

# Fachwissenschaftliche Projektarbeit

**Vergleich von Simulationsmodellen branchenspezifischer Supply Chains**

Kevin Ehrmann  
Matrikelnummer 192265  
Master Logistik

Ausgegeben am: 18.04.2017  
Eingereicht am: 18.10.2017

Betreuer:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe  
M.Sc. Astrid Klüter

**Technische Universität Dortmund**  
Fakultät Maschinenbau  
Fachgebiet IT in Produktion und Logistik  
[www.itpl.mb.tu-dortmund.de](http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau und Typologie von Supply Chains verschiedener Branchen.....</b>	<b>3</b>
	2.1 Aufgaben des Supply Chain Management .....	4
	2.2 Klassifizierungsmöglichkeiten von Supply Chains .....	5
	2.3 Vorstellung der Supply Chains dreier ausgewählter Branchen .....	7
<b>3</b>	<b>Simulation als Werkzeug zur Unterstützung der Planung und Optimierung von Supply Chains .....</b>	<b>16</b>
	3.1 Möglichkeiten und Grenzen der ereignisdiskreten Simulation .....	16
	3.2 Das Simulationswerkzeug SimChain .....	18
<b>4</b>	<b>Modellierung von Supply Chains unterschiedlicher Branchen....</b>	<b>21</b>
	4.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vorgestellten Supply Chains .....	21
	4.2 Prototypische Modellierung der Supply Chains eines Automobilherstellers.....	24
	4.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Modellierung Supply Chains verschiedener Branchen .....	32
	4.4 Fazit.....	33
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>36</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>II</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>VII</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
	<b>Erklärung.....</b>	<b>IX</b>

# 1 Einleitung

Unternehmen und im Speziellen deren Logistikorganisationen mussten sich in den letzten Jahren einem großen Wandel unterziehen. Steigende Kundenanforderungen, die Verfügbarkeit neuer Informations- und Kommunikationssysteme und neue Organisationskonzepte führten zu komplexen Logistiknetzwerken (Buchholz und Clausen 2009). Das Management dieser Netzwerke hat mittlerweile einen erheblichen Einfluss auf den Erfolg von Unternehmen aller Branchen. Die Akteure einer Supply Chain (SC) versuchen daher nicht nur die eigenen Geschäftsprozesse zu verbessern, sondern streben danach, die Wertschöpfungskette über alle Beteiligten hinweg zu optimieren (Heckmann 2016). Das übergeordnete Ziel einer SC ist die Erfüllung der Endkundenanforderungen hinsichtlich der Lieferzeit, Liefertreue und Produktverfügbarkeit. Um auf den internationalen Märkten erfolgreich zu sein, müssen die SCs dabei sowohl effizient als auch robust sein. Eine weitere Herausforderung des Wandels sind die zunehmenden stochastischen Einflüsse wie beispielsweise variable Transportzeiten oder Störungen, die die SC zu einem dynamischen System machen (Motta et al. 2008). Dadurch ist der Erfolg aller Akteure der SC abhängig davon, inwieweit die bestehenden Prozesse und Organisationsstrukturen auf Basis detaillierter Auswertungen und Vorhersagen an zukünftige Bedarfe angepasst werden können (Liebler et al. 2013).

Durch die beschriebene Komplexität der Netzwerke kommen bei deren Planung und Optimierung häufig Methoden zur Entscheidungsunterstützung zum Einsatz, welche die ausgearbeiteten Lösungen qualitativ bewerten und somit die Transparenz des Entscheidungsprozesses erhöhen. Eine Methode, die bei sehr komplexen Problemen zum Einsatz kommt, ist die Simulation des Logistiknetzwerks unter Anwendung eines experimentierfähigen Modells. Die Simulation bietet gegenüber analytischen Lösungen den Vorteil, dass die Dynamik und Stochastik realer Systeme abgebildet werden können (Parlings und Gadzhanov 2015). Allerdings sind Simulationen meist sehr aufwendig zu erstellen und erfordern ein hohes Expertenwissen. Die dementsprechend hohen Kosten sowie die eingeschränkte Übertragbarkeit auf andere Probleme und Systeme führen dazu, dass Unternehmen gehemmt sind, derartige Methoden zu verwenden (Kuhn et al. 2010).

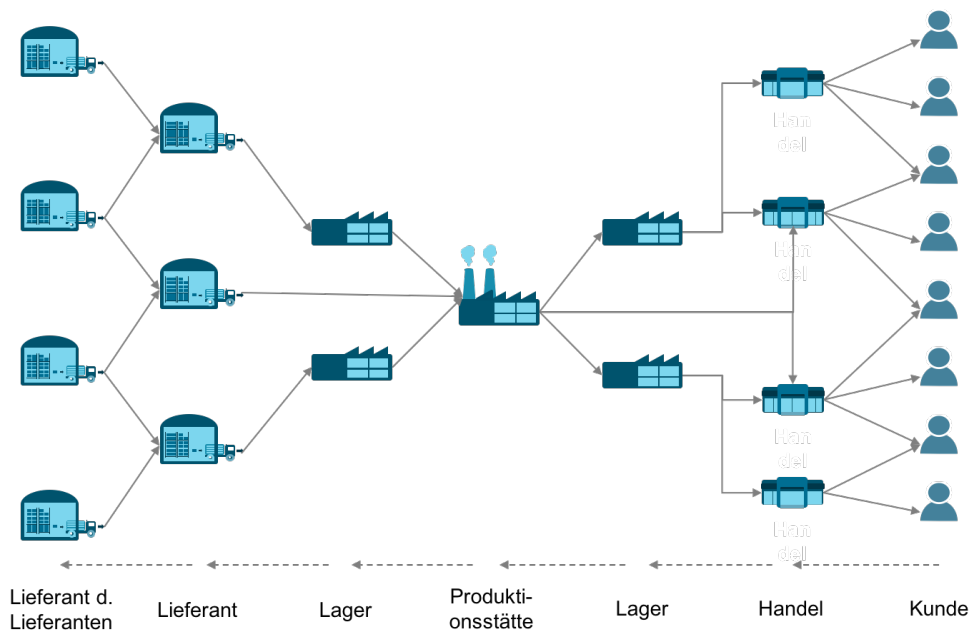
Verschiedene Forschungsorganisationen und -teams haben sich bereits damit auseinandergesetzt, die Simulation realer Systeme zu vereinfachen und Simulationsmodelle gleichzeitig generisch zu gestalten (Parlings und Gadzhanov 2015; Swaminathan et al. 1998). Ein Ansatz, welcher darauf abzielt, Simulationsmodelle generisch zu gestalten, ist die Verwendung eines modularen Simulationsmodells für SCs verschiedener Branchen. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit befasst

sich mit diesem Ansatz und soll die Frage beantworten, inwieweit ein branchenübergreifendes Simulationsmodell für den Einsatz im SC-Management geeignet ist.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Erfassung und Beschreibung der SC-Bestandteile sowie der Ausarbeitung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Simulation von SCs unterschiedlicher Branchen. Hierfür werden zuerst, im Rahmen der theoretischen Einführung, die Klassifizierungsmöglichkeiten von SCs beschrieben. Daraufhin werden die generischen Bestandteile dreier SCs anhand der Typologisierungsmethode nach Meyr und Stadtler vorgestellt. Anschließend erfolgt die theoretische Beschreibung von ereignisdiskreten Simulationen sowie eine kurze Erläuterung der Funktionsweise und des Aufbaus des Simulationswerkzeugs SimChain. Auf Grundlage von SimChain erfolgt in Abschnitt 4.2 eine prototypische Modellierung einer SC der Automobilbranche. Um die Unterschiede bei der Modellierung branchenspezifischer SCs herauszustellen, werden im darauffolgenden Abschnitt die Anpassungen, die für die Modellierung einer SC des Lebensmitteleinzelhandels und eines Arzneimittelherstellers nötig sind analysiert. Im Fazit wird die Forschungsfrage beantwortet, inwieweit die Modellierung von SCs verschiedener Branchen anhand eines einheitlichen Simulationsmodells möglich ist.

## 2 Aufbau und Typologie von Supply Chains verschiedener Branchen

Sowohl in wissenschaftlichen Veröffentlichungen, als auch im praktischen Sprachgebrauch wird der englischsprachige Begriff „Supply Chain“ mit dem deutschen Begriff „Wertschöpfungskette“ übersetzt. Die Tatsache, dass SCs in Abbildungen, zur Reduktion der Komplexität, ebenfalls als Kette dargestellt werden, manifestiert das Bild einer Wertschöpfungskette. Durch die komplexen Strukturen und die Vielzahl an Akteuren einer Gruppe sollte die SC jedoch, wie in Abbildung 1 dargestellt, als ein Netzwerk von verschiedenen Unternehmen verstanden werden, die über Waren-, Informations- und Finanzflüsse miteinander in Verbindung stehen, um gemeinsam Produkte und Dienstleistungen für den Endkunden zu schaffen (Christopher 2005; Fleischmann 2008). Typische Akteure einer SC sind Rohstofflieferanten, Produzenten von Teilen, Komponenten und Endprodukten, Handelsunternehmen, Logistikdienstleister und der Endkunde selbst. Die beteiligten Akteure können jedoch je nach Art und Branche der SC voneinander abweichen (Stadtler 2015).



**Abbildung 1: Supply Chain als Netzwerk in Anlehnung an Heckmann (2016)**

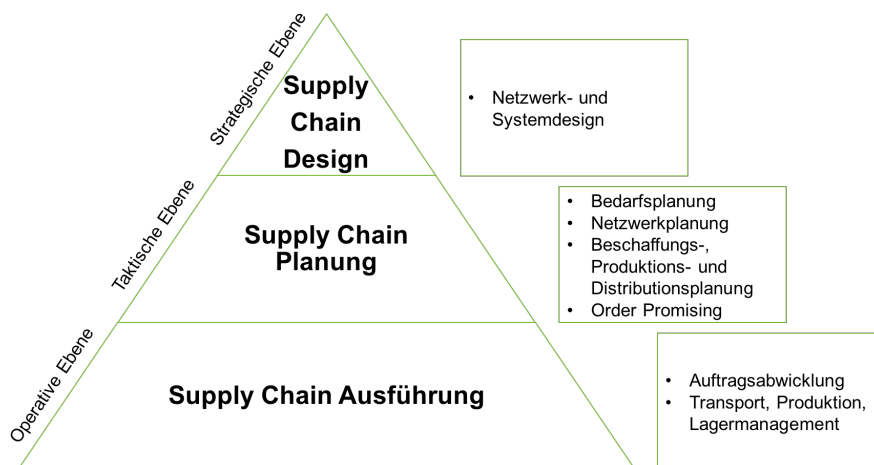
Der Aufbau und die Typologie einer SC bilden die Basis für deren Modellierung. Durch die einzelnen Merkmale und Strukturen ist es möglich SCs verschiedener Branchen voneinander abzugrenzen. Um den Grundstein für die spätere Herausarbeitung der Unterschiede bei der Modellierung von Wertschöpfungsketten zu legen, befasst sich das folgende Kapitel mit der Struktur von SCs verschiedener Branchen. Zu Beginn stellt sich jedoch die Frage, welche Entscheidungen bei

der Planung und beim Betrieb einer SC getroffen werden müssen. Hierfür werden die Aufgaben des Supply Chain Managements (SCM) beschrieben. Anschließend werden Klassifizierungsmöglichkeiten von SCs genannt und der Ansatz nach Meyr und Stadtler detailliert erklärt. Im dritten Abschnitt werden die SCs drei ausgewählter Branchen detailliert vorgestellt. Hierbei findet der Ansatz zur Typologisierung von SCs nach Meyr und Stadtler Anwendung. Betrachtet werden die SCs eines Arzneimittelherzstellers, eines Lebensmitteleinzelhändlers und eines Automobilherstellers.

## 2.1 Aufgaben des Supply Chain Management

Nach Kuhn und Hellingrath ist das SCM „die integrierte Planung und Steuerung der Waren-, Informations- und Finanzflüsse entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Kunden bis zum Rohstofflieferanten.“ (Kuhn und Hellingrath 2002, S.10). Diese theoretische Definition ist weder die einzige noch die umfangreichste Definition des SCM. Die verschiedenen Ausprägungen und Umfänge des SCM sind sehr vielfältig. Diese Arbeit orientiert sich an der Definition von Kuhn und Hellingrath, da diese die Kernaufgaben prägnant abbildet.

Das oberste Ziel des SCM ist es, die Kundenanforderungen unter möglichst effizienter Nutzung der Ressourcen zu erfüllen und dadurch einen Wettbewerbsvorteil für alle Akteure der SC zu schaffen (Aschenbrücker 2016). Die Entscheidungen, die nötig sind um dieses Ziel zu verfolgen, werden wie in Abbildung 2 dargestellt, auf drei verschiedene Ebenen aufgegliedert.



**Abbildung 2: Aufgabenmodell des Supply Chain Managements in Anlehnung an Wannawetsch (2005)**

In der strategischen Ebene wird die Struktur und das Design des Netzwerkes definiert. Die Entscheidungen dieser Ebene werden auf Basis der SC-Strategie getroffen, die auf den individuellen Kundenwünschen, der Wettbewerbssituation und der generellen Unternehmensstrategie beruht

(Hellingrath et al. 2004). Beispiele dafür sind zum einen grundlegende Investitionsentscheidung, wie die Anzahl der Lieferanten, Lagerstufen und Distributionszentren und deren Standortwahl (Hellingrath et al. 2004). Zum anderen werden in dieser Phase die einzelnen Produkte und Rohstoffe den Standorten zugeordnet (Hertel et al. 2011).

Nachfolgend an das SC-Design wird in der taktischen Ebene die SC-Planung durchgeführt. In der SC-Planung werden die Beziehungen der einzelnen Knoten des Wertschöpfungsnetzwerkes festgelegt und deren Kapazität bestimmt. So wird eine effiziente Erfüllung der Kundenanforderungen unter Nutzung des vorgegebenen Netzwerkdesigns realisiert. Ebenfalls müssen hierzu die lang-, mittel-, und kurzfristigen Kundenbedarfe vorhergesagt werden. Diese sollten, um unnötige Kosten zu vermeiden, vom Endkunden bis zum Rohstofflieferanten geteilt werden. Aufbauend auf den Bedarfsprognosen werden unternehmensspezifisch die Beschaffungs-, Produktions-, und Distributionsplanungen durchgeführt. Die Zusammenarbeit der einzelnen Netzwerkstufen wird durch die Netzwerkplanung, die ebenfalls in der taktischen Ebene angesiedelt ist, koordiniert. Zur Steigerung des Kundennutzens wird zudem durch das Order-Promising geprüft, ob die Kundenanforderungen durch die geplante SC erfüllt werden können (Hellingrath et al. 2004).

In der SC-Ausführung werden in einem kurzfristigen Planungshorizont, unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der SC-Planung, operative Entscheidungen getroffen, um die ankommenden Kundenaufträge zu erfüllen. Die größte Herausforderung in dieser Ebene ist es mögliche Bedarfsschwankungen oder kurzfristige Änderungen der Kundenwünsche zu erkennen und das System dieser Dynamik anzupassen. Dies kann durch die Teilbereiche des kurzfristigen Transport-, Produktions-, und Lagermanagements realisiert werden (Hertel et al. 2011).

## 2.2 Klassifizierungsmöglichkeiten von Supply Chains

Die Modellierung einer SC umfasst Entscheidungen, die zum einen vom Aufbau, zum anderen jedoch von den Merkmalen der SC-Typen abhängen. Nachdem der grundsätzliche Aufbau einer SC und die Aufgaben des SCM bereits erläutert wurden, muss nun die Frage geklärt werden, wie SCs klassifiziert werden können.

Jede SC kann mittels verschiedenen Merkmalen und deren Ausprägungen charakterisiert werden. Durch das Klassifizieren der Merkmalsausprägungen können verschiedene SCs zu einer Gruppe zusammengefasst oder voneinander unterschieden werden (Holzkämper 2006). Eine Klassifizierung der SCs verfolgt jedoch nicht den Anspruch exakt identische Systeme zusammenzufassen. Das Ziel ist es übergeordnete Gruppen zu bilden, die ähnliche Anforderungen und Prozesse besitzen und dadurch ähnlich gestaltet und betrieben werden. Eine scharfe Abgrenzung ist allerdings

nur bedingt möglich, da aufgrund der Vielzahl von Ausprägungen die Grenze zwischen den einzelnen Klassifizierungen fließend ist (Konrad 2005; Fisher 1997).

In der Literatur gibt es verschiedene Methoden die Merkmalsausprägungen zu kategorisieren und somit die verschiedenen SCs zu typologisieren. Die SC-Typologien lassen sich in vier Ansätze unterteilen: kooperationsorientiert, produktionsorientiert, produktorientiert und branchenorientiert (Giese 2011). In dieser Arbeit wird der branchenorientierte Ansatz näher thematisiert, da dieser, wie der Name vermuten lässt, die Unterscheidung der SCs anhand der Branche ermöglicht. Diesen branchenorientierten Ansatz verfolgt die Methode nach Meyr und Stadtler. Das Ziel der Methode ist es, SCs anhand einer Reihe von Merkmalen zu beschreiben, die wichtig für die Entscheidungsfindung sind. Diese Merkmale werden in zwei Kategorien aufgeteilt: Funktionale Attribute, welche die einzelnen Teilnehmer, Entitäten oder Standorte einer SC charakterisieren und strukturelle Attribute, die die Beziehung zwischen diesen einzelnen Entitäten beschreiben.

Die funktionalen Attribute werden durch vier weitere Merkmalsgruppen untergliedert: Art der Beschaffung, Art der Produktion, Art der Distribution und Art des Absatzes. Die einzelnen Merkmale der Merkmalsgruppe, anhand derer die Akteure einer SC charakterisiert werden, sind in Tabelle 1 detailliert aufgeführt.

**Tabelle 1: Funktionale Merkmale in Anlehnung an Meyr und Stadtler (2015)**

<b>Merkmalsgruppen</b>	<b>Merkmale</b>	
<b>Art der Beschaffung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anzahl und Art der zu beschaffenden Produkte</li> <li>Art der Beschaffung</li> <li>Flexibilität der Lieferanten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiallebenszyklus</li> <li>Lieferzeit und Zuverlässigkeit der Lieferanten</li> </ul>
<b>Art der Produktion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aufbau des Produktionsprozesses</li> <li>Wiederholung der Abläufe</li> <li>Produktionsengpässe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibilität der Arbeitszeit</li> <li>Rüstzeiten und Aufwand</li> </ul>
<b>Art der Distribution</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Distributionsstruktur</li> <li>Distributionsintervall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transportmittel</li> <li>Ladungsrestriktionen</li> </ul>



<b>Art des Absatzes</b>	• Kundenbeziehung	• Anzahl der Produkte
	• Verfügbarkeit der zukünftigen Nachfrage	• Individualisierungsgrad
	• Nachfragekurve	• Stückliste
	• Produktlebenszyklus	• Anteil an Dienstleistungen

Die strukturellen Merkmale hingegen teilen sich lediglich in die Merkmalsgruppen Topographie der SC und Integration und Koordination auf. Die strukturellen Merkmale, die sich speziell auf die Beziehung zwischen den Akteuren beziehen, sind in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2: Strukturelle Merkmale in Anlehnung an Meyr und Stadtler (2015)**

<b>Merkmalsgruppen</b>	<b>Merkmale</b>
<b>Topographie der Supply Chain</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur des Netzwerkes</li> <li>• Grad der Globalisierung</li> <li>• Ort des Entkopplungspunktes</li> <li>• Hauptrestriktionen</li> </ul>
<b>Integration und Koordination</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rechtliche Stellung</li> <li>• Machtbalance</li> <li>• Koordinationsrichtung</li> <li>• Art des Informationsaustausches</li> </ul>

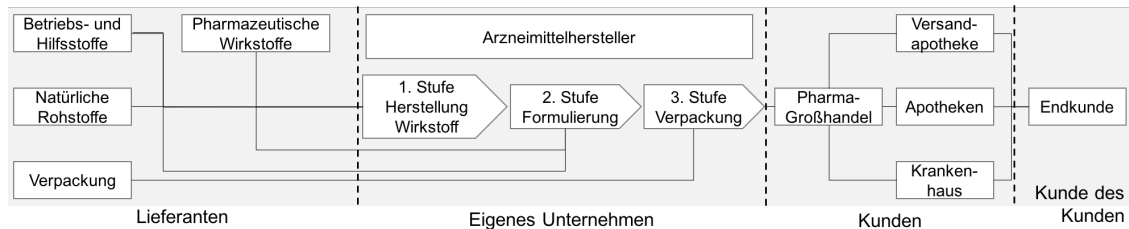
### 2.3 Vorstellung der Supply Chains dreier ausgewählter Branchen

Der Aufbau und die Typologie der SCs der Pharmaindustrie, der Konsumgüterindustrie und der Automobilindustrie werden im folgenden Kapitel detailliert vorgestellt. Um deren Struktur verständlich darzustellen, werden die SCs anhand ihrer funktionalen und strukturellen Attribute beschrieben. Die funktionalen Attribute beziehen sich lediglich auf den Hauptakteur der jeweiligen SC. Das sind der Arzneimittelproduzent in der Pharmaindustrie, der Lebensmitteleinzelhändler in der Konsumgüterindustrie und der Original Equipment Manufacturer (OEM) in der Automobilindustrie. Die strukturellen Attribute hingegen umfassen die ganze SC und beziehen somit die

Lieferanten und Kunden der Hauptakteure mit ein. Einige der in Abschnitt 2.2 bereits vorgestellten funktionalen und strukturellen Attribute werden nicht berücksichtigt, da sie nur eine untergeordnete Rolle für den Vergleich der verschiedenen Branchen spielen.

In den nachfolgenden drei Abbildungen ist der Aufbau der SCs der drei untersuchten Branchen zu sehen. Die SCs sind vom Endkunden bis zum Lieferanten des Lieferanten dargestellt. Für die Abbildung und Unterscheidung der verschiedenen Lieferanten werden diese anhand des zu beschaffenden Materials beschrieben. Einzelne Akteure sind durch gestrichelte Linien voneinander getrennt. Die Produktionsschritte und Prozesse der Hauptakteure sind als Prozesspfeil abgebildet. Die Relationen zwischen den einzelnen Akteuren und Prozessen sind mittels durchgezogener Linien abgebildet. Die SCs sind als Wertschöpfungsketten dargestellt. In der Realität sind diese, wie zu Beginn des zweiten Kapitels erläutert, jedoch Netzwerke, da in den einzelnen Bereichen mehrere Akteure der gleichen Gruppe zusammengefasst sind. Beispielsweise hat ein OEM allein rund 400 1st-Tier-Lieferanten, welche die Werke mit Systemen und Modulen beliefern und rund 1500 2nd-Tier-Lieferanten, welche den OEM und die 1st-Tier Lieferanten mit Komponenten versorgen (Trojan 2007; Grunewald 2014).

**Arzneimittelhersteller**



**Abbildung 3: Supply Chain eines Arzneimittelherstellers nach Aschenbrücker (2016)**

Die chemisch-pharmazeutische Industrie ist, gemessen am Umsatz, eine der drei größten Industriebranchen in Deutschland (Statistisches Bundesamt und VCI 2017). Allerdings haben Pharmakonzerne, vor allem durch eine hohe Gewinnmarge, dem SCM bisher nur eine geringe Bedeutung zukommen lassen (Corsten und Gabriel 2004). Der sich verändernde Markt wird dies zukünftig allerdings ändern, weshalb die Betrachtung dieser Branche von großer Bedeutung ist.

**Art des Absatzes.** Der Absatzmarkt der Arzneimittelhersteller ist gezeichnet von einer Vielzahl heterogener staatlicher Regulierungen. Krankenkassen, welche einen Großteil der Arzneimittel bezahlen, diktieren die Preise. Der Endkunde kann nicht selbst über den Medikamentenhersteller entscheiden, sondern bekommt diese vom Arzt verschrieben. Außerdem entsteht ein zusätzlicher

Preisdruck durch Wettbewerber, welche Medikamente nach Ablauf des Patentschutzes preisgünstiger anbieten (Corsten und Gabriel 2004). Das Resultat ist ein hoher Kostendruck, der auf den Herstellern lastet, da hauptsächlich der Preis die Verkaufszahlen bestimmt. Die Anzahl der verschiedenen Produkte ist weniger von verschiedenen Wirkstoffen, sondern den verschiedenen Verpackungsgrößen und Etikettierungen bestimmt. Länderspezifische Regulierungen haben vor allem Auswirkung auf die Verpackung der Arzneimittel. Diese müssen individuell an den jeweiligen Absatzmarkt angepasst werden. Eine Endkundenspezifische Individualisierung liegt bei Arzneimitteln nur selten vor. Durch mehrjährige Produktlebenszyklen und nur leichte saisonale Schwankungen kann die zukünftige Nachfrage anhand von Prognosen relativ genau bestimmt werden.

**Art der Distribution.** 80% aller Arzneimittel werden vom Arzneimittelhersteller an den pharmazeutischen Großhandel vertrieben. Die verschiedenen Einzelhändler und Krankenhäuser werden anschließend von diesem mit Arzneimitteln versorgt, was dazu führt, dass der Großhändler ein breites Sortiment an Produkten vorrätig haben muss, um der Nachfrage gerecht zu werden. Das Distributionsintervall ist durch die Bekanntheit der Nachfrage, vor allem für die Standardprodukte als zyklisch anzusehen. Die Pharmakonzerne setzen bei der Distribution auf europaweite Zentral- und Regionallager. Dies ist hauptsächlich auf die länderspezifischen Restriktionen im Bereich der Arzneimittel und deren Etikettierung und Verpackung zurückzuführen. Der LKW ist bei der Distribution von pharmazeutischen Produkten das hauptsächlich eingesetzte Transportmittel.

**Art der Produktion.** Die Herstellung der Arzneimittel ist in drei Stufen aufgebaut. Die erste Stufe ist die Herstellung des pharmazeutischen Wirkstoffes in einem zentral gelegenen Werk. Ziel ist hier eine möglichst kostengünstige Produktion unter Verwendung weniger Einsatzstoffe (Corsten und Gabriel 2004). Die Arzneimittel werden dafür in möglichst großen Losen produziert, um die Rüstkosten zu minimieren. Der hohe Aufwand der Umrüstung ergibt sich durch den Einsatz von Multifunktionsanlagen, die bei der Umstellung auf ein neues Produkt durch angesichts der sensiblen Prozesse vollständig gereinigt werden müssen. Aufgrund einer hohen Auslastung und langen Prozesszeiten ist die Flexibilität im Produktionsprozess stark eingeschränkt. Die zweite und dritte Stufe sind meist räumlich von der ersten Stufe getrennt, da sowohl die Formulierung als auch die Verpackung und Etikettierung des Arzneimittels, wegen der hohen Restriktionen der einzelnen Märkte, nahe am Absatzmarkt angesiedelt sind. Die Folge sind weite Transportentfernungen zwischen der ersten und der zweiten Stufe des Herstellungsprozesses. Speziell im Bereich der Verpackung entsteht eine hohe Variantenvielfalt, da spezifische Vorgaben einzu-

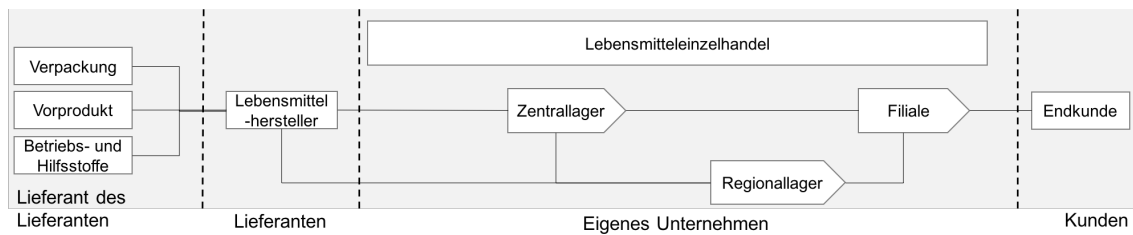
halten sind. Beispielsweise kommen dadurch auf 105 verschiedene Wirksubstanzen des Pharmaunternehmens F. Hoffmann-La Roche rund 4.860 unterschiedliche Verpackungsvarianten (Corsten und Gabriel 2004).

**Art der Beschaffung.** Durch die hohen Restriktionen in der Arzneimittelbranche entstehen langfristige Materiallebenszyklen, da zum einen eine Kundenbindung an ein Medikament vorhanden ist und zum anderen die Änderung von Arzneimittel oder deren Verpackung einer erneuten Zulassung bedarf. Die Lieferantenstruktur der Arzneimittelhersteller ist geprägt von vier Lieferantengruppen, welche pharmazeutische Wirkstoffe, natürliche Rohstoffe, Betriebs- und Hilfsstoffe und die Verpackungsprodukte liefern. In der Pharmaindustrie sind die Konzerne häufig der eigene Lieferant, sodass hauptsächlich chemische Basisrohstoffe zu beschaffen sind (Corsten und Gabriel 2004). Die Anzahl der Lieferanten ist dabei vergleichsweise gering. Bei der Beschaffung der Rohstoffe, die für das Arzneimittel benötigt werden, wird häufig nur auf einen Lieferanten zurückgegriffen, während bei den Verpackungsmaterialien das Prinzip des Multiple Sourcing Anwendung findet. Außerdem ist die Zuverlässigkeit der Lieferanten aufgrund des stark reglementierten Marktes hoch und langfristige Lieferverträge sind die Regel. Die Komplexität des Beschaffungsnetzwerkes ist somit relativ gering.

**Topographie der Supply Chain.** Für das Erzielen weiterer Kosteneinsparungen bei gleichzeitig sinkenden Transportkosten sind die optimalen Losgrößen der Produktionsanlagen gestiegen. Die großen Fabriken für die Herstellung der chemischen Wirkstoffe sind global angesiedelt. Einzelne Vorprodukte werden zur Spezifizierung in Fabriken in die Nähe des Absatzmarktes transportiert, um dort in der gewünschten Konzentration und unter Berücksichtigung der Verpackungsvorschriften fertiggestellt zu werden. Die SC der Pharmaindustrie ist somit stark globalisiert. Der Entkopplungspunkt des Arzneimittelherstellers ist das eigene Fertigwarenlager in dem die Medikamente bis zur Bestellung des pharmazeutischen Großhandels gelagert sind. Die Hauptrestriktion der SC sind die großen Losgrößen, die verwendet werden müssen, um einen effizienten Betrieb der Großanlagen zu ermöglichen.

**Integration und Koordination.** Die bereits ausführlich beschriebenen Restriktionen der Märkte und die Preisbindung durch die Krankenkassen führen zu einer zur Nachfrageseite verschobenen Marktmacht. Dabei kann die Koordinationsrichtung, die den Informationsfluss zwischen den einzelnen SC-Akteuren beschreibt, als ein Mix aus horizontal und vertikal beschrieben werden. Bei einer horizontalen Struktur können Informationen durch eine gemeinsame Planung einfacher geteilt werden. Der Informationsaustausch findet durch die schwache Ausprägung des SCM nur bedingt statt. Es werden lediglich die erstellten Prognosen und Aufträge zwischen den einzelnen Akteuren der SC geteilt.

### Lebensmitteleinzelhändler



**Abbildung 4: Supply Chain eines Lebensmitteleinzelhändlers nach Nitsche und Figiel (2016)**

Im Gegensatz zur Pharmaindustrie und der Automobilindustrie ist in der Konsumgüterindustrie nicht der Hersteller der Produkte der Hauptakteur, sondern das Einzelhandelsunternehmen. Diese Entscheidung ist damit begründet, dass der Markt der Lebensmittelhersteller in Deutschland durch kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) geprägt ist, während der Lebensmitteleinzelhandel eine hohe Konzentration aufweist. Durch die hohe Konzentration und dem damit verbundenen hohen Umsatzanteil der fünf größten Einzelhändler, entsteht eine hohe Marktmacht der Lebensmitteleinzelhändler gegenüber den Herstellern (Nitsche und Figiel 2016).

**Art des Absatzes.** Die Konsumgüterindustrie umfasst Produkte, die überwiegend ein geringes Gewicht, ein geringes Volumen und einen niedrigen Wert besitzen. In einer Einzelhandelsfiliale befinden sich je nach Größe des Marktes bis zu 50.000 verschiedene Produkte. Durch die verschiedenen Verpackungsgrößen und die verschiedenen Lebensmittelhersteller entsteht eine divergente Artikelstruktur. Der Individualisierungsgrad ist dabei allerdings sehr gering, da die Produkte nicht kundenspezifisch angepasst werden. Dieser geringe Individualisierungsgrad in Kombination mit den hohen Kundenanforderungen bezüglich der Produktverfügbarkeit führen dazu, dass die Produkte auf Lager gehalten werden müssen (Meyr und Stadtler 2015). Die Sortimentsbreite, die Verderblichkeit der Waren, die schwankende Kundennachfrage und die Substituierbarkeit der Güter münden in einen nur schwer prognostizierbaren Bedarf. Zusätzlich gibt es bei einigen Produkten des Sortiments eine Saisonalität, die bei der Bedarfsplanung ebenfalls beachtet werden muss (Nitsche und Figiel 2016). Der Markt der Lebensmittelhersteller ist, wie bereits erläutert, KMU-geprägt. Dadurch haben die großen Lebensmitteleinzelhändler erheblichen Einfluss auf die eigenen Lieferanten. Ein Beispiel dafür ist der Druck den die Metro-Gruppe erfolgreich auf die eigenen Lieferanten ausübte, damit diese die RFID-Technologie implementieren (Dittmann 2006).

**Art der Distribution.** Die Versorgung des Endkunden mit Konsumgütern funktioniert klassischerweise über eine dreistufige Distribution, welche wie in Abbildung 4 erkennbar, direkt und nicht über weitere Zwischenhändler erfolgt. Vom Hersteller werden die Konsumgüter an das

Zentrallager des Einzelhändlers transportiert und von dort über Regionallager an die Filialen verteilt (Fleischmann 1998). Die Belieferung des Zentrallagers kann dabei sowohl durch den Hersteller als auch von der Beschaffungslogistik des Einzelhändlers organisiert sein. Je nach Produkt und nachgefragter Menge kann von der klassischen Zentral-/Regionallager-Struktur abgewichen werden. Einzelne Lager- bzw. Umschlagsstufen können so übersprungen werden. Dadurch ist es möglich, dass der Hersteller in ein Regionallager liefert oder Waren vom Zentrallager direkt in die Filiale transportiert werden (Nitsche und Figiel 2016). Das Distributionsintervall ist ein Mix aus dynamisch und zyklisch, da Produkte mit einer hohen Saisonalität nach Bedarf ausgeliefert werden, während für herkömmliche Produkte eine fixe Wiederbeschaffungszeit gegeben ist. In der Distribution eingesetzte Transportmittel sind ausschließlich LKWs, da nur diese eine kurze Lieferzeit realisieren können.

**Art der Produktion.** Der Einzelhändler hat keine eigene Produktion, sondern beschafft und verkauft die Waren lediglich. Die funktionellen Merkmale der Produktionsart können dadurch nicht auf den Lebensmitteleinzelhandel angewendet werden. Generell ist die Produktion von Konsumgütern weitestgehend automatisiert und weist eine hohe Auslastung der einzelnen Produktionsprozesse auf. Durch die hohe Auslastung ergeben sich Engpässe, die nur selten kurzfristig behoben werden können, da die Anlagen bereits Vollzeit betrieben werden. Eine weitere Herausforderung für die Lebensmittelproduzenten sind die hohen Rüstkosten, die sich ergeben, sobald die Anlagen auf eine andere Produktfamilie umgestellt werden. Dadurch ist die Chargenproduktion das am häufigsten eingesetzte Produktionsverfahren bei der Lebensmittelherstellung (Meyr und Stadtler 2015).

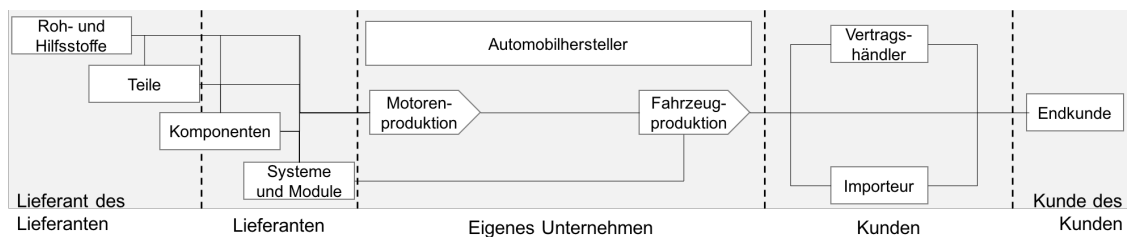
**Art der Beschaffung.** Die zwischen 2.000 und 50.000 unterschiedlichen Produkte einer Lebensmittelbranche werden von einer Vielzahl heterogener Hersteller produziert. Diese haben wiederum eigene Lieferanten, die sie mit Vorprodukten, Verpackungen und Betriebs- und Hilfsstoffe beliefern (Nitsche und Figiel 2016). Die Stücklisten der Konsumgüter sind jedoch überschaubar, so dass nur eine geringe Anzahl an Lieferanten von den Lebensmittelherstellern koordiniert werden muss (Meyr und Stadtler 2015). Hingegen muss der Lebensmitteleinzelhandel eine Vielzahl an Herstellern koordinieren. Die Beschaffung der Produkte ist durch die hohe Standardisierung und der Möglichkeit des Multiple Sourcing jedoch kein Problem. Allerdings ist eine effiziente Beschaffungslogistik elementar, um kostengünstige Prozesse zu realisieren. Für eine effiziente Prozessgestaltung sind mittel- bis langfristige Verträge und eine enge Zusammenarbeit zwischen den Herstellern und dem Einzelhandel die Regel.

**Topographie der Supply Chain.** Die Warendistribution der Lebensmitteleinzelhändler beschränkt sich hauptsächlich auf Deutschland und nur zu einem kleinen Teil auf die europäischen

Nachbarländer. Hingegen erfolgt die Beschaffung global, da viele Lebensmittel importiert werden müssen. Dadurch, dass die Produktion von Lebensmitteln eine Lagerfertigung ist, ist der Entkopplungspunkt des Einzelhändlers die Filiale selbst. Die Hauptrestriktion des Lebensmitteleinzelhandels ist die beschränkte Haltbarkeit vieler Lebensmittel und die Kapazität der Filialen.

**Integration und Koordination.** Durch die Vielzahl an kleinen und mittelständischen Lebensmittelherstellern und deren geringe Differenzierung ist die Machtbalance in Richtung der Kunden verschoben. Zwar ist die Marktmacht des Einzelhändlers durch die wenigen Alternativen für Endkunden relativ hoch, dennoch sind auch die Einzelhändler durch ein identisches Artikelspektrum beliebig austauschbar. Die Branche hat durch die vielen lagerhaltigen Produkte einen hohen Bedarf an einer zwischenbetrieblichen Zusammenarbeit, speziell im Hinblick auf die Weitergabe von Prognosedaten entgegengesetzt des Materialflusses. Der Lebensmitteleinzelhandel hat daher Schnittstellen zu seinen Lieferanten, die einen reibungslosen Datenaustausch ermöglichen. Dadurch werden Informationen nahezu unbeschränkt entlang der SC ausgetauscht.

### Automobilhersteller



**Abbildung 5: Supply Chain eines Automobilherstellers nach Grunewald (2014)**

Die SC der Fertigung von Kraftfahrzeugen gilt nicht zuletzt durch die Globalität und die Vielzahl verschiedener Akteure als sehr komplex und bringt dadurch einen hohen planerischen Aufwand mit sich (Grunewald 2014). Spezifika der Automobilbranche stellen die Logistikplaner der sogenannten Original Equipment Manufacturers (OEMs) dadurch vor große Herausforderungen.

**Art des Absatzes.** Wie auch viele andere Branchen entwickelte sich die Automobilbranche in den letzten Jahren von einem Angebotsmarkt zu einem Nachfragemarkt, in welchem der Kunde anspruchsvolle Vorgaben an den OEM stellt. Kunden erwarten einen immer höheren Individualisierungsgrad der Fahrzeuge sowie eine erhöhte Flexibilität im Hinblick auf Änderungswünsche, wollen jedoch gleichzeitig keine langen Wartezeiten (Schuberthan und Potrafke 2007). Die Variantenvielfalt in der Automobilproduktion hat daher in den letzten zehn Jahren deutlich zugenommen. Zwar ist die Gesamtabsatzplanung der Fahrzeuge sehr genau planbar, dennoch entstehen durch die vielen möglichen Ausstattungsvarianten hohe Bedarfsschwankungen, die vor allem im kurzfristigen Planungshorizont nur bedingt planbar sind (Corsten und Gabriel 2004).

Die Nachfragekurve auf Teileebene neigt daher zu starken Schwankungen. Zusätzlich hat sich der Produktlebenszyklus eines Fahrzeuges stetig verkürzt, was zu einer hohen Dynamik durch häufige Anpassungen der Strukturen und Prozesse führt.

**Art der Distribution.** Die Distribution der Fahrzeuge ist im Vergleich zur Beschaffung der Komponenten und Teile deutlich einfacher, da die Fahrzeuge bereits beim Start der Produktion einem festen Ziel zugeordnet werden können. Innerhalb Deutschlands erfolgt die Distribution klassischerweise über einen Vertragshändler, der das Fahrzeug an den Kunden übergibt. Bei einem Export der Autos ist gegebenenfalls ein Importeur beteiligt, der als eine Art Großhändler auftritt. Immer häufiger werden Neufahrzeuge ohne Vertragshändler direkt an den Kunden übergeben. Dieser kann sein Fahrzeug auf Wunsch in einer Erlebniswelt nahe der Produktion abholen (Corsten und Gabriel 2004). Das Produktionsintervall ist hauptsächlich dynamisch, da die Auslieferung des Fahrzeuges nur im Bedarfsfall veranlasst wird. Ein Großteil der produzierten Fahrzeuge wird speziell bei längeren Distanzen per Schienenverkehr an den Zielort transportiert. Bei kürzeren Distanzen wird jedoch der LKW als Transportmittel verwendet.

**Art der Produktion.** Die Produktionswerke eines Automobilherstellers teilen sich in Fahrzeugwerke, welche ein Presswerk, den Karosseriebau, die Lackiererei und die Endmontage enthalten und in Aggregatewerke, die Motoren, Getriebe oder ähnliche Module herstellen, auf (Grunewald 2014). Diese Werke sind als interne Lieferanten anzusehen. Die Endmontage ist eine kundenindividuelle Fließbandfertigung, welche unter schlanken Produktionsprinzipien betrieben wird. Dadurch wird versucht die Teile möglichst bedarfsgenau an das Montageband zu liefern, um die Bestände zu reduzieren. Durch eine auftragsbasierte Produktion sind zu Produktionsstart eindeutig ausgearbeitete Aufträge vorhanden (Grunewald 2014). Die Flexibilität der Arbeitszeit ist dabei relativ gering und die Kapazitäten können nur eingeschränkt erweitert werden.

**Art der Beschaffung.** Die Beschaffung der Baugruppen und -teile ist die aus logistischer Sicht größte Herausforderung der Automobilindustrie. Die stetig abnehmende Wertschöpfungstiefe der OEMs, die 2008 bereits nur noch rund 29 % betrug, führt zu einer enormen Menge an zu beschaffenden Produkten (Göpfert et al. 2016). Zusätzlich erschwert wird dies durch die große Variantenvielfalt, die eine ebenfalls hohe Teilevielfalt zur Folge hat. Ein Auto besteht aus 20.000-60.000 Teilen, wovon über 70% beschafft werden müssen. In dieser Beschaffungsmenge sind sowohl Just-in-Time zu beschaffende Teile als auch lagerhaltige Teile enthalten. Zeitsensitive Teile werden hauptsächlich bei ausgewählten System- und Modullieferanten beschafft. Diese wiederum werden von Komponenten- und Teilelieferanten versorgt. Ausgewählte Rohstoffe, Teile und Komponenten werden jedoch auch direkt an den OEM geliefert. Dadurch entsteht ein weitgefä-



chertes Lieferantennetzwerk, welches koordiniert werden muss. Die Produktionsstandorte der OEMs und der Lieferanten aller Stufen sind global verteilt, wobei sich Modul- und Systemlieferanten häufig in direkter Nähe zur Automobilproduktion ansiedeln. Die Lieferzeit der Lieferanten ist heterogen und geprägt von der Produktkategorie und der Entfernung zum Fahrzeugwerk. Durch die individuellen Teile und die begrenzten Ressourcen der Lieferanten ist deren Flexibilität ebenfalls eingeschränkt.

**Topographie der Supply Chain.** Die SC der Automobilbranche ist ein Netzwerk aus einer Vielzahl von Akteuren mit einem sehr hohen Globalisierungsgrad. Dabei erstrecken sich die Beschaffung, die Produktion und die Distribution weltweit über verschiedene Standorte. Hauptrestriktionen in der Automobilindustrie sind Produktionsengpässe beim OEM und bei den System- und Modullieferanten, die durch eine schlanke Gestaltung der Produktion entstehen. Der Entkopplungspunkt der Automobilproduktion ist zumeist der Produktionsstart. Eine Ausnahme bildet die Produktion für den amerikanischen Markt, der einen sehr geringen Anteil an kundenindividuellen Fahrzeugen besitzt. Dennoch sind zum Produktionsstart stets spezifizierte Aufträge vorhanden (Grunewald 2014).

**Integration und Koordination.** Die Machtbalance hat sich, wie bereits beschrieben, in den letzten Jahren deutlich zum Kunden verschoben, da die Markentreue im Laufe der Zeit abgenommen hat und die Anforderungen gleichzeitig gestiegen sind. Im Hinblick auf die Lieferanten besitzt der OEM eine sehr hohe Marktmacht, die durch den Trend der Lieferantenkonsolidierung zu Modul- und Systemlieferanten jedoch ebenfalls abnimmt. Speziell die Modul- und Systemlieferanten müssen durch einen hohen Anteil an Just-in-Time und Just-in-Sequence Anlieferungen gut in die Produktionsprozesse integriert werden. Dies erfordert eine starke Zusammenarbeit bei der Planung aller Ebenen. Elementar sind dafür ausgearbeitete Informationsprozesse, um die Weitergabe von Informationen über sich ändernde Gegebenheiten zu ermöglichen (Corsten und Gabriel 2004).

## 3 Simulation als Werkzeug zur Unterstützung der Planung und Optimierung von Supply Chains

Das Werkzeug der Simulation unterstützt Mitarbeiter der Planung verschiedener Bereiche bei der Analyse komplexer Systeme (März und Weigert 2011). Heutige SCs, die von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden und sich dadurch in einem stetigen Wandel befinden, sind ebensolche komplexen Systeme. Die Simulation kann dabei in allen drei Ebenen des SCM-Aufgabenmodells, das in Abschnitt 2.2 beschrieben wurde, zum Einsatz kommen. In dieser Arbeit wird jedoch hauptsächlich der Einsatz in der strategischen und taktischen Ebene des SCMs betrachtet, da für Entscheidungen in diesen Ebenen das komplette Netzwerk abgebildet werden muss.

Bei Simulationen wird grundsätzlich zwischen kontinuierlichen und diskreten Simulationen unterschieden. Während sich der Modellzustand bei kontinuierlichen Simulationen über die gesamte Simulationszeit stetig verändert, ist der Modellzustand bei der diskreten Simulation sprunghaft und ändert sich ausschließlich durch explizite Einflüsse (Eley 2012). Mögliche Einflüsse sind eine Veränderung der Zustandsvariablen des Systems durch den Eintritt eines Ereignisses oder einer Veränderung des Modellzustands durch einen bestimmten Zeitpunkt (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014). Logistische Systeme sind durch ihre Struktur prädestiniert dafür, diese mittels der ereignisdiskreten Simulation zu bewerten und planen (Eley 2012). Diese Arbeit fokussiert daher ausschließlich den Einsatz ereignisdiskreter Simulationen. Der Begriff Simulation wird im Rahmen dieser Arbeit mit der ereignisdiskreten Simulation gleichgesetzt.

Im ersten Abschnitt des Kapitels werden die Möglichkeiten und Grenzen der ereignisdiskreten Simulation vorgestellt. Anschließend wird das Simulationswerkzeug SimChain, welches bei der Modellierung einer SC der Automobilbranche im vierten Kapitel Anwendung findet, vorgestellt und dessen Funktionsweise erläutert.

### 3.1 Möglichkeiten und Grenzen der ereignisdiskreten Simulation

Die VDI-Richtlinie 3633 beschreibt die Grundlagen zur Durchführung einer Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Neben den Begrifflichkeiten und Rahmenbedingungen wird darin der Ablauf einer Simulationsstudie, von der Aufgabendefinition bis hin zum Experiment und der Analyse der Ergebnisse, beschrieben. Der Verein Deutscher Ingenieure definiert die Simulation in seinen Richtlinien wie folgt (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S.3):

***„Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“***

Der Ablauf einer Simulation besteht gemäß der Definition aus drei wesentlichen Bestandteilen: der Bildung eines Simulationsmodells, dem Erzielen von Ergebnissen durch gezielte Experimente und dem Übertragen dieser Ergebnisse auf das reale System durch eine Interpretation der Ergebnisse. Das Simulationsmodell ist dabei folgendermaßen definiert (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S.3):

***„Vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System.“***

Bei der Nachbildung des Systems besteht vor allem die Herausforderungen den richtigen Detaillierungsgrad zu wählen. Während bei einem zu geringen Detaillierungsgrad die Gefahr besteht wesentliche Teile des Systems nicht abzubilden, führt ein zu hoher Detaillierungsgrad zu einem hohen Ressourcenverbrauch. Um aus dem Simulationsmodell Erkenntnisse über das reale System ableiten zu können, sind Experimente durchzuführen. Ein Experiment wird durch die VDI-Richtlinie 3633 wie folgt definiert (VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 2014, S.3):

***„Gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationenläufe mit systematischer Parameter- oder Strukturvariation.“***

Da, wie bereits beschrieben, die in den Experimenten erzielten Ergebnisse lediglich interpretiert werden, wird durch die Definition eines Experiments bereits die Grenze der Simulation deutlich. Eine Simulation ist kein Werkzeug zur Optimierung von Systemen, sondern dient lediglich der Untersuchung des Verhaltens eines realen Systems. Das Verhalten wird durch das Wiederholen gezielter Experimente analysiert. Die realen Systeme müssen von den verantwortlichen Personen anschließend eigenständig, mit Hilfe der gesammelten Erkenntnisse, optimiert werden.

Dennoch ist die Simulation ein häufig eingesetztes Werkzeug bei der Planung und Neugestaltung logistischer Systeme, da sie den Mitarbeitern der Planung Möglichkeiten bietet komplexe Systeme quantitativ zu bewerten. So dient die Simulation als Hilfsmittel bei der Entscheidungsfindung, wenn die Grenzen der analytischen Methoden erreicht sind (Rabe et al. 2008). Häufig sind zudem Systeme zu analysieren, die in der Realität noch nicht bestehen oder ein Experiment am realen System aus anderen Gründen nicht möglich ist. Als geeignetes Beispiel ist die Planung und Inbetriebnahme einer neuen Fabrik zu nennen. Außerdem bieten moderne Simulationswerkzeuge die Möglichkeit, die gesammelten Erkenntnisse zu visualisieren, um der Führungsebene eine anschauliche Entscheidungshilfe bereitzustellen. Beispielsweise können bei der Auswahl geeigneter

Distributionszentren Standortentscheidungen mit Mengenströmen und Karten visuell unterlegt werden.

## 3.2 Das Simulationswerkzeug SimChain

Das Simulationswerkzeug SimChain, welches der ereignisdiskreten Simulation zuzuordnen ist, wurde zur Analyse von SCs entwickelt und auf die besonderen Bedürfnisse dieser angepasst. Es basiert auf dem Simulationssystem Plant Simulation, welches von dem Unternehmen Siemens PLM Software vertrieben wird. Im Gegensatz zu anderen Simulationstools betrachtet SimChain den physischen Materialfluss und den Informationsfluss ganzheitlich, während Simulationstools wie beispielsweise AutoMod nur einen kleinen Teil des Gesamtprozesses abbilden (SimPlan 2017). Mögliche Fragestellungen, die mit Hilfe von SimChain beantwortet werden können sind daher auch strategische Fragestellungen wie beispielsweise (Fechteler 2017):

- Wie viele Lagerstandorte werden benötigt?
- Wo sollten die Lagerstandorte angesiedelt werden?
- Wie sollten die Transportverbindungen des Unternehmens aussehen?
- Welches Service Level kann für meine Kunden erreicht werden?

SimChain besteht aus einer Datenbank (MySQL), einem Simulations Kernel (Plant Simulation) und einem Graphical User Interface (SimChainGUI), welche auf einem gemeinsamen Server laufen. Nutzer von SimChain können über eine Internetverbindung auf den Server zugreifen. Die Modellierung einer SC erfolgt durch objektorientierte Bausteine, die im SimChain-Datenmodell definiert werden. Durch diese Bausteine können die Produktions- und Lagerstandorte, die Lieferanten und die Kunden als Knoten abgebildet werden, welche mittels Transportrouten miteinander verbunden werden. Zusätzlich werden durch den Benutzer für die Knoten und Transportrouten Eigenschaften bestimmt, welche die Bausteine charakterisieren. Nachdem das System in gewünschter Weise modelliert wurde, können in einem nächsten Schritt verschiedene Szenarien erstellt werden, um mögliche Systemänderungen zu bewerten.

Das SimChain-Datenmodell besteht aus Basis- und Konfigurationstabellen. Während die Grundstruktur der SC in den Basistabellen definiert ist, werden die Konfigurationstabellen dafür genutzt, die verschiedenen Szenarien abzubilden. Das SimChain-Datenmodell bietet 90 Entitätstypen, die sich auf die Basis- und Konfigurationstabellen aufteilen. Entitäten stellen zu beschreibende Objekte dar, welche anhand von Attributen individuell charakterisiert werden (Stahlknecht und Hasenkamp 2002). Auf die grundlegenden Entitätstypen, welche zur Modellierung einer SC

notwendig sind, wird in Anlehnung an Fechteler und Gutenschwager (2014) nachfolgend eingegangen.

Der Entitätstyp *Location*, der alle Knotenpunkte des SC-Netzwerkes definiert, ist der Grundstein der Modellierung. Dieser ist durch die Attributswerte *Site*, *Plain customer*, *Plain supplier* oder *Hub* zu charakterisieren. Er definiert also neben den eigenen Standorten, die Standorte der Kunden und der Lieferanten. Für diese Standorte sind weitere Attributswerte hinterlegt, wie der Längen- und Breitengrad, die Stadt und die zugehörige Postleitzahl. Zudem kann das Verhalten der Produktionsstätten durch die Zuordnung von Ressourcen näher spezifiziert werden.

Neben den Knotenpunkten sind Stock Keeping Units (SKU) zu definieren, die die Leistungsobjekte im Simulationsmodell abbilden. Die SKUs sind neben den herzustellenden Produkten auch Teile, die für die Herstellung der Endprodukte beschafft werden müssen. Diese Teile besitzen ebenfalls Eigenschaften, wie den Wert oder das Gewicht des SKUs, welche in den Tabellen durch Attribute hinterlegt sind. Für das Handling und den Transport müssen den einzelnen SKUs Ladungsträger zugeordnet werden. Der Entitätstyp *Carrier* beschreibt die benötigten Eigenschaften der Ladungsträger, wie die Maße oder das Gewicht.

Um die Systemlast zu bestimmen, ist die jährliche Kundennachfrage für die SKUs zu definieren. Diese ist zwar bekannt, kann durch die Einführung von Nachfrageschwankungen oder eines Prognosefehlers jedoch dynamisch gestaltet werden. SimChain hat hier den Vorteil, dass das Abbilden stochastischer Einflussfaktoren des Systems möglich ist.

Für die Verbindungen zwischen den einzelnen Knotenpunkten sind im Entitätstyp *Transport Relations* der Start- und Zielstandort und das verwendete Transportmittel über die Attributswerte zu bestimmen. Die zur Verfügung stehenden Transportmittel (*Means\_of\_Transport*) sind in einer unabhängigen Datentabelle aufgelistet, in der zudem Eigenschaften wie die Kosten pro Transport oder das maximale Ladungsgewicht definiert sind. Die Verknüpfung zwischen den Ladungsträgern und den Transportmitteln geschieht durch den Entitätstyp *Carrier\_on\_meansoftransport*, der die maximale Anzahl an Ladungsträger pro Transportmittel charakterisiert. Durch die Verknüpfung mehrerer Transportrelationen können verschiedene Belieferungs- und Distributionskonzepte erstellt werden, die in der Datentabelle der *Sourcing\_routes* abgebildet sind. Diesen *Sourcing\_routes* sind anschließend die einzelnen SKUs zuzuordnen, um den Link zwischen den Knotenkanten und den zu transportierenden Teilen herzustellen. Der dafür verwendete Entitätstyp ist *Sourcing\_sku*. Zusätzlich besteht die Möglichkeit über den Entitätstyp *Route* Touren zu erstellen,

bei welchen mehrere Kunden in einer Auslieferung zusammengefasst werden. Die Zusammenstellung der Tour kann entweder automatisch, im Rahmen der Simulation, oder komplett eigenständig erfolgen.

## 4 Modellierung von Supply Chains unterschiedlicher Branchen

Im vierten Kapitel der vorliegenden Arbeit erfolgt die praktische Anwendung der in den vorherigen Kapiteln vorgestellten theoretischen Inhalte. Das Ziel des Kapitels ist die Ausarbeitung der Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Modellierung branchenspezifischer SCs. Hierzu werden in einem ersten Schritt die strukturellen und funktionalen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der SCs der Konsumgüterindustrie, der Automobilindustrie und der pharmazeutischen Industrie, die in Abschnitt 2.3 detailliert beschrieben wurden, tabellarisch aufgelistet. In Abschnitt 4.2 erfolgt die Ausarbeitung eines Simulationsmodells einer beispielhaften SC der Automobilbranche mit Hilfe des Simulationswerkzeugs SimChain, welches in Abschnitt 3.2 theoretisch beschrieben wurde. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 4.3 die Gemeinsamkeiten und Unterschiede, die sich bei der Modellierung der drei verschiedenen Branchen ergeben analysiert und aufgezeigt.

### 4.1 Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vorgestellten Supply Chains

Im folgenden Abschnitt sind die funktionalen und strukturellen Merkmale, anhand derer die SCs der drei Branchen typologisiert werden können, tabellarisch aufgelistet. Dadurch ergibt sich eine strukturierte Auflistung der in Abschnitt 2.3 beschriebenen Charakteristiken der SCs, auf deren Basis nachfolgend die einheitliche Modellierbarkeit der SCs überprüft wird. Als Grundlage dient, analog zu Abschnitt 2.3, die Methode nach Meyr und Stadtler. Die verschiedenen Merkmalsgruppen, welchen die funktionalen und strukturellen Merkmale angehören, sind in den beiden Tabellen farblich voneinander abgegrenzt. Die detaillierte Erläuterung zu den verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Merkmale kann in Abschnitt 2.3 nachgelesen werden.

**Tabelle 3: Funktionale Merkmale der SCs im Vergleich**

Funktionale Merkmale	Ausprägungen der Supply Chains		
	Automobil	LEH	Pharmazie
Anzahl und Art der zu beschaffenden Produkte	Hohe Anzahl an Teilen durch hohe Variantenvielfalt	Hohe Anzahl (bis zu 50.000 Produkten pro Supermarkt)	Geringe Anzahl (vor allem Rohstoffe und Verpackung)

Art der Beschaffung	Dual Sourcing bei sensitiven Teilen, sonst Multiple Sourcing	Multiple Sourcing	Single Sourcing bei Rohstoffen, Multiple Sourcing bei Verpackungen
Materiallebenszyklus	Kurz bis mittel	Lang	Sehr lang
Lieferzeit und Zuverlässigkeit der Lieferanten	Hohe Zuverlässigkeit und kurze Lieferzeit bei Modullieferanten	Hohe Zuverlässigkeit, kurze Lieferzeit	Sehr hohe Zuverlässigkeit, lange Lieferzeit
Aufbau des Produktionsprozesses	Fließbandfertigung	Handelsunternehmen ohne eigene Fertigung	3-Stufig (Wirkstoff-Formalisierung-Verpackung)
Wiederholung der Abläufe	Serienfertigung	Chargenfertigung (beim Lebensmittelproduzent)	Chargenfertigung
Produktionsengpässe	Vorhanden durch schlanke Produktion	Vorhanden durch effiziente Prozesse	Vorhanden durch hohe Auslastung
Flexibilität der Arbeitszeit	Niedrig	Niedrig	Niedrig
Rüstzeiten und Aufwand	Rüstzeiten abhängig vom Prozess	Hohe Rüstzeiten und -kosten (Produzent)	Sehr hohe Rüstzeiten und -kosten
Distributionsstruktur	Hauptsächlich zweistufig	Zwei- bis dreistufig	Zweistufig
Distributionsintervall	Dynamisch	Mix	Zyklisch
Transportmittel	Straße, Schiene und See	Straße	Straße
Verfügbarkeit der zukünftigen Nachfrage	Auf Teileebene nur schwierig prognostizierbar	Gut prognostizierbar	Sehr gut prognostizierbar



Nachfragekurve	Hohe Schwankungen auf Teileebenen durch Variantenvielfalt	Saisonale Schwankungen bei einigen Artikeln möglich	Saisonale Schwankungen bei einigen Artikeln möglich
Produktlebenszyklus	Zwei bis drei Jahre	Mehrere Jahre	Mehrere Jahre
Anzahl der Produkte	Sehr hohe Anzahl an Produkten	Mittlere Anzahl an Produkten	Begrenzte Anzahl an Produkten
Individualisierungsgrad	Sehr hoch	Gering	Gering-Mittel (spezifische Verpackung)
Stückliste	Konvergente Artikelstruktur	Divergente Artikelstruktur	Divergente Artikelstruktur

**Tabelle 4: Strukturelle Merkmale der SCs im Vergleich**

Strukturelle Merkmale	Ausprägungen der Supply Chains		
	Automobil	LEH	Pharmazie
Grad der Globalisierung	Sehr hoch (Beschaffung und Distribution global)	Niedrig (nur Beschaffung einzelner Artikel global)	Niedrig bis Mittel (Distribution teilweise global)
Ort der Entkopplung	Assemble-to-order	Deliver-to-order	Hauptsächlich deliver-to-order
Hauptrestriktionen	Produktionsengpässe OEM und Zulieferer	Kapazitäten und Haltbarkeit der Produkte	Kapazität der Produktion
Machtbalance	Kunde	Kunde	Kunde (Ärzte, Krankenkassen)
Koordinationsrichtung	Horizontal u. vertikal	Horizontal u. vertikal	Horizontal u. vertikal

Art des Informations- austausches	Zu Lieferanten der 1. Stufe unbegrenzt	Nahezu unbegrenzt	Prognosen und Be- stellungen
--------------------------------------	---	-------------------	---------------------------------

## 4.2 Prototypische Modellierung der Supply Chains eines Automobilherstellers

Um den Grundstein für die Analyse der Unterschiede bei der Modellierung von SCs verschiedener Branchen zu legen, wird im folgenden Abschnitt die SC eines Automobilherstellers beispielhaft modelliert. Die Modellierung erfolgt dabei auf Basis des Modellierungswerkzeuges SimChain, welches in Abschnitt 3.2 bereits erläutert wurde. SimChain ist ein datengetriebenes Simulationswerkzeug, wodurch die verwendeten Informationen in einem logisch aufgebauten Datenmodell vorliegen. Das Datenmodell, welches die Attribute und Attributswerte der einzelnen Entitätstypen enthält, ist im vorliegenden Beispiel nicht vollständig ausgearbeitet, da keine konkrete Problemstellung analysiert werden soll. Es dient lediglich dem Vergleich der Modellierbarkeit SCs verschiedener Branchen, wodurch eine vollständige Modellierung zu aufwändig ist bzw. keinen Mehrwert erbringt. Mittels der nachfolgenden Tabellen wird daher aufgezeigt, wie eine Modellierung einer SC der Automobilbranche aufzubauen ist und welche Daten und Informationen über die Entitätstypen und Attribute definiert werden müssen. Dabei werden sowohl Entitätstypen der Basistabellen als auch der Konfigurationstabellen beschrieben. Da dies häufig parallel geschieht, wird zwischen den Basis- und Konfigurationstabellen in diesem Abschnitt nicht gesondert unterschieden. Stattdessen wird sich an der klassischen Vorgehensweise orientiert, die bei der Modellierung mit dem Werkzeug SimChain durch den Aufbau der Benutzeroberfläche gegeben ist.

Die Produktionswerke der OEMs teilen sich, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, in Produktionswerke und in Aggregatewerke auf. Die Werke sind global verteilt. Da ein Aggregatewerk jedoch mit einem Zulieferer vergleichbar ist (vgl. Abschnitt 2.3), wird es, obwohl es Teil des OEMs ist, als Zulieferer definiert. Daher wird dieses Aggregatewerk erst in Tabelle 7 aufgelistet. Die Werke der beispielhaften Modellierung befinden sich, wie in Tabelle 5 dargestellt, in Ingolstadt, Győr und Changchun. Im Datenmodell werden die Produktionsstandorte mit dem Entitätstyp *Location* als Attributswert *Site* definiert. Zusätzlich sind unter anderem die Attribute *City* und *Country* zu bestimmen, wodurch eine geographische Bestimmung des Standortes möglich ist.

**Tabelle 5: Produktionswerke eines OEMs**

Type	City	Country
Site	Ingolstadt	Deutschland
Site	Changchun	China
Site	Győr	Ungarn

Den einzelnen Produktionswerken sind anschließend Ressourcen zuzuordnen, die den Ablauf innerhalb des Produktionswerkes charakterisieren. Die Möglichkeiten den Entitätstyp *Resource* zu definieren sind vielfältig und an den benötigten Detaillierungsgrad anzupassen. Elementare Attribute des Entitätstyps sind die in Tabelle 6 dargestellten *Id-Resource*, *Location* und *Type*. Das Attribut *Type* definiert das weitere Vorgehen zur Charakterisierung des Produktionswerks. Es kann die Ausprägungen *distribution* oder *explicit resource time* annehmen. Während bei der Ausprägung *distribution* lediglich eine Durchlaufzeit angegeben wird, wird bei der Ausprägung *explicit resource time* die exakte Bearbeitungszeit der einzelnen SKUs berechnet. Hierfür müssen in einer weiteren Datentabelle die Losgröße, die minimale Produktionsmenge und die Durchlaufzeit pro Maschine und SKU angegeben werden. Zusätzlich lassen sich über den Entitätstyp *Resource* die Produktionskosten eines Standorts berechnen. Da bei der Fahrzeugproduktion die Montage ein wichtiger Faktor für die Leistung des Gesamtsystems darstellt, sollte die Bearbeitungszeit exakt berechnet werden.

**Tabelle 6: Ressourcen eines OEMs**

Id_Resource	Location	Type
Montage	Ingolstadt	explicit resource time
Montage	Győr	explicit resource time

Die Werke werden von verschiedenen Lieferanten beliefert die, abhängig von der Sensitivität des zu beschaffenden Produkts, verschiedene Entfernungen zu den Werken besitzen. Lieferanten, die im SimChain-Datenmodell den Attributswert *Plain Supplier* besitzen, sind ebenfalls weltweit verteilt. Nachfolgend zeigt Tabelle 7 die Zulieferer des OEMs inklusive der Werte der Attribute *City* und *Country*. Da die Vielzahl der verschiedenen Lieferanten nur sehr aufwendig zu definieren

sind, wird im Folgenden lediglich eine Auswahl abgebildet, die die Möglichkeiten der Modellierung mit SimChain beispielhaft aufzeigt.

**Tabelle 7: Zulieferer eines OEMs**

Type	City	Country
Plain Supplier	Wolfsburg	Deutschland
Plain Supplier	Lippstadt	Deutschland
Plain Supplier	Tanger	Marokko
Plain Supplier	Győr	Ungarn
Plain Supplier	Feuchtwangen	Deutschland
Plain Supplier	Shanghai	China
Plain Supplier	Shandong	China
Plain Supplier	Göteborg	Schweden

Die Kunden eines OEM sind, wie die Produktionswerke und die Lieferanten, in nahezu allen Ländern der Erde ansässig. Um die Komplexität und den Aufwand des Simulationsmodells überschaubar zu halten, wird nur jeweils ein Kunde pro Land abgebildet. Da speziell beim Export der Fahrzeuge in andere Kontinente ohnehin ein Importeur als eine Art Großhändler auftritt (vgl. Abschnitt 2.3), ist diese Vorgehensweise angemessen. Das SimChain-Datenmodell vergibt für die Senken des Simulationsmodells den Attributswert *Plain Customer*. Analog zu der Tabelle der Zulieferer sind die Kunden des OEMs in Tabelle 8 gelistet.

**Tabelle 8: Kunden eines OEMs**

Type	City	Country
Plain Customer	Kassel	Deutschland
Plain Customer	New York	USA
Plain Customer	Shanghai	China
Plain Customer	Wien	Österreich

Die produzierten Güter, in diesem Fall Fahrzeuge und die zur Herstellung benötigten Teile werden im Entitätstyp *SKU* beschrieben. Durch diesen Entitätstyp sind alle im Simulationsmodell verwendeten Leistungsobjekte definiert (vgl. Abschnitt 3.2). Der OEM dieses Modells produziert zwei verschiedene Fahrzeugtypen – Limousinen und Cabrios. Die Fahrzeuge setzen sich wiederum aus verschiedenen Teilen zusammen, die in der Stückliste (vgl. Tabelle 9) definiert sind. Neben dem Namen der SKU sind im Entitätstyp *SKU* unter anderem die Attribute *Weight [kg]* und *Value [€]* definiert. Durch die hohe Variantenvielfalt in der Automobilindustrie ergibt sich eine große Menge an SKUs, die bei der Modellierung der Simulation auf das Wesentliche gekürzt werden muss, um die Komplexität des Modells zu reduzieren.

**Tabelle 9: Stock Keeping Units eines OEMs**

SKU	Weight [kg]	Value [€]
Limousine	2.300	40.000
Cabrio	2.500	60.000
Getriebe	150	2.000
Kabelbaum	75	1.000
Scheinwerfer	10	200
Schiebedach	40	500
Sitzheizung	20	250
Felge	60	150
Motor	500	4.000

Um den Bedarf für die zur Montage notwendigen Teile und Baugruppen aus dem Bedarf der Fahrzeuge ableiten zu können, sind zusätzlich Stücklisten zu beschreiben, die die Einzelteile eines Endprodukts definieren. Stücklisten werden im SimChain-Datenmodell im Entitätstyp *Bill\_of\_material* definiert und enthalten neben der genauen Bezeichnung der Teile die Stückzahl und die Einbaurate. Über die Einbaurate können diverse Sonderausstattungen im Simulationsmodell berücksichtigt werden. Die Stücklisten der beiden Endprodukte des OEMs sind nachfolgend in Tabelle 10 aufgelistet. Zur Verdeutlichung der Berücksichtigung von Sonderausstattungen sind ein Schiebedach und eine Sitzheizung enthalten, die zusätzlich zu einem festgelegten Prozentsatz verbaut werden.

**Tabelle 10: Bill of Material eines OEMs**

Limousine			Cabrio		
SKU	Parts	Rate	SKU	Parts	Rate
Motor	1	100	Motor	1	100
Felge	4	100	Felge	4	100
Schiebedach	1	12	Sitzheizung	2	70
Sitzheizung	2	50	Scheinwerfer	2	100

Für das Handling und den Transport der bereits definierten SKUs sind, analog zur Praxis, Ladungsträger nötig, die ebenfalls ins SimChain-Datenmodell integriert werden müssen. In Tabelle 11 sind daher Ladungsträger aufgelistet, die typisch für die Automobilindustrie sind. Da die produzierten Fahrzeuge nicht auf einem zusätzlichen Ladungsträger, sondern direkt verladen werden, wird der Dummy-Ladungsträger STANDARD bestimmt. Dadurch kann in einer später folgenden Tabelle die maximale Anzahl an Fahrzeugen pro Transportmodus bestimmt werden.

**Tabelle 11: Carrier eines OEMs**

Name	Weight_kg	Length_mm	Width_mm	Height_mm
Gitterbox	85	1200	800	900
Europalette	28	1200	800	150
KLT	1,7	600	400	280
STANDARD	0	0	0	0

Neben den Ladungsträgern sind auch die einzusetzenden Transportmodi zu bestimmen. Hierbei müssen alle Transportmodi definiert werden, die in der Praxis zum Einsatz kommen. Im Entitätstyp *Means\_of\_transport* sind die Attribute *Id\_MeansOfTransport* und *Max\_Weight\_kg* beschrieben. Das Attribut *Max\_Weight\_kg* wird für die Transportplanung benötigt, da das zulässige Gewicht eine Restriktion des Transportmodus darstellt. Neben diesen beiden Attributen kann bei Bedarf auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Transportmodus angegeben werden, sodass auch ökologische Faktoren in die Simulation einfließen können. Aufgrund der Artikelstruktur und der Globalität, kommen in der Automobilbranche neben dem LKW und dem Zug auch Containerschiffe zum

Einsatz. Da durch die Größe jedoch kein komplettes Containerschiff gechartert wird, ist ein Container als Transportmittel für den Seetransport definiert.

**Tabelle 12: Means of Transport eines OEMs**

<b>Id_MeansOfTransport</b>	<b>Max_Weight_kg</b>
LKW	12.000
Container	12.000
Container train	21.700

Zur Berechnung der benötigten Transportmittel ist es ebenfalls notwendig, die maximale Anzahl der Ladungsträger je Transportmodus zu definieren. Tabelle 13 zeigt auf, welche Anzahl an Ladungsträgern das jeweilige Transportmittel maximal transportieren kann. Aufgrund der Menge der zu definierenden Ausprägungen sind auch hier nur einige Attributswerte genannt. Für den Dummy-Ladungsträger *STANDARD* ist definiert, dass acht Ladungsträger und somit auch acht Fahrzeuge auf einen LKW passen und pro Seecontainer jeweils ein Fahrzeug transportiert werden kann.

**Tabelle 13: Carrier\_on\_meansoftransport**

<b>Carrier</b>	<b>Id_MeansOfTransport</b>	<b>Quantity</b>
Europalette	LKW	33
Europalette	Container	24
STANDARD	LKW	8
STANDARD	Container	1

Zur Vernetzung der einzelnen Standorte der Lieferanten, des OEMs und der Kunden sind Transportrelationen zu definieren, auf welchen die Transporte der Teile und Endprodukte erfolgen können. Die Transportrelationen verbinden somit die einzelnen Standorte und definieren gleichzeitig das einzusetzende Transportmittel und die daraus resultierenden Transportkosten pro Ladungsträger, SKU oder Gewicht (vgl. Abschnitt 3.2). Nachfolgend zeigt Tabelle 14 einige der möglichen Transportrelationen einer SC der Automobilbranche. Bei Transportrouten, die einen Wech-

sel des Transportmittels zur Folge haben, sind alle Transportrelationen einzeln zu definieren. Somit muss bei der Distribution eines Fahrzeuges in die USA zuerst der Transport von Ingolstadt nach Hamburg erfolgen, welcher per Bahn realisiert wird. Anschließend müssen die Produkte am Hafen verladen werden, ehe sie per Containerschiff in die USA versendet werden können. In einem Hafen der USA angekommen, muss das Fahrzeug beispielsweise auf einen LKW verladen werden, um final zum Kunden transportiert zu werden. Der dargestellte Distributionsweg wird dadurch zu drei einzelnen Transportrelationen.

**Tabelle 14: Transport Relations eines OEMs**

TR_ID	Location_Start	Location_Target	Id_MeansOfTransport
Wol_Ing	Wolfsburg	Ingolstadt	LKW
Ing_Ham	Ingolstadt	Hamburg	Container train
Ham_NeY	Hamburg	New York	Container
NeY_NeY	New York	New York	LKW
Feu_Györ	Feuchtwangen	Györ	LKW

Auf Basis der Transportrelationen werden anschließend mögliche Transportrouten bestimmt, welchen mittels des Entitätstyps *Sourcing\_sku* die SKUs zugeordnet werden. So wird der Beschaffungsweg der Teile oder Baugruppen festgelegt. Durch die Aufteilung der Transportwege in Relationen und Routen ist es möglich Sendungen auf einzelnen Transportrelationen zu konsolidieren und sie abschließend wieder zu trennen. Die Transportrelation von Ingolstadt nach Hamburg wird somit sowohl für den Kunden in Shanghai als auch für den Kunden in New York genutzt.

In einem weiteren Schritt müssen die SKUs den Produktionswerken des OEMs zugeordnet werden, sodass bestimmt wird, welches Produkt an welchem Standort produziert wird. Dafür werden im Entitätstyp *Sites\_have\_skus* unter anderem die Attribute *SKU*, *Site*, *ProcessType*, *DaysOfInventory\_Days*, *Carrier\_Name* und *Parts\_Per\_Carrier* definiert. In diesem Schritt wird durch das Attribut *ProcessType* der Ort der Entkopplung bestimmt, der für die Unterscheidung der SCs verschiedener Branchen von hoher Bedeutung ist. Wie in Abschnitt 2.3 beschrieben, wird in der Automobilbranche hauptsächlich anhand eines vorliegenden Auftrags produziert. Das führt dazu,



dass der Attributswert der Fahrzeuge *Make-to-Order* ist. Der Lagerbestand, der unter dem Attribut *DaysOfInventory\_Days* in Lagerreichweite in Tagen angegeben ist, ist bei den Fahrzeugen aufgrund des verwendeten Produktionstyps null.

**Tabelle 15: Sites\_have\_skus**

SKU	Site	ProcessType	DaysOfInventory_Days	Carrier_Name	Parts_Per_Carrier
Limousine	Ingolstadt	Make-to-Order	-	STANDARD	1
Cabrio	Győr	Make-to-Order	-	STANDARD	1

In der nachfolgenden Tabelle 16 sind die Bedarfe der Endkunden definiert. Es wird dadurch die Nachfrage der *Plain Customer* an die Werke des Attributswerts *Site* beschrieben, aus welchen sich nachfolgend die Bedarfe für die Teile und Baugruppen ergeben. Für jeden Kunden (vgl. Tabelle 8) muss somit die jeweilige Nachfrage für die möglichen Endprodukte einzeln festgelegt werden. Der Entitätstyp *Sku\_demand* enthält die Attribute *Location\_Customer*, *Location\_Site*, *Quantity\_Items* und *Variation\_DailyDemand\_0\_100*. Das Attribut *Quantity\_Items* beschreibt den jährlichen Bedarf eines SKUs, der dann auf die Tage heruntergebrochen wird. Zusätzlich kann durch das Attribut *Variation\_DailyDemand\_0\_100* die prozentuale Varianz des täglichen Bedarfs festgelegt werden. Liegt also ein durchschnittlicher täglicher Bedarf von 100 Fahrzeugen vor, bewegt sich der tatsächliche Bedarf zwischen 75 und 125 Teilen bei einem Attributswert von 25 für die Varianz. Dadurch können die hohen Bedarfsschwankungen, mit denen die Automobilbranche umgehen muss (vgl. Abschnitt 2.3), modelliert werden.

**Tabelle 16: SKU demand eines OEM**

SKU	Loc. Customer	Loc_Site	Quantity_Items	Variation_0_100
Limousine	Shanghai	Ingolstadt	400.000	40
Cabrio	Kassel	Győr	120.000	40

Nachdem die einzelnen Entitätstypen der Basis- und Konfigurationstabellen aufgestellt wurden, können verschiedene Szenarien kreiert werden, die die verschiedenen Konfigurations- und Strukturmöglichkeiten der existierenden SC bei der Planung oder Optimierung abbilden. Dabei können

sowohl die Standorte und deren geographischen Lage variiert werden als auch die Charakteristiken und Verhaltensweisen der Knoten und Kanten des Simulationsmodells. Notwendig ist dafür lediglich, dass auch die Systemalternativen ordnungsgemäß im Datenmodell enthalten sind.

### 4.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Modellierung Supply Chains verschiedener Branchen

Für die Überprüfung der Modellierbarkeit von SCs verschiedener Branchen mit einem einheitlichen Simulationsmodell wird nun herausgearbeitet, inwieweit sich die Datenmodelle der SCs eines Lebensmitteleinzelhändlers und eines Arzneimittelherstellers von dem in Abschnitt 4.2 vorgestellte Datenmodell der SC eines OEMs unterscheiden. Hierfür ist vor allem die Struktur der Basistabellen des SimChain-Datenmodells von Bedeutung, denn nur die Basistabellen können bei verschiedenen Simulationsmodellen einheitlich definiert werden. Die Konfigurationstabellen sind, auch innerhalb einer Branche, individuell an die spezifische SC und die gewünschten Gegebenheiten anzupassen, da über verschiedene Einstellungen in Konfigurationstabellen die einzelnen SC-Varianten modelliert werden können. Entitätstypen, welche in den Basistabellen definiert sind, sind die Standorte, die zugehörigen Ressourcen, die SKUs, die Ladungsträger und die Transportmittel sowie die Transportrelation und -routen. Die Deckungsgleichheit der Struktur dieser Entitätstypen wird nun für die drei vorgestellten SCs analysiert.

Der erste Schritt, der bei der Modellierung der SCs getätigt werden muss, ist die Definition der Standorte im Entitätstyp *Location*. Die Produktionsstandorte eines Arzneimittelherstellers lassen sich analog zu denen des OEMs modellieren, wenngleich sich die geographischen Werte unterscheiden. Die erste Stufe des Herstellungsprozesses von Arzneimitteln ist vergleichbar mit den Aggregatewerken des OEMs, da die dabei hergestellten Produkte intern weiterverarbeitet werden. Daher kann die Herstellung des pharmazeutischen Wirkstoffs ebenfalls als *Plain Supplier* modelliert werden. Ein grundlegender Unterschied ergibt sich jedoch bei der Anzahl der Zulieferer, die bei einem Arzneimittelhersteller wesentlich geringer ausfällt (vgl. Tabelle 3). Zusätzlich sind, durch den hohen Grad der Globalität, bei einer SC der Automobilbranche mehr Zulieferer und Kunden im Ausland zu modellieren. Für die Modellierung der SC eines Lebensmitteleinzelhändlers sind grundlegende Anpassungen vorzunehmen. Dies liegt vor allem daran, dass ein Lebensmitteleinzelhändler über keine eigene Produktion verfügt. Daher werden bei der Modellierung eines Lebensmitteleinzelhändlers den *Sites* Ressourcen zugeordnet, die den Attributwert *distribution* besitzen. Dadurch wird die Durchlaufzeit der Ressource nicht explizit berechnet, sondern eine feste Durchlaufzeit definiert, die den Materialfluss innerhalb des Distributionszentrums widerspiegelt. Außerdem müssen durch die Regionallager, die für die Distribution der Waren in die

Filiale benötigt werden, weitaus mehr Produktionsstandorte in Deutschland definiert werden. Durch die geringere Globalität sind in der Beschaffung, vor allem aber auch in der Distribution, weniger Standorte außerhalb Deutschlands zu definieren.

Nachfolgend an die Netzwerkknoten sind im SimChain-Datenmodell die SKUs und die Stücklisten zu definieren. Da die SKUs die Leistungsobjekte der Systeme darstellen, unterscheiden sich diese zwischen einzelnen SCs grundlegend. Für jedes Simulationsmodell, auch innerhalb einer spezifischen Branche, müssen die SKUs und Stücklisten daher individuell definiert werden. Die SKUs und Stücklisten sind abhängig von den funktionalen Merkmalen wie der Anzahl der Produkte, dem Individualisierungsgrad und den Stücklisten einer SC, die im Abschnitt 4.1 in Tabelle 3 beschrieben sind. Beispielsweise sind große Stücklisten von bis zu 60.000 Teilen pro Fahrzeug ein Merkmal der Automobilbranche (vgl. Abschnitt 2.3), während Konsumgüter aus weitaus weniger Teilen bestehen und für den Lebensmitteleinzelhändler ohnehin als Einzelteil gesehen werden können. Dies hat ebenfalls eine geringe Anzahl an SKUs zufolge, obwohl ein großer Supermarkt ebenfalls bis zu 50.000 verschiedene Produkte im Sortiment hat (vgl. Abschnitt 2.3).

Bei der Definition der Ladungsträger und Transportmittel sowie dem damit verbundenen Entitätstyp *Carrier\_on\_meansoftransport* kann, durch eine umfangreiche Definition verschiedener Ladungsträger, auf ein einziges Datenmodell zurückgegriffen werden. Durch die hohe Standardisierung und die überschaubare Varianz, die bei Ladungsträgern und Transportmitteln gegeben ist, sind diese über die verschiedenen Branchen hinweg nahezu beliebig einsetzbar. Eine Ausnahme bilden Sonderladungsträger, welche in der Automobilindustrie für einzelnen Baugruppen zum Einsatz kommen und insofern der Detaillierungsgrad des Simulationsmodells es verlangt, gesondert modelliert werden müssen.

Die Transportrelationen und daraus ableitend die Transportrouten sind in jedem Datenmodell individuell zu bestimmen, da diese ausschließlich von den verwendeten Standorten abhängig sind und zudem nicht automatisch bestimmt werden können. Dadurch muss jede einzelne Transportroute, der anschließend die SKUs zugeordnet werden, manuell im SimChain-Datenmodell beschrieben werden. Sowohl die Kanten des SC-Netzwerkes der Distribution als auch die der Beschaffung sind aufgrund dessen in jedem Datenmodell individuell zu definieren.

## 4.4 Fazit

Anhand der in Abschnitt 4.3 und speziell in Abschnitt 4.4 vorgestellten Erkenntnisse zur Modellierung von SCs unterschiedlicher Branchen, lässt sich ableiten, dass SCs verschiedener Branchen nicht durch ein einheitliches Simulationsmodell beschrieben werden können. Hierfür wird die

Definition eines Simulationsmodells der VDI-Richtlinie 3633 zugrunde gelegt. Nach der ein Simulationsmodell eine „[v]ereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System.“ (VDI 3633: 2014, S. 3) darstellt. Daraus wird der Schluss gezogen, dass ein Modell laut Definition alle Spezifika eines existierenden Systems nachbildet.

Die Unterschiede zwischen realen Systemen beginnen im Bereich von SCs mit der Modellierung der Standorte, die sich sowohl geographisch als auch von der Anzahl und den Eigenschaften unterscheiden. Zusätzlich sind die Transportrelationen und -routen von den gewählten Standorten abhängig und müssen daher auch individuell angepasst werden. Es wird somit deutlich, dass jedes Planungsproblem individuell modelliert werden muss. Daher sind sowohl SCs innerhalb einer Branche als auch SCs verschiedener Branchen stets individuell zu modellieren.

Ein einheitliches Simulationsmodell ist gemäß der Definition des VDI nur schwer zu realisieren, da kein reales System dem anderen komplett gleicht. Ein einheitliches Simulationsmodell wäre somit viel zu ungenau um spezifische Probleme zu bewerten. Generell wäre es ohnehin nur möglich die Basistabellen des SimChain-Datenmodells generisch zu gestalten, da die genaue Konfiguration einer SC je nach Experiment ebenfalls unterschiedlich sein kann. Das Ziel eines Simulationswerkzeugs sollte es somit sein, durch eine durchdachte Benutzeroberfläche, Simulationsmodelle verschiedener Branche einfach generieren zu können. Für den Anwender wird somit eine einheitliche Modellierung von SCs Realität, obwohl sich die erzeugten Simulationsmodelle dennoch voneinander unterscheiden.

Simulationswerkzeuge wie SimChain oder OTD-Net verfolgen diesen Ansatz. Die Werkzeuge verfügen über die Möglichkeit Funktionen, die für die Modellierung eines gewissen Problems notwendig sind, abzudecken und bilden diese gleichzeitig benutzerfreundlich ab. SimChain hat sich, wie in Abschnitt 3.2 erläutert, darauf spezialisiert, die Fragestellungen von SCs mit Hilfe von Simulationen anwenderfreundlich beantworten zu können. Durch eine strukturierte Benutzeroberfläche, eine überschaubare Komplexität der Einstellungsmöglichkeiten und ausführlichen Bedienungsanleitungen ist die Modellierung einer SC unter Verwendung von SimChain nicht nur für Simulationsexperten möglich. Das Hemmnis einer Nutzung der Simulation als Entscheidungshilfsmittel kann dadurch reduziert werden, wenngleich die SCs mit einem individuellen Simulationsmodell abgebildet werden müssen.

In einem nächsten Schritt könnte, anhand einer praktischen Modellierung verschiedener SCs mittels verschiedener Simulationswerkzeuge, geprüft werden, inwieweit SCs verschiedener Bran-

chen in der Praxis mit demselben Werkzeug modelliert werden können. Auch wenn sich die Simulationsmodelle in der Struktur unterscheiden, ist die Frage zu beantworten, ob sich SCs verschiedener Branchen in geeignetem Maße mit demselben Simulationstool modellieren lassen. Zudem ist zu untersuchen, welche Schwachstellen und Hürden bei den einzelnen Simulationstools bei der Modellierung unterschiedlicher SCs existieren. Das Ergebnis könnte ein Leitfaden sein, der beantwortet, welches Simulationstool sich für welche Branche am besten eignet bzw. welches Werkzeug verschiedene SCs modellieren kann.

## 5 Zusammenfassung

Ziel der Arbeit war es die Unterschiede und Gemeinsamkeiten bei der Simulation von SCs verschiedener Branchen herauszuarbeiten und auf Grundlage dessen zu prüfen, ob SCs verschiedener Branchen durch ein einheitliches Simulationsmodell beschrieben werden können. Hierzu wurden drei Branchen ausgewählt und die entsprechenden SCs detailliert beschrieben und anhand der Methode nach Meyr und Stadler typologisiert. Anschließend wurde auf dieser Basis eine SC eines Automobilherstellers mit dem Simulationswerkzeug SimChain beispielhaft modelliert. Dieses Simulationsmodell diente als Referenzmodell, um die Anwendbarkeit eines einheitlichen Simulationsmodells zu überprüfen. In Abschnitt 4.3 wurde nachfolgend analysiert, inwieweit sich die Simulationsmodelle der SCs des Lebensmitteleinzelhandels und der Pharmabranche von dem der Automobilbranche unterscheiden würden. Es wurde deutlich, dass SCs verschiedener Branche nicht durch ein einheitliches Simulationsmodell beschrieben werden können, da die Unterschiede der existierenden Systeme signifikant sind. Beispielsweise müssen die Standorte und Ressourcen für die einzelnen Standorte individuell angepasst werden. Zudem muss eine detaillierte Definition der Charakteristika der Standorte erfolgen. Diese Informationen müssen nicht nur für SCs verschiedener Branche individuell getroffen werden, sondern auch für SCs innerhalb einer Branche. Zwar ist es immer noch nötig Simulationsmodelle für reale Systeme stets neu zu definieren, jedoch kann der Aufwand und die Komplexität durch auf dem Markt verfügbare bausteinbasierte Simulationswerkzeuge reduziert werden. Beispiele für ebensolche Werkzeuge sind SimChain, welches im Laufe dieser Arbeit beschrieben und verwendet wurde sowie OTD-Net, das von Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik speziell für die Unterstützung von Planungs- und Materialflussprozessen entwickelt wurde.

## Literaturverzeichnis

- Aschenbrücker, Andreas: Supply Chain-Risikomanagement von Arzneimittelherstellern. Der Einfluss des Supply Chain-Managements auf die spezifischen Risiken Arzneimittel-Lieferunfähigkeit und Arzneimittel-Rückruf. Baden-Baden: Nomos 2016.
- Bolstorff, Peter A.; Rosenbaum, Robert G.; Poluha, Rolf G.: Spitzenleistungen im Supply Chain Management. Ein Praxishandbuch zur Optimierung mit SCOR. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 2007.
- Buchholz, Peter; Clausen, Uwe: Große Netze der Logistik: Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 2009.
- Christopher, Martin: Logistics & Supply Chain Management. 4. Aufl., London: Financial Times Prentice Hall 2011.
- Corsten, Daniel; Gabriel, Christoph: Supply Chain Management erfolgreich umsetzen. Grundlagen, Realisierung und Fallstudien. 2. Aufl., Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 2004.
- Dittmann, Lars: Der angemessene Grad an Visibilität in Logistik-Netzwerken. Die Auswirkungen von RFID. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2006.
- Eley, M.: Simulation in der Logistik. Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation". Berlin Heidelberg: Springer Gabler 2012.
- Fechteler, T.: SimChain. Supply Chain Simulation as a Service. 2017. URL: [http://www.sim-chain.net/images/Media/SimChain\\_Presentation\\_Website.pdf](http://www.sim-chain.net/images/Media/SimChain_Presentation_Website.pdf) (zuletzt geprüft am 08.10.2017).
- Fechteler, T.; Gutenschwager, K.: SimChain. Technical Dokumentation. Braunschweig: o.V. 2014.
- Fisher, Marshall L.: What is the right supply chain for your product?. In: Harvard Business Review 75. Jg. / 1997, Heft 2, S. 105-116.

- Fleischmann, Bernhard: Design of freight traffic networks. In: Fleischmann, Bernhard; van Nunen, Jo; Speranza, M. Grazia; Stähly, Paul (Hrsg.): Advances in distribution logistics. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems (Vol. 460). Berlin: Springer 1998, S. 55-81.
- Fleischmann, Bernhard: Grundlagen: Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse. In: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl., Berlin: Springer 2008, S. 3–12.
- Giese, Anke: Differenziertes Performance Measurement in Supply Chains. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 2012.
- Grunewald, Martin: Planung von Milkruns in der Beschaffungslogistik der Automobilindustrie. Ein Ansatz zur Integration von Bestandsmanagement und Tourenplanung. Wiesbaden: Springer Gabler 2015.
- Göpfert, Ingrid; Grünert, Marc; Schmid, Nico André: Logistiknetze der Zukunft – Das neue Hersteller-Zulieferer-Verhältnis in der Automobilindustrie. In: Göpfert, Ingrid (Hrsg.): Logistik der Zukunft – Logistics for the Future. 7. Aufl., Wiesbaden: Springer Gabler 2016, S. 175-218.
- Heckmann, Iris: Towards Supply Chain Risk Analytics. Fundamentals, Simulation, Optimization. Wiesbaden: Springer Gabler 2016.
- Hellingrath, Bernd; Laakmann, Frank; Nayabi, Kasara: Auswahl und Einführung von SCM-Softwaresystemen. In: Beckmann, Holger (Hrsg.): Supply Chain Management. Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2004, S. 99-122.
- Hertel, Joachim; Zentes, Joachim; Schramm-Klein, Hanna: Supply-Chain-Management und Warenwirtschaftssysteme im Handel. 2. Aufl., Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag 2011.
- Holzkämper, Christina: Gestaltung kundenindividueller Supply Chains. Entwicklung eines Gestaltungsmodells von kundenindividuellen Supply Chains auf der Grundlage einer Analyse von logistischen Planungsaufgaben in Abhängigkeit des Kundenauftragsentkopplungspunktes (KAEP). Frankfurt am Main [u.a.]: Lang 2006.



- Konrad, Georg: Theorie, Anwendbarkeit und strategische Potenziale des Supply Chain Management. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2005.
- Kuhn, Axel; Hellingrath, Bernd: Supply Chain Management. Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2002.
- Kuhn, Axel; Wagenitz, Axel; Klingebiel, Katja: Praxis Materialflusssimulation. Antworten oft zu spät?. In: Wolf-Kluthausen, Hanne (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik. Korschbroich: freeberatung GmbH 2010, S. 206-211.
- Liebler, Klaus [u.a.]: Introduction OTD-NET and LAS. Order-to-delivery network simulation and decision support systems in complex production and logistics networks. In: Pasupathy, Raghu [u.a.] (Hrsg.): Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference. NJ, USA: IEEE Press Piscataway 2013, S. 439-451.
- Meyer, Herbert; Stadtler, Hartmut: Types of Supply Chains. In: Stadtler, Hartmut; Kilger, Christoph; Meyr, Herbert: Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software, and Case Studies. 5. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2015, S. 55-70.
- Motta, Marco [u.a.]: Gestaltung logistischer Netzwerke – ein Praxisbericht. In: Rabe, Markus (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2008, S. 21-30.
- März, Lothar.; Weigert, Gerald: Simulationsgestützte Optimierung. In: März, Lothar; Krug, Wilfried; Rose, Oliver; Weigert, Gerald (Hrsg.): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen. Heidelberg: Springer 2011, S. 3–12.
- Nitsche, Benjamin; Figiel, Anna: Zukunftstrends der Lebensmittellogistik– Herausforderungen und Lösungsimpulse. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2016.
- Parlings, Matthias; Gadzhanov, Petyo: Bausteinbasierte Modellierung für die Simulationsgestützte Planung im Supply Chain Design. In: Schenk, Michael [u.a.] (Hrsg.): 20. Magdeburger Logistiktage. Sichere und Nachhaltige Logistik. Magdeburg: Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF 2015, S. 39-48.

- Rabe, Markus.; Spieckermann, Sven; Wenzel, Sigrid: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik. Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2008.
- Richtlinie des Vereins der Deutschen Ingenieure 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen. Berlin: Beuth Verlag 2014.
- Schuberthan, Johann; Potrafke, Steffen: Die Anforderungen des Kunden...In: Gehr, Frank; Hellingrath, Bernd (Hrsg.): Logistik in der Automobilindustrie. Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007, S. 8-12.
- SimPlan: AUTOMOD. Anwendungsgebiete. SimPlan AG (Hrsg.). 2017. URL: <http://www.automod.de/automod/anwendungsgebiete.html> (zuletzt geprüft am 08.10.2017).
- Stadtler, Hartmut: Supply Chain Management: An Overview. In: Stadtler, Hartmut; Kilger, Christoph; Meyr, Herbert: Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software, and Case Studies. 5. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2015, S. 3-28.
- Stahlknecht, Peter; Hasenkamp, Ulrich: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 10. Aufl, Berlin: Springer 2002.
- Statistisches Bundesamt; VCI: Umsätze der wichtigsten Industriebranchen in Deutschland in den Jahren von 2014 bis 2016 (in Milliarden Euro). 2017. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/241480/umfrage/umsaetze-der-wichtigsten-industriebranchen-in-deutschland/> (zuletzt geprüft am 14.10.2017)
- Sürle, Christopher; Reuter, Boris: Supply Chain Analysis. In: Stadtler, Hartmut; Kilger, Christoph; Meyr, Herbert: Supply Chain Management and Advanced Planning. Concepts, Models, Software, and Case Studies. 5. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2015, S. 29-54.
- Swaminathan, Jayashankar M.; Smith, Stephen F.; Sadeh, Norman M.: Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach. In: Decision Sciences Jg. 29 / 1998, Heft 3, S. 607-632.
- Trojan, Achim: ... und die Auswirkungen auf den 1st-Tier-Lieferanten. In: Gehr, Frank; Hellingrath, Bernd: Logistik in der Automobilindustrie. Innovatives Supply Chain Management für wettbewerbsfähige Zulieferstrukturen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2007, S. 12-15.

Wannenwetsch, Helmut: Vernetztes Supply Chain Management. SCM-Integration über die gesamte Wertschöpfungskette. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag 2005.

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1: Supply Chain als Netzwerk in Anlehnung an Heckmann (2016).....</b>	<b>3</b>
<b>Abbildung 2: Aufgabenmodell des Supply Chain Managements in Anlehnung an Wannenwetsch (2005) .....</b>	<b>4</b>
<b>Abbildung 3: Supply Chain eines Arzneimittelherstellers nach Aschenbrücker (2016) .....</b>	<b>8</b>
<b>Abbildung 4: Supply Chain eines Lebensmitteleinzelhändlers nach Nitsche und Figiel (2016).....</b>	<b>11</b>
<b>Abbildung 5: Supply Chain eines Automobilherstellers nach Grunewald (2014).....</b>	<b>13</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1: Funktionale Merkmale in Anlehnung an Meyr und Stadtler (2015)</b> .....	6
<b>Tabelle 2: Strukturelle Merkmale in Anlehnung an Meyr und Stadtler (2015)</b> .....	7
<b>Tabelle 3: Funktionale Merkmale der SCs im Vergleich</b> .....	21
<b>Tabelle 4: Strukturelle Merkmale der SCs im Vergleich</b> .....	23
<b>Tabelle 5: Produktionswerke eines OEMs</b> .....	25
<b>Tabelle 6: Ressourcen eines OEMs</b> .....	25
<b>Tabelle 7: Zulieferer eines OEMs</b> .....	26
<b>Tabelle 8: Kunden eines OEMs</b> .....	26
<b>Tabelle 9: Stock Keeping Units eines OEMs</b> .....	27
<b>Tabelle 10: Bill of Material eines OEMs</b> .....	28
<b>Tabelle 11: Carrier eines OEMs</b> .....	28
<b>Tabelle 12: Means of Transport eines OEMs</b> .....	29
<b>Tabelle 13: Carrier_on_meansoftransport</b> .....	29
<b>Tabelle 14: Transport Relations eines OEMs</b> .....	30
<b>Tabelle 15: Sites_have_skus</b> .....	31
<b>Tabelle 16: SKU demand eines OEM</b> .....	31