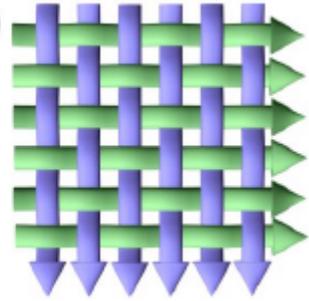


Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer  
Netze in der Logistik**



Technical Report 02007

ISSN 1612-1376

## **Definition von Anforderungen an die Modellierung und Analyse der Supply Chain**

Teilprojekt A3:

Michael Kaczmarek

Universität Dortmund

Lehrstuhl Industriebetriebslehre

D-44221 Dortmund

Oktober 2002

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Gründe für eine modellgestützte Analyse von Supply Chains .....	4
2	Modellierungsrelevante Kennzeichen einer Supply Chain.....	4
3	Existierende Anforderungskataloge .....	5
3.1	Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) nach Becker/Rosemann/Schütte .	5
3.2	Anforderungen an die Unternehmensmodellierung nach Schwermer.....	7
3.3	Anforderungen an die überbetriebliche Prozessmodellierung nach Kugeler .....	8
4	Ableitung von speziellen Anforderungen an die Modellerstellung und -auswertung .....	9
4.1	Analyse von Supply Chain-Modellen .....	9
4.1.1	Vor- und Nachteile der Simulation gegenüber analytischen Verfahren .....	9
4.1.2	Einsatzbedingungen für ein Simulationsmodell.....	10
4.2	Erstellung und Auswertung von Supply Chain-Modellen.....	12
	Literaturverzeichnis .....	16

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung .....	6
Abbildung 2: Systematik zur Prozesskostenbewertung von Simulationsergebnissen.....	13
Abbildung 3: Akteursspezifische Kennzahlen.....	14
Abbildung 4: Kennzahlensystematik zur Aufbereitung der Simulationsergebnisse.....	15
Abbildung 5: Supply Chain-Kennzahlen.....	15

## 1 Gründe für eine modellgestützte Analyse von Supply Chains

Bei der Analyse und Bewertung von Supply Chain-Strategien und alternativen Supply Chain-Strukturen wurde eine modellgestützte Vorgehensweise gewählt. Für diese methodische Herangehensweise waren folgende Gründe ausschlaggebend:<sup>1</sup>

- Die Analyse und Beurteilung von Strategien in der Realität würden zu Störungen der (zwischen-)betrieblichen Abläufe führen.
- Supply Chain-Strategien können zum Teil aufgrund fehlender (informationstechnologischer) Infrastrukturen in der Realität nicht oder nur mit einem hohen Kostenaufwand analysiert werden.
- Die modellgestützte Untersuchung und Bewertung von Supply Chain-Strategien eignen sich ganz besonders als Entscheidungshilfe in der Planungsphase einer Supply Chain. Hierbei können aktorenspezifische Kennzahlen zur Beurteilung einer Kooperationsbeteiligung generiert werden.

## 2 Modellierungsrelevante Kennzeichen einer Supply Chain

Bei der Modellierung und Simulation von Supply Chains wurden deren spezifische Eigenschaften berücksichtigt. Hierzu zählt u.a. die Komplexität von Supply Chains, die aus der Vielzahl der beteiligten Unternehmen und deren Vernetzung resultiert. Zusätzlich werden die Planungen in der Supply Chain durch Zeitverzögerungen, z.B. in Form von Liefer- oder Reaktionszeiten, zwischen den Unternehmen erschwert. Die rechtliche Selbstständigkeit der an der Supply Chain beteiligten Unternehmen hat insbesondere für die Modellauswertung eine große Bedeutung, denn es handelt sich bei den Unternehmen, um „selbstständige, eigenwirtschaftliche Einheiten, die jeweils verschiedenen Eigentümern und Kapitalgebern Rechenschaft abzulegen haben“.<sup>2</sup> Konsequenz dieser Tatsache ist, dass es nicht nur eine optimale Supply Chain-Lösung zu finden gilt, gleichzeitig müssen auch die mit dieser Lösung einhergehenden lokalen, d.h. aktorenspezifischen Defizite identifiziert werden, um ggf. einen Ausgleich der Nachteile herbeiführen zu können.<sup>3</sup> Weiterhin bereitet das Finden einer optimalen Lösung für die Supply Chain Schwierigkeiten, da sowohl unternehmensinterne als auch unternehmensübergreifende Zielkonflikte auftreten. Im unternehmensinternen Bereich ist hier auf die klassische Bestellmengenproblematik zu verweisen, bei der sich die bestellmengenfixen Kosten und die Lager- und Zinskosten in Abhängigkeit von der gewählten Bestellmenge entgegengesetzt verhalten. Unternehmensübergreifende Zielkonflikte treten auf, wenn bspw. der Abnehmer seine Bestellmengen absenkt und damit einhergehend die Anzahl der Auftragsabwicklungs- und Transportprozesse beim Lieferanten steigen. Auf der anderen Seite kann bei einer Bestandsminimierung beim Lieferanten der Abnehmer gegenüber seinen Kun-

---

<sup>1</sup> Kaczmarek, M.; Stüllenber, F.: Decision Support by Model Based Analysis of Supply Chains. In: Seuring, S.; Goldbach, M. (Hrsg.): Cost Management in Supply Chains. Physika-Verlag, Heidelberg New York, 2002, S. 273-288.

<sup>2</sup> Baumgarten, H.; Zadek, H.: Netzwerksteuerung durch Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL). In: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik, 2002, S. 14-21, S. 19.

<sup>3</sup> Baumgarten, H.; Zadek, H.: Netzwerksteuerung durch Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL). In: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik, 2002, S. 14-21.

den in Lieferschwierigkeiten geraten, wenn durch diese Bestandsminimierung der Warennachschub nicht mehr sichergestellt ist. Diese Zusammenhänge in einer Supply Chain müssen bei der Modellierung und anschließenden Simulation Berücksichtigung finden.

### 3 Existierende Anforderungskataloge

Anforderungen, die an die Modellierung gestellt werden, sind bereits Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Zunächst sollen an dieser Stelle drei in der Literatur dokumentierte Ergebnisse vorgestellt werden. Hierbei handelt es sich um die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung nach *Becker/Rosemann/Schütte*, die Anforderungen an ein Modellierungsvorgehen nach *Schwermer* und die Anforderungen an die überbetriebliche Prozessmodellierung nach *Kugeler*.

#### 3.1 Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) nach Becker/Rosemann/Schütte

Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) nach *Becker/Rosemann/Schütte* sind der:<sup>4</sup>

- Grundsatz der Richtigkeit
- Grundsatz der Relevanz
- Grundsatz der Wirtschaftlichkeit
- Grundsatz der Klarheit
- Grundsatz der Vergleichbarkeit
- Grundsatz des systematischen Aufbaus

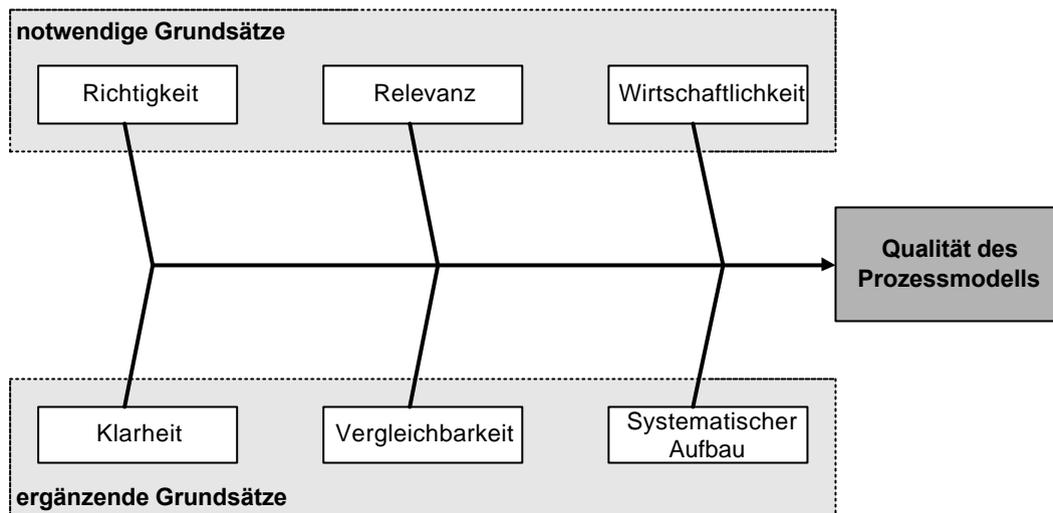
Die GoM sind aus den Grundsätzen ordnungsmäßiger Buchführung (GoB) abgeleitet worden.<sup>5</sup> Die Bedeutung der einzelnen Grundsätze hängt u. a. von dem verfolgten Modellierungsziel ab, so dass die Grundsätze ein unterschiedliches Gewicht besitzen können. Die Grundsätze der Richtigkeit, der Relevanz und der Wirtschaftlichkeit stellen notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz der Modellierung dar, die durch die Grundsätze der Klarheit, der Vergleichbarkeit und des systematischen Aufbaus ergänzt werden (Abbildung 1).<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> Vgl. Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik 37 (1995) 5, S. 435-445.

<sup>5</sup> Vgl. Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozessmodellen: methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden 1996, S. 93.

<sup>6</sup> Vgl. Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik 37 (1995) 5, S. 435-445, hier: S. 437.



**Abbildung 1: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung<sup>7</sup>**

Die syntaktische und semantische Richtigkeit stellen die Ausprägungen des **Grundsatzes der Richtigkeit** der Modellierung dar. Die syntaktische Richtigkeit eines Modells fordert eine formale Übereinstimmung der verwendeten Objekte und Notationen mit den Vorgaben des angewandten Beschreibungsformalismus. Diese Richtigkeit eines Modells besteht unabhängig vom zugrundeliegenden Realsystem. Die semantische Richtigkeit meint eine Identität der im Modell hinterlegten Strukturen und Verhalten mit dem Gegebenheiten im Realsystem. Bei einem gedachten Modell, also beim Fehlen eines Realsystems, muss die semantische Richtigkeit sachlogisch begründet werden.

Ausgangspunkt des **Grundsatzes der Relevanz** ist die Forderung nach einer expliziten Formulierung von Modellierungszielen, um damit die Relevanz bewerten zu können. *Becker/Rosemann/Schütte* bezeichnen die in einem Modell enthaltenen Elemente und Beziehungen dann als relevant, wenn durch ein Weglassen dieser Elemente und Beziehungen, der Nutzeneffekt des Modells sinkt.<sup>8</sup> Somit bestimmt dieser Grundsatz den inhaltlichen Umfang der Modellierung.

Der **Grundsatz der Wirtschaftlichkeit** bestimmt die Grenzen für den Einsatz der Modellierung als Instrument zur Entscheidungsunterstützung, indem es die Modellierung „dieser generellen betriebswirtschaftlichen Maxime“ unterwirft.<sup>9</sup> Dieser Grundsatz gilt als beachtet, wenn der zu erwartende Nutzen den Aufwand für die Modellierung rechtfertigt.

Unter dem **Grundsatz der Klarheit** werden die Aspekte der Strukturiertheit, der Übersichtlichkeit und der Lesbarkeit von Modellen zusammengefasst. Gefördert werden kann die Klarheit durch die Definition von graphischen Anordnungsregeln für die

<sup>7</sup> Vgl. Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozessmodellen: methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden 1996, S. 92.

<sup>8</sup> Vgl. Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik 37 (1995) 5, S. 435-445, hier: S. 438.

<sup>9</sup> Vgl. Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik 37 (1995) 5, S. 435-445, hier: S. 438.

zu modellierenden Objekte. Die Erweiterung des Beschreibungsformalismus um neue Elemente ist hinsichtlich der Konformität mit diesem Grundsatz zu überprüfen.

Der **Grundsatz der Vergleichbarkeit** besitzt wie der Grundsatz der Richtigkeit eine syntaktische und eine semantische Ausprägung. Die syntaktische Vergleichbarkeit fordert die Kompatibilität von Modellen die mit unterschiedlichen Methoden erstellt wurden. Die semantische Vergleichbarkeit soll einen inhaltlichen Vergleich der Modelle ermöglichen, die verschiedene Szenarien des Realsystems beschreiben, wie zum Beispiel einen Vergleich zwischen einem Modell das die Ist-Situation wiedergibt und einem das die Soll-Situation darstellt.

Der **Grundsatz des systematischen Aufbaus** von Modellen berücksichtigt den Sachverhalt, dass ein ganzheitliches Modell verschiedene Sichten aufweist, die miteinander integriert werden müssen. Dieses erfordert einen sichtenübergreifenden Beschreibungsformalismus und eine sichtenübergreifende Modellierung, bei der die Interdependenzen zwischen den Sichten Berücksichtigung finden.

### **3.2 Anforderungen an die Unternehmensmodellierung nach Schwermer**

Die Anforderungen an ein Modellierungsvorgehen sind von *Schwermer* zum Zweck der Unternehmensmodellierung in Anlehnung an Qualitätsfaktoren für Softwaretools definiert worden.<sup>10</sup> Die Ziele der Unternehmensmodellierung bestimmen die Anforderungen zu denen:

- die Korrektheit,
- die Effizienz,
- die Schnelligkeit,
- die Neutralität,
- die Erweiterbarkeit und
- die Benutzerfreundlichkeit

zählen.<sup>11</sup>

Die **Korrektheit** verlangt von dem Modellierer die Erstellung von „realitätsnahen, widerspruchsfreien und methodenkonformen Modellen“.<sup>12</sup> Sichergestellt wird dieses u. a. durch eine eindeutige und ausreichend detaillierte Modellierung, eine Überprüfung der Modelle auf ihre Widerspruchsfreiheit hinsichtlich der Realität und durch eine umfassende und verständliche Dokumentation des Vorgehens und der Modelle.

Der ökonomische Einsatz von Ressourcen zur Modellerstellung wird unter dem Begriff **Effizienz** subsumiert. Erreicht wird diese Effizienz u. a. durch ein abgestimmtes Vorgehen bei der Modellierung, durch präzise Aufgabenbeschreibungen, welche die Modellumfänge gering halten können, und durch die Verwendung einfacher Modellierungskonstrukte.

---

<sup>10</sup> Vgl. Schwermer, M.: Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen. Berlin 1998, S. 24.

<sup>11</sup> Zu den nachfolgenden Beschreibungen der einzelnen Anforderungen vgl. Schwermer, M.: Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen. Berlin 1998, S. 24-26.

<sup>12</sup> Schwermer, M.: Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen. Berlin 1998, S. 24.

Mit **Schnelligkeit** sind frühzeitig nutzbare Ergebnisse gemeint. Gefördert wird die Schnelligkeit durch die gezielte Erstellung kleiner Modelle und die parallele Modellentwicklung.

Wenn die Modellierung unabhängig vom speziellen Anwendungsfall ist, d. h. sich für unterschiedliche Aufgaben und Umgebungen, wie z. B. Branchen oder Unternehmen, eignet, dann gilt die Anforderung der **Neutralität** als erfüllt.

Die **Erweiterbarkeit** ist gegeben, wenn die Möglichkeit besteht, „das Modellierungsvorgehen für weitere Anwendungsfelder weiter spezifizieren zu können oder übertragen und ergänzen zu können.“<sup>13</sup>

Die **Benutzerfreundlichkeit** der Modellierung ist gekennzeichnet durch eine leichte Erlernbarkeit und Ausführbarkeit. Hierzu sind u. a. eine durchgängige Unterstützung des Modellierungsprozesses, eine verständliche Methode zur Abbildung aller relevanten Aspekte und eine Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweisen, die durch Beispiele unterstützt werden können, erforderlich.

### **3.3 Anforderungen an die überbetriebliche Prozessmodellierung nach Kugeler**

Bei den Anforderungen an die überbetriebliche Prozessmodellierung nach *Kugeler* stehen Anforderungen an die Techniken zur Darstellung überbetrieblicher Abläufe im Mittelpunkt.<sup>14</sup> Hierzu gehören:

- der Bekanntheit der Darstellungstechnik,
- die Akzeptanz der Darstellungstechnik,
- die Einheitlichkeit der in den verschiedenen Unternehmen verwendeten Abbildungstechnik und
- die Branchenneutralität der eingesetzten Modellierungstechnik.

Für die unternehmensübergreifende Modellierung ist der **Bekanntheitsgrad der Darstellungstechnik** von großer Bedeutung, um die mit der Modellierung verfolgten Ziele zu erreichen. Voraussetzung für den Erfolg der Modellierung ist, dass die Mitarbeiter der verschiedenen Unternehmen die Darstellungstechnik kennen und verstehen.<sup>15</sup> Eine hohe Bekanntheit der Darstellungstechnik hilft, das Erreichen der gesetzten Ziele sicherzustellen.

Weiterhin muss eine **Akzeptanz** der Darstellungstechnik gegeben sein. Diese steigt mit der Bekanntheit der Notation und der Einfachheit der Darstellung.<sup>16</sup> Vorteilhaft ist,

---

<sup>13</sup> Schwermer, M.: Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen. Berlin 1998, S. 26.

<sup>14</sup> Vgl. Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493, hier: S. 484-485.

<sup>15</sup> Vgl. Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493, hier: S. 484.

<sup>16</sup> Vgl. Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493, hier: S. 484.

wenn die Darstellungstechnik verständlich und selbsterklärend ist, da hiermit der Einstieg in die Modellierung für die Mitarbeiter der einzelnen Unternehmen erleichtert wird.<sup>17</sup>

Für die Abbildung von unternehmensübergreifenden Prozessen durch verschiedene Unternehmen ist eine **Einheitlichkeit der Darstellungstechnik** wichtig, da nur bei einer gegebenen Einheitlichkeit die erstellten (Teil-)Modelle zusammengeführt werden können. Die beteiligten Unternehmen müssen sich daher im Vorfeld der Modellierung auf eine Darstellungstechnik und Modellierungskonventionen verständigen.

Die letzte Anforderung ist die **Branchenneutralität der Modellierungstechnik**. Diese Anforderung ist notwendig, da an einer Supply Chain Akteure aus unterschiedlichen Branchen beteiligt sind.<sup>18</sup> So können z. B. an der Supply Chain eines Automobilherstellers Zulieferer teilnehmen, die aus einer anderen Branche stammen, z. B. Stahl- oder Stofflieferanten.

## **4 Ableitung von speziellen Anforderungen an die Modellerstellung und -auswertung**

### **4.1 Analyse von Supply Chain-Modellen**

Die Auswertung der mit dem B1-Modellformalismus erstellten Modelle ist sowohl mit einer ereignisdiskreten Simulation als auch mit analytischen Verfahren möglich. Daher stellt sich die Frage, welches Verfahren zur Auswertung eines Supply Chain-Modells herangezogen werden sollte. Hierzu werden im Folgenden die Vor- und Nachteile der Simulation gegenüber den analytischen Verfahren aufgezeigt und anschließend Einsatzbedingungen für Simulationsmodelle herausgearbeitet.

#### 4.1.1 Vor- und Nachteile der Simulation gegenüber analytischen Verfahren

Für die Untersuchung eines Systems, z. B. einer Supply Chain, bieten sich insbesondere simulative und analytische Verfahren an. Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der Verfahren gegenübergestellt, um Anhaltspunkte bezüglich der Eignung der Verfahren zur Untersuchung Supply Chain-relevanter Fragestellungen zu bekommen.

Die Vorteile von Simulationsmodellen gegenüber analytischen Modellen sind insbesondere:<sup>19</sup>

- die Möglichkeit der Untersuchung von komplexen Systemen,<sup>20</sup>

---

<sup>17</sup> Vgl. Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfadens zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493, hier: S. 484.

<sup>18</sup> Vgl. Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfadens zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493, hier: S. 485.

<sup>19</sup> Vgl. Page, B.: Diskrete Simulation. Eine Einführung in Modula-2. Berlin u. a. 1991, S. 8-9.

<sup>20</sup> Analytische Verfahren sind gegenüber simulativen Verfahren hinsichtlich der erfassbaren Systemkomplexität stark eingeschränkt. (Vgl. Schmidt, U.: Angewandte Simulationstechnik für Produktion und Logistik. Dortmund 1997, S. 6 und Košturiak, J.; Gregor, M.: Simulation von Produktionssystemen – Teil 1: Empfehlungen für eine erfolgreiche Anwendung der Simulationstechnik in der Praxis. In: ZWF, 90 (1995) 1-2, S. 50-53, hier: S. 50.)

- die höhere Realitätsnähe durch weniger rigide Anwendungsvoraussetzungen,
- die Möglichkeit von flexiblen Sensitivitätsanalysen hinsichtlich angenommener statistischer Verteilungen,
- die höhere Anwenderfreundlichkeit, da die Beschreibung des Modells mathematisch weniger schwierig ist und
- die bessere Visualisierung des Systemverhaltens, weil die zeitliche Entwicklung des Systemzustandes bei der Simulation nachvollzogen werden kann (Trace-Datei)<sup>21</sup>.

Die Nachteile von simulativen Modellen gegenüber Analytischen sind:<sup>22</sup>

- die nicht zwangsläufig optimalen Lösungen, da keine mathematischen Beweise und Formalisierungen vorliegen mit denen ein Optimum berechnet werden kann,<sup>23</sup>
- der höhere Entwicklungsaufwand, da das Wissen über das Systemverhalten gegebenenfalls zunächst erst erzeugt werden muss,<sup>24</sup>
- die längeren Rechenzeiten und
- der höhere Speicherplatzbedarf.<sup>25</sup>

Die Entscheidung für oder gegen eine Simulationsstudie erfordern eine kritische Betrachtung und Abwägung der Vor- und Nachteile.

#### 4.1.2 Einsatzbedingungen für ein Simulationsmodell

Die Simulation stellt im Gegensatz zu den analytischen Verfahren die aufwendigere Methode dar. Es gilt somit zu überprüfen, inwieweit der Nutzen durch die zusätzlichen Informationen, die durch eine Simulationsstudie generiert werden können, den höheren Aufwand gegenüber den Einsatz analytischer Methoden rechtfertigt.<sup>26</sup>

Bei Betrachtung der Vor- und Nachteile von Simulationsmodellen gegenüber analytischen Modellen wird die Frage aufgeworfen, unter welchen Voraussetzungen zu einem Simulationsmodell gegriffen werden soll bzw. muss. Eine allgemeingültige Regel, welche die geeignetere Methode anzeigt, existiert nicht, so dass Kriterien herangezogen werden müssen, um die Auswahl der richtigen Methode zu unterstützen.

---

<sup>21</sup> Die Trace-Datei enthält sogenannte Trace-Daten. Bei diesen Trace-Daten handelt es sich um während „des Simulationslaufes aufgezeichnete Werte der Zustandsgrößen des Simulationsmodells“, die nach Abschluss der Simulation als Grundlage für weitergehende Auswertungen dienen. (VDI-FML (Hrsg.): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen, VDI 3633 (Entwurf). Düsseldorf: Beuth 1996, S. 18.)

<sup>22</sup> Vgl. Page, B.: Diskrete Simulation. Eine Einführung in Modula-2. Berlin u. a. 1991, S. 9.

<sup>23</sup> Vgl. Liebl, F.: Simulation: problemorientierte Einführung. 2. Aufl. München/Wien 1995, S. 9.

<sup>24</sup> Vgl. Liebl, F.: Simulation: problemorientierte Einführung. 2. Aufl. München/Wien 1995, S. 9.

<sup>25</sup> In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit von Simulationsmodellen gegenüber analytischen Modellen gilt es zu überprüfen, inwieweit der Nutzen durch die zusätzlichen Informationen durch ein Simulationsmodell, die gegenüber einem analytischen Modell höheren Kosten rechtfertigen (vgl. Liebl, F.: Simulation: problemorientierte Einführung. 2. Aufl. München/Wien 1995, S. 198).

<sup>26</sup> Vgl. Liebl, F.: Simulation: problemorientierte Einführung. 2. Aufl. München/Wien: Oldenbourg 1995, S. 198.

Rabe definiert fünf Grundregeln, die für den Einsatz der Simulation sprechen:<sup>27</sup>

- Im Mittelpunkt der Untersuchung steht das zeitliche Ablaufverhalten des Systems.
- Wenn die Grenzen von analytischen Auswertungsverfahren erreicht sind, liefert nur die Simulation weitere Informationen bezüglich des Systems.
- Ein Experimentieren am realen System ist nicht möglich, z. B. während der Planungsphase oder zu kostenintensiv.
- Das System oder ein Teilsystem existiert noch nicht und es liegen daher noch keine Erfahrungen hinsichtlich des Systemverhaltens vor, dann können mit Hilfe der Simulation wichtige Einblicke gewonnen werden.
- Die Komplexität des Systems hinsichtlich Interdependenzen zwischen den Elementen verhindert eine Abbildung der Systemdynamik mit mathematischen Gleichungen.<sup>28</sup>

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Simulation eine im Vergleich zu analytischen Verfahren aufwendige Methode darstellt.

Der Einsatz der Simulation bietet sich insbesondere dann an, „wenn Experimente an einem realen System zu aufwendig, zu teuer, zu gefährlich, nicht replizierbar oder nicht durchführbar sind und andererseits eine geschlossene mathematische Formulierung und analytische Lösung eines Problems nicht oder nur schwer möglich ist.“<sup>29</sup>

Vor dem Hintergrund der Komplexität der Supply Chain ist die Anwendung von analytischen Verfahren nur begrenzt möglich.<sup>30</sup> Banks/Carson betonen, dass die Realität vielfach so komplex ist, dass Modelle dieser Realität praktisch unmöglich mathematisch gelöst werden können.<sup>31</sup> Da darüber hinaus Erkenntnisse über das Systemverhalten im Zeitablauf im Mittelpunkt des Interesses stehen und weiterhin sowohl Aussagen hinsichtlich des Gesamtsystems als auch aktorenspezifische Aussagen generiert werden sollen, sind analytische Verfahren aufgrund ihrer oben dargestellten Restriktionen in der Regel nicht geeignet.

Für derartige Analysen von Supply Chains stellt die Simulation eine geeignete Methode dar.<sup>32</sup> Mit deren Hilfe können entsprechende Informationen bezüglich des Systemverhaltens einer Supply Chain erzeugt werden.

---

<sup>27</sup> Vgl. Rabe, M.: Einführung. In: Kuhn, A.; Rabe, M. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. Berlin u. a. 1998, S. 7.

<sup>28</sup> Vgl. auch Burkhard, M.: Was kostet Simulation? In: Fördertechnik, 63 (1994) 12, S. 4-8, hier: S. 4.

<sup>29</sup> Voß, S.: Diskrete ereignisorientierte Simulation: Trends und Perspektiven. In: WISU, 70 (2001) 8-9, S. 1155-1161, hier: S. 1155.

<sup>30</sup> Auf den begrenzten Anwendungsbereich von mathematischen Modellen für betriebswirtschaftliche Problemstellungen verweist u. a. auch Reihlen, M.: Ansätze in der Modelldiskussion – Eine Analyse der Passivistischen Abbildungsthese und der Aktivistischen Konstruktionsthese. Arbeitsbericht Nr. 92 des Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftliche Planung und Logistik der Universität zu Köln. Köln 1997, S. 20.

<sup>31</sup> Vgl. Banks, J.; Carson II, J. S.: Discrete-Event System Simulation. Englewood Cliffs, NJ 1984, S. 3-4.

<sup>32</sup> Vgl. Milling, P.; Größler, A.: Simulationsbasierte Analysen von Wertschöpfungsnetzwerken: Erfahrungen aus der virtuellen Realität. In: Bellmann, H. [Hrsg.]: Kooperations- und Netzwerkmanagement : Festgabe für Gert v. Kortzfleisch zum 80. Geburtstag. Berlin 2001, S. 55-81, hier: S. 61.

## 4.2 Erstellung und Auswertung von Supply Chain-Modellen

Im Rahmen der Modellerstellung gilt es insbesondere, die rechtliche Selbständigkeit der Unternehmen und das daraus resultierende Interesse, an den jeweiligen unternehmensspezifischen Auswirkungen alternativer Strategien und Strukturen, zu berücksichtigen. Vor diesem Hintergrund sind die zu modellierenden Prozesse und Ressourcen eindeutig den Akteuren zuzuordnen, so dass die mittels Messgrößen festgehaltenen Auswirkungen eindeutig einem Akteur zurechenbar sind. Auf diesem Wege kann der individuelle Nutzen bzw. Aufwand ermittelt und in das jeweilige Entscheidungskalkül der Unternehmen miteinbezogen werden.

Die wichtigsten zur Bewertung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen im Modell zu messenden Größen sind:

- die (Lager-)Bestände,
- die Bestandsreichweite,
- die (Liefer-)Zeiten,
- die Ressourceninanspruchnahme,
- der Lieferbereitschaftsgrad,
- die Nachfrage-, Bestell- und Liefermengen sowie
- die Anzahl der Prozessdurchführungen.

Eine empirische Untersuchung hat ergeben, dass insbesondere den Kennzahlen Lagerbestand, Bestandsreichweite und Lieferzuverlässigkeit in der Praxis im Rahmen eines Supply Chain Managements eine große Bedeutung beigemessen wird.<sup>33</sup> Alle oben genannten primär technischen Größen lassen sich mit Hilfe der Simulation ermitteln, allerdings eröffnen sie noch nicht die Möglichkeit einer umfassenden betriebswirtschaftlichen Analyse.

Um die mit Hilfe der Simulation ermittelten technischen und logistischen Ergebnisgrößen betriebswirtschaftlich interpretieren zu können, ist eine nachgeschaltete ökonomische Bewertung der Simulationsergebnisse erforderlich. Auf diesem Wege werden die monetären Auswirkungen gegenläufiger Zielgrößen sichtbar. In einem ersten Schritt wurde daher eine Systematik für die Kostenbewertung der technischen und logistischen Ergebnisgrößen entwickelt (Abbildung 4). In dieser Systematik werden die technischen und logistischen Simulationsergebnisse aus dem Simulator mit aus dem Controlling stammenden Prozesskostensätzen verknüpft. Die Prozesskostensätze geben an, wie viel die einmalige Prozessdurchführung kostet. Für die Bildung der Prozesskostensätze kann das auf der Prozesskostenrechnung basierende Modell zur Prozesskostenbewertung von Hirschmann<sup>34</sup> genutzt werden. Im Rahmen dieses Modells werden zwei alternative Prozesskostensätze vorgestellt, die sich hin-

---

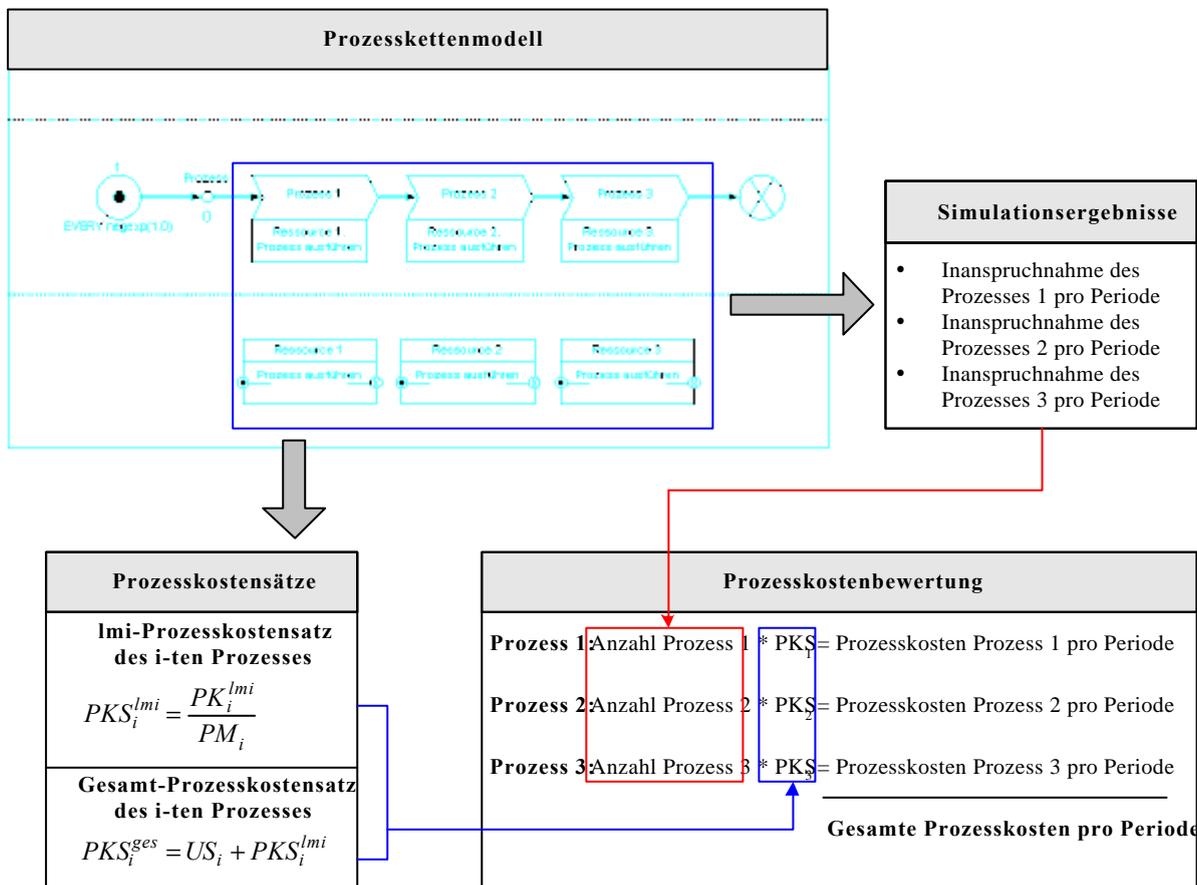
<sup>33</sup> Vgl. Weber, J.; Bacher, A.; Groll, M.: Steuerung der Supply Chain – aber mit welchen Instrumenten? Vallendar, 2003 und Erdmann, M.-K.: Supply Chain Performance Measurement unter besonderer Berücksichtigung des Balanced Scorecard Ansatzes. Dissertation, Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, Eul-Verlag, Lohmar Köln, 2003.

<sup>34</sup> Hirschmann, P.: Kooperative Gestaltung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998.

sichtlich der Reichweite der Kostenverrechnung unterscheiden. Zum einen kann ein Prozesskostensatz ( $PKS^{lmi}$ ) gebildet werden, der ausschließlich die leistungsmengeninduzierten Kosten (lmi-Kosten) beinhaltet und auf die Prozesse verrechnet.

Zum anderen kann der Prozesskostensatz ( $PKS^{ges}$ ) sowohl leistungsmengeninduzierte Kosten (lmi-Kosten) als auch leistungsmengenneutrale Kosten (lmn-Kosten) enthalten.

Die modellimmanenten Gesamtprozesskosten pro Periode werden durch Multiplikation des ausgewählten Prozesskostensatzes mit der durch die Simulation ermittelte Prozessinspruchnahme berechnet und können auch als Grundlage für die Ermittlung von Stückkosten herangezogen werden.<sup>35</sup> Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings, dass das primäre Ziel der Simulationsstudien die Bewertung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen und nicht die Kalkulation der Selbstkosten pro Stück war. Für die Bewertung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen erscheint eine periodisierte Kostenbetrachtung zweckmäßiger.



**Abbildung 2: Systematik zur Prozesskostenbewertung von Simulationsergebnissen**

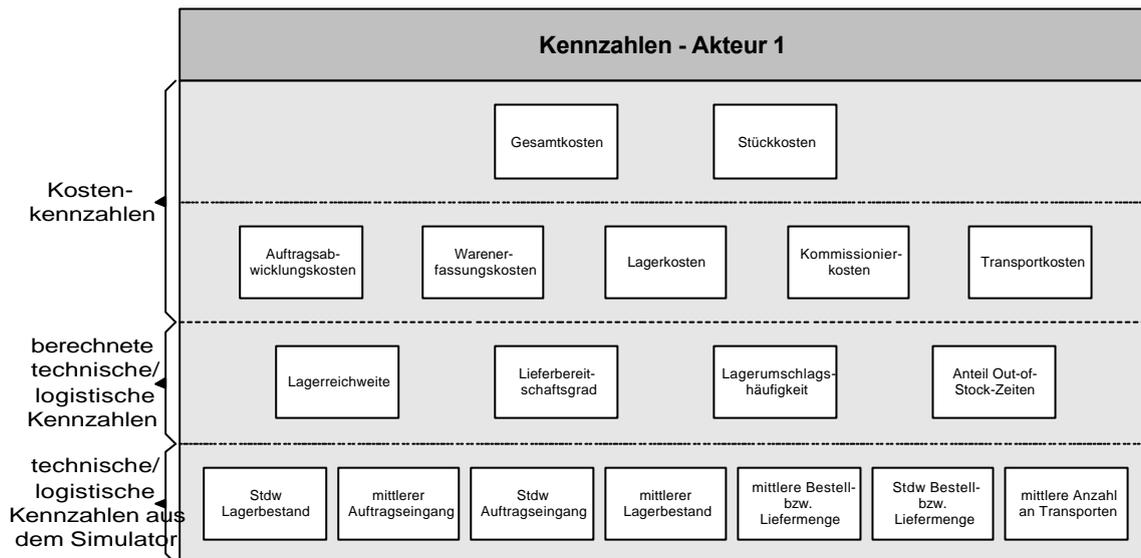
Die zu beachtenden Besonderheiten bei der Ermittlung von Prozesskostensätzen, die sich aus dem unternehmensübergreifenden Charakter von Supply Chains ergeben, sind im Wesentlichen die einheitliche Berechnung und Verwendung von Pro-

<sup>35</sup> Vgl. Eversheim W.; Fuhlbrügge, M.: Entscheidungsorientierte Bewertung mit Hilfe der Kostensimulation. In: CIM Management 10 (1994) 6, S. 36-39.

zesskostensätzen. Die an der Supply Chain beteiligten Unternehmen müssen sich bspw. hinsichtlich der Einbeziehung von leistungsmengenneutralen Kosten in die Prozesskostensätze einigen.<sup>36</sup>

Neben den Kosten für die Prozessdurchführung müssen auch die Kosten für die Bestände berücksichtigt werden. Diese Bestandskosten werden im Rahmen der Kostenbewertung ermittelt, indem der Wert der Bestände mit einem Lager- und Zinskostensatz multipliziert wird. Hierdurch werden die Kosten für die Inanspruchnahme der Lagereinrichtungen und die Kapitalbindung in die Szenarien einbezogen.

Abbildung 3 zeigt einen Überblick über relevante Akteursspezifische Kennzahlen.



**Abbildung 3: Akteursspezifische Kennzahlen**

Für eine umfassende Bewertung von Supply Chain-Strategien und Strukturalternativen müssen neben Kostenkennzahlen auch Erlösgrößen Berücksichtigung finden. Eine in diesem Zusammenhang wichtige Frage ist die Verteilung der Gewinne aus den realisierten Verbesserungspotenzialen bzw. die Zurechnung von lokalen Verlusten, die bei der Realisierung eines Gesamtoptimums aufgetreten sind.<sup>37</sup> Um diesbezügliche Aussagen treffen zu können, sind bei der Interpretation der Simulationsergebnisse zusätzlich Markt- und Verrechnungspreise zu berücksichtigen.<sup>38</sup> Durch die Einbeziehung von Markt- und Verrechnungspreisen können bspw. die monetären Auswirkungen unterschiedlicher Lieferbereitschaftsgrade durch die Berechnung der entgangenen Umsätze bestimmt werden.

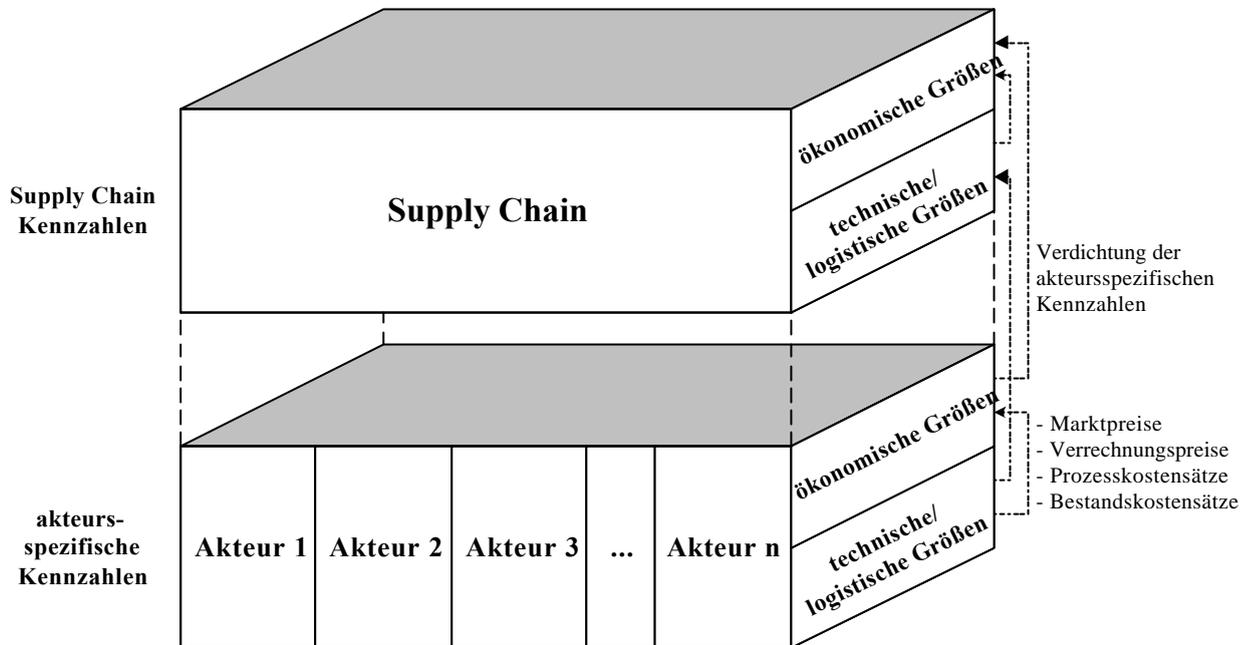
Ziel des Supply Chain Managements ist die optimale Gestaltung der unternehmensübergreifenden Prozesse, um netzwerkweite Ziele besser erreichen zu können. Wie oben bei der Darstellung potentieller Zielkonflikte gezeigt wurde, führt das Verfolgen

<sup>36</sup> Vgl. Hirschmann, P.: Kooperative Gestaltung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998.

<sup>37</sup> Vgl. Baumgarten, H.; Zadek, H.: Netzwerksteuerung durch Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL). In: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik, 2002, S. 14-21.

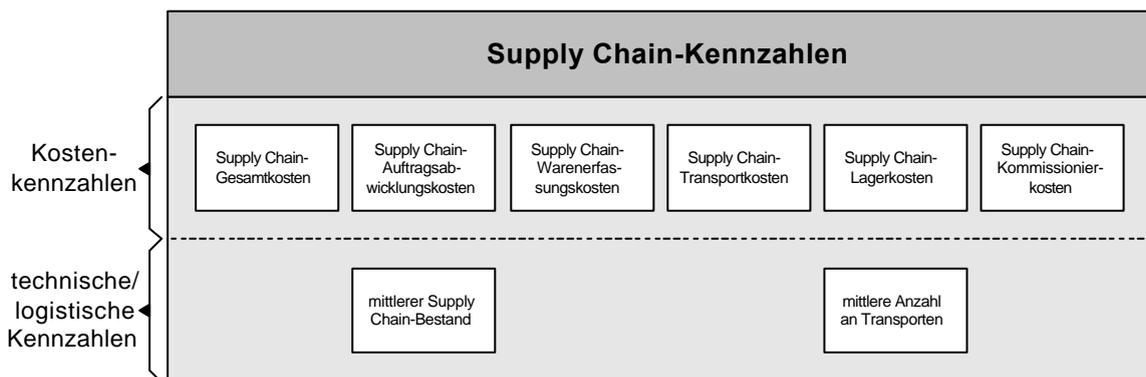
<sup>38</sup> Vgl. Jehle, E.; Stüllenberg, F.: Kooperationscontrolling am Beispiel eines Logistikdienstleisters. In: Bellmann, K. (Hrsg.): Kooperations- und Netzwerkmanagement. Festgabe für Gert v. Kortzfleisch zum 80. Geburtstag. Duncker und Humblot, Berlin, 2001, S. 209-230.

von aktEURsspezifischen Einzelzielen nicht zwangsläufig zu dem Erreichen der definierten Supply Chain-Ziele. Als Konsequenz hieraus resultiert die Notwendigkeit einer Verdichtung der auf der Akteursebene ermittelten Ergebnisgrößen und Kennzahlen zu Supply Chain-weiten Kennzahlen (Abbildung 4). Anhand dieser Kennzahlen kann der Zielerreichungsgrad auf der Supply Chain-Ebene dokumentiert und analysiert werden.



**Abbildung 4: Kennzahlensystematik zur Aufbereitung der Simulationsergebnisse**

Beispiele für aggregierte Supply Chain-Kennzahlen zeigt Abbildung 5.



**Abbildung 5: Supply Chain-Kennzahlen**

## Literaturverzeichnis

- Banks, J.; Carson II, J. S.: Discrete-Event System Simulation. Englewood Cliffs, NJ 1984
- Baumgarten, H.; Zadek, H.: Netzwerksteuerung durch Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL). In: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik, 2002, S. 14-21.
- Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: Wirtschaftsinformatik 37 (1995) 5, S. 435-445.
- Burkhard, M.: Was kostet Simulation? In: Fördertechnik, 63 (1994) 12, S. 4-8.
- Erdmann, M.-K.: Supply Chain Performance Measurement unter besonderer Berücksichtigung des Balanced Scorecard Ansatzes. Dissertation, Universität Dortmund, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät, Eul-Verlag, Lohmar Köln, 2003.
- Eversheim W.; Fuhlbrügge, M.: Entscheidungsorientierte Bewertung mit Hilfe der Kostensimulation. In: CIM Management 10 (1994) 6, S. 36-39.
- Hirschmann, P.: Kooperative Gestaltung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1998.
- Jehle, E.; Stüllenberg, F.: Kooperationscontrolling am Beispiel eines Logistikdienstleisters. In: Bellmann, K. (Hrsg.): Kooperations- und Netzwerkmanagement. Festgabe für Gert v. Kortzfleisch zum 80. Geburtstag. Duncker und Humblot, Berlin, 2001, S. 209-230.
- Kaczmarek, M.; Stüllenberg, F.: Decision Support by Model Based Analysis of Supply Chains. In: Seuring, S.; Goldbach, M. (Hrsg.): Cost Management in Supply Chains. Physika-Verlag, Heidelberg New York, 2002, S. 273-288.
- Košturiak, J.; Gregor, M.: Simulation von Produktionssystemen – Teil 1: Empfehlungen für eine erfolgreiche Anwendung der Simulationstechnik in der Praxis. In: ZWF, 90 (1995) 1-2, S. 50-53.
- Kugeler, M.: SCM und CRM – Prozessmodellierung für Extended Enterprises. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement – Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 3. Aufl. Berlin u. a. 2002, S. 457-493.
- Liebl, F.: Simulation: problemorientierte Einführung. 2. Aufl. München/Wien 1995.
- Milling, P.; Größler, A.: Simulationsbasierte Analysen von Wertschöpfungsnetzwerken: Erfahrungen aus der virtuellen Realität. In: Bellmann, H. [Hrsg.]: Kooperations- und Netzwerkmanagement : Festgabe für Gert v. Kortzfleisch zum 80. Geburtstag. Berlin 2001, S. 55-81.
- Page, B.: Diskrete Simulation. Eine Einführung in Modula-2. Berlin u. a. 1991.
- Rabe, M.: Einführung. In: Kuhn, A.; Rabe, M. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung. Berlin u. a. 1998.
- Reihlen, M.: Ansätze in der Modelldiskussion – Eine Analyse der Passivistischen Abbildungsthese und der Aktivistischen Konstruktionsthese. Arbeitsbericht Nr. 92 des

Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftliche Planung und Logistik der Universität zu Köln. Köln 1997.

Rosemann, M.: Komplexitätsmanagement in Prozessmodellen: methodenspezifische Gestaltungsempfehlungen für die Informationsmodellierung. Wiesbaden 1996.

Schmidt, U.: Angewandte Simulationstechnik für Produktion und Logistik. Dortmund 1997.

Schwermer, M.: Modellierungsvorgehen zur Planung von Geschäftsprozessen. Berlin 1998.

VDI-FML (Hrsg.): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen, VDI 3633 (Entwurf). Düsseldorf: Beuth 1996.

Voß, S.: Diskrete ereignisorientierte Simulation: Trends und Perspektiven. In: WISU, 70 (2001) 8-9, S. 1155-1161.

Weber, J.; Bacher, A.; Groll, M.: Steuerung der Supply Chain – aber mit welchen Instrumenten? Vallendar, 2003.