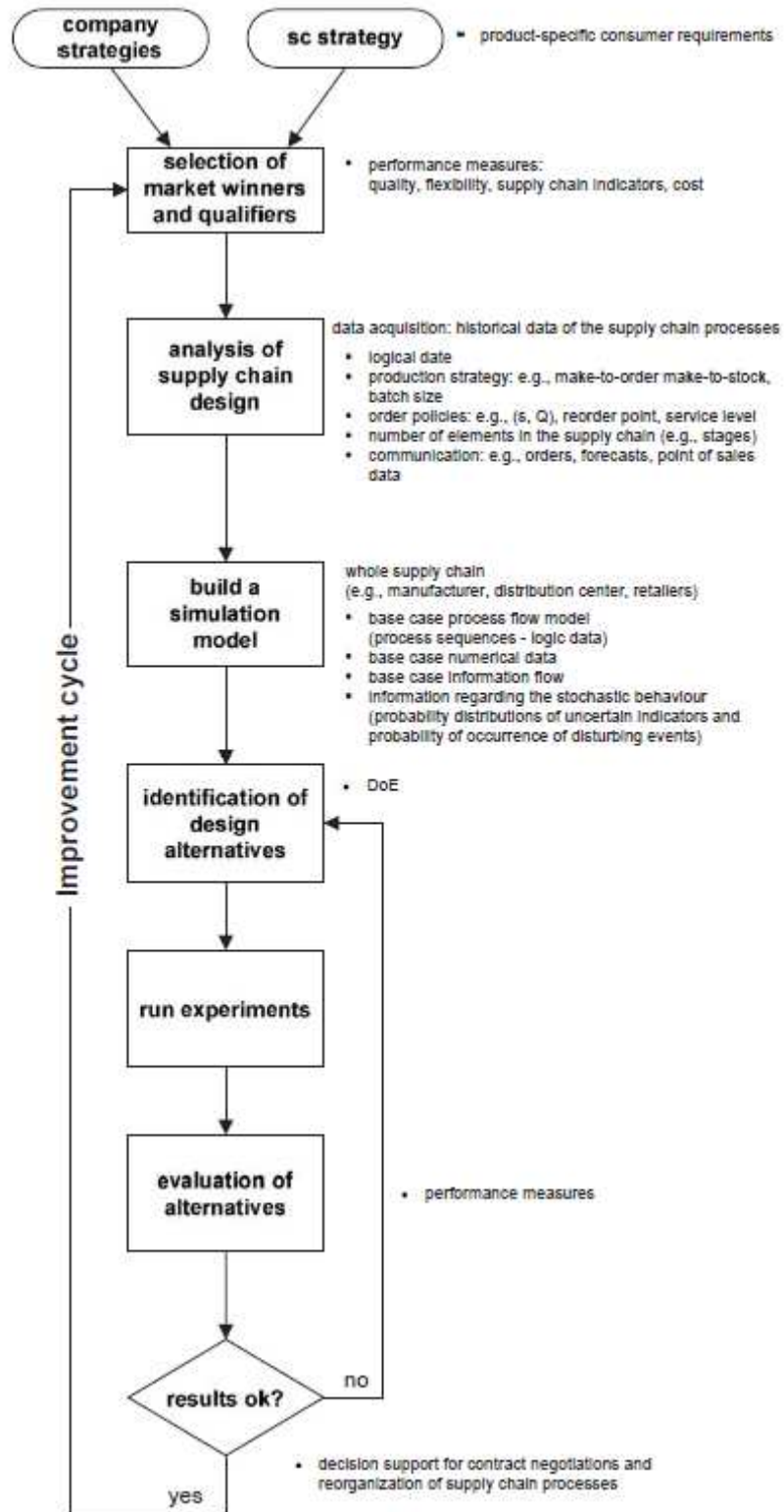


Abbildung 17: Produktspezifische Supply Chain Design Methode (Quelle: Reiner und Trcka (2004))

#### 2.5.4 Supply Chain Bewertung

Die Bewertung einer realen Supply Chain ist immer eine Herausforderung, weil eine valide Aussage nur durch eine detaillierte sowie spezifische Prozessanalyse getroffen werden kann. Verbesserungen eines spezifischen Supply Chain Prozesses können niemals zu 100 Prozent auf eine andere ähnliche Situation übertragen werden. Jedoch können sie als Best Practice Beispiele für andere Unternehmen / Supply Chains dienen und Verbesserungspotentiale aufdecken. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Auswahl der Performancemessgrößen (Gunasekaran et al. 2001) sehr sorgfältig vorgegangen werden muss und sie sich nach den Systemspezifika orientieren müssen (Reiner und Trcka 2004).

In diesem Kontext ist es wichtig, geeignete Performancekenngrößen zu definieren, um zu garantieren, dass der Prozess auch bewertet werden kann. Diese Aussage wird von Heim und Compton (1992) oder Ghalayini und Noble (1996) unterstützt, indem sie die folgenden Worte Lord Kelvins (1824-1907) zitieren: „When you can measure what you are speaking about and express it in numbers, you know something about it ... (otherwise) your knowledge is a meager and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely in thought advanced to the stage of science.“

Ein erster Schritt in der Definition angebrachter Leistungskenngrößen besteht in der Bestimmung der market qualifiers und market winners. Diese geben Aufschluss über die Ausrichtung der Supply Chain und über verschiedene Bewertungsdimensionen bezüglich leanness sowie agility (Naylor et al. 1999, Christopher und Towill 2000, Mason-Jones et al. 2000).

In der Vergangenheit basierte die Analyse und Bewertung von Prozessen oftmals lediglich auf einer Kennzahl (Ketchen et al. 2008). Das reicht aber nicht mehr aus, um die Performance eines übergeordneten Supply Chain Ziels zu überprüfen bzw. zu verbessern. Wenn als Beispiel Kosten die einzige Messgröße bei der Bewertung darstellen, führt das zu einer hohen Ressourcenauslastung in der Produktion, um Kostenvorteile zu erzielen. Im ersten Moment mögen auch Kostenvorteile erzielt werden, jedoch erhöht sich hierdurch der in Arbeit befindliche Bestand WIP (Work in Process), wodurch sich Durchlaufzeiten, Reaktionszeiten auf Kundewünsche, Kundenzufriedenheitswerte und letztendlich die zu erwartende Kundennachfrage verschlechtern. Neely (1999) hebt hervor, dass Leistungskenngrößen in Bezug zueinander stehen und niemals standalone Variablen sind. Deshalb muss der Effekt einer Messgröße auf die Performance bestimmt werden. Suwignjo (2000) unterteilt die Effekte in indirekte (Faktoren, die einen Faktor beeinflussen, der einen direkten Einfluss auf die Performance hat), auf sich selbst einwirkende (Effekt den ein Faktor

auf sich selbst hat, z. B. der Zinsertrag auf angelegtes Geld) und direkte (Aggregat aller Effekte, die sich direkt auf die Performance auswirken). Es müssen also alle Interaktionen und Wechselwirkungen (Sterman 2000) zwischen den Performancemessgrößen bzw. den Performancedimensionen wie z. B. Effizienz- (z. B. Kosten) als auch Effektivitätskenngrößen (z. B. Geschwindigkeit, Kundenzufriedenheit, Zuverlässigkeit) verstanden und beachtet werden (Beamon 1999, Slack und Lewis 2007). Jede Veränderung an einer beliebigen Stelle im System (z. B. Durchlaufzeitverkürzung, Beseitigung der Flaschenhalsressource, Anwendung von angepassten Lagerbestandmanagementmethoden, etc.) kann das komplette Systemverhalten beeinflussen. Deswegen müssen die Performancemessgrößen auch mit unterschiedlichen Situationen zurechtkommen (Neely et al. 2000).

Best Value Supply Chains (s. Abschnitt 2.2) konzentrieren sich daher nicht auf eine einzelne Performancedimension, sondern auf eine ganze Reihe wie Kosten, Qualität, Flexibilität oder Reaktionsvermögen (Ketchen et al. 2008). Darüber hinaus ist das Ziel immer der Mehrwert für den Kunden (Ketchen et al. 2008). Zusätzlich müssen Leistungskenngrößen so ausgewählt werden, dass sie ein klares und aussagekräftiges Resultat liefern. Qualitative Bewertungsparameter wie „gut“, „adäquat“ oder „schlecht“ werden oft als zu vage angesehen. Daher werden meist quantitative Leistungsgrößen bevorzugt. Jedoch heißt das nicht zwingend, dass sie immer eine befriedigende Antwort liefern, wenn die vorhandene Datenbasis nicht geeignet ist, die Fakten zu beschreiben (Beamon 1999).

### **2.5.5 Modellvalidierung**

Das Ziel eines jeden Modells sollte es sein, die Realität so gut wie möglich abzubilden. Hierbei stellt der Validierungsprozess sicher, dass sich das Modell wie das echte System verhält (Kelton et al. 2003). Des Weiteren muss das Modell auch die korrekten Antworten auf die definierten Fragen liefern, um den erwünschten Nutzen zu garantieren.

Die Erfolgsdefinition hängt auch immer von der Zielgruppe ab. Für das Simulationsteam ist ein Modell erfolgreich, wenn es ein bestehendes Problem löst und die Anforderungen erfüllt sind. Das Management hingegen wird eine Simulationsstudie erst dann als erfolgreich betrachten, wenn die Ergebnisse nach der Implementierung auch in der Realität funktionieren (Kelton et al. 2003). Die Zielgruppe muss daher beim Validierungsprozess ebenso beachtet werden.

Ein angebrachter Startpunkt der Modellvalidierung ist das Testen bestimmter Teile des Modells, die klar definierte Ergebnisse haben. Zusätzlich empfiehlt es sich, Extremsituationen wie z. B. die bewusste Überlastung des Systems zu testen, um zu sehen,

ob die Modelllogik richtig reagiert. Diese Ergebnisse sollten mit der Zielgruppe diskutiert werden, um das erlangte Feedback zur Verbesserung in das Modell einfließen lassen zu können. Der nächste Schritt ist der Abgleich zwischen dem Modellverhalten und dem echten System. Die Plausibilität gestaltet sich oft sehr schwierig, weil keine geeignete Daten zum Abgleich bzw. kein reales System vorliegt (Kelton et al. 2003). Weiterhin dienen Modellvalidierungstests dazu, die Modellstruktur, die Modellzielsetzung oder Verfahrensweisen zu prüfen (Martis 2006).

Darüber hinaus wird das Modell durch Befragungen der Supply Chain Manager hinsichtlich der Genauigkeit als auch Umsetzbarkeit geprüft. Zusätzlich werden die Ergebnisse auf wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert, um vom theoretischen Standpunkt ebenso valide zu sein.

### **3 Gibt es einen empirischen Beweis für den in der Theorie beschriebenen nicht linearen Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung innerhalb von komplexen Fertigungsprozessen?**

In diesem Kapitel wird der in der Warteschlangentheorie beschriebene exponentielle Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung empirisch untersucht. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Untersuchungen aus Kapitel 4, die sich z. T. auf Warteschlangen basierender Modellierung und Annahme stützen, realitätsnahe Schlussfolgerungen zulassen. Dies ist besonders wichtig für Kapitel 5, indem die gewonnenen Erkenntnisse anhand einer bereits bestehenden Supply Chain umgesetzt werden.

#### **3.1 Einführung**

Der zeitliche Aspekt wurde bereits vor mehr als 20 Jahren als ein Wettbewerbsvorteil für Unternehmen in den verschiedensten Branchen identifiziert. Auch heute bleibt der Faktor Zeit ein wichtiger strategischer Bestandteil (s. Abschnitt 2.4).

Ungeachtet der Stärke und Richtigkeit axiomatisch quantitativer Ergebnisse existieren viele Probleme, dieses Wissen in die Praxis zu transferieren. Die meisten Unternehmen befinden sich in einem sich schnell ändernden Umfeld, weshalb die zugrundeliegende Annahme der Warteschlangentheorie über konstante Ankunftszeiten und einem stationären Verhalten in der Realität oft nicht erreicht werden (Govil und Fu 1999). Zum einen liegt das daran, dass sich variierende Ankunftszeiten aufgrund von Nachfrageschwankungen (z. B. externen wirtschaftlichen Faktoren) ergeben. Zum anderen verhindert die Variabilität innerhalb der Bedienzeit, dass das System einen stationären Zustand erreicht.

Trotz der enormen Bedeutung der Warteschlangentheorie für Verarbeitungsprozesse gibt es sehr wenig Forschungsarbeiten, die das Verhalten zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung empirisch untersuchen (Pahl et al. 2005, Pahl et al. 2007). Ein Grund für die geringe empirische Forschungsarbeit in diesem Bereich ist darin zu sehen, dass sich bei einem funktionierenden Werk keine breit gefächerten Auslastungsraten ergeben. Ein neu eröffnetes Werk zeigt zwar unterschiedliche Auslastungen in der Startphase, eignet sich aber aufgrund der erhöhten Variabilität nur bedingt als Untersuchungsgegenstand. Daher bietet die weltweite Finanz- und Wirtschaftskrise, die sich über einen längeren Zeitraum erstreckt und die unterschiedlichsten Auslastungsraten hervorruft, den optimalen Startpunkt einer empirischen Untersuchung. Empirisches Wissen ist nötig, um die dynamischen Zusammenhänge der Durchlaufzeit innerhalb komplexer Fertigungsprozesse besser zu verstehen. Dieser Ansatz steht auch im Einklang mit der Forderung von Melnyk und

Handfield (1998), nach generell mehr theoriegetriebener empirischer Forschung. Hierdurch können Lücken zwischen bereits bestehenden Warteschlangenmodellen der Theorie und den Anforderungen aus der Praxis identifiziert und geschlossen werden. Gerade in hoch ausgelasteten Situationen, versuchen Unternehmen die negativen Konsequenzen langer Durchlaufzeiten zu vermeiden, indem Absicherungsmaßnahmen, wie z. B. das Verschieben von Wartungsarbeiten, Kurzzeitanreize, um schneller zu arbeiten etc. greifen. Diese Praktiken beeinflussen allerdings die Verteilung der Durchlaufzeit und verzerren so den in der Theorie beschriebenen exponentiellen Zusammenhang in der Praxis. Das führt zu einem fundamentalen Problem, weil Manager, auch wenn sie von den theoretischen Zusammenhängen wissen, dieses Verhalten in der Realität nur schwer wahrnehmen können. Deshalb beschäftigen sie sich die meiste Zeit mit Absicherungsmaßnahmen, um die Symptome zu bekämpfen, anstatt sich den Gründen zuzuwenden.

Diese Studie untersucht die dynamischen Zusammenhänge der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung empirisch. Hierzu wird die Fallstudienmethode gewählt, weil sie ein geeignetes Mittel darstellt, um theoretische Sachverhalte in der Realität zu testen (Voss 2009). Das untersuchte Unternehmen ist als Premiummarke für polymerbasierte Lösungen weltweit führend. Diese Branche zeichnet sich vor allem durch sehr zeitkritische Kunden aus, die darüber hinaus ein hohes Maß an Qualität und schnellem Reaktionsvermögen fordern. Es werden mehr als 19.000 Produkte über einem Zeitraum von zweieinhalb Jahren hinsichtlich des Verhaltens von Durchlaufzeit und Ressourcenauslastung analysiert.

Kapitel 3 ist wie folgt strukturiert: Abschnitt 3.2 beschreibt den Fall, wobei besonders auf das Prozessmanagement, die Datenerfassung als auch Datenvalidierung eingegangen wird. Anschließend werden die Datenanalyse und die erzielten Ergebnisse in Abschnitt 3.3 dargestellt. Zum Schluss werden in Abschnitt 3.4 die Ergebnisse diskutiert, der Nutzen der Studie für Theorie und Praxis erläutert und einige Ausblicke über mögliche Erweiterungen für zukünftige Forschungsarbeiten gegeben.

### **3.2 Fallbeschreibung**

Die Studie untersucht die Prozesse vom Auftragseingang des Kunden über die Fertigstellung bis zur Auslieferung der Ware eines weltweit führenden polymer verarbeitenden Unternehmens. Hierbei liegt das Augenmerk auf einem der wichtigsten Werke der Firma. Es eignet sich besonders, weil es in einem agile Supply Chain Umfeld agieren muss und daher die Durchlaufzeit ein entscheidender Erfolgsfaktor ist (Naylor et al. 1999, Christopher und Towill 2000, Mason-Jones et al. 2000). Des Weiteren produziert das Werk in drei Schichten 24 Stunden und 365 Tage im Jahr. Daraus ergeben sich für die Studie perfekte Bedingungen, weil über das Wochenende bzw. die Ferienzeit keine Warteschlangen

aufgebaut werden, die die Ergebnisse verfälschen könnten. Zusätzlich ist eine der wichtigsten Erfolgsgrößen für den Werksmanager das Erreichen einer hohen Werksauslastung, um Kostenvorteile zu erzielen.

Zunächst werden der Auftragsabwicklungsprozess und die Organisationsstruktur des Werks beschrieben. Als nächstes folgt die Spezifikation der Datenauswertung, auf Basis derer der Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung untersucht wird.

### **3.2.1 Auftragsabwicklungsprozess und Werksstruktur**

Die weltweiten Kunden sind einem der 38 Verkaufsbüros, die aus diesem Werk beliefert werden, zugewiesen. Jedes Verkaufsbüro ist für das Customer Relationship Management (CRM) selbst verantwortlich. Hierzu gehören unter anderen Tätigkeiten wie das Entgegennehmen von Kundenbestellungen per Telefon oder einer spezifizierten elektronischen Schnittstelle (z. B. Webinterface, etc.), als auch Preisverhandlungen. Zusätzlich verfügen umsatzstarke Verkaufsbüros über ein eigenes Lager, dessen Verwaltung auch zu den Aufgabengebieten gehört.

Nachdem eine Kundenbestellung eingeht, wird diese auf Vollständigkeit kontrolliert, der Kunde auf Kreditwürdigkeit geprüft, der Auftrag im System erfasst und anschließend automatisch an das Werk übermittelt. Eine weitere Möglichkeit eines Produktionsauftrags besteht darin, dass der Bestellpunkt eines der Verkaufsbürolager erreicht ist und ein Lagerergänzungsauftrag an das Werk gesendet wird. Danach werden die Aufträge gemäß dem Kundenwunschtermin, der im Normalfall in naher Zukunft liegt, unter Berücksichtigung einer rüstopimalen Reihenfolge auf die vorhandenen Maschinen verplant. Das fertiggestellte Produkt wird entweder eingelagert (make-to-stock) oder direkt an den Kunden bzw. das Verkaufsbüro ausgeliefert (make-to-order). Abbildung 18 zeigt den beschriebenen Prozess mit den vorhandenen Zeitstempeln entlang einer Zeitachse.



**Abbildung 18: Prozesslayout inklusive der vorhandenen Zeitstempel**

### 3.2.2 Datenerfassung und Validierung

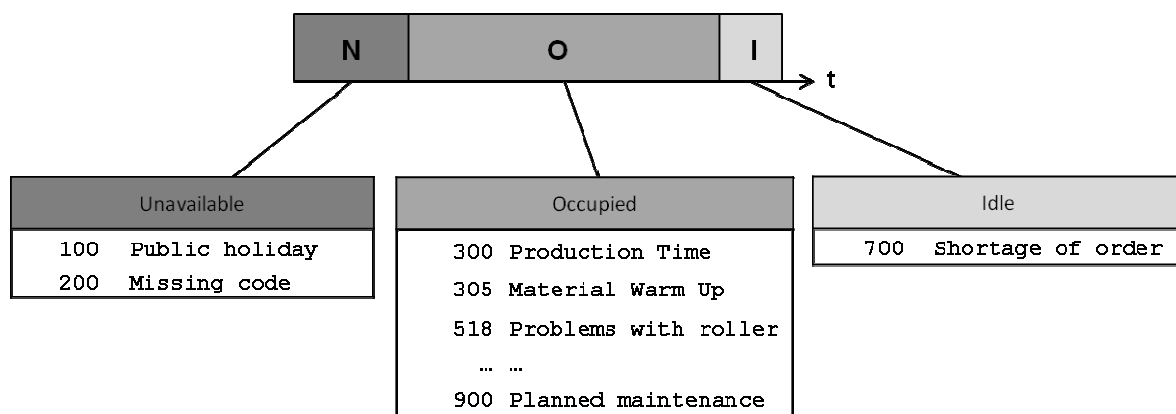
Um eine stimmige Datenbasis zu erhalten, die frei von organisatorischen Barrieren ist, wurde der Data Triangulation Ansatz gewählt (Croom 2009). Hierzu wurden per direktem Datenbankzugriff Daten abgefragt und anschließend mit Fachspezialisten validiert. Weiterhin erfolgten unstrukturierte Interviews mit Key User so wie Supply Chain Managern, Produktionsmanagern und IT-Spezialisten, um die zugrundeliegenden Prozesse besser zu verstehen. Auch konnten die Produktionsabläufe durch teilnehmende Beobachtung im Werk genauestens analysiert werden (Karlsson 2009, Voss 2009).

Die Datenerhebung wurde für das komplette Produktionswerk für die Dauer von zweieinviertel Jahren durchgeführt. Daraus ergaben sich mehr als 60.000 Produktionsaufträge, wovon gut 16.000 make-to-order sind und 19.000 verschiedene Produkte. Pro Produktionsauftrag liegen weitere Informationen wie der Kundenwunschtermin/Verkaufsbürowunschtermin, Kunden/Verkaufsbüro Bestelldatum, Übertragungsdatum an das Werk, Produktionsstartdatum, Produktionsendedatum, Auslieferdatum zum Kunden/Verkaufsbüro, Bestellmenge und Artikelbeschreibung vor.

Neben dem Zeitstempel des betrachteten Prozesses zur Ermittlung der Durchlaufzeit, werden auch Informationen über die Ressourcenauslastung benötigt. Hierzu wurden für den gleichen Zeitraum alle 45 Maschinen des Werks untersucht. Es gibt 50 verschiedene Zeitcodes, die exakte Information über den aktuellen Status der Maschine dokumentieren. Es wird sekundengenau aufgeschrieben, wenn sich ein Status einer Maschine ändert. Daraus ergeben sich 600.000 Datensätze.

### 3.3 Datenanalyse und Ergebnisse

Um den Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung empirisch zu untersuchen, muss zunächst die durchschnittliche Maschinenauslastung ermittelt werden. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten den Auslastungsgrad zu bestimmen, wobei diese Studie der Definition gemäß Suri (1998) folgt. Demnach wird jede Maschinenaktivität der Kategorie „Unavailable“, „Occupied“ oder „Idle“ zugewiesen. Unavailable bedeutet, dass die Maschine nicht zur Verfügung steht. Das können strategische Entscheidungen wie z. B. Werksferien sein. Hinter der Kategorie Occupied verbergen sich alle Aktivitäten, die die Maschine belegen z. B. Rüstzeiten, Betriebsstörungen, Produktionszeiten, Wartungsarbeiten oder das Nichtvorhandensein entsprechender Rohmaterialien. Die Einordnung Idle trifft zu, wenn die Maschine produzieren könnte, aber keine Produktion von Nöten ist, z. B. Auftragslücken. Die nachfolgende Abbildung gibt die beschriebenen Kategorien samt Zuordnung wieder.



**Abbildung 19: Zuweisung der Maschinenaktivitäten an die Kategorien Unavailable, Occupied und Idle.**

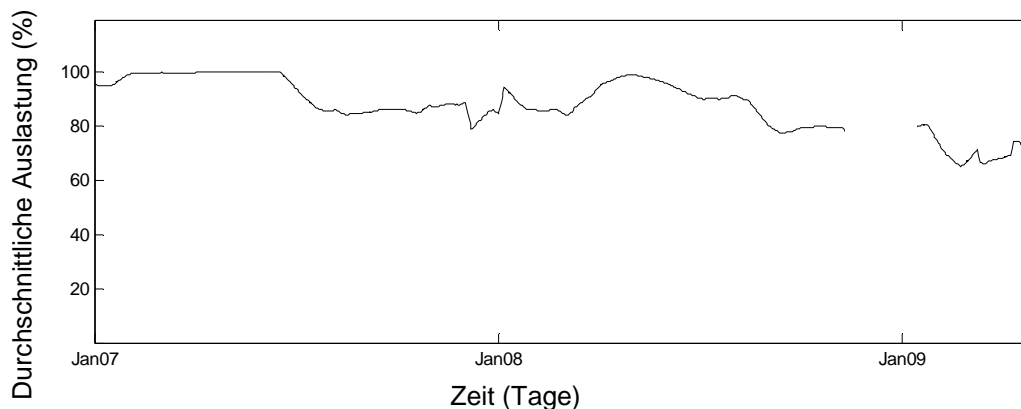
Die durchschnittliche Ressourcenauslastung  $U$  berechnet sich aus der Division der Summe aller Aktivitäten, die der Kategorie Occupied  $O$  zugewiesen sind, und der Summe aller verfügbaren Perioden (d. h.  $1 -$  Summe aller Perioden, die der Kategorie Unavailable zugeordnet sind).

$$U = \frac{O}{O + I} \quad (17)$$

Zur Berechnung der Ressourcenauslastung müssen demnach alle ermittelten Produktionsaufträge (make-to-stock und make-to-order) betrachtet werden.

Die tägliche Werksauslastung ergibt sich aus der Summe der 45 durchschnittlichen Maschinenauslastungen, die sich immer auf einen gleitenden Durchschnitt von 30 Tagen

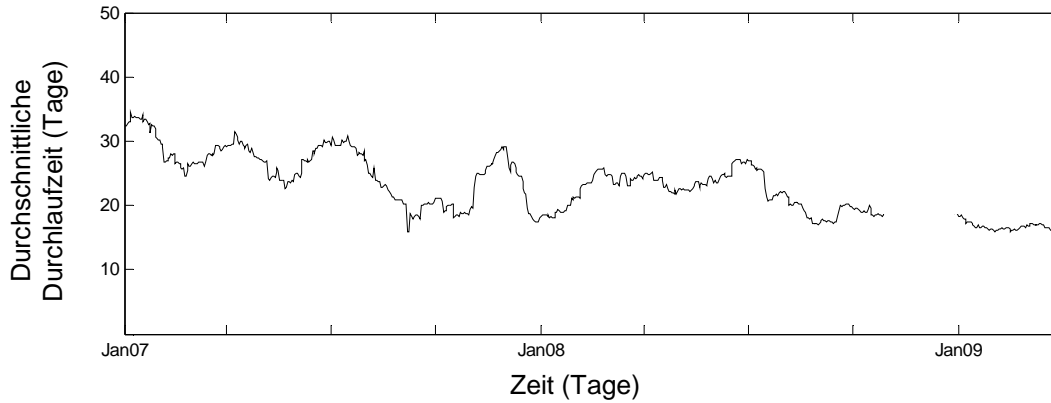
beziehen. Abbildung 20 zeigt den sich hieraus ergebenden gleitenden Durchschnitt der Werksauslastung für den Zeitraum zwischen Januar 07 und April 09.



**Abbildung 20: 30 tägiger gleitender Durchschnitt der täglichen durchschnittlichen Werksauslastung.**

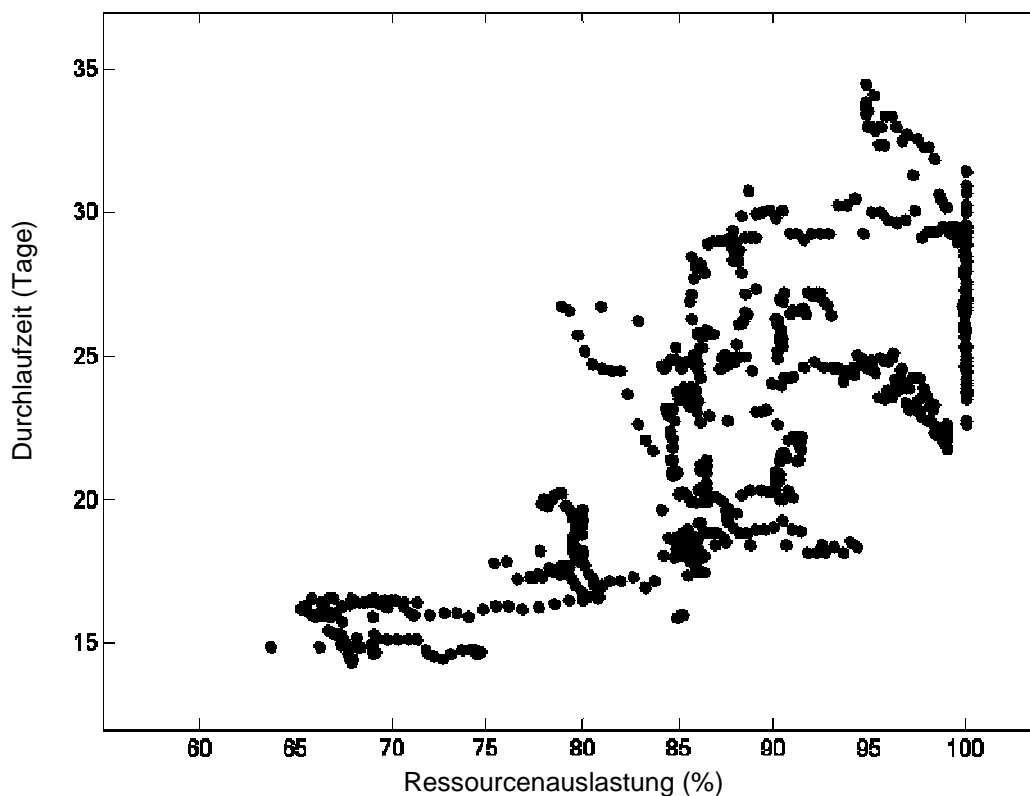
Die befragten Manager bestätigten, dass die erhöhte Variabilität der Werksauslastung ab Mitte 2008 aus der globalen Finanz- und Wirtschaftskrise resultiert. Diese ist auch dafür verantwortlich, dass das Werk über die Weihnachtszeit 2009 für den Zeitraum von zwei Wochen geschlossen wurde.

Als nächstes erfolgt die Bestimmung der Durchlaufzeit. Die 19.000 Produkte können sich zwar in Form und Aussehen unterscheiden, haben jedoch aufgrund des unterliegenden chemischen Prozesses eine annähernd identische Produktionsgeschwindigkeit. Deswegen wird zur Berechnung der Durchlaufzeit die Zeitdauer zwischen dem Auftragseingang im Werk und dem Produktionsendedatum herangezogen. Diese Analyse beinhaltet die 16.584 Produktionsaufträge, welche nach einem strikten make-to-order Verfahren bearbeitet werden, weil nur sie eine unverfälschte Zeitmessung zulassen. Die Dauer der Auslieferung der Ware wurde bei der Analyse exkludiert, um den Einfluss weiterer Variabilität durch externe Logistikdienstleister zu vermeiden. Darüber hinaus wurden im Zeitraum der Werksferien keine Auswertungen vorgenommen. Die Auswertung ist in Abbildung 21 zusammengefasst.



**Abbildung 21: 30 tägiger gleitender Durchschnitt der täglichen durchschnittlichen Durchlaufzeit.**

Schließlich können die gemittelten Werte der durchschnittlichen Durchlaufzeit den gemittelten Werten der durchschnittlichen Ressourcenauslastung zugewiesen werden. Das Ergebnis ist im nachfolgenden Streudiagramm ersichtlich.



**Abbildung 22: Einordnung der 16.584 Produktionsaufträge gemäß Durchlaufzeit und Ressourcenauslastung.**

Anhand des Diagramms lässt sich bereits ein exponentieller Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung erkennen.

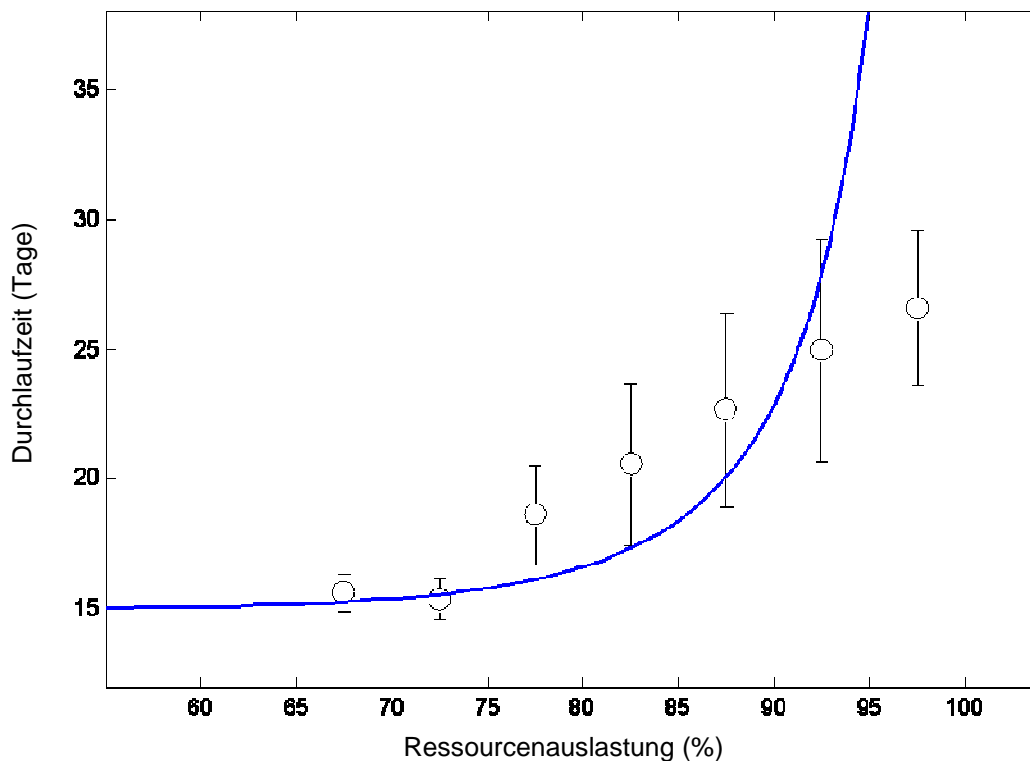
Im nächsten Schritt muss überprüft werden, wie die empirisch ermittelten Daten mit denen aus einem theoretischen Modell übereinstimmen. Dazu werden die empirischen Daten in einem Boxplotdiagramm zusammengefasst. Dieser Diagrammtyp stellt auf einfache Art und Weise dar, in welchem Bereich Daten liegen und wie sie verteilt sind. Zu diesem Zweck werden die Datenpunkte in Fünf-Prozentschritten bezüglich der Ressourcenauslastung in einer Box zusammengefasst. Als nächstes erfolgt die Berechnung der theoretischen Durchlaufzeit, die sich aus der Bedienzeit  $T_p$  und der Wartezeit  $T_i$  ergibt (Suri 1998, Bolch et al. 2006).

$$LT = T_p + T_i \quad (18)$$

Die Wartezeit eines klassischen Multiserver Warteschlangenmodells errechnet sich aus:

$$T_i = \frac{T_p \times U \sqrt{2 \times (c + 1) - 1}}{c \times (1 - U)} \times \frac{c_i^2 + c_p^2}{2} \quad (19)$$

Hierbei steht  $U$  für die Auslastung des Systems,  $c_i^2$  für den Variationskoeffizienten der Zwischenankunftszeit,  $c_p^2$  für den Variationskoeffizienten der Bedienzeiten und  $c$  für die Anzahl der parallel arbeitenden Bediener. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 ersichtlich.

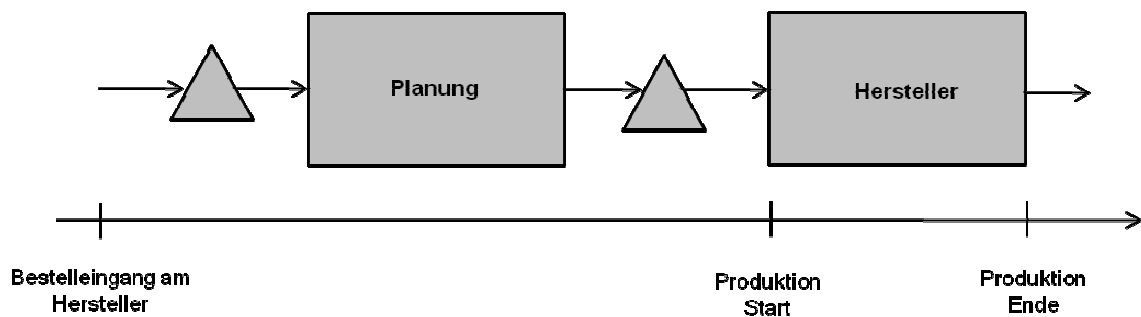


**Abbildung 23: Boxplotdiagramm der Datenauswertung und der Verlauf eines klassischen Multiserver Warteschlangenmodells (blaue Linie).**

Anhand des Diagramms ist ersichtlich, dass der in der Theorie beschriebene exponentielle Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung prinzipiell auch bei sehr komplexen Fertigungsverfahren in der Realität auftritt. Größere Abweichungen lassen sich lediglich bei sehr hohen Auslastungsraten größer 95 Prozent erkennen. Bis zu diesem Wert ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von 0,46. Darüber kommen Abweichung besonders dadurch zustande, dass Werksmanager mit zunehmender Auslastung immer größere Anstrengungen unternehmen, um die Durchlaufzeit stabil zu halten (s. Abschnitt 3). Darüber hinaus empfehlen viele warteschlangenbasierte Softwareanwendungen wie, z. B. MPX© (MPX User Manual 2001), bei der Modellierungen eine Ressourcenauslastung von 95 Prozent nicht zu überschreiten.

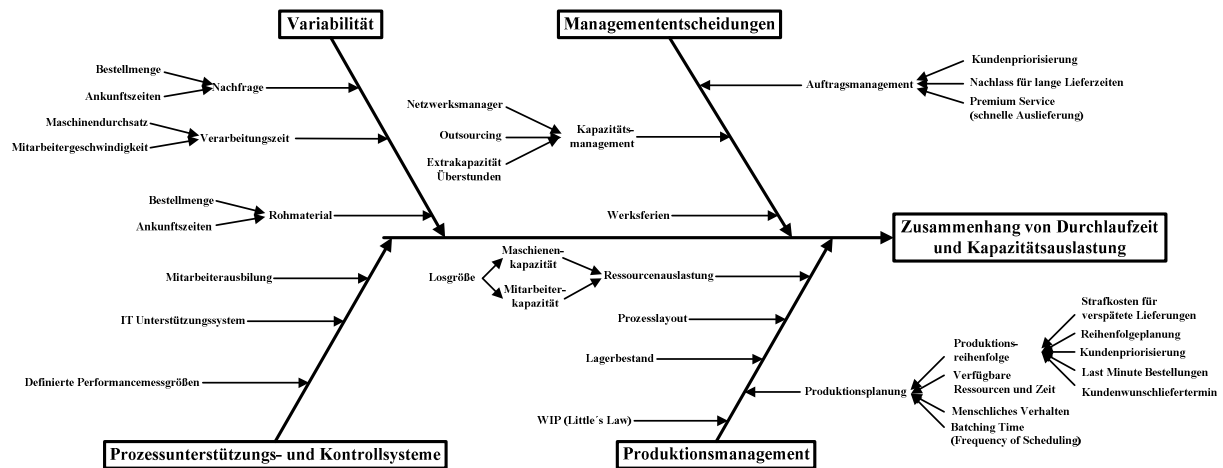
Unterhalb dieses Grenzwerts lassen sich lediglich geringfügige Abweichungen feststellen. Sie resultieren daraus, dass der untersuchte Produktionsprozess etwas komplexer ausfällt als er in Abbildung 18 beschrieben wird. Nachdem ein Produktionsauftrag im Werk ankommt, wird dieser auf die vorhandenen Maschinen verplant (s. Abbildung 24). Es wird jedoch in keinem der vorhandenen IT Systeme dokumentiert, wann dieser Prozessschritt beginnt und abgeschlossen ist. Daher kann es möglich sein, dass z. B. aufgrund eines weiter in der Zukunft liegenden Kundenwunschtermins nicht sofort nach Erhalt des Produktionsauftrags

mit der Verplanung begonnen wird. Nach mehreren Interviews mit dem Produktionsmanager, dauert es nach Erhalt des Produktionseingangs im Regelfall nicht länger als drei Tage bis die Planung abgeschlossen ist und sich die Aufträge in der Warteschlange befinden, weil es sich um make-to-order Aufträge mit einem sehr zeitnahen Kundenwunschtermin handelt. Dadurch ist es möglich, dass die ermittelte durchschnittliche Durchlaufzeit (Auftragseingang bis Produktionsstart) in Relation zu der durchschnittlichen Ressourcenauslastung (Produktionsstart bis Produktionsende) z. T. oberhalb des klassischen Verlaufs des Multiserver Warteschlangenmodells liegt (s. Abbildung 23).



**Abbildung 24: Detailausschnitt von Auftragseingang bis Produktionsende (vergl. Abbildung 18).**

Ferner gibt es eine Vielzahl von firmeninternen Gegebenheiten, die die Variabilität erhöhen und damit auch kleinere Abweichungen zu der theoretischen Kurve erklären. Anhand von Interviews mit Werksmitarbeitern und einer ausgiebigen Literaturrecherche wurde ein Ursachenwirkungsdiagramm erstellt, welches eine Auswahl der meistgenannten internen (z. B. Bearbeitungszeitvariabilität) und externen (z. B. Kundennachfragevariabilität) Faktoren wiedergibt, die das Verhältnis zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung beeinflussen z. B. Karmarkar (1987), Silver et al. (1998), Suri (1998), Beamon (1999), Vaughan (2004), Nahmias (2005), Askenazy et al. (2006) und Bolch et al. (2006).



**Abbildung 25: Ursachenwirkungsdiagramm der meistgenannten Faktoren, die das Verhältnis zwischen Durchlaufzeit und Ressourcenauslastung beeinflussen.**

Dennoch lässt sich festhalten, dass die Warteschlangentheorie komplexe Fertigungsprozesse mit einer Vielzahl von Einflussfaktoren realitätsnah beschreibt und sich zur Analyse solcher als auch zum Training des allgemeinen Verständnisses perfekt eignet.

### 3.4 Schluss

#### 3.4.1 Ergebnisse

In dieser Studie wurde die Beziehung zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung empirisch untersucht. Hierfür sind mehr als 16.000 Produktionsaufträge über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren ausgewertet worden, um die durchschnittliche Durchlaufzeit sowie die durchschnittliche Ressourcenauslastung zu bestimmen und in Relation zu setzen. Die Ergebnisse belegen den aus der Warteschlangentheorie beschriebenen nicht linearen Zusammenhang empirisch. Auch wenn aufgrund des komplexen Fertigungsprozesses und interner Optimierungsverfahren, wie z. B. der Bildung einer rüstoimalen Reihenfolge, Kundenbevorzugung, etc. zusätzliche Faktoren entstehen, die den Zusammenhang beeinflussen und so kleinere Abweichungen zur Theorie zeigen, bieten Warteschlangenmodelle eine gute Möglichkeit die Realität wiederzuspiegeln. Sie eignen sich damit hervorragend die dynamischen und nicht intuitiven Zusammenhänge der Durchlaufzeitverkürzung zu analysieren und in letzter Konsequenz zu bewerten. Des Weiteren ermöglichen sie, Optimierungsansätze und deren Auswirkungen in einem komplexen Produktionssystem vor der realen Umsetzung zu untersuchen. Damit können Assoziogramme trainiert und Manager bei der effektiven (das Richtige tun) und effizienten (Dinge richtig tun) Entscheidungsbildung als auch -umsetzung unterstützt werden.

### **3.4.2 Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete**

Insgesamt lassen sich die Ergebnisse mit den empirischen Daten eines einzelnen Unternehmens schlecht generalisieren. Die Problematik ist zum einen, dass man für die Analyse eine umfangreiche Datenbasis benötigt. Zum anderen werden diese Daten von vielen Unternehmen als sehr sensible betrachtet und werden nicht herausgegeben. Darüber hinaus muss gesagt werden, dass die Bereitstellung der benötigten Information und Daten eine sehr anspruchsvolle Aufgabe ist, weil diese oft nicht vorhanden sind und auf andere Art und Weise beschafft werden müssen oder die Abfragen und Verknüpfung bestehender IT-Systeme komplex sind. Dennoch wäre es wünschenswert, weitere empirische Forschung in diese Richtung voranzutreiben.

Das Ursachenwirkungsdiagramm kann nur als erster Schritt verstanden werden, Faktoren, die den Zusammenhang zwischen der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung beeinflussen können, zu benennen. Zusätzliche Forschungsarbeit ist hier von Nöten, damit diese besser generalisiert und klassifiziert werden können. Darüber hinaus muss deren Auswirkung bestimmt werden. Das wird helfen, den oben beschriebenen empirischen Zusammenhang noch besser zu verstehen und Warteschlangenmodelle weiter zu optimieren. Dieses Vorgehen wird auch durch Govil und Fu (1999) unterstützt, indem sie mehr anspruchsvolle Warteschlangenmodelle fordern, die die Komplexität realer Herstellungsprozess effektiver integriert. Allerdings sollte darauf geachtet werden, dass die Komplexität realitätsnäherer Warteschlangenmodelle handhabbar bleiben, weil sie sehr schnell mathematisch und kompliziert werden (Govil und Fu 1999).

### **3.4.3 Zusammenfassung und Ausblick**

Abschließend lässt sich feststellen, dass sich eine warteschlangenbasierte Modellierung für den weiteren Verlauf der Arbeit sehr gut eignet, um die komplexen und dynamischen Zusammenhänge der Durchlaufzeit realitätsnah zu analysieren und zu bewerten. Dabei ist besonders interessant, wie sich die Durchlaufzeitverkürzung innerhalb des Netzwerks von kunden-, finanz- und produktionsrelevanten Erfolgsmessgrößen auswirkt. Die durchgeführte empirische Studie hat gezeigt, dass sich die ausgewählte Firma mit ihrem größten Produktionswerk als passender Untersuchungsgegenstand eignet, um eine Datenbasis der nachfolgenden Modelle zu schaffen und weitere Ergebnisse abzuleiten.

## **4 Ein Modell zur Bewertung von Durchlaufzeitverkürzungsansätzen basierend auf Rapid Modelling und System Dynamis<sup>1</sup>**

Im vorgehenden Kapitel konnte der in der Theorie beschriebene nicht lineare Zusammenhang von durchschnittlicher Ressourcenauslastung und durchschnittlicher Durchlaufzeit empirisch nachgewiesen werden. Auf dieser Grundlage wird in diesem Kapitel ein nachhaltiges Bewertungsmodell unter besonderer Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren entwickelt, mit dem es möglich ist die Durchlaufzeit hinsichtlich der involvierten Effektivitäts- und Effizienzkenngößen des Gesamtsystems zu analysieren und zu evaluieren.

### **4.1 Einführung**

Die Verkürzung der Durchlaufzeit ist dafür bekannt, die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen als auch ganzen Supply Chains in vielen Industriezweigen zu verbessern (Suri et al. 1993, Suri 1998). Lange Durchlaufzeiten führen dazu, dass Unternehmen wegen einer schlechten Kundenzufriedenheit und daraus resultierenden niedrigeren Kundenbindung Marktanteile verlieren (Ittner und Larcker 1998). Darüber hinaus müssen viele Firmen in Industrieländer kundenspezifische Produkte schneller anbieten, um dadurch einen besseren Servicelevel gegenüber Wettbewerber aus Niedriglohnländern zu erreichen, um mit diesen konkurrieren zu können (Gunasekaran 1998, Suri 2010). In diesem Fall sind zeitbasierte Bewertungskriterien der entscheidende Faktor, um die strategische Position zu halten bzw. auszubauen. Dies trifft besonders zu, wenn man sich in einem agile Supply Chain Umfeld bewegen muss (Naylor et al. 1999, Christopher und Towill 2000, Mason-Jones et al. 2000, Lee 2002). Zeitbasierter Wettbewerb (Stalk und Hout 1990, Askenazy et al. 2006) macht dem Faktor Zeit zu einer entscheidenden Performancekenngroße. Um diese zu verbessern, ist die Durchlaufzeitverkürzung eine der effektivsten Methoden. Sind die Durchlaufzeiten sehr lange, ist die Supply Chain mit unnötigem Lagerbestand (WIP) gefüllt. Ungeachtet der Demonstration der Wichtigkeit der Durchlaufzeitverkürzung für viele Branchen, wird ihr sehr häufig weniger Beachtung geschenkt als klassischen Kosteneinsparungsprogrammen.

Die Prinzipien von Rapid Modelling, welche z. B. auf der Warteschlangentheorie basieren, bilden die theoretische Grundlage der Durchlaufzeitverkürzung. Diese sind in der Forschung bestens bekannt, jedoch entstehen immer wieder Probleme, dieses Wissen in die Praxis zu transferieren (s. aktuelle Entwicklung in Reiner (2009) und Reiner (2010)). Die Bedeutung der Verkürzung der Durchlaufzeit wird von erfahrenen Managern verstanden, jedoch steht

---

<sup>1</sup> Auszüge aus diesem Kapitel sind auf Englisch in „Gläßer, D., B. Rabta, G. Reiner und A. Alp (2010). Evaluation of the Dynamic Impacts of Lead Time Reduction on Finance Based on Open Queueing Networks. in: G. Reiner: Rapid Modelling and Quick Response - Intersection of Theory and Practice, London, Springer, 145-161“ erschienen.

sie nicht in deren Fokus. Für viele Manager geht die Verkürzung der Durchlaufzeit mit schnellerer und härterer Arbeit einher, um Aufträge in weniger Zeit fertigstellen zu können. Hierbei verstehen sie jedoch nicht die kompletten funktionalen Abhängigkeiten zwischen Durchlaufzeit, Kapazität und Variabilität (Suri 1998). Des Weiteren denken viele Entscheidungsträger auch, dass Maschinen und Personal beschäftigt gehalten werden müssen, um die Produktion zu beschleunigen. Jedoch ist das Vorgehen kontraproduktiv, weil es zu erhöhten und nicht niedrigeren Durchlaufzeiten führt. Diese Annahme zusammen mit dem gegebenen Kostendruck bildet die weitverbreitete Devise der Erhöhung der Ressourcenauslastung. Jenes Verhalten steht in vielen Fällen im Gegensatz zu den echten Operations Management Anforderungen, wenn es z. B. in einem agile Supply Chain Umfeld darum geht, Kundenanforderungen schnellst möglich zu befriedigen (Christopher und Towill 2000). Zusätzlich ist offensichtlich, dass die Durchlaufzeit die Höhe des Lagerbestands beeinflusst. Gemäß der klassischen Formel zur Berechnung des Lagersicherheitsbestands füllen lange Durchlaufzeiten die Supply Chain mit Inventar und erhöhen so den cash-to-cash cycle (Silver et al. 1998, Hammel et al. 2002, Nahmias 2005). Darüber hinaus trägt die Durchlaufzeitverkürzung auch dazu bei, die Lagerhaltungskosten, besonders den Sicherheitsbestand und die Kapitalkosten zu senken (Christopher 1998), ohne dabei das Service Level zu verschlechtern (z. B. Anzahl von Stock Outs, usw.).

Ein weiteres Problem in diesem Kontext ist, dass viele Manager große Losgrößen als Möglichkeit ansehen, um die vorhandene Kapazität besser zu nutzen bzw. zu erhöhen und um Rüstkosten zu sparen. Zur Berechnung der optimalen Losgröße wird sehr häufig eine verfeinerte Variante der Economic Order Quantity (EOQ) (Silver et al. 1998, Nahmias 2005) verwendet. Jedoch scheitert diese Methode die „echten“ Kosten von großen Losgrößen zu bestimmen und vernachlässigt die Wichtigkeit des Reaktionsvermögens und der Behändigkeit (Goldman et al. 1995, Suri 1998).

Little's Gesetz (Little 1961) besagt, dass die Verkürzung der Durchlaufzeit den in Arbeit befindlichen Bestand (WIP) als auch die eingesetzten Betriebsmittel reduziert (vergl. Abschnitt 2.4.2). Dadurch kann die Kapitalbindung reduziert werden, ohne das Serviceziel zu gefährden. Das hat zur Folge, dass sich der Kapitalumsatz erhöht, weshalb der Return on Invest (ROI) (Zäpfel 2001) verbessert wird (Hopp und Spearman 2007). Diese Abhängigkeiten müssen allerdings im Rechnungswesen beachtet werden, um deren Aussagekraft zu erhöhen (Maskell und Kennedy 2007). Unglücklicherweise vernachlässigen das traditionelle Rechnungswesen und Entlohnungssysteme, die z. B. auf klassischen Kosteneinsparungen basieren, die Bedeutung der Durchlaufzeitverkürzung und deren Wechselwirkung auf die finanzielle sowie Gesamtperformance des Systems. Traditionelle Kostenrechnungsverfahren sind auf Massenproduktionskenngrößen wie z. B. erhöhte Mitarbeitereffizienz, maximierte Ressourcenauslastung ausgelegt. Dies wiederum führt zu

einem erhöhten Lagerbestand und längeren Durchlaufzeiten und entspricht nicht den Lean Gedanken (Maskell und Kennedy 2007, Van der Merwe 2008). Moderne Operation Management Prinzipien betonen die Wichtigkeit der Schaffung und des Erhalts von Kapazität, um Wachstum zu ermöglichen und sich gegen Risiken abzusichern. Produktkosten sollten mit den Prozesskosten korrelieren. Deshalb ist einer der Schlüsselaspekte zum Erfolg die Beherrschung und Verbesserung des Ablaufs und insbesondere der Geschwindigkeit sowie der Effizienz (Johnson 2006, Maskell und Kennedy 2007, Maynard 2008, Van der Merwe 2008).

Es wird ein Bewertungsmodell erstellt, um die Effekte verschiedener Durchlaufzeitverkürzungsansätze hinsichtlich der Gesamtpformance eines Systems zu analysieren und zu bewerten. Die Untersuchung wird auf der Basis von Rapid Modelling und System Dynamics Modellen unter dem Einsatz von empirisch quantitativen Daten vollzogen. Mit diesen Modellen ist es möglich, kausale Zusammenhänge zwischen Produktions-, Kunden- und Finanzperformancekenngrößen zu reproduzieren.

Abschnitt 4.2 hebt den Stellenwert der Auswahl der richtigen Performancekenngrößen und deren Interaktion hervor. Anschließend beschreibt Abschnitt 4.3 das Bewertungsmodell. Im speziellen wird auf die Verbindungen zwischen Effektivitäts- und Effizienzkenngößen eingegangen. Im Anschluss zeigt Abschnitt 4.4 eine empirische Illustration aus der polymer verarbeitenden Industrie. Ferner werden Beispiele vorgestellt, die es im Produktionsumfeld erlauben, die Durchlaufzeit zu verbessern. Hierdurch gelangtes, die Durchlaufzeitverkürzung ohne große Investitionen schnell und effektiv voranzutreiben. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse diskutiert (Abschnitt 4.5). Im Abschnitt 4.6 erfolgt eine Langzeitanalyse und die Erörterung der erzielten Ergebnisse. Abschnitt 4.7 schließt mit der Folgerung und einem Ausblick ab.

## **4.2 Auswahl der Performancekenngrößen**

Traditionell wurden finanzkalkulatorische Kenngrößen benutzt, um die Businessperformance zu messen. Jedoch wächst im Laufe der Zeit die Unzufriedenheit über ihre Aussagekraft. Sie sind nicht mehr zeitgemäß, weil sie zu eng gefasst sind und keine Einsichten über die echten Treiber der Businessperformance ermöglichen, wie z. B. Informationen der Kundenbedürfnisse oder wie Wettbewerber auftreten (Ghalayini und Noble 1996, Beamon 1999, Neely 1999, Li et al. 2007). Viele Indikatoren wie Wissen, Fähigkeiten, Mitarbeiterzufriedenheit und Kundenloyalität sind nicht greifbar und daher schwer zu messen. Finanzielle Kenngrößen wie DuPont's ROI (Bodie et al. 2003) sind nur ein Startpunkt für die Entwicklung erweiterter Performancekenngrößenmodelle (Kaplan und Norton 1997). Das ist entscheidend, weil viele Unternehmen immer noch an die

Überlegenheit von low-cost Strategien glauben, die auf traditionellen finanzkalkulatorischen Kenngrößen beruhen. Dabei sollten sie mehr über das Thema Zeit bzw. zeitbasierten Leistungskenngrößen und deren Abhängigkeiten zu finanziellen Kenngrößen, Kundenzufriedenheit etc. wissen. Neely (1999) hob zudem hervor, dass Performancemerkmale nicht alleinstehend sind, sondern in Wechselwirkung zueinander stehen. Deshalb sollten die Interaktionen zwischen den verschiedenen Supply Chain Dimensionen und Charakteristiken wie z. B. finanziellen und nicht finanziellen beachtet werden (Beamon 1999, Slack und Lewis 2007). Reiner und Hofmann (2006) hoben die Abhängigkeiten zwischen Performancekenngrößen ebenso hervor, indem sie feststellen, dass operative Leistung und finanzieller Erfolg in engen Zusammenhang stehen. Dieses Statement wird auch von Hill et al. (2002) unterstützt, wenn sie erwähnen, dass das Zusammenführen des Kundenbedarfs (Marktsicht) und der Kapazität (operative Sicht) Auswirkungen auf den finanziellen Erfolg hat. In diesem Sinn lässt sich für Unternehmen nur dann ein weiterer Nutzen erzielen, wenn sie in der Lage sind, die Nachfrage des Kunden mit den operativen Ressourcen in Einklang zu bringen.

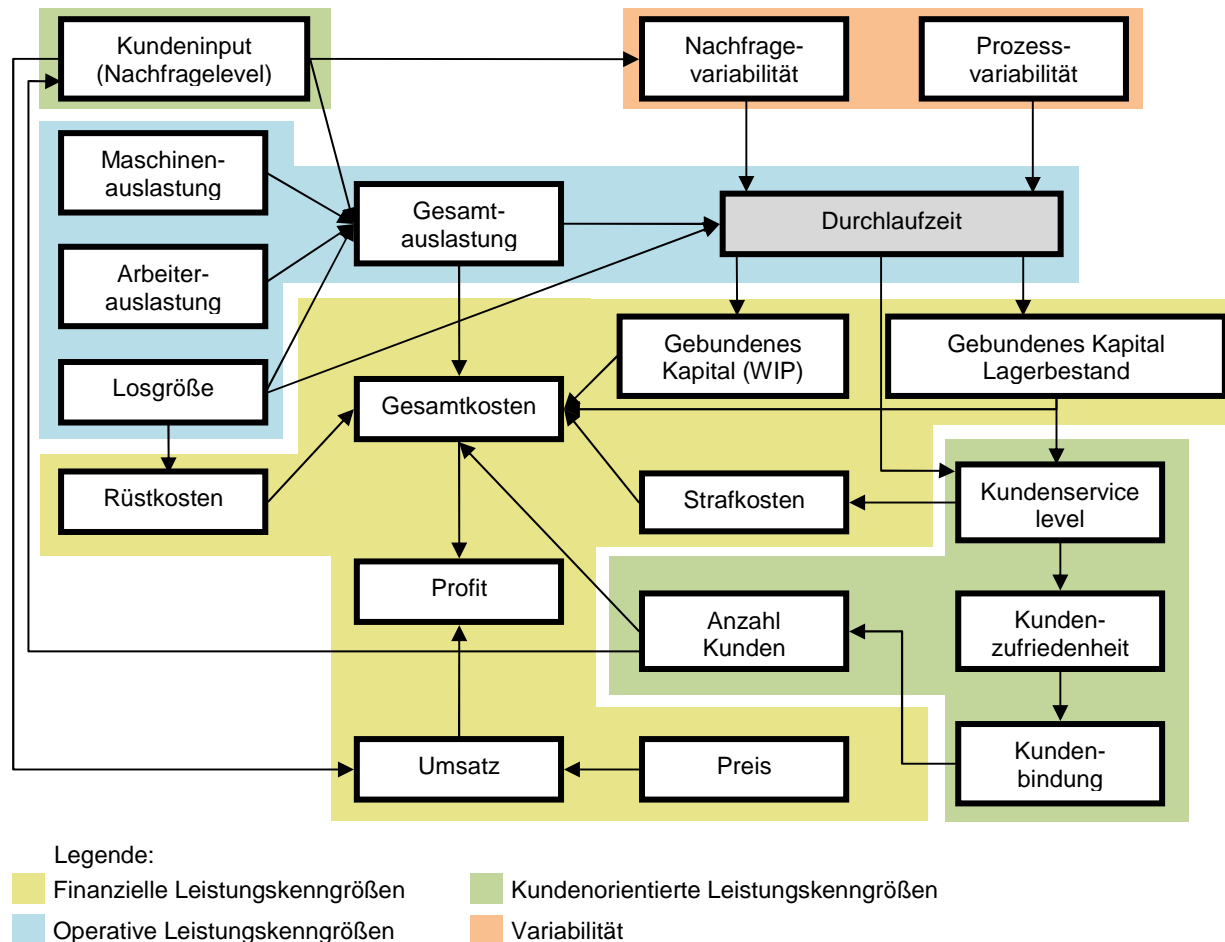
Es wurde bereits viel Arbeit investiert, um auf diese Anforderung Lösungen zu finden (z. B. Balanced Scorecard). Jedoch fehlt nach wie vor eine umfassende, quantitative Beschreibung der Ursachen-Wirkungs-Beziehung. Erfolgreiche Manager müssen diese Beziehungen und Abhängigkeiten beachten. Allerdings ist es mit klassischen Ansätzen schwierig, die Wechselwirkungen und die daraus resultierenden Effekte auf die Unternehmensperformance vorauszusagen (Grünberg 2004). undefinierte Änderungen der verfügbaren Ressourcen, die durch Kosteneinsparungsprogramme (z. B. Abbau von scheinbaren Überkapazitäten) hervorgerufen sind, können am Ende zu einer erhöhten Durchlaufzeit und damit zu einer schlechteren Gesamtperformance des Unternehmens führen.

Moderne zeitbasierte Leistungskenngrößensysteme müssen deshalb tiefgreifender sein (Li et al. 2007). Es ist erforderlich, dass erweiterte Leistungsmessungssysteme die zeitlichen Aspekte als auch kontinuierliche Änderungen integrieren (Ghalayini und Noble 1996, Neely 1999, Neely et al. 2000). Deswegen braucht man Performancekenngrößen, die die Systemdynamik wiederspielen (Santos et al. 2002, Zheng und Lai 2008).

### **4.3 Das Bewertungsmodell**

Das Bewertungsmodell beschreibt ausgehend von der Durchlaufzeit die Abhängigkeiten zwischen operativen, kundenorientierten und finanziellen Leistungskenngrößen. Dabei werden sowohl Performancekenngrößen zur Bestimmung der Effizienz (Auslastung, Kosten, usw.) als auch Performancekenngrößen zur Ermittlung der Effektivität (z. B. Kundenzufriedenheit, Durchlaufzeit) betrachtet. Abbildung 26 zeigt das Bewertungsmodell,

welches die Zusammenhänge der Performancekenngrößen für eine make-to-order Umgebung wiedergibt. Die make-to-order Strategie wurde ausgewählt, weil sie noch immer die dominierende Strategie für Produkt Supply Chains ist (Hofmann und Reiner 2006). Zusätzlich werden die hochverlinkten Kostenfaktoren dargestellt, die in traditionellen Kostenleistungsrechnungssystemen meist nur bedingt betrachtet werden.



**Abbildung 26: Bewertungsmodell zur ganzheitlichen Beurteilung der Durchlaufzeit für eine make-to-stock Umgebung.**

Im Speziellen wird besonders häufig der rechte Teil des Bewertungsmodells (Wechselwirkung der Durchlaufzeit) komplett vernachlässigt. Es gibt eine starke Beziehung zwischen der Durchlaufzeit und des in Arbeit befindlichen Bestands (Little 1961) sowie der Lagerhaltungskosten. Ferner kann gesehen werden, dass eine Reduktion der Durchlaufzeit einen niedrigeren Lagersicherheitsbestand nach sich zieht. Dies wiederum führt zu niedrigeren Lagerhaltungskosten bei gleichzeitig erhöhtem Kundenservicelevel, erhöhter Kundenzufriedenheit als auch Kundenbindung und zu einer Verringerung der Strafkosten. Die Kundenzufriedenheit und Kundenbindung ihrerseits beeinflussen die Gesamtkosten, weil die Kundenerhaltungskosten meist niedriger sind als die Kundenneuerwerbungskosten.

Zusätzlich erhöht sich die Anzahl von Kunden im System, was einem größeren Marktanteil gleichkommt (Reiner 2005a, Bielen und Demoulin 2007, Reiner und Natter 2007). Deshalb werden Umsatz, Profit und auf lange Sicht auch die Kundennachfrage steigen. Die zwei Hauptvariablen Umsatz und Gesamtkosten, die einen großen Einfluss auf den Profit haben, werden also maßgeblich durch die Durchlaufzeit bestimmt. Der Link zwischen der Anzahl der Kunden und dem Nachfragelevel schließt den Bewertungskreislauf. Anhand der beschriebenen Wechselwirkungen ist es offensichtlich, dass man nicht eine einzelne Performancevariable ändern kann, ohne dabei die Leistung des gesamten Systems zu ändern.

Generell lässt sich zu dem obigen Schaubild festhalten, dass es natürlich noch weitere Einflussfaktoren gibt, die das Verhältnis der Durchlaufzeit und der Ressourcenauslastung beeinflussen (vergl. Abbildung 25). Nichtsdestotrotz sind besonders die Losgröße und die Auslastung der Ressourcen die maßgeblichen Faktoren, die die Durchlaufzeit steuern (s. Kapitel 3). Des Weiteren sind andere Aspekte, wie z. B. menschliches Verhalten nur schwer vorherzusehen und mit Daten zu belegen. Dennoch ermöglicht die Flexibilität des Bewertungsmodells selbstverständlich, dass Anpassungen/Erweiterungen erfolgen können, wenn es der Anwendungsfall bedarf.

Offene Warteschlangennetzmodelle bieten mehr Einsicht in dieses komplexe Verhalten. Diese Modelle von Produktionsprozessen sind in der Lage die relevanten Outputperformancegrößen und Zielkonflikte zu bestimmen. Weiterhin ermöglichen offene Warteschlangennetze, die Variabilität der Prozessparameter zu berücksichtigen. Das ist wichtig, weil die Variabilität eine Quelle für Verzögerungen im System darstellt und daher die Gesamtperformance negativ beeinflusst (Hopp und Spearman 2007) (s. Abschnitt 2.4). Die Bedeutung der Warteschlangentheorie in der Forschung und Analyse von Produktions- und Servicesystemen ist weit fortgeschritten. Suri et al. (1993), Govil und Fu (1999), Bolch et al. (2006) und Shanthikumar et al. (2007) bieten eine detaillierte Diskussion analytischer Modelle und gleichzeitig eine Übersicht von Einsatzmöglichkeiten der Warteschlangentheorie im Produktionsumfeld. Im Detail basiert die Analysemethodologie auf Warteschlangennetzzerlegungsmethoden mit einer Vielzahl von Aggregationsstufen, um mit typischen Produktionsmerkmalen umzugehen. Jede Station wird von einer G/G/m Warteschlange beschrieben. Hierbei durchlaufen Produkte den Herstellungsprozess auf fest definierten Routen. Dieser Ansatz wurde von Kuehn (1979) und Whitt (1983) sowie weiteren entwickelt. Rabta (2009) gibt einen Rückblick über Zerlegungsmethoden und offene Warteschlangennetze.

Mit Hilfe des Bewertungsmodells ist es möglich, verschiedene Ansätze zur Durchlaufzeitverkürzung (z. B. Optimierung der Losgröße, Pooling von Ressourcen) zu untersuchen und die Systemgesamtpformance zu bewerten. Insbesondere bietet diese Analyse der Interaktionen zwischen zeitbasierten und nicht zeitbasierten Leistungskenngrößen als auch finanziellen Leistungskenngrößen eine umfassendere Übersicht der involvierten Zusammenhänge.

Die Berechnungen der operativen Leistungskenngrößen werden mit MPX© (MPX User Manual 2001) durchgeführt, weil sie aufgrund der Komplexität vieler Produktionssysteme nicht durch einfache Formeln dargestellt werden können. Als Alternative bietet sich noch die Rapid Modeler© Software (University of Neuchâtel 2010) an. Beide Softwareprodukte ermöglichen ein standardisiertes Vorgehen bei der Modellierung von Produktionssystemen. Der Hauptalgorithmus verwendet Warteschlangennetze, um das System zu modellieren und berechnet Ergebnisse wie Auslastung, WIP Lagerbestand, Durchlaufzeit etc. Die Evolution von Warteschlangennetzen basierender Software kann in Rabta et al. (2009) nachgelesen werden.

Die kundenrelevanten Wechselwirkungen des Bewertungsmodells können mit den folgenden Formeln beschrieben werden:

Die durchschnittliche Kundenzufriedenheit ist durch eine Funktion der Zeit definiert (Kalló und Koltai 2010).

$$CS_t = -AT_0^y e^{-rT_0} - AT_0^y e^{-rT_0} r t_w \quad (20)$$

Hierbei repräsentieren  $A$  den erwarteten Wert der Zeit des Kunden,  $y$  den direkten Effekt der erwarteten Lieferzeit auf die Gesamtzufriedenheit des Kunden,  $T_0$  die gewünschte Wartezeit des Kunden,  $r$  steuert die Zeitsensitivität des Kunden und  $t_w$  steht für die aktuelle durchschnittliche Wartezeit.

Die Kundenzufriedenheit beeinflusst die Kundenbindung (Anderson und Sullivan 1993, Reiner 2005a, Reiner und Natter 2007) und kann durch

$$CR_t = 0.75 + 0.58 * (CS_t - 1) - 0.67 . \quad (21)$$

ausgedrückt werden.

Die Anzahl der loyalen Kunden werden durch die Kundenbindung, die Gesamtanzahl der Kunden während der Zeitspanne  $t-\Delta t$  und den durchschnittlichen Wiederkaufszyklus bestimmt (Reiner 2005a).

$$NLC_t = \frac{NC_{t-\Delta t}}{\lambda} CR_{t-\Delta t} \text{ für } t \geq 1 \quad (22)$$

Der Marketingeffektivitätsfaktor, das Marktpotential und die Kunden in der Periode  $t-\Delta t$  geben die Anzahl der neu gewonnenen Kunden zwischen  $t-\Delta t$  zum Zeitpunkt  $t$  wieder (Reiner 2005a).

$$CN_t = \alpha(MP - NC_{t-\Delta t}) \text{ für } t \geq 1 \quad (23)$$

Die Grundlage der obigen Formel bildet die Analyse der kumulativen Kunden, der Gesamtzahl der Kunden und das Kaufverhalten für ein neues Produkt oder einen neuen Service (Sultan et al. 1990).

Gemäß dem Bass Modell der Diffusion (Bass 1969, Bass 2004), das eine Prognose der Marktdurchdringung innovativer Produkte hinsichtlich Innovations- und Imitationseffekten darstellt, gibt es einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen der Marketingeffektivität, der Kundenbindung und dem durchschnittlichen Wiederkaufszyklus.

$$\lambda = (\alpha + CR_t)^{-1} \ln\left(\frac{\alpha}{CR_t}\right) \quad (24)$$

Der Innovationseffekt beschreibt z. B. einen Kunden, der einfach ein Produkt kauft. Der Imitationseffekt hingegen erklärt einen Kunden, der aufgrund einer Interaktion mit einem anderen Kunden, der das Produkt bereits besitzt, sich zum Kauf des selbigen Produkts entscheidet. Hierbei entspricht  $\alpha$  dem Innovationsphänomen und  $CR_t$  dem Imitationsphänomen.

Die Marketingeffektivität ist meist schwer abzuschätzen und kann z. B. mit Hilfe einer Zielwertfunktion näherungsweise bestimmt werden, wenn der Wert der Kundenbindung und der durchschnittliche Wiederkaufszyklus bekannt sind.

$$\alpha = e^{-\lambda(\alpha + CR_t) \ln(CR_t)} \quad (25)$$

Es empfiehlt sich, das ermittelte Ergebnis mit der Meta-Analysen Studie von Anwendungen von Diffusions-Modellen (Sultan et al. 1990) zu vergleichen. Diese Analyse enthält 213 Applikationen aus 15 Artikeln, die zwischen 1950 und 1980 publiziert wurden und gibt eine Übersicht der ermittelten Werte für den Innovations- und Imitationseffekt für verschiedene Produkte und Regionen.

Reiner (2005a) als auch Reiner und Natter (2007) berechnen die Anzahl der verlorenen Kunden, indem sie die Anzahl der Kunden in der Periode  $t-\Delta t$  durch den durchschnittlichen Wiederkaufszyklus teilen.

$$CL_t = \frac{NC_{t-\Delta t}}{\lambda} \text{ für } t \geq 1 \quad (26)$$

Nun ist es möglich, die Gesamtkunden im System zu ermitteln.

$$NC_t = NC_{t-\Delta t} + (NLC_t + CN_t - CL_t) \Delta t \text{ für } t \geq 1 \quad (27)$$

Die Gleichung wurde aus dem Bass Modell adoptiert und ergibt die Kundennachfrage der nächsten Periode  $t+1$  (s. Sterman (2000)).

Im Anschluss daran müssen noch die Gesamtkosten des Systems bestimmt werden.

Die Rüstkosten sind durch die Anzahl der Rüstvorgänge  $N$  im Zeitraum  $t-\Delta t$  und die Kosten pro Rüstvorgang  $C$  des Produkts  $k$  bestimmt.

$$C^{(1)}_t = \sum_k \sum_m N_{k,t-\Delta t} \times C_{km} \quad (28)$$

$WIP$ , Haltekosten  $h$  und Zeit  $T$  definieren die  $WIP$  Kosten für das in Arbeit befindliche Produkt  $k$ .

$$C^{(2)}_t = \sum_k WIP_k \times h_k \times T \quad (29)$$

Es ist notwendig, die fixen und variablen Kosten zu ermitteln, um die Maschinen und Personalkosten in der Zeitperiode  $T$  zu errechnen.

$$C^{(3)}_t = \sum_l LC_l \times T + \sum_m [U_m \times RC_m + (1 - U_m) \times IC_m] \times T \quad (30)$$

Hierbei stehen  $LC$  für die Personalkosten pro Mitarbeiter  $l$ ,  $U$  für die Auslastung der Maschine,  $RC$  für die Betriebskosten und  $IC$  für die Fixkosten der Maschine  $m$ .

Die Strafkosten sind durch die Anzahl der verspäteten Lieferungen  $B$  im Zeitraum  $t-\Delta t$  und den Kosten pro verspätete Lieferung  $p$  definiert.

$$C^{(4)}_t = B_{t-\Delta t} \times p \quad (31)$$

Das mittlere Lagerbestandsniveau  $Inv$ , die Lagerkosten  $h$  und die Haltezeit  $T$  bestimmen die Lagerhaltungskosten des Produkts  $k$ .

$$C^{(5)}_t = \sum_k Inv_k \times h_k \times T \quad (32)$$

Neue Kunden  $CN$  zu werben ist ca. fünfmal so teuer als bestehende ( $NLC$ ) zu halten (Rust et al. 1994, Reiner 2005a).

$$C^{(6)}_t = (5 * CN_{t-\Delta t} + NLC_{t-\Delta t}) * CRCF \quad (33)$$

Die Gesamtkosten sind demnach:

$$C_t = C^{(1)}_t + C^{(2)}_t + C^{(3)}_t + C^{(4)}_t + C^{(5)}_t + C^{(6)}_t \quad (34)$$

Des Weiteren ist der Umsatz ein Funktion aus Preis und Nachfrage pro Produkt  $k$  (Talluri und Ryzin 2005).

$$R_t(D) = \sum_k D_k * P(D_k) \quad (35)$$

Um den Gewinn zu berechnen, wird eine einfache Bruttogewinnfunktion verwendet, die den Umsatz und die Gesamtkosten pro Produkt  $k$  voneinander abzieht (Talluri und Ryzin 2005).

$$P_t(D) = \sum_k R(D_k) - C_k \quad (36)$$

Die Nomenklatur der verwendeten Variablen ist in der folgenden Tabelle dargestellt, wobei alle Kosten immer pro Zeiteinheit anzusehen sind.

$T$	Produktionsperiode
$C_{km}$	Rüstkosten pro Los der Maschine $m$ für das Produkt $k$
$N_k$	Anzahl der Rüstvorgänge des Produkts $k$ während der Produktionsperiode (komplette Nachfrage / Losgröße)
$WIP_k$	Kompletter WIP des Produkts $k$
$h_k$	Lagerkosten des Produkts $k$
$LC_l$	Personalkosten des Angestellten $l$
$U_m$	Maschinenauslastung der Maschine $m$
$RC_m$	Maschinenbetriebskosten der Maschine $m$
$IC_m$	Maschinenfixkosten der Maschine $m$
$B$	Anzahl der verspäteten Lieferungen während der Produktionsperiode
$p$	Strafkosten pro verspäteter Lieferung
$Inv_k$	Durchschnittliches Lagerbestandsniveau des Produkts $k$
$D_k$	Kundennachfrage
$A$	Erwarteter Werte der Zeit des Kunden
$T_0$	Gewünschte Wartezeit des Kunden
$t_w$	Durchschnittliche Wartezeit
$\gamma$	Effekt der erwarteten Wartezeit auf die Gesamtzufriedenheit des Kunden
$r$	Zeitsensitivität des Kunden
$MP$	Marktpotential
$\alpha$	Marketingeffektivität
$\lambda$	Durchschnittlicher Wiederkaufzyklus
$P$	Preis
$R$	Umsatz
$C^{(1)}_t$	Rüstkosten zum Zeitpunkt $t$
$C^{(2)}_t$	WIP Kosten zum Zeitpunkt $t$
$C^{(3)}_t$	Ressourcenkosten zum Zeitpunkt $t$

$C_t^{(4)}$	Strafkosten zum Zeitpunkt $t$
$C_t^{(5)}$	Lagerhaltungskosten zum Zeitpunkt $t$
$C_t^{(6)}$	Kundenbindungskosten zum Zeitpunkt $t$
$C_t$	Gesamtkosten zum Zeitpunkt $t$
$CS_t$	Kundenzufriedenheit zum Zeitpunkt $t$
$CR_t$	Kundenbindung zum Zeitpunkt $t$
$NLC_t$	Anzahl von loyalen Kunden zum Zeitpunkt $t$
$NCN_t$	Gewonnene Neukunden zum Zeitpunkt $t$
$CL_t$	Anzahl der verlorenen Kunden zum Zeitpunkt $t$
$NC_t$	Anzahl der Gesamtkunden zum Zeitpunkt $t$
$CRCF$	Kundenbindungskostenfaktor

**Tabelle 1: Nomenklaturübersicht**

#### 4.4 Empirische Illustration

Die Anwendung des Bewertungsmodells wird mit einem weltweitführenden polymer verarbeitenden Unternehmen illustriert. Das Unternehmen muss in einem agile Supply Chain Umfeld agieren, wodurch nach Mason-Jones et al. (2000) der Market Winner der Kundenservicelevel ist und die Market Qualifier durch Qualität, Kosten und die Durchlaufzeit bestimmt sind.

Die Daten, die als empirische Eingangsgrößen für das Rapid Modeler Modell herangezogen werden, wurden über einen Zeitraum von einem Jahr für eine komplette Werksdivision ausgewertet. Daraus resultieren 103 verschiedene Artikel als Eingangsgröße.

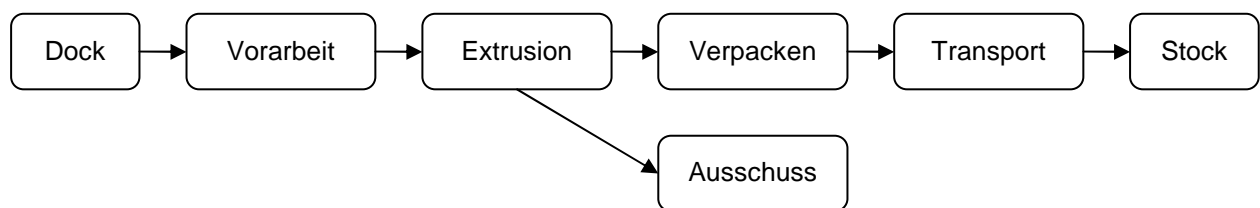
##### 4.4.1 Datenvalidierung

Ein empirisches Modell hängt zum großen Teil von der Qualität der zugrundeliegenden Daten, als auch vom Prozessdesign ab. Dadurch wird sichergestellt, dass das Modellverhalten den Beobachtungen und Prozessabläufen der Realität so nahe wie möglich kommt. Valide Daten sind beim Modellaufbau daher von enormer Bedeutung. Die initialen Variablen und Produktionsparameter als auch die Kostenauswertung (fixe und variable) haben eine entscheidende Auswirkung auf die Bewertung der Gesamtpformance des Systems. Um eine Datenbasis zu schaffen, die frei von organisatorischen Barrieren ist, wird der Data Triangulation Ansatz gewählt (Croom 2009). Es werden Daten von den bestehenden IT-Systemen herangezogen, die durch IT-Experten validiert wurden. Zusätzlich wurden durch unstrukturierte Interviews mit den entsprechenden Mitarbeitern und durch teilnehmende Beobachtung Prozessverständnis erzeugt.

##### 4.4.2 Produktionsprozess

Um komplexe Produktionseinheiten abzubilden, die in der Lage sind mehrere Produktionsprozesse zur gleichen Zeit durchzuführen, muss der Prozess diskretisiert

werden. Das ist nötig, damit die Ressourcen der richtigen Produktionsstufe zugeordnet werden können. Allerdings ist es hierbei sehr wichtig, Warteschlangen im Modell zu vermeiden, die nicht in der Realität existieren, weil ansonsten die Ergebnisse verfälscht werden und nicht die Realität reflektieren. Der Ressource Extruder extrudiert und verpackt das fertige Produkt in einem Schritt. Das Lackieren und Prägen sind ebenfalls Teil des Extraktionsprozesses. Beim Extrudieren handelt es sich um ein Verfahren zur Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe, bei dem Kunststoff durch eine stetig arbeitende Schneckenstrangpresse gefördert, dabei durch Druck und Reibung aufgeschmolzen und durch eine formgebende Profildüse gedrückt wird (Rauwendaal 2001). Der ganze Ablauf ist in Abbildung 27 ersichtlich.



**Abbildung 27: Produktionsprozessablauf**

Vier Operatoren sind für die Vorarbeiten und das Handling des Extruders zuständig. Sie müssen die richtigen Werkzeuge für die Extruder vorbereiten, Farben anmischen, Rüstvorgänge und Säuberungsarbeiten der Maschine durchführen. Darüber hinaus sind sie für die Überwachung des Produktionsprozesses, der Qualität der Produkte und der Kalibrierung des Extruders zuständig. Die drei Packer sind für das Verpacken des fertiggestellten Produkts verantwortlich. Im Anschluss daran fahren drei Gabelstaplerfahrer die fertigen Produkte in das Fertigwarenlager.

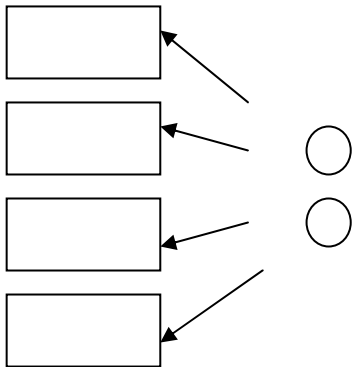
#### **4.4.3 Prozessverbesserungsmaßnahmen zur Durchlaufzeitverbesserung**

Bei den Verbesserungsmaßnahmen wird ein besonderes Augenmerk auf die Ressourcenauslastung und die optimale Losgröße gemäß der Durchlaufzeit gelegt. Diese Komponenten haben einen großen Einfluss auf die Durchlaufzeit und somit auf die Gesamtperformance des Systems, ohne dabei das komplette Produktionslayout ändern zu müssen.

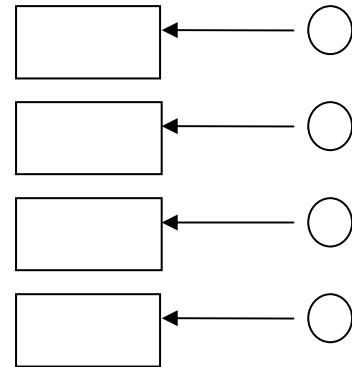
#### 4.4.3.1 Anpassung der Ressourcenauslastung

Eine Verbesserungsmöglichkeit liegt in der Identifikation einer „guten“ Ressourcenauslastung hinsichtlich der Durchlaufzeit. Im speziellen werden in dieser Arbeit die folgenden Auswirkungen auf die Gesamtdurchlaufzeit und Systemperformance gemäß dem oben beschriebenen Bewertungsmodell (vergl. Abbildung 26) untersucht:

- Anzahl der Mitarbeiter
  - Das Ziel ist es, die geringste Anzahl von Mitarbeitern an jeder Arbeitsstation zu bestimmen, mit der sich eine stabile bzw. verkürzte Durchlaufzeit realisieren lässt.
- Pooling/Spezialisieren von Mitarbeiter
  - Es stellt sich die Frage, ob es sinnvoller ist, weniger, aber dafür besser ausgebildete Mitarbeiter, die in der Lage sind an verschiedenen Arbeitsstationen zu arbeiten, einzustellen oder ob es besser ist, weniger ausgebildete sprich mehr spezialisierte Mitarbeiter zu beschäftigen, die aber nur eine Arbeitsstation bedienen können. Des Weiteren sind besser ausgebildete Mitarbeiter auch entsprechend teuer, wodurch sich die Abwägung zwischen einer möglichen besseren Durchlaufzeit und gestiegenen Personalkosten ergibt.



**Abbildung 28: Pooling – weniger, aber gut ausgebildete Mitarbeiter bedienen mehrere Arbeitsstationen**



**Abbildung 29: Spezialisierung – mehr, aber weniger ausgebildete Mitarbeiter bedienen eine Arbeitsstation**

Die im System befindlichen Maschinen benötigen den Service von Angestellten für Tätigkeiten wie Aufrüsten, Einstellen und Abrüsten. Diese Gegebenheit ist auch als das Maschinen-Operator bzw. Repairman Problem (Haque und Armstrong 2006) bekannt. Das Subsystem kann als geschlossenes Warteschlangennetz modelliert werden und durch exakte oder Näherungsalgorithmen analysiert werden (MVA, Faltung, AMVA, Summation, ...

(für weiterführende Literatur s. z. B. Bolch et al. (2006)). Das Ziel besteht darin, die Hauptzeit, die eine Maschine auf Arbeiterservice im Subsystem warten muss, zu bestimmen. Die sog. „waiting-for-labour“ Zeit ist eine wichtige Komponente der Durchlaufzeit. Sie kann bei einer nicht ausreichenden Menge an Mitarbeitern entsprechend hoch ausfallen.

Die Berechnung der waiting-for-labour Zeit ist in der Ermittlung der gesamten operativen Zeit integriert (waiting-for-labour + Aufrüsten + Einstellen + Produktionszeit + Abrüsten)

#### **4.4.3.2 Losgrößenoptimierung**

Eine Verkürzung der Durchlaufzeit kann durch die Optimierung der Losgröße erreicht werden (Vaughan 2004). Die Idee dahinter ist, dass große Losgrößen eine lange Wartezeit verursachen, wohingegen kleine Losgrößen die Frequenz der Rüstvorgänge und somit auch die Rüstzeit erhöhen. Das Ziel der Losgrößenoptimierung besteht aus der Findung eines Kompromisses der konkurrierenden Ziele: Reduktion der Wartezeit als auch Rüstzeit (vergl. Abschnitt 2.4.3).

Die meisten Arbeiten, die sich mit Losgrößenoptimierungsverfahren beschäftigen, setzen eine statische Umgebung voraus und vernachlässigen damit die Auswirkungen der natürlichen Prozessvariabilität. Daher sind solche Ergebnisse meist schwierig in der Praxis zu implementieren. Es gibt nur eine Handvoll von Referenzen, die sich mit Lösgrößenoptimierung in einem stochastischen Produktionssystem beschäftigen. Karmarkar (1987) untersucht anhand eines Warteschlangenmodells mit einer Maschine die Auswirkungen der Losgröße und Rüstzeit auf die Leistungskenngrößen WIP und Durchlaufzeit. Zipkin (1986) stellt ein ähnliches Warteschlangenmodell auf, um das aggregierte Verhalten einer Serienfertigung zu untersuchen. Der Multi Elemente / Multi Maschinen Fall wurde von Karmarkar et al. (1985a) und Karmarkar et al. (1985b) behandelt. Darüber hinaus ist eine Prozedur zur Optimierung der Losgröße beschrieben. Koo et al. (2007) schlagen einen linearen Suchalgorithmus vor, um die optimale Losgröße der Flaschenhalsstation in einem Produktionsumfeld zu identifizieren.

Vorausgehende Studien beschreiben Modelle, die nicht die Komplexität des vorliegenden Untersuchungsgegenstands erreichen und sind ferner limitiert, sodass sie sich nicht eignen. In dieser Studie wird der Ansatz von Rabta und Reiner (2010) gewählt. Hierbei wird die Losgröße mit Hilfe eines generischen Algorithmus optimiert, bei dem der Lösungsvorschlag, wie oben beschrieben, durch das Zerlegen des Warteschlangennetzes erreicht wird. Dieser Ansatz ermöglicht ein Ergebnis, welches nahe am Optimum liegt, in einer angemessenen Berechnungszeit. Zusätzlich funktioniert die Optimierung für eine große Anzahl von Produkten.

Sollte einem solch eine Methode nicht zur Verfügung stehen, können die optimalen Werte auch über mehrere Simulationsläufen und der Variation der Lösgröße annäherungsweise ermittelt werden.

#### **4.4.4 Szenarienbeschreibung**

Es sei hier noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass hier nicht die Optimierung eines Teilbereichs des Bewertungsmodells vorangetrieben wird, als vielmehr die Verbesserung des gesamten Systems. Dadurch lassen sich tiefere Einblicke gewinnen, weil eine realisierbare Lösung für ein „echtes“ Problem gegeben wird, anstatt des Optimums einer mathematischen Abstraktion (Silver 2004). Es werden vier verschiedene Szenarien entwickelt, um die Auswirkungen der Durchlaufzeit auf die verschiedenen Teilbereiche als auch auf die Gesamtperformance des Systems zu analysieren und zu bewerten. Die Szenarien beschreiben die Ausgangssituation, ein Losgrößenoptimierungsverfahren, ein Ressourcenpoolingansatz und eine Kombinationen aus Losgrößenoptimierung und Ressourcenpooling (s. Tabelle 2)

Offiziell gibt es keine Vereinbarung von Strafkosten mit den Kunden, allerdings konnten durch unstrukturierte Interviews mit den verantwortlichen Supply Chain Managern Kosten ermittelt werden, die diesen gleichzusetzen sind. Im Falle eines Stock Outs und damit verbundenen Lieferverzögerung muss ein beachtlicher Aufwand betrieben werden, um den Kunden wieder zufriedenzustellen. Dennoch lässt es sich nicht vermeiden, dass in seltenen Fällen Kundenaufträge verloren gehen. Gemäß den durchgeführten Interviews hat sich ergeben, dass eine Verringerung der Durchlaufzeit zu einer proportionalen Abnahme der Strafkosten führt. Aktuell wird eine Kundenzufriedenheit von 65 % erreicht. Es nicht möglich, signifikante Produktunterscheidungsmerkmale gegenüber Wettbewerbern zu erzielen. Der Preis ist mehr oder weniger durch den Markt festgelegt. Das bedeutet, dass die Kundenzufriedenheit hauptsächlich durch das Servicelevel im Sinne der Liefertreue erreicht wird.

Die variablen und Fixkosten der involvierten Ressourcen (Extruder, Operator, Verpacker, Gabelstaplerfahrer), Rüstkosten, WIP Kosten (gebundenes Kapital) als auch die Lagerhaltungskosten konnten durch die Auswertung des vorhandenen Kostenleistungsrechnungssystems erlangt werden. Die Gesamtkosten setzen sich aus den Einzelaspekten des oben beschriebenen Bewertungsmodells zusammen. Das Modell wird jeweils für eine Produktionsperiode  $T =$  ein Jahr (s. Tabelle 1) betrieben.

Szenarienummer	Szenarienbeschreibung
Szenario 1:	Es repräsentiert das aktuelle Setting. Die Ergebnisse sind die Basis für die Bewertung der Verbesserungen der anderen Szenarien.
Szenario 1.1:	Für das Szenario 1 wird eine Losgrößenoptimierung wie im Abschnitt (4.4.3.2) erläutert durchgeführt.
Szenario 2:	Das Modell wird mit fünf Operatoren (verantwortlich für die Vorarbeit, die Extrusion und Verpacken) anstelle von vier Operatoren und drei Verpacker durchgeführt. Operatoren sind sehr gut ausgebildet und gehören daher zu den teuersten Werksmitarbeitern.
Szenario 2.1:	Ein Losgrößenoptimierungsverfahren wird für das Szenario 3 durchgeführt.

**Tabelle 2: Angewendete Szenarien, um die Auswirkungen der Durchlaufzeit zu testen und zu bewerten**

#### 4.5 Ergebnisse

Die erzielten Ergebnisse inklusive der Auslastung der Flaschenhalsressource (Extruder) sind in Tabelle 3 ersichtlich. Alle Szenarien (Sz) sind mit Szenario 1 verglichen, dessen Werte für Kosten und Durchlaufzeit durch 100 % substituiert wurden.

		Sz 1	Sz 1.1	Sz 2	Sz 2.1
Operative Leistungskenngrößen	Ruhezeit Extruder	26.50%	15.30%	25.10%	12.30%
	Rüstzeit Extruder	2.50%	11.90%	2.50%	11.90%
	Betriebszeit Extruder	67.50%	67.50%	67.50%	67.50%
	Wait-for-labor Extruder	2.60%	4.30%	4.10%	7.30%
	Wartungsarbeiten Extruder	0.90%	1.1%	0.90%	1.10%
	Gesamtauslastung Extruder	73.50%	84.70%	74.90%	87.70%
	Durchlaufzeit	100%	14.48%	101.42%	15.96%
Finanzielle Leistungskenngrößen	Ressourcenkosten (inkl. Rüstkosten)	100%	101.76%	90.76%	92.72%
	WIP Kosten	100%	14.54%	101.44%	16.07%
	Lagersicherheitsbestandskosten	100%	28.57%	107.14%	28.57%
	Strafkosten	100%	14.48%	101.42%	15.96%
	Kundenbindungskosten	100%	112.36%	98.25%	112.15%
	Gesamtkosten	100%	98.90%	91.20%	90.27%
	Profit	100%	120.23%	262.39%	279.65%
	Umsatz	100%	100%	100%	100%
Kundenorientierte Leistungskenngrößen	Kundenzufriedenheit	65%	99%	64%	98%
	Kundenbindung	74%	93%	74%	93%

Legende:  Kundenorientierte Leistungskenngrößen  
 Operative Leistungskenngrößen  Finanzielle Leistungskenngrößen

**Tabelle 3: Szenarienergebnisse gemäß des Bewertungsmodells**

Bei allen Szenarien kann davon ausgegangen werden, dass sich die Ausschussrate nicht ändern wird, weil die Wartezeiten optimiert wurden und nicht der Bearbeitungsprozess selbst

beschleunigt wird. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit ist durch einen chemischen Prozess vorgegeben und kann daher nicht geändert werden. Somit hat die Losgröße keinen Einfluss auf den Ausschuss, weshalb alle Szenarien in dieser Hinsicht vergleichbar bleiben.

Es konnte bei sämtlichen Szenarien, die eine Losgrößenoptimierung beinhalten (Sz 1.1 + Sz 2.1), geschafft werden, die Durchlaufzeit zu verkürzen. Szenario 2.1 ist das vielversprechendste, weil insgesamt die operativen, finanziellen und kundenorientierten Leistungsdimensionen die beste Performance zeigen. Die Durchlaufzeit sinkt um 84%, was zur Folge hat, dass sich auch die Strafkosten (84%), WIP Kosten (84%) und Lagersicherheitsbestandskosten (71%) reduzieren. Darüber hinaus führt die verbesserte Durchlaufzeit zu einem deutlichen Anstieg der Kundenzufriedenheit von 65% auf 98% und der Kundenbindung von 74% auf 93%. Das wiederum bedeutet eine größere Anzahl von Kunden, weshalb die Kundenbindungskosten der nächsten Periode auf 112% steigen. Das ist auch darauf zurückzuführen, dass es wie oben erwähnt ca. fünfmal teurer ist, neue Kunden zu gewinnen als bestehende zu halten. Durch das Mitarbeiterpooling sind Ressourcenkosteneinsparungen von 7% erreichbar. Insgesamt verringern sich die Gesamtkosten um annähernd 10%, wodurch sich der Profit mehr als verdoppeln lässt.

Szenario 1.1 bietet hinsichtlich der operativen Leistungskenngrößen knapp die beste Performance, jedoch bringen die Poolingmaßnahmen aus Szenario 2.1 die besseren Ressourcenkosten mit sich. Bezüglich der Kundenzufriedenheit und -bindung herrscht zwischen den beiden Szenarios annähernd Gleichstand, weshalb das Szenario 2.1 insgesamt die beste Gesamtpformance liefert.

Wenn nur traditionelle Kostenleistungsrechnungssysteme zum Einsatz kommen, hätte das Szenario 1.1 zum Beispiel keine Chance auf eine reale Umsetzung gehabt, weil hier die Ressourcenkosten durch den erhöhten Rüstaufwand steigen. Trotzdem lässt sich aufgrund der verbesserten Durchlaufzeit nicht nur eine bessere Kundenzufriedenheit sowie -bindung erreichen, sondern auch unter Betrachtung aller relevanter Leistungskenngrößen gesunkene Gesamtkosten und ein erhöhter Profit.

Wenn sich an der Ausgangssituation nichts ändert, wird das Unternehmen aufgrund der schlechten Kundenbindung Marktanteile verlieren. Darüber hinaus wird es schwierig und kostenintensiv diese Kunden wieder zurückzugewinnen.

Hier zeigt sich, wie wichtig es ist, alle relevanten Performancekenngrößen in der Analyse und Bewertung mit einzubeziehen und die Wechselwirkungen zwischen ihnen zu verstehen.

Die positiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung können anhand der ausgewählten Szenarien im Kurzzeitbereich sehr gut erkannt werden. Gemäß dem Bewertungsmodell führen eine gute Kundenzufriedenheit und -bindung nicht nur zu mehr Neukunden, sondern machen sich auch positiv auf der Nachfrageseite bemerkbar. Allerdings findet hier eine

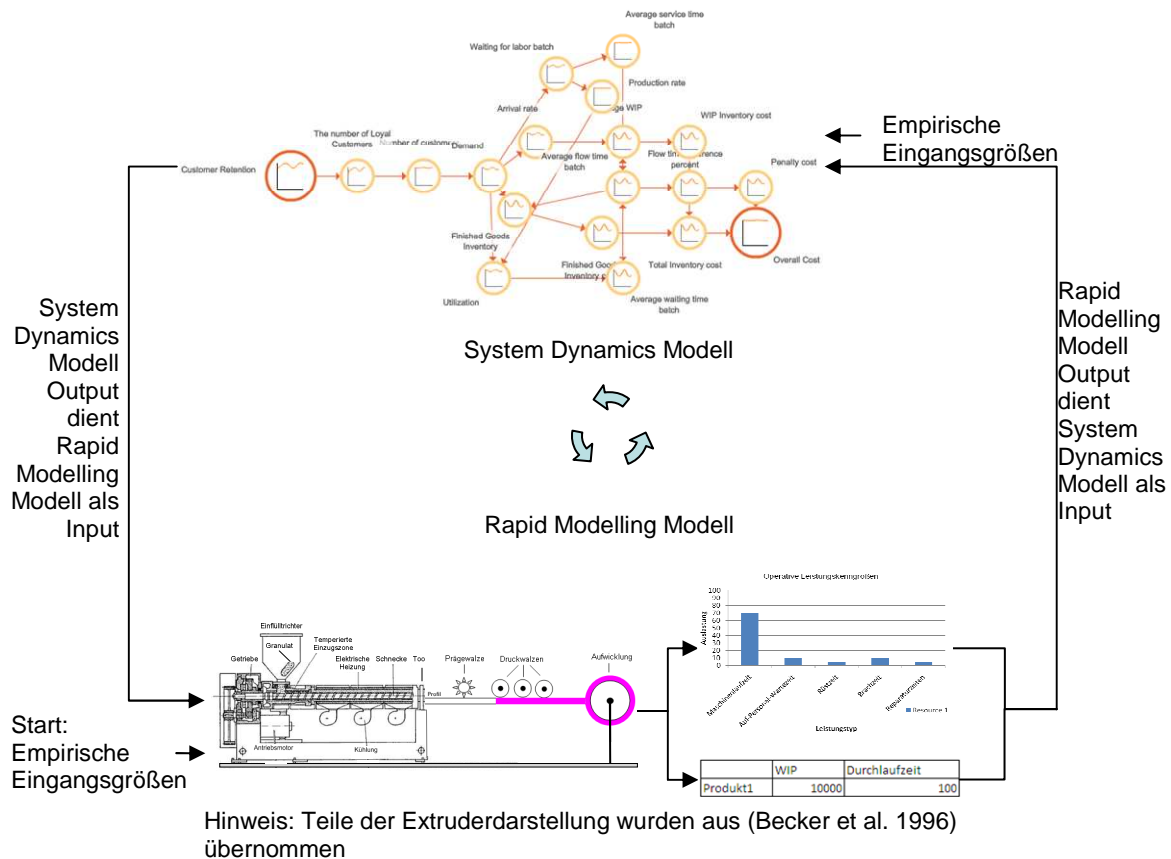
Verzögerung statt, sodass sich die Kundenzufriedenheits- und Kundenbindungswerte erst auf die Nachfrage der nächsten Periode auswirken. Um den Effekt weiter zu untersuchen und alle Feedbackschleifen des Bewertungsmodells zu durchlaufen, ist eine Langzeitanalyse von Nöten. Deshalb werden das Szenario 1 zum Vergleich und das Szenario 2.1, weil es insgesamt die besten Verbesserungspotentiale aufzeigt, mit Hilfe einer Kombination aus Warteschlangenbasierter Modellierung (MPX (<http://www.networkdyn.com/index.html>)) und System Dynamics Modellen (Forio Business Simulations (<http://forio.com>)) im nächsten Abschnitt einer Langzeitanalyse unterzogen.

#### **4.6 Langzeitanalyse der Durchlaufzeitverbesserung**

Erst durch eine Langzeitanalyse kann das volle Potential der Durchlaufzeitverkürzungs- und Poolingmaßnahmen erschlossen werden. Die aus dem Bewertungsmodell ersichtliche Verknüpfung zwischen der Kundenbindung und der Anzahl der Kunden wirkt sich erst zeitverzögert auf die Kundennachfrage aus, weshalb sie nicht mit der Rapid Modelling Methode alleine dargestellt werden konnte. Daher haben sich auch bei allen Szenarien Kennzahlen wie z. B. der Umsatz nicht geändert. Die positive Entwicklung dieser Kennzahlen lässt sich aufgrund der guten Kundenbindungswerte für die Zukunft erahnen, nicht aber quantifizieren. Des Weiteren ist es auch interessant zu sehen, wie sich die restlichen Performancekennzahlen über die Zeit gesehen entwickeln werden.

Um eine Langzeitanalyse zu ermöglichen, wird in diesem Abschnitt das analytische Modell (Rapid Modelling Modell) mit einem Computer Simulationsmodell (System Dynamics Modell) kombiniert. Hierdurch kann ein Mehrwert gegenüber der einzelnen Anwendung der Methoden erreicht werden (Schodl 2009). Es wird zwischen hybrid modelling und hybrid models unterschieden (Schodl 2009). Bei ersteren werden voneinander unabhängige analytische Modelle und Simulationsmodelle eines Gesamtsystems erstellt, um ein Problem zu lösen (Sargent 1994). Bei der zweiten werden Simulationsmodelle und analytische Modelle zu einem einzigen Modell kombiniert (Shanthikumar und Sargent 1983). Im Nachfolgenden handelt es sich um ein hybrides Modell des Typs 4, weil das Simulationsmodell das komplette System (Bewertungsmodell) darstellt, aber Eingaben der Lösungen des analytischen Modells von Nöten sind (Shanthikumar und Sargent 1983).

Die Vorgehensweise ist in Abbildung 30 schemenhaft dargestellt.



**Abbildung 30: Zusammenspiel System Dynamics und Rapid Modelling**

Das Rapid Modelling Modell wird weiterhin dazu benötigt, um die komplexe Produktionsumgebung zu modellieren. Mit einem System Dynamics Modell wäre dies nur bedingt möglich oder höchst komplizieren die exakten Formeln aus der Warteschlangentheorie abzubilden. Deshalb werden nur die Formeln 20 bis 36 in das System Dynamics Modell übertragen. Die Simulation beginnt mit dem Rapid Modelling Modell, weil es die Produktionsrelevanten Startwerte (Durchlaufzeit, WIP) für das System Dynamics Modell liefert. Die weiteren Startwerte wie z. B. aktuelle Kundenzufriedenheit werden anhand der vorliegenden empirischen Daten ermittelt. Nachdem das System Dynamics Modell gelaufen ist, ergeben sich neue Kundenbedarfe, die wiederum als Eingangsgröße für den nächsten Lauf des Rapid Modelling Modells herangezogen werden usw.

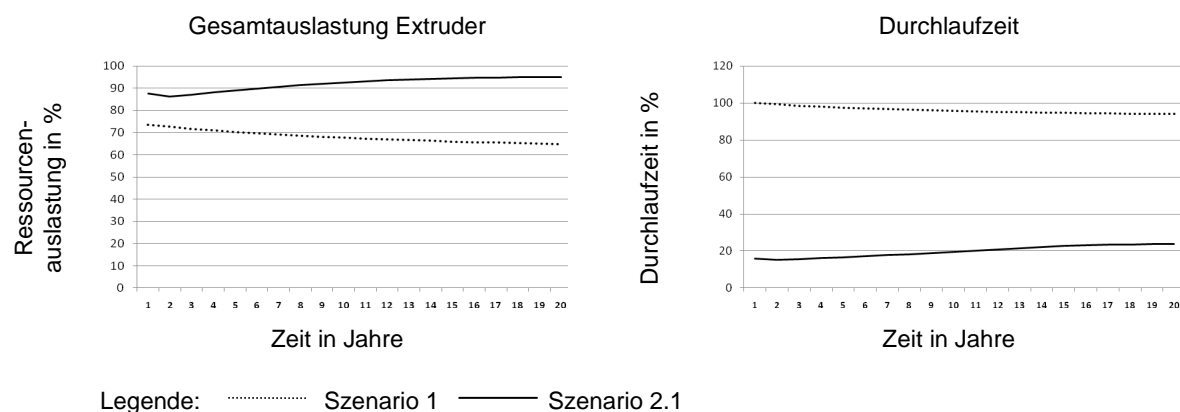
Die Simulation wird für einen Zeitraum von 20 Jahren durchgeführt. Darüber hinaus wird aufgrund von unstrukturierten Interviews mit dem Werksmanager davon ausgegangen, dass sich die Rüstzeiten bei einem positiven Profit pro Jahr um 2% senken lassen.

Bei den operativen Performancekenngrößen wurde sich auf die Darstellung der Gesamtauslastung des Extruders und der Durchlaufzeit beschränkt.

Die Durchlaufzeit hat sich durch die Anpassung der Losgröße im Szenario 2.1 (durchgezogene Linie) gegenüber dem Szenario 1 (gestrichelte Linie) massiv verbessert. Hierdurch sublimiert sich die Kundenzufriedenheit und -bindung, was zu einer höheren Nachfrage führt. Dadurch verschlechtert sich die Durchlaufzeit bei gleichbleibender Ressourcenkapazität über die Zeit gesehen im Szenario 2.1 geringfügig, bevor sie sich gegen Ende stabilisiert. Das liegt daran, dass sich trotz der guten Kundenzufriedenheits- und -bindungswerte keine neuen Kunden ab einen gewissen Zeitpunkt mehr gewinnen lassen und die Nachfrage konstant wird. Szenario 1 weist aufgrund der schlechteren Durchlaufzeit eine schlechtere Kundenzufriedenheit und -bindung auf, weshalb die Nachfrage sinkt und sich die Durchlaufzeit über die Zeit etwas verbessert. Nichtsdestotrotz ist sie auch am Ende der Simulation noch ca. 70% schlechter als im Szenario 2.1.

Gleiches gilt in umgekehrter Form für die Gesamtauslastung der Extruder. Die Optimierung der Losgröße im Szenario 2.1 (Reduktion der Losgröße gegenüber Szenario 1) führt zu mehr Rüstvorgängen, weshalb die Extruder eine höhere Grundlast bei gleicher Nachfrage haben. Durch die oben beschriebenen Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung, was im Szenario 2.1 eine erhöhte Nachfrage nach sich zieht, steigt auch die Ressourcenauslastung, wohingegen aufgrund der schlechteren Durchlaufzeit und der damit verbundenen Abnahme der Nachfrage sich die Ressourcenauslastung im Szenario 1 verringert. Im Szenario 2.1 kann die gestiegene Nachfrage auch am Ende der Simulation (95% Auslastung) mit den vorhandenen Ressourcen ohne zusätzliche Investitionen bewältigt werden. Der Knick zu Beginn des Szenarios 2.1 ist dadurch zu erklären, dass sich die verbesserte Kundenzufriedenheit und -bindung verzögert auf die Nachfrage auswirken. Daher weisen Szenario 1 und 2.1 anfänglich den gleichen Verlauf auf unterschiedlichen Level aus.

Die operativen Leistungskenngrößen sind im Folgenden veranschaulicht.



**Abbildung 31: Operative Leistungskenngrößen**

Im Nachfolgenden werden die finanziellen Leistungskenngrößen dargestellt.

Die Ressourcenkosten reduzieren sich im Szenario 2.1 (durchgezogene Linie) gegenüber dem Szenario 1 (gestrichelte Linie). Zwar haben sich die Rüstkosten aufgrund der geringeren Losgröße im Szenario 2.1 erhöht, jedoch können durch die Mitarbeiterpoolingmaßnahmen höhere Einsparungen erzielt werden, wodurch sich auch die Ressourcenkosten in der Gesamtheit verringern. Wie bei den operativen Performancekenngrößen beschrieben, erhöht sich im Szenario 2.1 die Kundennachfrage aufgrund der besseren Durchlaufzeit. Deshalb steigen die Ressourcenkosten im Verlauf der Simulation leicht. Umgekehrt ist in Szenario 1 eine minimale Abnahme der Ressourcenkosten zu beobachten, weil die Kundennachfrage abnimmt.

Die WIP Kosten sind im Szenario 2.1 deutlich geringer als im Szenario 1 und erhöhen sich wegen der gestiegenen Kundennachfrage im Laufe der Simulation etwas. Auch am Ende der Messreihe sind die WIP Kosten immer noch gut 50% geringer als im Szenario 1 und das obwohl hier die WIP Kosten durch ein Abflauen der Kundennachfrage sinken.

Die Lagersicherheitsbestandskosten erniedrigen sich analog der WIP Kosten im Szenario 2.1 gegenüber dem Szenario 1, weil sie sich proportional zur Durchlaufzeit entwickeln.

Die Strafkosten liefern ein ähnliches Bild. Die Durchlaufzeitverkürzung ermöglicht eine deutliche Abnahme der Strafkosten im Szenario 2.1. Diese erhöhen sich im Verlauf der Simulation zwar leicht, jedoch liegen sie am Ende immer noch 70% unter denen aus Szenario 1. Die Zu- (Szenario 2.1) und Abnahme (Szenario 1) der Strafkosten über die Zeit ergeben sich ebenfalls aus der Zu- bzw. Abnahme der Kundennachfrage.

Die Kundenbindungskosten erhöhen sich wegen der guten Kundenzufriedenheit und –bindung, zunächst deutlich im Szenario 2.1. Durch die Durchlaufzeitverkürzungsmaßnahme stiegen diese Werte sprunghaft an, was sich auch in den Kosten widerspiegelt. Diese nehmen dann stetig ab, weil immer weniger Neukunden gewonnen werden können. Szenario 1 weist niedrigere Kundenbindungskosten aus. Die Durchlaufzeit verbessert sich in diesem Szenario auf einem schlechten Niveau stetig, wodurch sich auch die Kundenbindungskosten erhöhen. Sie erreichen dennoch nie das Level aus Szenario 2.1.

Nach der Einzelauflistung der entstehenden Kosten ist es wenig verwunderlich, dass auch die Gesamtkosten des Szenarios 2.1 geringer sind als im Szenario 1. Trotz der gestiegenen Kundennachfrage im Szenario 2.1 und dem Kundenverlust im Szenario 1, lässt sich am Ende der Simulation immer noch ein Gesamtkostenvorteil von 8% für das Szenario 2.1 ausmachen. Der anfängliche Knick der Gesamtkosten aus dem Szenario 2.1 ergibt sich dadurch, dass sich die verbesserte Durchlaufzeit und daher Kundenzufriedenheitswerte als auch –bindungswerte verzögert auf die Kundennachfrage auswirken. Deshalb entwickelt sich das Szenario 2.1 und Szenario 1, wenn auch auf einem unterschiedlichen Level, zunächst in die gleiche Richtung. Dieses Verhalten ist bei den Ressourcenkosten, WIP Kosten,

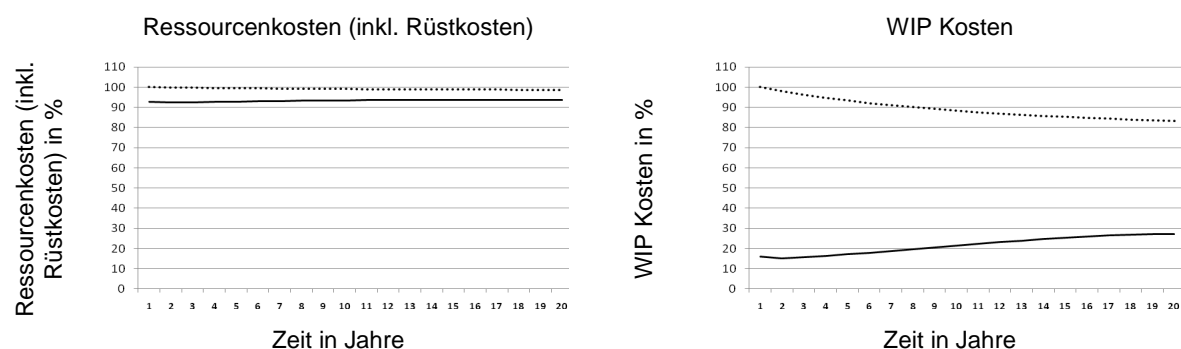
Lagersicherheitsbestandskosten und Strafkosten ersichtlich. Daher wirkt es sich auch auf die Gesamtkosten aus.

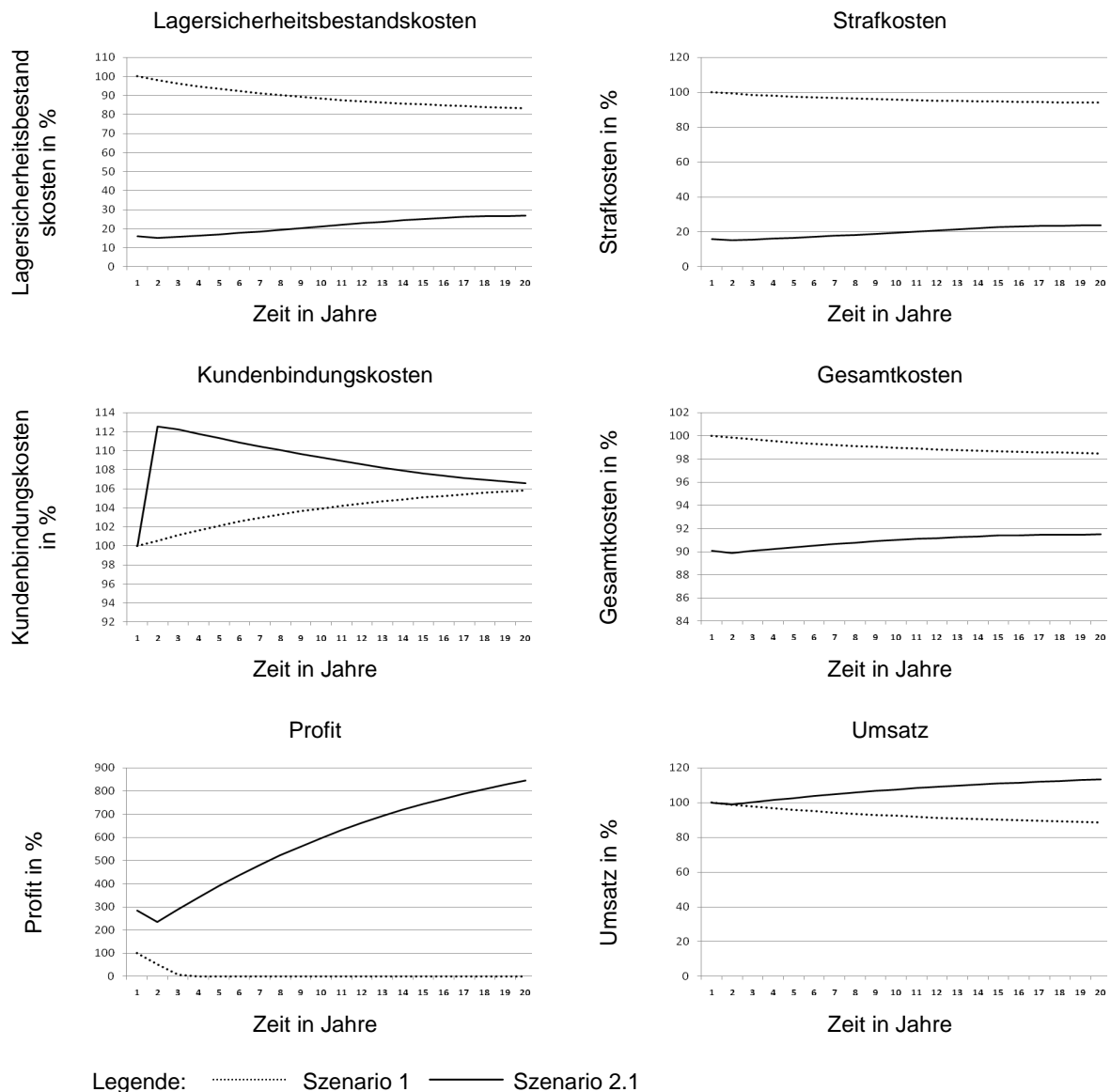
Der Profit weist dementsprechend im Szenario 2.1 auch eine kurzzeitige Verschlechterung aus, bevor er sich fast auf das 8 fache des Startwerts des Szenarios 1 erhöht. Der verbesserte Profit am Anfang des Szenarios 2.1 gegenüber dem Szenario 1 ist mit den Poolingmaßnahmen der Mitarbeiter verbunden. Anschließend erhöht sich der Profit, weil die gestiegene Kundennachfrage immer noch mit den vorhandenen Ressourcen bewältigt werden kann, die einen relativ hohen Fixkostenanteil besitzen. Des Weiteren haben die Produkte eine relativ geringe Gewinnmarge, wodurch sich die Poolingmaßnahmen und die bessere Nutzung der Ressourcen bei einem gleichzeitigen Anstieg der Kundennachfrage in einem deutlich verbesserten Profit niederschlagen. Zusätzlich ist an Szenario 1 ersichtlich, dass die Firma aufgrund der aktuellen Durchlaufzeit und den damit verbundenen Rückgang der Kundennachfrage innerhalb der nächsten drei Jahre keinen Profit mehr erwirtschaften kann, wenn sich an der Ausgangssituation nichts ändert.

Der Umsatz profitiert durch die gestiegene Kundennachfrage im Szenario 2.1. Auf gleiche Art und Weise schlägt sich die gesunkene Kundennachfrage im Szenario 1 in einen geringeren Umsatz nieder. Am Ende der Simulation ist im Szenario 2.1 ein 20% iges Umsatzplus gegenüber dem Szenario 1 ersichtlich.

Allgemein ist bei allen finanziellen Leistungskenngrößen eine Abflachung der Kurven sowohl bei Szenario 2.1 als auch bei Szenario 1 gegen Ende der Simulation erkennbar. Das liegt daran, dass sich ab einem gewissen Zeitpunkt die Kundenzufriedenheitswerte und –bindungswerte stabilisieren und somit auch die Kundennachfrage, weshalb auch die finanziellen Performancekennzahlen konstanter werden.

Die beschriebenen Zusammenhänge sind in Abbildung 32 dargestellt.



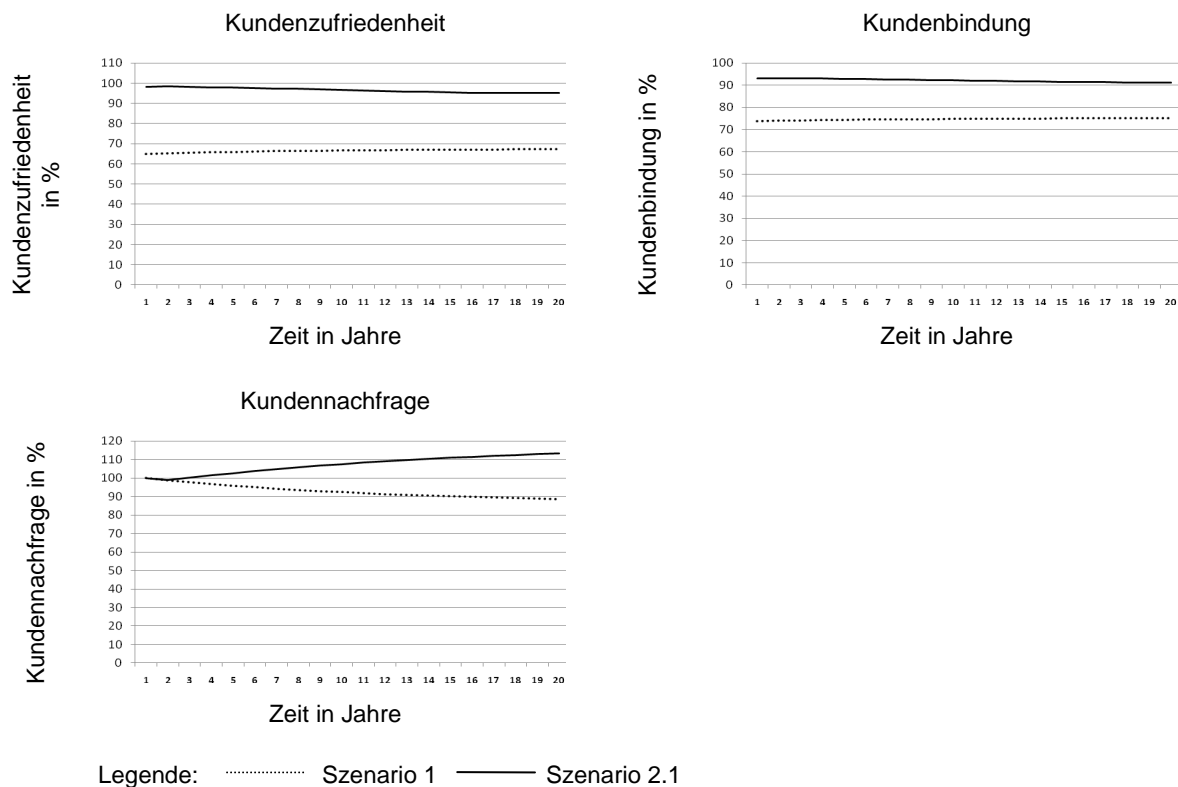


**Abbildung 32: Finanzielle Leistungskenngrößen**

Die kundenorientierten Leistungskenngrößen spiegeln sich in der Kundenzufriedenheit, Kundenbindung und der Kundennachfrage wieder.

Die Kundenzufriedenheit und die Kundenbindung sind aufgrund der reduzierten Durchlaufzeit im Szenario 2.1 (durchgezogene Linie) zum Szenario 1 (gestrichelte Linie) deutlich verbessert. Dadurch steigt auch die Kundennachfrage im Szenario 2.1. Die Kundenzufriedenheit und –bindung verbessern sich zwar im Szenario 1 im Laufe der Zeit. Dennoch sinkt aufgrund der schlechten Grundwerte die Kundennachfrage, wodurch sich die Durchlaufzeit verbessert. Nichtsdestotrotz kann die Kundenbindung nicht in dem Maß zulegen, sodass die Kundennachfrage wieder anzieht. Lediglich gegen Ende der Simulation ist eine Stabilisierung des Abwärtstrends ersichtlich. Im Szenario 2.1 nehmen die Kundenzufriedenheit und –bindung leicht ab, bevor sie auf einem sehr hohen Niveau

annähert konstant bleiben. Das ist wiederum in der Kundennachfrage zu sehen. Wie schon bei den finanziellen Leistungskenngrößen beschrieben, entwickelt sich die Kundennachfrage im Szenario 2.1 und 1 zunächst gleich, weil sich die verbesserten Kundenzufriedenheitswerte und –bindungswerte erst mit einer Verzögerung auf die Kundennachfrage auswirken. Abbildung 33 zeigt die beschriebenen Zusammenhänge der kundenorientierten Leistungskenngrößen.



**Abbildung 33: Kundenorientierte Leistungskenngrößen**

Insgesamt ist festzustellen, dass sich alle relevanten Performancemessgrößen im Szenario 2.1 deutlich verbessern und über die Zeit gesehen gegenüber dem Szenario 1 weiter zulegen können.

## 4.7 Schluss

### 4.7.1 Ergebnisse

Mit Hilfe des Bewertungsmodells konnten die dynamischen Zusammenhänge zwischen Performancekenngrößen, die die Effektivität und die Effizienz messen, aufgezeigt werden. Anhand einer Illustration auf Basis empirischer Daten konnte unter Anwendung des Bewertungsmodells und den Einsatz von Rapid Modelling Techniken die Verkürzung der

Durchlaufzeit hinsichtlich der Gesamtpformance des Systems untersucht und evaluiert werden. Darüber hinaus wurde mit der Anpassung der Losgrößen in Kombination mit Mitarbeiterpoolingmaßnahmen eine effiziente als auch effektive Methode aufgezeigt, wie sich die Kosten und die Durchlaufzeit gleichermaßen verbessern lassen. Die positiven Auswirkungen waren im Bereich der operativen, kundenorientierten als auch finanziellen Leistungskenngrößen ersichtlich.

Erst mit der Kombination aus offenen Warteschlangennetzen und System Dynamics Modellen konnten das Bewertungsmodell geschlossen und mehr Einsicht in die komplexen Zusammenhänge gewonnen werden. Insgesamt war es mit Hilfe der Rapid Modelling Methode möglich, bereits die Vorteile der Durchlaufzeitverkürzung herauszuarbeiten (vergl. Tabelle 3). Allerdings erschließt sich der volle Umfang des Potentials der Durchlaufzeitverkürzung hinsichtlich der Gesamtpformance des Systems erst durch die Kombination aus Rapid Modelling und System Dynamics. Hierdurch werden die Veränderungen über die Zeit vollumfänglich ersichtlich. Ein Beispiel hierfür ist die Kundennachfrage, die sich mit einer gewissen Verzögerung an den Werten der Kundenbindung ausrichtet. Das gleiche gilt für die Profit- und Umsatzwerte.

So kann man z. B. anhand der Ergebnisse aus Tabelle 3 noch nicht unbedingt den zwingenden Handlungsbedarf aus Szenario 1 (Ausgangssituation) erkennen. Zwar haben die anderen Szenarien deutliche Vorteile, jedoch ist nicht ersichtlich, dass Szenario 1 nach nur drei Jahren keinen Profit mehr abwerfen wird.

Prinzipiell kann festgehalten werden, dass unter Zeitdruck eine schnelle, wenn auch nicht 100% ige Bewertung der zeitbasierten Wettbewerbsfaktoren hinsichtlich der Gesamtpformance durchgeführt werden kann. Das volle Potential wird erst durch eine zeitliche Analyse ersichtlich, die aber aufwendiger ist.

#### **4.7.2 Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete**

Nichtsdestotrotz ist weitere Forschungsarbeit nötig. Das Bewertungsmodell ist für eine make-to-stock Umgebung entwickelt und sollte in Zukunft auch für make-to-order Strategien erweitert und getestet werden. Darüber hinaus sollte das Bewertungsmodell für verschiedene Branchen und Unternehmen getestet werden, um die Generalisierbarkeit zu fördern. Zusätzlich kann das Bewertungsmodell hinsichtlich der finanziellen Leistungskenngrößen um den Punkt Investitionen vergrößert werden. Gerade bei teureren Anschaffungen wie z. B. die Erweiterung der Produktionskapazität ist es interessant, wann und ob der ROI ist. Auch Zinseszinsseffekte lassen sich so integrieren (z. B. Kapitalwertmethode). Bei teureren Rostoffen ließen sich die Rohstofflagerkosten ebenfalls integrieren, jedoch werden diese

keine erheblichen Auswirkungen auf die Gesamtperformance haben. Deshalb muss der Nutzen und der Aufwand der Integration dieser Kosten vorher überdacht werden.

Auch wäre es denkbar, das Bewertungsmodell zu einem Management Dashboard auszubauen, sodass das Management auf einem Blick über die wichtigsten Kennzahlen informiert wird und auf Abweichungen zeitnah eingegangen werden kann.

#### **4.7.3 Zusammenfassung und Ausblick**

Insgesamt konnten durch das Bewertungsmodell die in der Theorie beschriebenen Zusammenhänge von Effektivitäts- und Effizienzkenngößen verdeutlicht und weiter ausgebaut werden. Außerdem unterstützt es Managern bei der Entscheidungsfindung und trägt zu einem besseren Verständnis der komplexen und dynamischen Zusammenhänge von kundenorientierten, operativen und finanziellen Leistungskenngrößen bei. Im nächsten Kapitel gilt es diese Erkenntnisse auf dem Supply Chain Level in die Realität umzusetzen.

## **5 Performancebewertung und reale Umsetzung von Prozessstrategie zur Durchlaufzeitverkürzung anhand einer existierenden polymeren Supply Chain<sup>2</sup>**

Im vorhergehenden Kapitel wurden die positiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung auf die unterschiedlichen Performancedimensionen des betrachteten Gesamtsystems dargestellt. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass diese auch über einen längeren Zeitraum greifen. Deshalb wird in diesem Kapitel die Durchlaufzeitverkürzung auf dem Supply Chain Level untersucht. Hierzu werden theoretische Konzepte zur Durchlaufzeitverkürzung und eine geeignete Kombination aus ihnen herangezogen. Durch Simulationen einer bereits bestehenden Supply Chain aus dem polymeren Umfeld werden diese analysiert und bewertet. Darüber hinaus soll durch eine reale Umsetzung gezeigt werden, wie robust diese Konzepte in der Praxis sind. Durch den Fokus auf Realisierbarkeit kommen zum einen nur für alle Supply Chain Partner implementierbare Prozessverbesserungen zum Einsatz und zum anderen wird eine überschaubare Anzahl von Erfolgsfaktoren pro Performancedimension in Abstimmung mit dem Management definiert, um eine Argumentationsgrundlage für die Prozessveränderung zu schaffen.

### **5.1 Einführung**

In dieser Studie werden die Auswirkungen der Verkürzung der Durchlaufzeit im Mittel als auch die Verringerung deren Variabilität hinsichtlich der Performance einer bestehenden polymeren Supply Chain (Liefertreue, Lagerbestandskosten, etc.) analysiert und bewertet. Es gibt eine große Anzahl verschiedener strategischer/taktischer Ansätze (Chandra und Kumar 2000, Mentzer et al. 2001), die eine Optimierung der Supply Chain ermöglichen, z. B. Postponementstrategien wie die Neuausrichtung des Customer Order Decoupling Points (Olhager 2003), Absatzplanung (Winklhofer et al. 1996) oder Supply Chain Kollaboration (Chopra und Meindl 2009).

Vor der Vielzahl möglicher Stellhebel ist eine dynamische Bewertung potentieller Supply Chain Optimierungsansätze oder vielmehr eine Bewertung sinnvoller Kombinationen der genannten Methoden für eine spezifische Supply Chain wünschenswert. Die Bewertung der Supply Chain Performance ist dabei eine wichtige Stütze für Manager bei der Entscheidungsfindung. Es ist jedoch zu beachten, dass theoretische Konzepte vielen Restriktionen unterliegen. Deshalb stellt sich die Frage, ob diese Ansätze robust genug sind und die Verbesserungspotentiale auch bei „realen“ Prozessen zutreffen.

---

<sup>2</sup> Auszüge aus diesem Kapitel sind auf Englisch in „Gläßer, D., Y. Nieto und G. Reiner (2009). Performance Evaluation of Process Strategies Focussing on Lead Time Reduction Illustrated with an Existing Polymer Supply Chain. in: G. Reiner: Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset, London, Springer, 79-90“ erschienen.

Die Untersuchungen werden auf der Basis quantitativer Modelle, die empirische Daten nutzen, ausgetragen (Bertrand und Fransoo 2009). Grundsätzlich entsteht mit Hilfe der quantitativen Untersuchung empirischer Daten ein Modell, welches die kausalen Wechselwirkungen zwischen Kontrollvariablen und Performancevariablen herstellt. Außerdem haben Bertrand und Fransoo (2002) hervorgehoben, dass sich diese Methodologie hervorragend eignet, um bestehende Theorie anzuwenden und zu erweitern. Gemäß Davis et al. (2007) ist die Wahl der Simulationsmethode eine wichtige Entscheidung, um das Forschungsziel zu erreichen. In dieser Studie wird ein diskret eventorientiertes Simulationsmodell (Sanchez et al. 1996) verwendet, weil es die Möglichkeit bietet, die Supply Chain als Ganzes zu verstehen und verschiedene taktische/strategische Handlungsalternativen vor der realen Umsetzung analysiert und bewertet werden können. Deshalb wird Arena© (Kelton et al. 2003, Arena© Simulation Software 2011) für die Modellierung herangezogen.

Zunächst werden im Abschnitt 5.2 die relevanten theoretischen Ansätze der Durchlaufzeitverkürzung hinsichtlich der Supply Chain Performance kurz diskutiert. Darüber hinaus wird die Bedeutung als auch die Schwierigkeit der Supply Chain Bewertung hervorgehoben. Weiterführende Informationen zum Thema Durchlaufzeit und Supply Chain Bewertung sind im Abschnitt 2.4 zu entnehmen. Anschließend illustriert Abschnitt 5.3 die vorliegende polymere Supply Chain. Der nächste Abschnitt (5.4) erläutert das Simulationsmodell. Die erzielten Ergebnisse sind in Abschnitt 5.5 wiedergegeben. Danach folgt die reale Umsetzung des besten Simulationsszenarios in Abschnitt 5.6. Zum Schluss folgen eine Zusammenfassung und ein Ausblick weiterer möglicher Forschungsarbeiten (Abschnitt 5.7).

## 5.2 Theoretischer Hintergrund

Die Verkürzung der Durchlaufzeit ist hinlänglich bekannt, aber Manager messen ihr meist nicht die nötige Bedeutung zu (Suri 1998, Treville et al. 2009). So besagt Little's Gesetz (Little 1961), dass eine Verkürzung der Durchlaufzeit auch den in Bearbeitung befindlichen Bestand senkt. Zusätzlich können auch strategische Vorteile, wie z. B. die Verbesserung des Servicelevels oder die Reduktion von Kosten erzielt werden. Wenn man sich die klassische Formel zur Berechnung des Lagersicherheitsbestand  $ss$ , die bei einem Bestellpunktverfahren zum Einsatz kommt, anschaut,

$$ss = z\sqrt{\mu_\tau V^2 + \lambda^2 \sigma_\tau^2} \quad (37)$$

wird klar, dass sich die Lieferzeit hierauf direkt auswirkt (Silver et al. 1998, Nahmias 2005). Hierbei stehen  $\mu_\tau$  für die durchschnittliche Lieferzeit und  $\sigma_\tau^2$  für die Varianz der Lieferzeit. Die

weiteren Parameter stehen für die durchschnittliche Nachfrage ( $\lambda^2$ ) und Nachfragevarianz ( $v^2$ ) sowie den Sicherheitsfaktor  $z$ , der eine Abwägung zwischen dem Servicelevel und den Lagerhaltungskosten darstellt. Deshalb besteht großes Interesse die Varianz, als auch den Durchschnittswert der Lieferzeit zu senken. Hieraus ergibt sich zum einen ein geringerer Sicherheitsbestand, was sich in niedrigeren Lagerhaltungskosten widerspiegelt. Zum anderen verschlechtert sich hierdurch der Servicelevel, z. B. die Anzahl der Stock Outs, keineswegs. Somit lässt sich dem operativen Ziel einer Supply Chain, hohe Kundenzufriedenheit bei gleichzeitig niedrigen Kosten, näher kommen. Darüber hinaus kann sich dies zu einem strategischen Wettbewerbsvorteil herauskristalisieren.

### **5.2.1 Postponement Strategien**

Die Anfänge sog. Postponementstrategien gehen auf die 50iger Jahre zurück (Alderson 1950), jedoch wurden ihnen erst in den letzten Jahren wieder vermehrt Interesse gewidmet (Van Hoek 2001). Generell handelt es sich darum, dass innerhalb der Supply Chain Aktivitäten soweit verschoben werden, bis eine echte Nachfrage auftritt (Boone et al. 2007, Werner 2010) bzw. bis die Supply Chain effizient ist (Cheng et al. 2010). Es wird zwischen Time Postponement, bei dem möglichst viele Aktivitäten erst zeitnah am Kundenauftrag ausgeführt werden (Werner 2010), Form Postponement, welches versucht ein Produkt möglichst lange in einem generischen Zustand zu halten, bevor es kundenspezifisch angepasst wird (Werner 2010) und Place Postponement, das eine Lagerplatzverschiebung z. B. hin zu einem zentralen Lager vorsieht, unterschieden (Bowersox und Closs 1996). Postponement Strategien werden besonders dann angewandt, wenn das Ziel die Verbesserung der Auslieferungsgeschwindigkeit, der Erhöhung der Liefertreue, der Optimierung der Lagerverweildauer, die Verringerung der Kosten für veraltete Produkte und die Verbesserung der kundenspezifischen Anpassung von Produkten ist (Van Hoek 2000).

Für die Folgebetrachtung spielt der Customer Order Decoupling Point (CODP) (Christopher und Towill 2000, Mason-Jones et al. 2000) eine entscheidende Rolle (s. Abschnitt 2.2.1). Olhager (2003) stellt fest, dass die Verkürzung der Durchlaufzeit eine gute Möglichkeit ist, Wettbewerbsvorteile zu stärken. Dies gilt besonders für Aktivitäten stromabwärts innerhalb der Supply Chain. Um das zu erreichen, kann das Unternehmen entweder den CODP auf der aktuellen Position beibehalten und die Lieferzeit verringern oder die Lieferzeit beibehalten und den CODP stromaufwärts verschieben (Postponement Strategie), um Lagerbestände zu verringern oder zu beseitigen (Olhager 2003).

Die strategische Platzierung des CODP hängt besonders von dem Verhältnis zwischen der Produktionsdurchlaufzeit und der gewünschten Durchlaufzeit des Kundenauftrags ( $P/D$ ) und

der relativen Nachfragevolatilität (RDV) (Standardabweichung der Nachfrage relativ zur durchschnittlichen Nachfrage) ab (Olhager 2003). So lässt sich z. B. eine make-to-order (MTO) Strategie nur dann realisieren, wenn der  $P/D$  Faktor kleiner als 1 ist. Das liegt daran, dass, wenn die Produktionsdurchlaufzeit größer als die gewünschte Durchlaufzeit des Kundenauftrags ist, das Servicelevel leidet (Jammernegg und Reiner 2007). Auf der anderen Seite empfiehlt es sich auch nicht, eine make-to-stock (MTS) Strategie (Durchlaufzeit ist gleich null (Hopp und Spearman 2007)) anzuwenden, wenn die RDV sehr hoch ist, da dies zu sehr hohen Beständen führt, um den Servicelevel aufrecht zu erhalten, was sich natürlich in hohen Lagerhaltungskosten niederschlägt (Jammernegg und Reiner 2007). Sollte in diesem Fall der  $P/D$  Faktor größer 1 sein, so müssen einige Komponenten bereits auf Lager produziert werden, was zu einer assembly-to-order (ATO) Strategie führt.

### **5.2.2 Supply Chain Bewertung**

Die Bewertung realer Supply Chain Prozesse ist immer eine Herausforderung, weil eine valide Beurteilung nur auf Basis einer spezifischen und detaillierten Analyse möglich ist. Verbesserungen einer spezifischen Supply Chain können nie zu 100% auf eine andere übertragen werden. Dennoch können sie anderen Unternehmen mit einer ähnlichen Supply Chain Ausrichtung wichtige Verbesserungspotentiale aufzeigen und Managern als Best Practice Beispiele bei Ihrer Entscheidungsfindung unterstützen. Supply Chain Unterschiede können oft nicht nur zwischen verschiedenen Unternehmen ausgemacht werden, sondern sogar innerhalb der gleichen Branche (Reiner und Trcka 2004). Deshalb müssen Analysen produkt- als auch unternehmensspezifisch durchgeführt werden, um die richtigen Performancekennzahlen für das zu untersuchende System zu definieren (Reiner und Trcka 2004).

Bei der Erstellung eines Bewertungsmodells empfiehlt es sich, die produktspezifische Supply Chain Design Methode zu verwenden, weil die erzielten Ergebnisse die Realität bestmöglich widerspiegeln (Reiner und Trcka 2004).

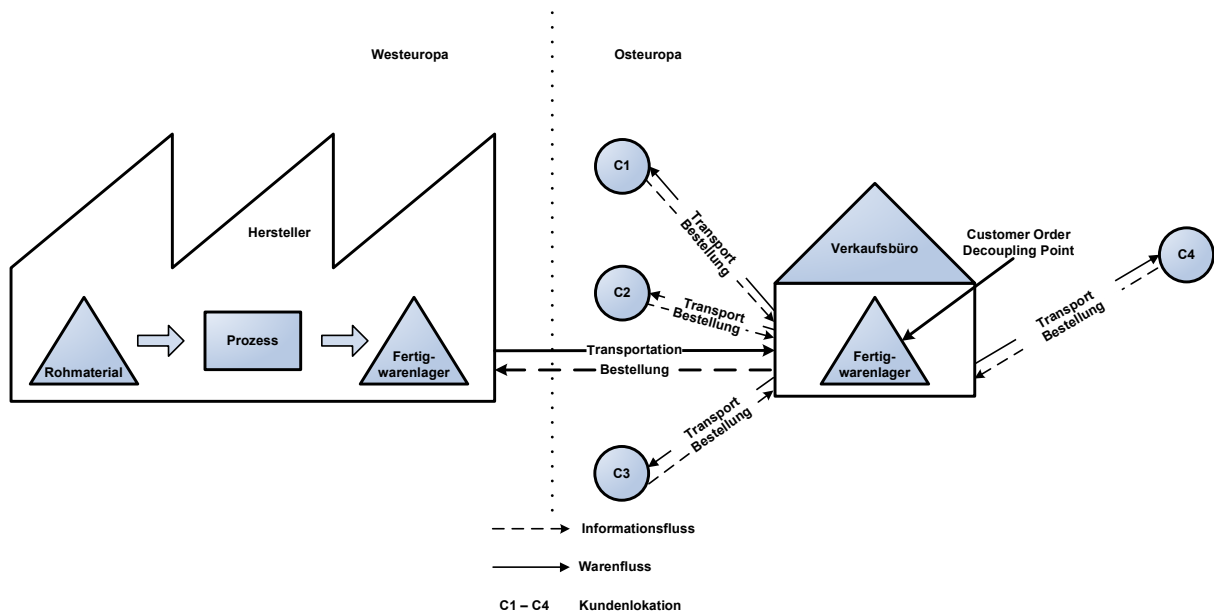
Eine dynamische, stochastische Computersimulation liefert die benötigte Datenbasis, um die Supply Chain Alternativen zu beurteilen. Sie eignet sich auch deshalb, weil nicht nur Durchschnittswerte für die Performancebewertung herangezogen werden können, sondern auch Zufallsgrößen (Risiken) verarbeitet werden, weshalb eine Aussage über ihre stochastische Verteilung möglich ist (Jammernegg und Reiner 2007).

### **5.3 Illustration der Supply Chain**

Es werden empirische Daten einer polymeren Supply Chain analysiert, um „echte“ Verbesserungspotentiale theoretischer Durchlaufzeitoptimierungskonzepte darzulegen. Die Supply Chain ist durch drei Level, d. h. Hersteller, Verkaufsbüro und einem marktbeherrschenden OEM (Original Equipment Manufacturer) als einzigen Kunden, gekennzeichnet. In diesem Fall ist die Liefertreue der market winner. Daher ist die Reaktionsgeschwindigkeit auf die Kundennachfrage und die Verfügbarkeit von Produkten ein wichtiger Bestandteil zur Aufrechterhaltung der Kundenloyalität. Wegen der enormen Anzahl an Produkten (mehr als 50.000), die der Hersteller anbietet, muss sich die Auswertung auf Schlüsselprodukte konzentrieren. Die Auswahl dieser geschieht mit Hilfe der ABC-XYZ Analyse (Zäpfel 2001). Diese Klassifikation ist eine Erweiterung der ABC Analyse (Vollmann et al. 2004), weil nicht nur die Größe der Werte selbst betrachtet werden, sondern auch eine Aussage der Nachfragevariabilität getroffen wird (Schönsleben 2004). Für die Folgeuntersuchung wird der meistverkaufte und für den Kunden wichtigste Artikel gewählt, der einen Variationskoeffizienten (Standardabweichungen/Durchschnittswert) größer zwei Drittel besitzt. Damit repräsentiert er die Kategorie AY (Reiner und Trcka 2004).

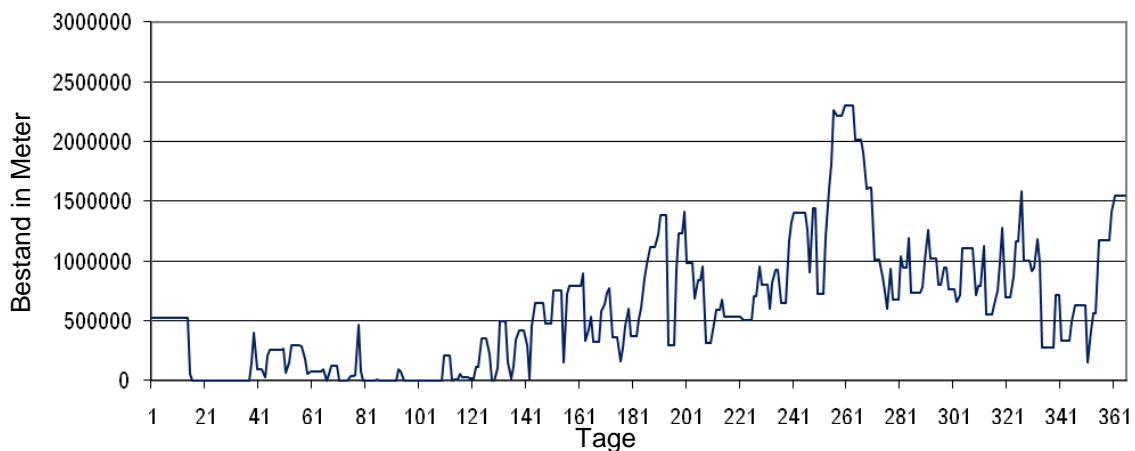
#### **5.3.1 Erläuterung des Prozessdesigns**

Der Hersteller ist in Westeuropa angesiedelt, wohingegen das zum Konzern gehörige Verkaufsbüro, wie auch der Kunde mit seinen vier Produktionsstätten in Osteuropa angesiedelt ist. Der Kunde platziert in unregelmäßigen Abständen Aufträge im Verkaufsbüro. Sie werden aus dem verkaufsbüroeigenem Lager zu dessen Unkosten frei Haus an die Produktionsstätten des Kunden (C1, ..., C4) geliefert. Sobald der Lagerbestand des Verkaufsbüros den Bestellpunkt erreicht, wird beim Hersteller ein Lagerergänzungsauftrag ausgelöst und die Produktion angestoßen. Dieser muss die Produktion so schnell wie möglich abschließen und die fertige Ware an das Verkaufsbüro zu seinen eigenen Unkosten senden. Hierbei ist zu erwähnen, dass das Fertigwarenlager des Herstellers lediglich als Pufferlager für den Transport (Liefermengenbildung) dient und daher keine größeren Nachfrageschwankungen abfangen kann. Der komplette Prozess ist in Abbildung 34 dargestellt, wobei Hersteller, Verkaufsbüro als auch die Produktionsstätten wie in der Realität angeordnet sind.



**Abbildung 34: Der ursprüngliche Prozessablauf**

Das Vorgehen ist somit als klassisches Push-Prinzip (mts) anzusehen. Dieses kann in einem dynamischen Umfeld von Nachfrageunsicherheiten und –schwankungen zu Problemen führen. Abbildung 35 zeigt die Lagerbewegungen des Verkaufsbüros über ein Jahr hinweg.



**Abbildung 35: Lagerbewegung des Verkaufsbüros über ein Jahr hinweg**

Hier ist eine deutliche Anhäufung von Stock Outs während der ersten Jahreshälfte zu sehen, was sich negativ auf die Kundenzufriedenheit auswirkt. Zudem stellt man leichte Überbestände in der zweiten Jahreshälfte fest. Die Probleme für das beobachtete Verhalten sind vielfältig. (1) Für das Verkaufsbüro ist es aufgrund des unregelmäßigen Bestellverhaltens des Kunden sehr schwer, eine Prognose über die Zukunft zu erstellen. (2) Darüber hinaus werden vorliegende Informationen des Verkaufsbüros nicht zeitnah an den Hersteller übermittelt. (3) Dem Hersteller bleibt die echte Kundennachfrage aufgrund der mangelnden Transparenz verborgen. Er kann somit nicht unterscheiden, ob hinter dem

Lagerergänzungsauftrag des Verkaufsbüros dringende Kundenaufträge stehen oder nicht. Das führt oft zu einer ungünstigen Priorisierung der Produktionsaufträge, wodurch sich für das Verkaufsbüro z. T. lange und schwankende Lieferzeiten ergeben. (4) Das Lagerbestandsmanagementsystem wird vom Verkaufsbüro nicht oder nur rudimentär benutzt, sodass Entscheidungen hinsichtlich des Bestellpunkts und der Bestellmenge meist eine individuelle Entscheidung des Fertigwarendisponenten sind.

Bei der Auswahl der Performancekenngrößen wird, wie schon erwähnt, ein besonderes Augenmerk auf die Durchlaufzeit, als auch die Kosten sowie Kundenzufriedenheit (in diesem Fall wird diese durch die Anzahl von Stock Outs repräsentiert) gelegt. Die Zeitspanne zwischen dem Bestelleingang beim Hersteller seitens des Verkaufsbüros und dem Versandzeitpunkt der Ware im Verkaufsbürolager an den Kunden wird hier als Gesamtdurchlaufzeit definiert. Tabelle 5 zeigt die Performancekenngrößen des ursprünglichen Szenarios. Hier fallen vor allem die hohe Durchlaufzeit und die große Anzahl von Stock Outs auf. Die Lagerhaltungskosten hingegen sind aufgrund der vielen Stock Outs dementsprechend gering. WIP Kosten werden in dieser Studie nicht betrachtet, weil bei den zur Realisierung stehenden Prozessalternativen (s. Szenarienbeschreibung Abschnitte 5.4.2 und 5.4.3), keine Verbesserungen der Produktionsstrategien z. B. die Optimierung der Losgröße durchsetzbar sind. Daher wird sich der Wert nicht maßgeblich ändern. Zudem ist aufgrund der Kostenstruktur der WIP Kostenanteil vernachlässigbar gering.

#### **5.4 Modellbeschreibung**

Das Modell basiert auf einer diskret ereignisorientierten Simulation (Arena© Simulation Software 2011). Es dient dazu, die entsprechende Performance der Supply Chain Alternativen zu ermitteln. Für jedes getestete Szenario werden 25 Replikationen durchgeführt, damit eine Aussage über die Variabilität und in letzter Konsequenz die Robustheit jedes Szenarios getroffen werden kann (Reiner und Trcka 2004). Hierbei erstreckt sich ein Simulationslauf immer über eine Periode  $T$  von 365 Tagen.

Für die Simulation wird im Verkaufsbüro eine  $(s, S)$  Bestellpunkt-Lagerniveau-Politik eingeführt. Karaesmen et al. (2004) haben gezeigt, dass einfache Grundbestandlagerverwaltungsverfahren im Normalfall Ergebnisse liefern, die nahe am Optimum liegen. Darüber hinaus eignen sich diese Verfahren auch besonders in einem Setting mit finiter Kapazität (Federgruen und Zipkin 1986). Der Sicherheitsbestand errechnet sich aus Gleichung (37), wobei ein Sicherheitslevel von 95% zugrunde gelegt wird. Es erfolgt jedes Mal ein Lagerergänzungsauftrag  $S$ , wenn die Menge der Kundennachfrage (vorliegenden Bestellungen und geplanter Kundenforecast)  $D_k$  die vorrätige Lagermenge inkl.

Sicherheitsbestand  $ss$  übersteigt. Die Bestellmenge des Verkaufsbüros richtet sich nach dem Sollbestand und der Losgröße des Herstellers. Alle statistischen Verteilungsfunktionen (z. B. Lieferzeit inkl. Produktionszeit zwischen dem Hersteller und dem Verkaufsbüro und ursachengerechte Zuweisung der Transportkosten des betrachteten Artikels) wurden auf der Basis realer Daten erstellt und den Chi-Quadrat als auch Kolmogorov-Smirnov goodnes-of-fit Hypothesentest unterzogen. Alle Verteilungen wurden zusätzlich per grafischer Auswertung validiert. Darüber hinaus wird ein vierwöchiger rollierender Kundenforecast eingeführt. Da eine Berechnung der Güte des Forecasts auf Basis historischer Daten noch nicht möglich ist, wird angenommen, dass er von der tatsächlichen Bestellung des Kunden 20 Prozent abweichen kann. Demnach ergibt sich die aktuelle Kundennachfrage des Produkts  $k$  aus der Kundennachfrage zum Zeitpunkt  $t$  und der gleichverteilten Zufallsvariable  $\tau$  mit 0.8 als Minimum und 1.2 als Maximum.

$$AD_{kt} = D_{kt} \times \tau_t \quad (38)$$

Die Lagerhaltungskosten sind durch den durchschnittlichen Lagerbestand  $Inv_k$ , die Lagerhaltungskosten pro Einheit des Produkts  $k$   $h_k$  und der Zeit  $T$  definiert.

$$C^{(1)} = \sum_k Inv_k \times h_k \times T \quad (39)$$

Die Anzahl der Fahrten  $N_k$  und die Kosten pro Fahrt  $C_{km}$  entsprechen den Transportkosten.

$$C^{(2)} = \sum_k \sum_m N_k \times C_{km} \quad (40)$$

Die betrachteten Gesamtkosten ergeben sich daher aus:

$$C = C^{(1)} + C^{(2)} \quad (41)$$

Ist der aktuelle Lagerbestand kleiner als der aktuelle Kundenbedarf, ergibt sich ein Stock Out (Hansmann 2006).

$$Ainv_{kt} \leq AD_{kt} \quad (42)$$

Somit errechnet sich die Anzahl aller Stock Outs zum Zeitpunkt  $t$  des Produkts  $k$  für den Zeitraum  $T$  aus der Summe aller der Stock Outs.

$$SO_t = \sum_k SO_{kT} \quad (43)$$

Um Produktionsschwankungen abzubilden, wird der Produktionskapazität Variabilität hinzugefügt. Dies geschieht durch eine dreiecksverteilte Zufallsvariable  $\tau$  mit 0.9 und 1.1 als

Minimum respektive Maximum. Dadurch ist die verfügbare Kapazität  $AMC_{kt}$  des Herstellers durch

$$AMC_{kt} = MC_{kt} \times \tau_t, \quad (44)$$

definiert, wobei  $MC_{kt}$  für die durchschnittliche geplante Kapazität des Produkts  $k$  zum Zeitpunkt  $t$  steht.

In dieser Studie wird die Gesamtdurchlaufzeit  $l_{ik}$  als endogen betrachtet (Boute 2007). Sie setzt sich zum einem aus dem kapazitiv begrenzten Produktionssystem, d. h. aus der Summe der Produktionsaufträge und der zur Verfügung stehenden Kapazität und zum anderen aus der Verweildauer im Lager zusammen.

$$l_{kt} = \frac{n_t Q_k}{AMC_{kt}} + I_{kt} \quad (45)$$

Hierbei steht  $AMC_{kt}$  für die durchschnittliche verfügbare Produktionskapazität für das Produkt  $k$  zum Zeitpunkt  $t$ ,  $n_t Q_k$  ist die Anzahl der Produktionsaufträge für das Produkt  $k$  im System gemäß der Standardlosgröße  $Q_k$  und  $I_{kt}$  gibt die durchschnittliche Verweildauer des Produkts  $k$  im Lager an. Gleichung (45) impliziert, dass sich das Produktionssystem wie ein einziger Server verhält, bei dem Aufträge nach dem FIFO (first-in-first-out) Prinzip abgearbeitet werden.

Der Sollbestand  $S$  zum Zeitpunkt  $t$  des Produkts  $k$  errechnet sich aus der Anzahl der vorhandenen Produktionsaufträge, der Kundennachfrage und dem Sicherheitsbestand  $ss$ . Er wird nach jedem Eintreffen einer Kundenbestellung überprüft und gegebenenfalls angepasst.

$$S_{kt} = D_{kt} - n_t Q_k + ss_{kT} \quad (46)$$

Wird der Sollbestand  $S_{kt}$  nicht erreicht, werden ein oder mehrere Produktionsaufträge  $n_t$  gemäß der Standardlosgröße  $Q_k$  des Produkts  $k$  ausgelöst.

$$S_{kt} < D_{kt} - n_t Q_k + ss_{kT} \quad (47)$$

Die Nomenklatur der Gleichungen ist in Tabelle 4 ersichtlich.

$T$	Produktionszeitraum
$h_k$	Lagerhaltungskosten pro Einheit des Produkts $k$
$Inv_k$	Durchschnittlicher Lagerbestand des Produkts $k$
$C_{km}$	Transportkosten des Produkts $k$ auf dem LKW $m$
$N_k$	Anzahl der Fahrten für das Produkt $k$
$C^{(1)}$	Lagerhaltungskosten
$C^{(2)}$	Transportkosten
$C$	Gesamtkosten
$Ainv_k$	Aktueller Lagerbestand des Produkts $k$
$AD_{kt}$	Aktueller Bedarf des Produkts $k$ zum Zeitpunkt $t$
$D_{kt}$	Kundenbedarf des Produkts $k$ zum Zeitpunkt $t$

$SO_{kT}$	Anzahl der Stock Outs des Produkts $k$ während des Produktionszeitraums $T$
$MC_{kt}$	Geplante Maschinenkapazität für das Produkt $k$ zum Zeitpunkt $t$
$AMC_{kt}$	Tatsächlich verfügbare Maschinenkapazität für das Produkt $k$ zum Zeitpunkt $t$
$\tau_t$	Zufallsvariable zum Zeitpunkt $t$
$l_{kt}$	Gesamtdurchlaufzeit des Produkts $k$ zum Zeitpunkt $t$
$n_t Q_k$	Anzahl der Produktionsaufträge zum Zeitpunkt $t$ gemäß Standardlosgröße $Q$ des Produkts $k$
$I_{kt}$	Durchschnittliche Verweildauer des Produkts $k$ zum Zeitpunkt $t$
$S_{kt}$	Sollbestand des Produkts $k$ zum Zeitpunkt $t$
$ss_{kT}$	Sicherheitsbestand des Produkts $k$ Während des Produktionszeitraums $T$

**Tabelle 4: Nomenklatur der Gleichungen (Kosten sind pro Zeiteinheit)**

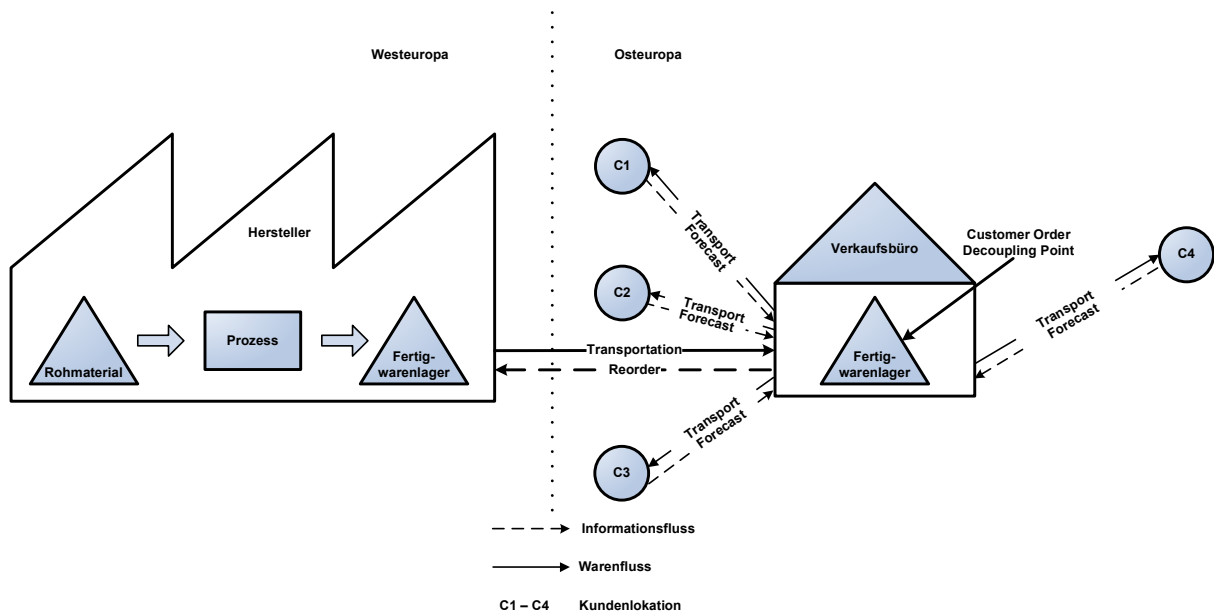
#### 5.4.1 Modellvalidierung

Ein empirisches Modell ist im großen Maß von seiner zugrundeliegenden Datenbasis, wie auch von seinem Prozessdesign abhängig. Diese Aspekte müssen berücksichtigt werden, damit das Verhalten des Modells mit den Beobachtungen und Abläufen der Realität einen hohen Grad an Übereinstimmung aufweist. Um eine stimmige Datenbasis zu erreichen, die frei von organisatorischen Barrieren der Supply Chain Partnern ist, wurde der Data Triangulation Ansatz gewählt (Croom 2009). Im Detail wurden die vorhandenen IT-Systeme des Werks, Verkaufsbüros und deren organisatorischen Verwaltungen untersucht. Hierbei konnten Datenbankabfragen per direkten Datenzugang bezogen werden. Das Modelldesign wurde entsprechend dem produktspezifischen Supply Chain Design Ansatz bestimmt, z. B. anhand von teilnehmender Beobachtung und Befragung von Supply Chain Managern (Åhlström und Karlsson 2009, Voss 2009). Die Produktspezifikation gemäß Mason-Jones et al. (2000) hat ergeben, dass der market winner die Lieferbereitschaft ist, wohingegen Kosten, Qualität und Durchlaufzeit die market qualifier sind. Damit muss der Hersteller in einem agile Supply Chain Umfeld agieren.

#### 5.4.2 Szenario 1 – Forecast basiertes Bestandsmanagement

Interviews mit den entsprechenden Parteien haben ergeben, dass sich ein vierwöchiger rollierender Forecast, der vom OEM erstellt und an das Verkaufsbüro übermittelt wird, realisieren lässt. Der Austausch von Information stellt die Hauptverbesserung des Szenarios dar (s. Abbildung 36). Hierbei repräsentiert der rollierende Forecast den aktuellen Auftragseingang, wobei der OEM die Gelegenheit hat, diesen anzupassen.

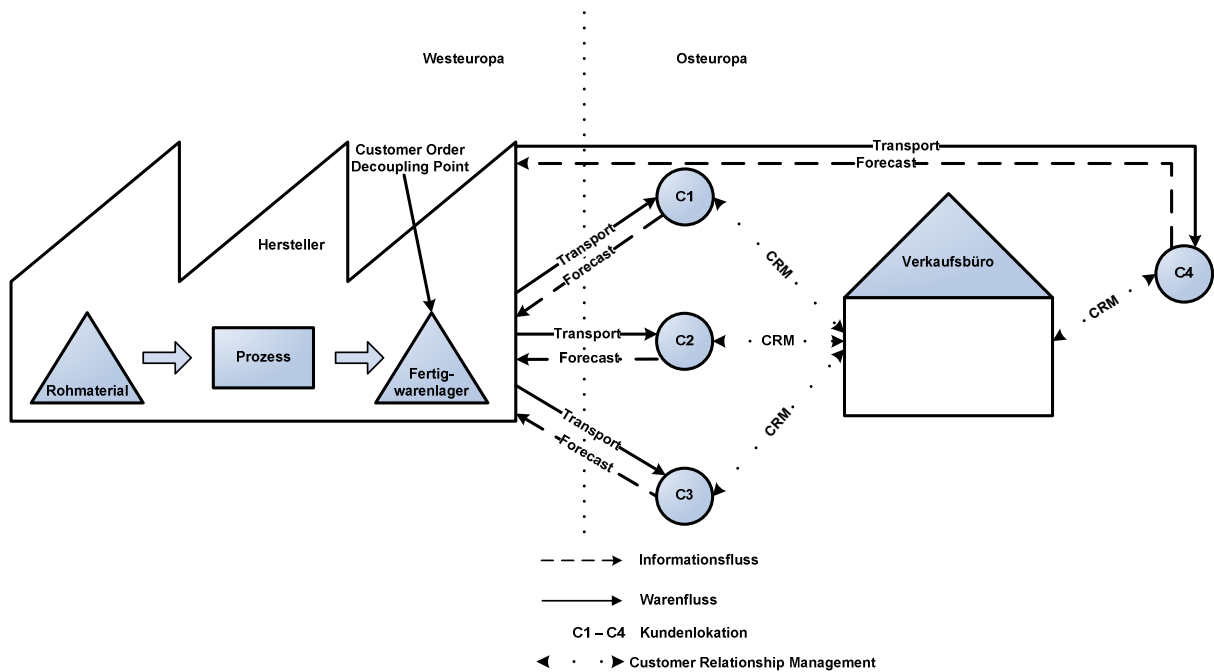
Das Rohmateriallager des Herstellers wird in der Simulation nicht berücksichtigt, weil es sich hierbei um ein Grundmaterial handelt, welches für viele tausend Produkte verwendet und täglich befüllt wird. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse des ersten Szenarios.



**Abbildung 36: Aufbau des ersten Szenarios**

### 5.4.3 Szenario 2 – Verbesserungen des Supply Chain Designs

Szenario 2 zielt dabei vor allem auf die Verkürzung der Supply Chain, indem das Verkaufsbürolager geschlossen wird und eine Kundendirektbelieferung ab dem Hersteller erfolgt. Der OEM fordert in diesem Fall, dass auf Basis der durchschnittlichen Nachfrage in der Zukunft immer genügend Artikel für die nächsten zwei Wochen auf Lager sind. Um das zu ermöglichen wird an dem vierwöchigen rollierenden Forecast aus Szenario 1 festgehalten. Alles in allem führt es dazu, dass der CODP stromaufwärts in der Supply Chain verschoben wird und der Hersteller die echte Kundennachfrage sieht. Aus dem neuen Design ergeben sich auch neue Transportwege. Die daraus resultierenden Transportkosten wurden durch Interviews mit der zuständigen Spedition ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 ersichtlich. Das Verkaufsbüro bleibt weiterhin bestehen und kümmert sich nach wie vor um die Kundenbetreuung, Vertragsverlängerung, Preisverhandlung, etc. Abbildung 37 stellt den neuen Prozessablauf dar.



**Abbildung 37: Aufbau des zweiten Szenarios**

## 5.5 Ergebnisse

Die Performancekennzahlen sind in Tabelle 5 als Durchschnittswert und sofern vorhanden als Minimum-, Maximum- und Wert der Standardabweichung enthalten und beziehen sich jeweils auf ein Jahr.

Basierend auf den beschriebenen Verbesserungen aus Szenario 1, ergibt sich eine deutliche Reduktion der Stock Outs, die als direkter Indikator für die Kundenzufriedenheit und die Kundenloyalität stehen. Allerdings sind aufgrund der hohen Durchlaufzeit, sowohl im Durchschnitt als auch hinsichtlich der Varianz zwischen Hersteller und Verkaufsbüro hohe Lagerbestände von Nöten, die sich negativ auf die Lagerhaltungskosten auswirken. Die Transportkosten sowie die Lagerhaltungskosten des Herstellers sind mit dem ursprünglichen Szenario vergleichbar. Mit dieser Variante lässt sich nur die Kundenzufriedenheit steigern, wohingegen sich die anderen Performancedimensionen (Kosten und Durchlaufzeit) verschlechtern.

Durch die Kürzung der Supply Chain Stufen und der Neupositionierung des CODP konnte der Materialfluss verringert werden, was verglichen mit dem ursprünglichen und ersten Szenario zu einer erheblichen Verbesserung der Gesamtdurchlaufzeit (sowohl durchschnittlich als auch bezogen auf die Varianz) führt. Daraus folgen niedrigere Lagerhaltungskosten, die auf dem Niveau des ursprünglichen Szenarios liegen und das obwohl hier während der ersten Jahreshälfte fast kein Bestand auf Lager war (s. Abbildung

35). Darüber hinaus ist die Anzahl der Stock Outs ähnlich gut wie aus Szenario 1. Zusätzlich lassen sich wegen des neuen Supply Chain Designs Transportkosten in Höhe von jährlich 70.000 € einsparen. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass das Lager des Herstellers für dieses Szenario erweitert werden müsste. Die ermittelten Baukosten können allerdings durch die eingesparten Transportkosten eines Jahres finanziert werden. Somit ergeben sich bei allen drei Performancedimensionen erhebliche Vorteile.

		Performancekennzahl	Ursprüngliches Szenario	Szenario 1	Szenario 2
Durchlaufzeit	1	Gesamtdurchlaufzeit in Tage (Auftragseingang beim Hersteller bis zur Auslieferung der Ware in Tage)	Ø 43.14	Ø 54.31 min 7.67 max 112.67 σ 16.60	Ø 14.62 min 2.68 max 38.67 σ 4.02
	2	Lagerdauer im Verkaufsbüro (ursprüngliches und erstes Szenario) bzw. beim Hersteller (zweites Szenario) in Tage	Ø 7.8	Ø 20.28 min 0 max 48.80 σ 7.47	Ø 12.93 min 0 max 38.67 σ 7.14
	3	Lieferzeit zwischen dem Hersteller und den Verkaufsbüro in Tage	Ø 35.44 min 1 max 79 σ 14.93	Ø 35.11 min 1 max 87.44 σ 14.35	entfällt
	4	Produktionszeit in Tage	Bereits in Kennzahl 3 enthalten	Bereits in Kennzahl 3 enthalten	Ø 1.73 min 0.82 max 11.1 σ 1.4
Kunden-zufriedenheit	5	Stock Outs in Tage	Ø 57	Ø 0.76 min 0 max 6 σ 1.5	Ø 1.75 min 0 max 6.04 σ 2.55
Kosten	6	Transportkosten vom Hersteller zum Verkaufsbüro in €	Ø 150000	Ø 158964 min 150800 max 163800	entfällt

	7	Transportkosten vom Verkaufsbüro zu den Produktionsstätten (1-4) des Kunden in €	Ø 33000	Ø 31895 min 29300 max 34430	entfällt
	8	Transportkosten vom Hersteller zu den Produktionsstätten (1-4) des Kunden in €	entfällt	entfällt	Ø 119600 min 113100 max 126100
	9	Lagerhaltungskosten im Verkaufsbüro in €	Ø 7091	Ø 18753 min 9964 max 21779	entfällt
	10	Lagerhaltungskosten beim Hersteller in €	Ø 1774	Ø 1818 min 1778 max 1883	Ø 8904 min 7686 max 9196

Legende:

- Kundenorientierte Leistungskenngrößen
- Finanzielle Leistungskenngrößen
- Operative Leistungskenngrößen

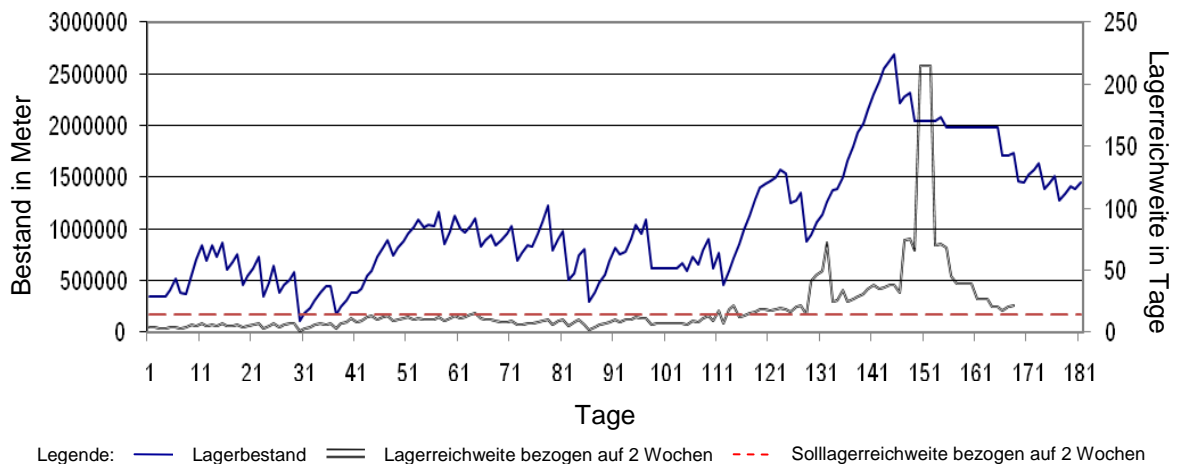
**Tabelle 5: Ergebnisse des ursprünglichen Szenarios und der Simulationsergebnisse.**

## 5.6 Reale Umsetzung

Nach der Identifizierung eines real existierenden Problems, der Erstellung eines konzeptionellen und wissenschaftlichen Modells sowie der Bereitstellung von Lösungen, ist gemäß des Mitroff-Cycles (Mitroff et al. 1974) (s. Abschnitt 2.5.2) die Umsetzung und reale Implementierung der nächste Schritt, um in letzter Konsequenz auch Rückschlüsse auf das Modell ziehen zu können.

Szenario 2 erzielte in der Simulation die beste Performance und wird daher in die Realität umgesetzt. Nach der Umsetzung wurde dem neuen System drei Monate Zeit gegeben, um sich einzupendeln, bevor die Lagerbewegungen untersucht wurden. Aus Abbildung 38 ist ersichtlich, dass während des ersten halben Jahres keine Stock Outs auftraten (blaue Linie), wodurch die Kundenzufriedenheit deutlich gesteigert werden konnte. Die rot gestrichelte Linie stellt die interne Vorgabe der Solllagerreichweite dar, die besagt, dass immer genügend Lagerbestand für die voraussichtliche Nachfrage der nächsten 14 Tage vorhanden ist. Die schwarze Doppellinie gibt die aktuelle Lagerreichweite bezogen auf die Nachfrage der nächsten 14 Tage wieder. Die Lagerreichweite weicht z. T. noch stark von der Vorgabe von 14 Tagen ab. Das liegt vor allem daran, dass die Vorschauzahlen des Kunden noch mit einem unterschiedlichen Vorlauf eintreffen.

Aufgrund des geänderten Nachfrageverhaltens des Kunden, ergeben sich verglichen mit der Simulation natürlich auch unterschiedliche Werte für Durchlaufzeit, Lagerhaltungs- und Transportkosten. Nichtsdestotrotz verhält sich das System hinsichtlich der Robustheit genau wie in der Simulation prognostiziert (s. Anzahl Stock Outs). Auch Überbestände können so in kurzer Zeit wieder abgebaut werden.



**Abbildung 38: Lagerbestandverlauf inkl. Kundennachfrage und Lagerreichweite des Herstellers nach der realen Umsetzung des zweiten Szenarios.**

## 5.7 Schluss

### 5.7.1 Ergebnisse

Es wurden zwei Supply Chain Alternativen hinsichtlich der Performancedimensionen Durchlaufzeit, Kosten und Kundenzufriedenheit analysiert und bewertet. Als Untersuchungsgegenstand diente eine bestehende zweistufige polymere Supply Chain mit einem marktdominierenden OEM als Endkunden.

Vor der Aufstellung der Szenarien wurde mit dem Management abgeklärt, welche Alternativen eine Chance auf eine reale Umsetzung haben.

Der positive Effekt der Durchlaufzeitverkürzung konnte in Szenario 2 besonders durch eine geeignete Kombination theoretischer Konzepte (d. h. Informationsaustausch, Neupositionierung des Customer Order Decoupling Points, Änderung der Lagerbestandspolitik und Verkürzung der Supply Chain Stufen) erzielt werden. Insgesamt ergibt sich eine deutlich gesteigerte Kundenzufriedenheit bei gleichzeitig gesunkenen Kosten.

Zusätzlich konnte demonstriert werden, dass durch die Verwendung von Simulationsstudien Handlungsalternativen in einer risikofreien Umgebung vor der realen Umsetzung getestet

und bewertet werden können. Die Ergebnisse bilden darüber hinaus die Basis einer fundierten Argumentationsgrundlage für das Management.

Anhand der realen Implementierung des Szenarios 2 konnte ebenso gezeigt werden, dass durch entsprechende Daten- und Modellvalidierung Ergebnisse erzielt werden, die nahe an der Realität liegen (s. Anzahl Stock Outs).

Die Ergebnisse demonstrieren, dass sich Nutzensvorteile einiger Verbesserungskonzepte zur Durchlaufzeitoptimierung nur auf dem Supply Chain Level realisieren lassen. Um dies zu erreichen, ist eine koordinierte Vorgehensweise aller Supply Chain Partner notwendig.

### **5.7.2 Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete**

Bei realen Umsetzungen von Handlungsalternativen ist die Generalisierbarkeit nur bedingt gegeben, weil es sich immer um eine unternehmens- und produktspezifische Analyse handelt. Nichtsdestotrotz können die Ergebnisse als Best Practice Beispiele dienen und somit Verbesserungspotentiale für weitere Unternehmen bzw. Supply Chains aufzuzeigen. In der weiteren Forschungsarbeit sollte das mit dem Kunden vereinbarte Lagerbestandsverfahren weiter optimiert werden, welches vorsieht, immer genügend Lagerbestand für die nächsten 14 Tage zur Verfügung zu haben. Dadurch entsteht für die Produktion aufgrund der ständig geänderten Bestellmengen und Bestellzeitpunkte eine erhöhte Variabilität, die sich negativ auf die Gesamtperformance auswirkt. Durch die Wahl eines geeigneten Verfahrens kann eine weitere Optimierung der gewählten Performancedimensionen erzielt werden.

Darüber hinaus muss untersucht werden, wie die Resultate der realen Umsetzung gemäß des Mitroff-Cycles genutzt werden können, um weitere Einflussfaktoren für eine realitätsnahe und erfolgreiche Simulation zu identifizieren. Das wird die Qualität weiterer Simulationen in diesem Umfeld verbessern.

### **5.7.3 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Ergebnisse sind sowohl für Praktiker als auch für Akademiker von Interesse, weil die Studie dazu beiträgt, die dynamischen Aspekte von Supply Chain Alternativen besser zu verstehen und die Bedeutung einer umfassenden und spezifischen Supply Chain Bewertung hervorhebt.

Im nächsten Kapitel erfolgen die Zusammenfassung und das Resümee der Arbeit.

## **6 Schlussfolgerung und Ausblick**

### **6.1 Reflexion**

In der vorliegenden Arbeit wurde ein nachhaltiges Bewertungsmodell unter Berücksichtigung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren entwickelt. Hierdurch lassen sich die komplexen und nicht immer intuitiven Wechselwirkungen der Effektivitäts- und Effizienzkenngößen eines Unternehmens bzw. einer Supply Chain hinsichtlich der Gesamtperformance darstellen und bewerten. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden auf eine reale Supply Chain übertragen.

Gemäß den Forschungsfragen wurde zunächst der nicht lineare Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung empirisch untersucht. Das war nötig, weil Grundprinzipien des Bewertungsmodells auf Annahmen der Warteschlangentheorie basieren und die Anwendbarkeit des Bewertungsmodells für reale Prozess als Prämisse galt. Als Untersuchungsgegenstand wurde ein Werk eines weltweit führenden Polymerverarbeiters gewählt. Es wurden mehr als 60.000 Produktionsaufträge in einem Zeitraum von zweieinhalb Jahren analysiert, wovon gut 16.000 make-to-order sind. Letztere sind für die Untersuchung relevant, wobei alle Produktionsaufträge für die Berechnung der Ressourcenauslastung benötigt wurden. Der exponentielle Zusammenhang der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung konnte für den komplexen Prozess aus dem Produktionsumfeld empirisch nachgewiesen werden. Es ergaben sich kleinere Abweichungen, jedoch ist der exponentielle Zusammenhang bis zu einem Auslastungsgrad von 95 % gut erkennbar und stimmt weitestgehend mit der Theorie überein. Darüber werden seitens des Werks enorme Anstrengungen unternommen, um die Durchlaufzeit auf einem erträglichen Niveau zu halten. Nichtsdestotrotz kann das Bewertungsmodell auf diesen Annahmen aufbauen, weil Rapid Modelling Programme wie z. B. MPX© bei der Modellierung keine höheren Auslastungswerte als 95 % empfehlen.

Das Bewertungsmodell stellte die Zusammenhänge und Wechselwirkungen der relevanten Effektivitäts- und Effizienzkenngößen im Ganzen dar. Damit lassen sich Durchlaufzeitverkürzungsansätze bzw. die Durchlaufzeit im Allgemeinen hinsichtlich der Gesamtperformance eines Unternehmens oder einer Supply Chain analysieren und bewerten. Nach der Fertigstellung des Bewertungsmodells wurde es mit Hilfe empirischer Daten illustriert. Hierzu sind verschiedene Szenarien entwickelt worden, mit denen es ohne große Investitionen möglich ist, die Durchlaufzeit zu verbessern. Es wurde die Losgröße gemäß der Durchlaufzeit optimiert und Mitarbeiterpoolingmaßnahmen unternommen. Die

Szenarien wurden stets mit der Ausgangssituation verglichen. Um die produktionsrelevanten Performancekenngrößen des komplexen Fertigungssystems zu ermitteln, kamen Rapid Modelling Techniken (MPX©) zum Einsatz.

Es hat sich deutlich gezeigt, dass ein starker Zusammenhang zwischen kundenrelevanten, produktionsrelevanten und finanziellen Leistungskenngrößen besteht, und dass sie alle in Wechselwirkung zueinander stehen. Durch die Reduktion der Losgröße mussten zwar zunächst höhere Rüstkosten in Kauf genommen werden, jedoch verbesserte sich die Durchlaufzeit, wodurch sich der WIP Lagerbestand und der Lagersicherheitsbestand reduzierten. Somit erhöhen sich auch die Kundenservice- und Kundenbindungswerte, was zur Folge hat, dass sich die Strafkosten vermindern und die Anzahl neuer Kunden steigt. Deshalb steigen auch die Kundenbindungskosten, weil es ca. fünf Mal teurer ist Neukunden zu werben, als bestehende zu halten. Alles im allen sinken die Gesamtkosten bei allen Szenarien im Vergleich zum Ausgangsszenario. Bei niedrigeren Kosten und gleichen Umsatz steigt dementsprechend der Gewinn.

Mit Hilfe des Rapid Modelling Ansatzes kann auch für komplexe Produktionsprozesse auf schnelle Art und Weise die Durchlaufzeit gemäß dem Bewertungsmodell evaluiert werden. Einzig die langfristigen Folgen können nur abgeschätzt werden. Die Verbindung zwischen der Anzahl der Neukunden und der Kundennachfrage wirkt sich zeitverzögert aus. Deshalb haben bei allen Szenarien die besserern Kundenbindungswerte und eine höhere Anzahl von Kunden noch keine Auswirkung auf den Umsatz. Dieser ist bei allen Szenarien gleich.

Um das Bewertungsmodell zu schließen und auch eine quantifizierte Aussage über die Langzeitfolgen der definierten Szenarien zuzulassen, wird das Rapid Modelling Modell mit einem System Dynamics Modell (Forio Business Simulations©) kombiniert. Mit einem System Dynamics Modell kann die komplexe Produktionsumgebung nur bedingt abgebildet werden. Auf der anderen Seite lassen sich dynamische Wechselwirkungen über die Zeit ausgezeichnet nachvollziehen. Darum dienen dem System Dynamics Modell die Ausgangswerte des Rapid Modelling Modells als Eingangswerte und umgekehrt.

Es hat sich gezeigt, dass sich die positiven Auswirkungen der Durchlaufzeitverkürzung auch oder gerade besonders in der Zukunft bezahlbar machen. Wenn die Ausgangssituation beibehalten wird, rutscht der Profit bald ins Negative. Bei dem verbesserten Szenario hat sich der Umsatz bei annähernd stabilen Kosten immens verbessert, was auch zu einer Steigerung des Profits führte. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass der Anstieg der Kundennachfrage durch die bestehenden Ressourcen bewerkstelligt werden kann, ohne dabei die Durchlaufzeit im nennenswerten Umfang durch die erhöhte Ressourcenauslastung zu verschlechtern.

Im Anschluss wurden die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich der Wechselwirkungen der Effektivitäts- und Effizienzkenngößen auf das Supply Chain Level übertragen. Hierbei lag der Fokus besonders auf der Implementierbarkeit und somit realen Umsetzung der Ergebnisse. Deshalb wurden im Vorfeld mit dem Management Performancevariablen gewählt, die repräsentativ für die finanziellen, kundenorientierten und produktionsrelevanten Dimensionen stehen sollen. Zur Verbesserung der vorliegenden Situation wurden eine Reihe von theoretischen Konzepten zur Durchlaufzeitverkürzung und eine geeignete Kombination dieser herangezogen. Per diskret ereignisorientierten Simulation (Arena©) wurde das vielversprechendste Szenario ermittelt und in die Realität umgesetzt. Die Ergebnisse deckten sich weitestgehend mit den Vorhersagen des Simulationsmodells, auch wenn sich Rahmenbedingungen wie z. B. Kundenbedarf natürlich geändert haben. Diese Tatsache weist auf die Robustheit des Simulationsmodells hin.

## **6.2 Schlussfolgerungen**

Zunächst lässt sich durch die empirische Untersuchung des Zusammenhangs der durchschnittlichen Durchlaufzeit und durchschnittlichen Ressourcenauslastung festhalten, dass sich Warteschlangenmodelle auch für komplexe Fertigungsprozesse eignen, um diese realitätsnah abzubilden. Optimierungsansätze und deren Auswirkungen lassen sich vor der realen Umsetzung untersuchen.

Mit dem nachhaltigen Bewertungsmodell lassen sich die dynamischen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen kundenorientierten, produktiven und finanziellen Leistungskenngrößen darstellen, analysieren und evaluieren. Dieses Modell bietet auch eine Argumentationsgrundlage für Verbesserungsansätze, die nach klassischen Kosten- und Leistungsrechnungssystemen keine Chance auf eine reale Umsetzung hätten. Darüber hinaus konnte durch die Illustration und die Umsetzung der Ergebnisse des Bewertungsmodells auch der Forderung von Little (2004) nach mehr vom Management akzeptierten Modellen bei der Entscheidungsfindung im Bereich des Operations Management nachgekommen werden.

Mit dem nachhaltigen Bewertungsmodell können somit Assoziogramme trainiert und Entscheidungsträger bei der effektiven (das Richtige tun) und effizienten (Dinge richtig tun) Umsetzung unterstützt werden.

Insgesamt trägt die Arbeit zu einem besseren Verständnis der dynamischen und komplexen Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen Effektivitäts- und Effizienzkenngößen in einem Unternehmen bzw. einer Supply Chain bei. Die Ergebnisse sind sowohl für Akademiker als auch Praktiker von Interesse. Durch die Entwicklung und Umsetzung eines

nachhaltigen Bewertungsmodells, welches einen besonderen Fokus auf zeitliche Wettbewerbsfaktoren legt, konnten theoretische Lücken im Bereich des Operations Managements weiter geschlossen werden.

### **6.3 Einschränkungen und weitere Forschungsgebiete**

Insgesamt ist zu sagen, dass die Generalisierbarkeit der Forschungsergebnisse verbessert werden sollte.

In künftigen Forschungsarbeiten sollte die Analyse und Bewertung der Einflussfaktoren des Ursachenwirkungsdiagramms aus Kapitel 3, die das Verhältnis der durchschnittlichen Durchlaufzeit und der durchschnittlichen Ressourcenauslastung beeinflussen, weiter vorangetrieben werden. Darüber hinaus wären eine detailliertere Klassifizierung und die Quantifizierung der Auswirkungen wünschenswert. Dies wird helfen, den nicht linearen Zusammenhang noch besser zu verstehen. Zusätzlich tragen die Ergebnisse zu einer Optimierung der Warteschlangenmodelle bei, wodurch hoch komplexe Fertigungs- bzw. Serviceprozesse noch realitätsgetreuer modelliert werden können.

Das in Kapitel 4 entwickelte Bewertungsmodell, welches die Analyse und Evaluierung zeitlicher Wettbewerbsfaktoren hinsichtlich der involvierten Effektivitäts- und Effizienzkenngößen des Gesamtsystems ermöglicht, kann um die finanzielle Leistungskenngröße Investition erweitert werden. Dies ist besonders dann interessant, wenn es sich um kostspielige Maßnahmen handelt, damit die Durchlaufzeit verkürzt werden kann. Bei einer Langzeitanalyse empfiehlt sich z. B. nach der Kapitalwert- oder Annuitätenmethode vorzugehen. So sind auch Zins und Zinseszinsseffekte berücksichtigt.

Darüber hinaus wäre die Adaption des Bewertungsmodells auf make-to-oder Produktionsprozesse und Serviceprozesse eine Erweiterungsmöglichkeit.

Auch sollten die vorhandenen Ergebnisse in bestehende Kosten- und Leistungsrechnungssysteme als auch Kompensationssysteme für Manager integriert werden. Dies wird dazu führen, dass weit verbreitete Standardmanagementmethoden, wie die Maximierung der Ressourcenauslastung für viele Branchen an Bedeutung verlieren werden und Kundenbedürfnisse weiter in den Vordergrund rücken.

Für das Kapitel 5 ist nach der Entwicklung des diskret ereignisorientierten Simulationsmodells und der realen Umsetzung des vielversprechendsten Szenarios zur Reduzierung der Durchlaufzeit eine Rückkoppelung der realen Ergebnisse auf das

Simulationsmodell denkbar. Dadurch kann es weiter verbessert werden, was bei zukünftigen Simulationen zu noch realitätsnäheren Ergebnissen führen kann.

## 7 **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Gang der Untersuchung.....	5
Abbildung 2: Schaffung von Mauern durch funktionsorientiertes Denken (angelehnt an Bothe und Nissen (2003)).....	9
Abbildung 3: Firmenübergreifender Zusammenschluss der Supply Chain (angelehnt an Bothe und Nissen (2003)).....	10
Abbildung 4: Logistische Möglichkeiten der Differenzierung (Quelle: Bothe und Nissen (2003)) .....	11
Abbildung 5: Customer Order Decoupling Point und strategische Läger (Quelle: Christopher und Towill (2000)).....	14
Abbildung 6: Supply Chain Typen gemäß der Art der Kollaboration (Quelle: Holweg et al. (2005)) .....	15
Abbildung 7: Prinzipieller Aufbau eines Warteschlangensystems (angelehnt an Sundarapandian (2009)).....	20
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Zwischenankunftszeiten (Quelle: Arnold und Furmans (2009)).....	21
Abbildung 9: Zusammenhang von Durchlaufzeit, Auslastung und Variabilität. Die gestrichelte Linie steht für eine hohe, die durchgezogene für eine normale und die gepunktete für eine geringe Variabilität (angelehnt an Suri (1998)) .....	23
Abbildung 10: Das Operation Management Dreieck (angelehnt an Schmidt (2005)) .....	24
Abbildung 11: Veranschaulichung der EOQ (angelehnt an: Reinertsen (2009)).....	26
Abbildung 12: Zusammenhang von Durchlaufzeit, Wartezeit, Rüstzeit, Batchwartezeit und Bearbeitungszeit.....	28
Abbildung 13: Strategische Erfolgsfaktoren, Managementansätze und Datenbasis des Rechnungswesens (Quelle: Götze et al. (2000)) .....	29
Abbildung 14: Aufbau des Forschungsansatzes (Quelle: Karlsson (2009)).....	31
Abbildung 15: Das konzeptionelle Modell .....	32
Abbildung 16: Mitroffzyklus (Quelle: Mitroff et al. (1974)).....	35
Abbildung 17: Produktspezifische Supply Chain Design Methode (Quelle: Reiner und Trcka (2004)) .....	38
Abbildung 18: Prozesslayout inklusive der vorhandenen Zeitstempel.....	45
Abbildung 19: Zuweisung der Maschinenaktivitäten an die Kategorien Unavailable, Occupied und Idle. ....	46
Abbildung 20: 30 tägiger gleitender Durchschnitt der täglichen durchschnittlichen Werksauslastung.....	47

Abbildung 21: 30 tägiger gleitender Durchschnitt der täglichen durchschnittlichen Durchlaufzeit. ....	48
Abbildung 22: Einordnung der 16.584 Produktionsaufträge gemäß Durchlaufzeit und Ressourcenauslastung. ....	48
Abbildung 23: Boxplotdiagramm der Datenauswertung und der Verlauf eines klassischen Multiserver Warteschlangenmodells (blaue Linie). ....	50
Abbildung 24: Detailausschnitt von Auftragseingang bis Produktionsende (vergl. Abbildung 18). ....	51
Abbildung 25: Ursachenwirkungsdiagramm der meistgenannten Faktoren, die das Verhältnis zwischen Durchlaufzeit und Ressourcenauslastung beeinflussen. ....	52
Abbildung 26: Bewertungsmodell zur ganzheitlichen Beurteilung der Durchlaufzeit für eine make-to-stock Umgebung. ....	58
Abbildung 27: Produktionsprozessablauf. ....	65
Abbildung 28: Pooling – weniger, aber gut ausgebildete Mitarbeiter bedienen mehrere Arbeitsstationen. ....	66
Abbildung 29: Spezialisierung – mehr, aber weniger ausgebildete Mitarbeiter bedienen eine Arbeitsstation. ....	66
Abbildung 30: Zusammenspiel System Dynamics und Rapid Modelling. ....	72
Abbildung 31: Operative Leistungskenngrößen. ....	73
Abbildung 32: Finanzielle Leistungskenngrößen. ....	76
Abbildung 33: Kundenorientierte Leistungskenngrößen. ....	77
Abbildung 34: Der ursprüngliche Prozessablauf. ....	85
Abbildung 35: Lagerbewegung des Verkaufsbüros über ein Jahr hinweg. ....	85
Abbildung 36: Aufbau des ersten Szenarios. ....	90
Abbildung 37: Aufbau des zweiten Szenarios. ....	91
Abbildung 38: Lagerbestandverlauf inkl. Kundennachfrage und Lagerreichweite des Herstellers nach der realen Umsetzung des zweiten Szenarios. ....	94

## **8 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Nomenklaturübersicht .....	64
Tabelle 2: Angewendete Szenarien, um die Auswirkungen der Durchlaufzeit zu testen und zu bewerten .....	69
Tabelle 3: Szenarienergebnisse gemäß des Bewertungsmodells .....	69
Tabelle 4: Nomenklatur der Gleichungen (Kosten sind pro Zeiteinheit) .....	89
Tabelle 5: Ergebnisse des ursprünglichen Szenarios und der Simulationsergebnisse .....	93

## 9 Stichwortverzeichnis

<b>B</b>		<b>I</b>	
Bass Modell .....	61	Imitationsphänomen.....	61
Batchgröße .....	27	Innovationsphänomen.....	61
Batchwartezeit .....	27	<b>K</b>	
Bearbeitungszeit.....	26	Kendallsche Notation .....	20
Best Value Supply Chain .....	13, 40	Kollaboration .....	15
Bewertungsmodell .....	57	Konzeptionelles Modell .....	31
Bullwhip-Effekt .....	9	Kundenbindung.....	54
Business Management .....	6	Kundenzufriedenheit .....	54
<b>C</b>		<b>L</b>	
Customer Order Decoupling Point .....	14	Leagile .....	14
<b>D</b>		Logistische Steuerkreis.....	14
DuPont's ROI .....	56	Losgröße .....	25
Durchlaufzeitverkürzung .....	18	<b>M</b>	
<b>E</b>		Magnifying Effect .....	22
Extraktion .....	65	make-to-order.....	32
<b>F</b>		make-to-stock.....	32
Flussrate .....	27	Market Qualifier.....	13
Forschungsansatz .....	30	Market Winner.....	13
Forschungsmethodologie .....	32	Marketingeffektivitätsfaktor.....	61
<b>G</b>		Marktpotential .....	61
Gesetz von Little .....	24	Mitroffzyklus .....	34
Globalisierung .....	6	MPX.....	60
<b>H</b>		Multiserver Warteschlangenmodell .....	49
Hybrid Model.....	71	<b>O</b>	
Hybrid Modelling.....	71	OEM .....	84
Hybride Supply Chain .....	14	Offenes Warteschlangennetz.....	59
		OM Dreieck .....	23
		Operations Management.....	23
		Outsourcen .....	18

## **P**

Performancekenngröße .....	39
Postponement.....	82
PULL.....	14
PUSH.....	14

## **R**

Rapid Modeler.....	60
Repairman Problem.....	66
Ressourcenauslastung.....	21

## **S**

Supply Chain.....	6
Supply Chain Council .....	12
Supply Chain Design .....	36
Supply Chain Management .....	6
Supply Chain Unsicherheiten .....	17

Supply-Chain-Operations-Referenzmodell .....	12
System Dynamics .....	71

## **V**

Variabilität .....	21
--------------------	----

## **W**

Warteschlangenmodell.....	22
Warteschlangennetzzerlegungsmethode .....	59
Warteschlangensystem.....	20
Warteschlangentheorie .....	19
Wartezeit .....	22
Work in Process .....	24, 39

## **Z**

Zeitbasierte Leistungskriterien .....	18
Zwischenankunftszeit .....	21

## 10 Abkürzungsverzeichnis

ATO	Assembly-to-Order
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CODP	Customer Order Decoupling Point
CRM	Customer Relationship Management
d. h.	das heißt
EOQ	Economic Order Quantity
FIFO	first-in-first-out
GM	General Motors
IT	Informationstechnologie
mtO	Make-to-Order
mts	Make-to-Stock
OEM	Original Equipment Manufacturer
OM	Operations Management
PoD	Point of Differentiation
RDV	relative Nachfragevolatilität
ROI	Return on Invest
s.	siehe
SCC	Supply Chain Council
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply-Chain-Operations-Referenzmodell
SD	System Dynamics
SZ	Szenario
vergl.	vergleiche
WIP	Work in Process
z. T.	Zum Teil

## 11 Bibliographie

- Åhlström, P. und C. Karlsson (2009). Longitudinal Field Studies. in: C. Karlsson: Researching Operations Management, 1. Auflage, New York, Routledge, 196-235
- Aksin, Z., M. Armony und V. Mehrotra (2007). The Modern Call-Center: A Multi-Disciplinary Perspective on Operations Management Research. Production and Operations Management, 16(6): 665-688
- Alderson, W. (1950). Marketing Efficiency and the Principle of Postponement. Cost and Profit Outlook, 3
- Anderson, E. W. und M. W. Sullivan (1993). The antecedents and consequences of customer satisfaction for firms. Marketing Science, 12(2): 125-143
- Anupindi, R., S. Chopra, S. D. Deshmukh, J. A. Van Mieghem und E. Zemel (2006). Managing Business Process Flows: Principles of Operations Management, 2. Auflage, New York, Prentice Hall
- Arena© Simulation Software (2011). Rockwell Automation. <http://www.arenasimulation.com/>
- Arnold, D. und K. Furmans (2009). Materialfluss in Logistiksystemen, 6. Auflage, Berlin, Springer
- Askenazy, P., D. Thesmar und M. Thoenig (2006). On the Relation between Organisational Practices and New Technologies: The Role of (Time-Based) Competition. Economic Journal, 116(508): 128-154
- Automotive Data Center & R.L. Polk. <https://www.polk.com/>
- Baganha, M. P. und M. A. Cohen (1998). The Stabilizing Effect of Inventory in Supply Chains. Operations Research, 46(3): 72-83
- Bartsch, H. und P. Bickenbach (2001). Supply Chain Management mit SAP APO - Supply-Chain-Modelle mit dem Advanced Planner & Optimizer 3.0, 2. Auflage, Bonn, Galileo
- Bass, F. M. (1969). A new product growth for model consumer durables. Management Science, 15(5): 215-227
- Bass, F. M. (2004). Comments on "A New Product Growth for Model Consumer Durables The Bass Model" Management Science, 50(12): 1833-1840
- Beamon, B. M. (1999). Measuring supply chain performance. International Journal of Operations & Production Management, 19(3): 275-292
- Becker, G. W., D. Braun, H. Gausepohl und R. Cellert (1996). Kunststoffhandbuch, Band 4: Polystyrol, München, Carl Hanser
- Bertrand, J. W. M. und J. C. Fransoo (2002). Modelling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling. International Journal of Operations & Production Management, 22(2): 241-264

- Bertrand, J. W. M. und J. C. Fransoo (2009). Modelling and Simulation. in: C. Karlsson: Researching Operations Management, 1. Auflage, New York, Routledge, 265-306
- Bielen, F. und N. Demoulin (2007). Waiting time influence on the satisfaction-loyalty relationship in services. *Managing Service Quality*, 17(2): 174-193
- Billington, C., G. Callion, B. Crane, J. D. Ruark, J. U. Rapp, T. White und S. P. Willems (2004). Accelerating the Profitability of Hewlett-Packard's Supply Chains. *Interfaces*, 34(1): 59-72
- Bitzer, M. R. (1991). Zeitbasierte Wettbewerbsstrategien: die Bewschleunigung von Wertschöpfungsprozessen in der Unternehmensplanung, Gießen, zugl. Dissertation Univ. St. Gallen
- Bodie, Z., A. Kane und A. Marcus (2003). *Essentials of Investments*, 5. Auflage, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Bolch, G., S. Greiner, H. d. Meer und K. S. Trivedi (2006). *Queueing Networks and Markov Chains: Modeling and Performance Evaluation with Computer Science Applications*, New Jersey, John Wiley & Sons
- Boone, C. A., C. W. Craighead und J. B. Hanna (2007). Postponement: an evolving supply chain concept. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(8): 594-611
- Bossel, H. (2004). *Systeme, Dynamik, Simulation: Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme*, 1. Auflage, Norderstedt, Books on Demand
- Bothe, M. und V. Nissen (2003). *SAP APO in der Praxis: Erfahrungen mit dem Supply Chain Management-Werkzeug nutzen*, Wiesbaden, Vieweg+Teubner
- Boute, R. N. (2007). Impact of replenishment rules with endogenous lead times on supply chain performance. *4OR: A Quarterly Journal of Operations Research*, 5(3): 261-264
- Bowersox, D. J. und D. j. Closs (1996). *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Burgess, K., P. J. Singh und R. Koroglu (2006). Supply chain management: a structured literature review and implications for future research. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(7): 703-729
- Cachon, G. und C. Terwiesch (2009). *Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management*, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Cachon, G. P. und M. Fisher (2000). Supply Chain Inventory Management and the Value of Shared Information. *Management Science*, 46(8): 1032–1048
- Cachon, G. P., T. Randall und G. M. Schmidt (2007). In Search of the Bullwhip Effect. *Manufacturing & Service Operations Management*, 9(4): 457-479

- Chandra, C. und S. Kumar (2000). Supply chain management in theory and practice: a passing fad or a fundamental change? *Industrial Management & Data Systems*, 100(3): 100-114
- Cheng, T. C. E., J. Li, C. L. J. Wan und S. Wang (2010). *Postponement Strategies in Supply Chain Management* (Band 143 von *International Series in Operations Research & Management Science*), Heidelberg, Springer
- Chopra, S., W. Lovejoy und C. Yano (2004). Five Decades of Operations Management and the Prospects Ahead. *Management Science*, 50(1): 8-14
- Chopra, S. und P. Meindl (2009). *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*, 4. Auflage, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall
- Christopher, M. (1998). *Logistics and supply chain management: Strategies for reducing cost and improving service*, 2. Auflage, London, Financial Times Prentice Hall
- Christopher, M. und D. R. Towill (2000). Supply chain migration from lean and functional to agile and customised. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(4): 206-213
- Croom, S. (2009). Introduction to Research Methodology in Operations Management. in: C. Karlsson: *Researching Operations Management*, 1. Auflage, New York, Routledge, 42-83
- Croom, S., P. Romano und M. Giannakis (2000). Supply chain management: an analytical framework for critical literature review. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 6(1): 67-83
- Davis, J. P., K. M. Eisenhardt und C. B. Bingham (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32(2): 480–499
- Davis, T. (1993). Effective Supply Chain Management. *Sloan Management Review*, Summer: 35-46
- Dejonckheere, J., S. M. Disney, M. R. Lambrecht und D. R. Towill (2003). Measuring and avoiding the bullwhip effect: A control theoretic approach. *European Journal of Operational Research*, 147(7): 567-590
- Federgruen, A. und P. Zipkin (1986). An Inventory Model with Limited Production Capacity and Uncertain Demands II. The Discounted-Cost Criterion. *Mathematics of Operations Research*, 11(2): 208-215
- Feitzinger, E. und H. L. Lee (1997). Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement. *Harvard Business Review*, 75(1): 116-121
- Ferdows, K., M. A. Lewis und J. A. D. Machuca (2004). Rapid-Fire Fulfillment. *Harvard Business Review*, November: 104-110
- Fisher, M. L. (1997). What is the right supply chain for your products?. *Harvard Business Review*, 75(2): 105-116

- Forrester, J. W. (1958). Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers. *Harvard Business Review*, 36(4): 37-66
- Forza, C. (2009). Surveys. in: C. Karlsson: *Researching Operations Management*, 1. Auflage, New York, Routledge, 84-161
- Fransoo, J. C. und M. J. F. Wouters (2000). Measuring the bullwhip effect in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 5(2): 78-89
- Gattorna, J. (2006). Supply Chains Are the Business. *Supply Chain Management Review*, 10(6): 42-49
- Ghalayini, A. M. und J. S. Noble (1996). The changing basis of performance measurement. *International Journal of Operations & Production Management*, 16(8): 63-80
- Ghemawat, P. und J. L. Nueno (2003). ZARA: Fast Fashion, Boston, Harvard Business School
- Giunipero, L. C., R. E. Hooker, S. Joseph-Matthews, T. Yoon und S. Brudvig (2008). A decade of SCM literature: Past, present and future implications. *Journal of Supply Chain Management*, 44(4): 66-86
- Gläßer, D., B. Rabta, G. Reiner und A. Alp (2010). Evaluation of the Dynamic Impacts of Lead Time Reduction on Finance Based on Open Queueing Networks. in: G. Reiner: *Rapid Modelling and Quick Response - Intersection of Theory and Practice*, London, Springer, 145-161
- Gläßer, D., Y. Nieto und G. Reiner (2009). Performance Evaluation of Process Strategies Focussing on Lead Time Reduction Illustrated with an Existing Polymer Supply Chain. in: G. Reiner: *Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset*, London, Springer, 79-90
- Goldman, S. L., R. N. Nagel und K. Preiss (1995). *Agile Competitors and Virtual Organizations: Strategies for Enriching the Customer*, New York, Van Nostrand Reinhold
- Götze, U., B. Mikus und J. Bloech (2000). *Management und Zeit: Beiträge zur Unternehmensplanung*, 1. Auflage, Heidelberg, Physica
- Govil, M. K. und M. C. Fu (1999). Queueing theory in manufacturing: A survey. *Journal of Manufacturing Systems*, 18(3): 214-240
- Gribble, S. (2001). Robustness in complex systems. in: 8th Workshop on Hot Topics in Operating Systems, Elmau, IEEE Computer Society, 21-26
- Gross, D. und C. M. Harris (1998). *Fundamentals of Queueing Theory*, 3. Auflage, New York, Wiley-Interscience
- Grünberg, T. (2004). Performance improvement: Towards a method for finding and prioritising potential performance improvement areas in manufacturing operations. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 53(1): 52-71

- Gunasekaran, A. (1998). Agile manufacturing: enablers and an implementation framework. *International Journal of Production Research*, 36(5): 1223-1247
- Gunasekaran, A., C. Patel und E. Tirtiroglu (2001). Performance measures and metrics in a supply chain environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2): 71-87
- Hammel, T., T. Phelps und D. Kuettner (2002). The re-engineering of Hewlett-Packard's CD-RW supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 7(3): 113-118
- Hammond, J. und A. Raman (1996). Sport Obermeyer Ltd. Harvard Business School, Case 9-695-022
- Hampson, I. (2006). Lean Production and the Toyota Production System - Or, the Case of the Forgotten Production Concepts. in: E. Rhodes, J. P. Warren und R. Carter: *Supply Chains and Total Product Systems: A Reader*, Oxford, Blackwell, 69-85
- Hansmann, K.-W. (2006). *Industrielles Management*, 8th, München, Oldenbourg
- Haque, L. und M. J. Armstrong (2006). A survey of the machine interference problem. *European Journal of Operational Research*, 179(2): 469-482
- Heim, J. A. und W. D. Compton (1992). *Manufacturing Systems: Foundation of World-Class Practice*, Washington, National Academies
- Herrmann, D. R., O.-K. Hope und W. B. Thomas (2008). International Diversification and Forecast Optimism: The Effects of Reg FD. *Accounting Horizons*, 22(2): 179-197
- Hill, A. V., D. A. Collier, C. M. Froehle, J. C. Goodale, R. D. Metters und R. Verma (2002). Research opportunities in service process design. *Journal of Operations Management*, 20(2): 189-202
- Hofmann, P. und G. Reiner (2006). Drivers for improving supply chain performance: an empirical study. *International Journal of Integrated Supply Management*, 2(3): 214-230
- Holweg, M. und J. Bicheno (2002). Supply chain simulation - a tool for education, enhancement and endeavour. *International Journal of Production Economics*, 78(2): 163-175
- Holweg, M., S. Disney, J. Holmström und J. Småros (2005). Supply Chain Collaboration: Making Sense of the Strategy Continuum. *European Management Journal*, 23(2): 170-181
- Hopp, W. J. und M. L. Spearman (2007). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*, 3. Auflage, Chicago, McGraw-Hill/Irwin
- Ittner, C. D. und D. F. Larcker (1998). Are Nonfinancial Measures Leading Indicators of Financial Performance? An Analysis of Customer Satisfaction. *Journal of Accounting Research*, 36(Supplement): 1-35

- Jackson, J. R. (1963). Jobshop-like Queueing Systems. *Management Science*, 10(1): 131-142
- Jammerneegg, W. und G. Reiner (2007). Performance improvement of supply chain processes by coordinated inventory and capacity management. *International Journal of Production Economics*, 108(2007): 183-190
- Johnson, H. T. (2006). Lean Accounting: To Become Lean, Shed Accounting. *Cost Management*, (Jan/Feb): 6-17
- Kaihara, T. (2001). Supply chain management with market economics. *International Journal of Production Economics*, 73(1): 5-14
- Kalló, N. und T. Koltai (2010). Increasing Customer Satisfaction in Queueing Systems with Rapid Modelling. in: G. Reiner: *Rapid Modelling and Quick Response - Intersection of Theory and Practice*, London, Springer, 119-130
- Kaplan, R. S. und D. P. Norton (1997). *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*, 4. Auflage, Boston, Harvard Business School
- Karaesmen, F., G. Liberopoulos und Y. Dallery (2004). The Value of Advance Demand Information in Production/Inventory Systems. *Annals of Operations Research*, 126(1-4): 135-157
- Karlsson, C. (2009). *Researching Operations Management*. in: C. Karlsson: *Researching Operations Management*, 1. Auflage, New York, Routledge, 196-235
- Karmarkar, U. S. (1987). Lot sizes, lead times and inprocess inventories. *Management Science*, 33(3): 409-418
- Karmarkar, U. S., S. Kekre und S. Kekre (1985a). Lotsizing in Multi-Item Multi- Machine Job Shops. *IIE Transactions*, 17(3): 290-298
- Karmarkar, U. S., S. Kekre, S. Kekre und S. Freeman (1985b). Lot-Sizing and Lead-time Performance in a Manufacturing Cell. *Interfaces*, 15(2): 1-9
- Kelton, W. D., R. P. Sadowski und D. T. Sturrock (2003). *Simulation with Arena*, 3. Auflage, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Kendall, D. G. (1953). Stochastic Processes Occuring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov Chain. *The Annals of Mathematical Statistics*, 24(3): 338-354
- Ketchen, D. J. und G. T. M. Hult (2007). Bridging organization theory and supply chain management: The case of best value supply chains. *Journal of Operations Management*, 25(2): 573-580
- Ketchen, D. J., W. Rebarick, G. T. M. Hult und D. Meyer (2008). Best value supply chains: A key competitive weapon for the 21st century. *Business Horizons*, 51(3): 235-243
- Kilmann, R. H. und I. I. Mitroff (1979). Problem Defining and the Consulting/Intervention Process. *California Management Review*, 21(3): 26-33

- Kim, J. G., D. Chatfield, T. P. Harrison und J. C. Hayya (2006). Quantifying the bullwhip effect in a supply chain with stochastic lead time. *European Journal of Operational Research*, 173(2): 617-636
- Kingman, J. F. C. (1961). The single server queue in heavy. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 57(4): 902-904
- Klassen, R. D. und L. J. Menor (2006). The process management triangle: An empirical investigation of process trade-offs. *Journal of Operations Management*, 25(5): 1015-1034
- Klassen, R. D. und L. J. Menor (2007). The process management triangle: An empirical investigation of process trade-offs. *Journal of Operations Management*, 25(5): 1015-1034
- Koo, P.-H., R. Bulfin und S.-G. Koh (2007). Determination of batch size at a bottleneck machine in manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, 45(5): 1215-1231
- Kotzab, H., S. Seuring, M. Müller und G. Reiner (2005). *Research Methodologies in Supply Chain Management*, Heidelberg, Physica
- Krüger, R. und M. Steven (2000). Supply Chain Management im Spannungsfeld von Logistik und Management. *WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, 29(9): 501-507
- Kuehn, P. (1979). Approximate Analysis of General Queuing Networks by Decomposition. *IEEE Transactions on Communications*, 27(1): 113-126
- Kuhn, A. und B. Hellgrath (2002). *Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, 1. Auflage, Berlin, Springer
- Lambert, D. M., M. C. Cooper und J. D. Pagh (1998). Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities. *International Journal of Logistics Management*, 9(2): 1-20
- Landeghem, V. H. und H. Vanmaele (2002). Robust Planning: A New Paradigm for Demand Chain Planning. *Journal of Operations Management*, 20(6): 769-783
- Lee, H. L. (2002). Aligning Supply Chain Strategies with Product Uncertainties. *California Management Review*, 44(3): 105-119
- Lee, H. L. (2004). The Triple-A Supply Chain. *Harvard Business Review*, 82(10): 102-112
- Lee, H. L. und V. Padmanabhan (2004). Comments on "Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect". *Management Science*, 50(12): 1887-1893
- Lee, H. L., V. Padmanabhan und S. Whang (1997a). The Bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, 38 (3): 93-102
- Lee, H. L., V. Padmanabhan und S. Whang (1997b). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, 43(4): 546-558

- Lee, H. L., V. Padmanabhan und S. Whang (2004). Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect. *Management Science*, 50(12): 1875-1886
- Lee, H. L. und S. Whang (2006). The Bullwhip Effect: A Review of Field Studies. in: O. A. C. Torres und F. A. V. Morán: *The Bullwhip Effect in Supply Chains: A review of methods, components and cases*, New York, Palgrave McMillan
- Lee, H. L. und M. Wolfe (2003). Supply Chain Security Without Tears. *Supply Chain Management Review*, 7(1): 12-20
- Li, Z., X. Xu und A. Kumar (2007). Supply chain performance evaluation from structural and operational levels. *Emerging Technologies and Factory Automation*, (Sept): 1131-1140
- Little, J. D. C. (1961). A Proof for the Queuing Formula:  $L = \lambda W$ . *Operations Research*, 9(3): 388-387
- Little, J. D. C. (2004). Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus. *Management Science*, 50(12): 1841-1853
- Lovejoy, W. S. (1998). Integrated Operations: A Proposal for Operations Management Teaching and Research. *Production and Operations Management*, 7(2): 106-124
- Martis, M. S. (2006). Validation of Simulation Based Models: A Theoretical Outlook. *The Electronic Journal of Business Research Methods*, 4(1): 39-46
- Maskell, B. H. und F. A. Kennedy (2007). Why do we need lean accounting and how does it work? *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 18(3): 59-73
- Mason-Jones, R., B. Naylor und D. R. Towill (2000). Lean, agile or leagile? Matching your supply chain to the marketplace. *International Journal of Production Research*, 38(17): 4061-4070
- Mason-Jones, R. und D. R. Towill (1999). Using the Information Decoupling Point to Improve Supply Chain Performance. *International Journal of Logistics Management*, 10(2): 13-26
- Maynard, R. (2008). Lean Accounting. *Financial Management*, (Mar): 44-46
- McAfee, A., A. Sjomann und V. Dessain (2004). ZARA: IT for Fast Fashion. Harvard Business School Case 9-604-081
- Meadows, D. H. (1982). Whole Earth Models & Systems. *The CoEvolution Quarterly*, 34: 98-108
- Melnyk, S. A. und R. B. Handfield (1998). May you live in interesting times...the emergence of theory-driven empirical research. *Journal of Operations Management*, 16(4): 311-319
- Mentzer, J. T., W. DeWitt, J. S. Keebler, S. Min, N. W. Nix, C. D. Smith und Z. G. Zacharia (2001). Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, 22(2): 1-25

- Meyer, H. (2003). Die Bedeutung von Entkopplungspunkten für die operative Planung von Supply Chains. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 73(9): 941-962
- Misonzlmik, E. (2008). ZARA Retail Traffic, 37(9): 14-15
- Mitroff, I. I., F. Betz, L. R. Pondy und F. Sagasti (1974). On managing science in the systems age: Two schemas for the study of science as a whole systems phenomenon. *Interfaces*, 4(3): 46-58
- MPX User Manual (2001). MPX: The Quick Response Manufacturing System Software Version WIN 4, Framingham, MPX
- Nahmias, S. (2005). *Production and Operations Analysis*, Boston, McGraw-Hill/Irwin
- Naylor, J. B., M. M. Naim und D. Berry (1999). Leagility: Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. *International Journal of Production Economics*, 62(1/2): 107-118
- Neely, A. (1999). The performance measurement revolution: why now and what next? *International Journal of Operations & Production Management*, 19(2): 205-228
- Neely, A., J. Mills, K. Platts, H. Richards, M. Gregory, M. Bourne und M. Kennerley (2000). Performance measurement system design: developing and testing a process-based approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(10): 1119-1145
- Nyhuis, P. und H.-P. Wiendahl (2009). *Fundamentals of Production Logistics: Theory, Tools and Applications*, Berlin, Springer
- Okada, E. M. und S. J. Hoch (2003). Spending Time versus Spending Money. *Journal of Consumer Research*, 31(2): 313-323
- Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*, 85(3): 319-329
- Oliver, R. K. und M. D. Webber (1992). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. in: M. Christopher: *Logistics: The Strategic Issues*, 1. Auflage, London 1992, Chapman & Hall, 63-75
- Pahl, J., S. Voß und D. L. Woodruff (2005). Production Planning with load dependent lead times. in: H. Kotzab, S. Seuring, M. Müller und G. Reiner: *Research Methodologies in Supply Chain Management*, Heidelberg, Physica, 539-554
- Pahl, J., S. Voß und D. L. Woodruff (2007). Production planning with load dependent lead times: an update of research. *Annals of Operations Research*, 153(1): 297-345
- Prahalad, C. K. und G. Hamel (1990). The Core Competence of the Corporation. *Harvard Business Review*, 68(3): 79-91
- Rabta, B. (2009). A review of decomposition methods for open queueing networks. in: G. Reiner: *Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset*, London, Springer, 25-42

- Rabta, B., A. Alp und G. Reiner (2009). Queueing Networks Modelling Software for Manufacturing. in: G. Reiner: Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset, London, Springer, 15-23
- Rabta, B. und G. Reiner (2010). Batch Sizes Optimization by means of Evolutionary Algorithms and Queueing Network Analysis. Working Paper
- Rauwendaal, C. (2001). Polymer Extrusion, 4. Auflage, München, Hanser
- Reiner, G. (2005a). Customer-oriented improvement and evaluation of supply chain processes supported by simulation models. International Journal of Production Economics, 96(3): 381-395
- Reiner, G. (2005b). Supply Chain Management Research Methodology Using Quantitative Models Based on Empirical Data. in: H. Kotzab, S. Seuring, M. Müller und G. Reiner: Research Methodologies in Supply Chain Management, 6. Auflage, Heidelberg, Physica, 431-444
- Reiner, G. (2009). Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset, London, Springer
- Reiner, G. (2010). Rapid Modelling and Quick Response - Intersection of Theory and Practice, London, Springer
- Reiner, G., K. Demeter, M. Poiger und I. Jenei (2008). The internationalization process in companies located at the borders of emerging and developed countries. International Journal of Operations & Production Management, 28(10): 918-940
- Reiner, G. und P. Hofmann (2006). Efficiency analysis of supply chain processes. International Journal of Production Research, 44(23): 5065–5087
- Reiner, G. und W. Jammerneegg (2005). Bewertung unterschiedlicher Beschaffungsstrategien für Risk-Hedging Supply Chains unter Berücksichtigung intermodaler Transportprozesse. in: H.-O. Günther, D. C. Mattfeld und L. Suhl: Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support, 1. Auflage, Heidelberg, Physica, 115-134
- Reiner, G. und M. Natter (2007). An encompassing view on markdown pricing strategies: an analysis of the Austrian mobile phone market OR Spectrum, 29(1): 173-192
- Reiner, G., M. Natter und W. Drechsler (2009). Life cycle profit - reducing supply risks by integrated demand management. Technology Analysis & Strategic Management, 21(5): 653-664
- Reiner, G. und M. Poiger (2010). Evaluation of supply chain improvements illustrated by means of a JIS supply process from the automotive industry. in: G. Reiner: Rapid Modelling and Quick Response - Intersection of Theory and Practice, London, Springer, 289-301

- Reiner, G. und R. Schodl (2002). Supply Chain Management: A Survey of Austrian Companies. *Conradi Management Review*, 1(1): 65-81
- Reiner, G. und M. Trcka (2004). Customized supply Chain design: Problems and alternatives for a production company in the food industry. A simulation based analysis. *International Journal of Production Economics*, 89(2): 217-229
- Reinertsen, D. G. (2009). *The Principles of Product Development Flow: Second Generation Lean Product Development*, 1. Auflage, Redondo Beach, Celeritas
- Rust, R. T., A. J. Zahorik und T. L. Keiningham (1994). *Return on Quality: Measuring the Financial Impact of Your Company's Quest for Quality*, Chicago, Probus
- Sanchez, S. M., P. J. Sanchez, J. S. Ramberg und F. Moeeni (1996). Effective Engineering Design through Simulation. *International Transactions in Operational Research*, 3(2): 169-185
- Santos, S. P., V. Belton und S. Howick (2002). Adding value to performance measurement by using system dynamics and multicriteria analysis. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(11): 1246 -1272
- Sargent, R. G. (1994). A historical view of hybrid simulation/analytic models. in: *Proceedings of Winter Simulation Conference*: 383-386
- Schmidt, G. M. (2005). The OM Triangle. *Operations Management Education Review*, 1(1): 87-104
- Schodl, R. (2009). The Best of Both Worlds - Integrated Application of Analytic Methods and Simulation in Supply Chain Management. in: G. Reiner: *Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset*, London, Springer, 155-162
- Schönsleben, P. (2004). *Integral logistics management: planning & control of comprehensive supply chains*, 2. Auflage, Boca Raton, CRC
- Shanthikumar, J. G., S. Ding und M. T. Zhang (2007). Queueing Theory for Semiconductor Manufacturing Systems: A Survey and Open Problems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 4(4): 513-522
- Shanthikumar, J. G. und R. G. Sargent (1983). A Unifying View of Hybrid Simulation/Analytic Models and Modeling. *Operations Research*, 31(6): 1030-1052
- Silver, E. A. (2004). *Process Management Instead of Operations Management. Manufacturing and Service Operations Management* 6(4): 273-279
- Silver, E. A., D. F. Pyke und R. Peterson (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3. Auflage, New York, John Wiley & Sons
- Slack, N. und M. Lewis (2007). *Operations Strategy*, 2. Auflage, Harlow, Prentice Hall International
- Soroor, J., M. J. Tarokh und A. Shemshadi (2009). Theoretical and practical study of supply chain coordination. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 24(2): 131-142

- Stalk, G. J. (1988). Time - The Next Source of Competitive Advantage. Harvard Business Review, 66(4): 41-51
- Stalk, G. J. und T. M. Hout (1990). Competing against time: how time-based competition is reshaping global markets, New York, Free
- Sterman, J. D. (1984). Instructions for Running the Beer Distribution Game. <http://www.solonline.org/pratool/instr.html>
- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: Misperceptions of feedback in a dynamic decision making experiment. Management Science, 35(3): 321-339
- Sterman, J. D. (2000). Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World, Boston, McGraw-Hill/Irwin
- Stevenson, M. und M. Spring (2007). Flexibility from a supply chain perspective: Definition and review. International Journal of Operations & Production Management, 27(7): 685-713
- Stölzle, W., K. F. Heusler und M. Karrer (2001). Die Integration der Balanced Scorecard in das Supply Chain Management - Konzept (BSCM). Logistik Management 3(2-3): 73-85
- Stratton, R. und R. D. H. Warburton (2003). The strategic integration of agile and lean supply. International Journal of Production Economics, 85(2): 183-198
- Sultan, F., J. U. Farley und D. R. Lehmann (1990). A Meta-Analysis of Applications of Diffusion Models. Journal of Marketing Research, 27(1): 70-77
- Sundarapandian, V. (2009). Probability, Statistics and Queueing Theory, New Delhi, Phi Learning
- Supply Chain Council (2009). Supply chain operations reference model 9.0. <http://www.supply-chain.org>
- Suri, R. (1998). Quick response manufacturing: a companywide approach to reducing lead times, Portland, Productivity
- Suri, R. (2010). It's about Time: The Competitive Advantage of Quick Response Manufacturing, New York, Productivity
- Suri, R., G. W. W. Diehl, S. d. Triville und M. J. Tomsicek (1995). From CAN-Q to MPX: Evolution of Queuing Software for Manufacturing. Interfaces, 25(5): 128-150
- Suri, R., J. L. Sanders und M. Kamath (1993). Performance Evaluation of Production Networks. in: S. C. Graves, A. H. G. R. Kan und P. H. Zipkin: Logistics of Production and Inventory (Handbooks in Operations Research and Management Science) Volume 4, Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 199-286
- Suwignjo, P. (2000). Quantitative models for performance measurement system. International Journal of Production Economics, 64(1-3): 231-241

- Talluri, K. T. und G. J. v. Ryzin (2005). *The Theory and Practice of Revenue Management*, New York, Springer
- Tatsiopoulou, I. P. und B. G. Kingsman (1983). Lead time management. *European Journal of Operational Research*, 14(4): 351-358
- Treville, S. d. und A. v. Ackere (2006). Equipping Students to Reduce Lead Times: The Role of Queuing-Theory-Based Modeling. *Interfaces*, 36(2): 165-173
- Treville, S. d., U. Hoffrage und J. S. Petty (2009). Managerial Decision Making and Lead Times: The Impact of Cognitive Illusions. in: G. Reiner: *Rapid Modelling for Increasing Competitiveness: Tools and Mindset*, London, Springer, 3-14
- University of Neuchâtel (2010). "Keeping Jobs in Europe" (European Community's Seventh Framework Program). <http://www2.unine.ch/iene-kje>
- Van der Merwe, A. (2008). Debating the principles: Asking questions of lean accounting. *Cost Management*, (Sep/Oct): 29-36
- Van der Vorst, J. G. A. J. und A. J. M. Beulens (2002). Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(6): 409-430
- Van Hoek, R. I. (2000). The thesis of leagility revisited. *International Journal of Agile Management Systems*, 2(3): 196-201
- Van Hoek, R. I. (2001). The rediscovery of postponement a literature review and directions for research. *Journal of Operations Management*, 19(2): 161-184
- Vaughan, T. S. (2004). Lot size effects on process lead time, lead time demand, and safety stock. *International Journal of Production Economics*, 100(1): 1-9
- Villa, A. (2001). Introducing some Supply Chain Management problems. *International Journal of Production Economics*, 73(1): 1-4
- Vollmann, T. E., W. L. Berry, D. C. Whybark und F. R. Jacobs (2004). *Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management: The Definitive Guide for Professionals*, 5. Auflage, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Voss, C. (2009). Case Research in Operations Management. in: C. Karlsson: *Researching Operations Management*, 1. Auflage, New York, Routledge, 162-195
- Werner, H. (2010). *Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling*, 4. Auflage, Wiesbaden, Gabler
- Whitt, W. (1983). The Queueing Network Analyzer. *The Bell System Technical Journal*, 62(9): 2779-2815
- Winklhofer, H., A. Diamantopoulos und S. F. Witt (1996). Forecasting practice: A review of the empirical literature and an agenda for future research. *International Journal of Forecasting*, 12(2): 193-221

- Wyland, B., K. Buxton und B. Fuqua (2000). Simulating the supply chain. IIE Solutions, 32(1): 37-42
- Zahn, E. (1994). Modellierung von Logistikketten - eine Entscheidungshilfe für die Gestaltung von Logistiksystemen. in: H.-C. Pfohl: Management der Logistikkette: Kostensenkungen - Leistungssteigerung - Erfolgspotential, Berlin, Erich Schmidt, 35-74
- Zandin, K. B. und H. B. Maynard (2001). Maynard's Industrial Engineering Handbook, 5. Auflage, New York, McGraw-Hill/Irwin
- Zäpfel, G. (2001). Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, 2. Auflage, München, Oldenbourg
- Zheng, P. und K. K. Lai (2008). A Rough Set Approach on Supply Chain Dynamic Performance Measurement Berlin, Springer
- Zipkin, P. H. (1986). Models for design and control of stochastic, multi-item batch production systems. Operations Research, 34(1): 91-104