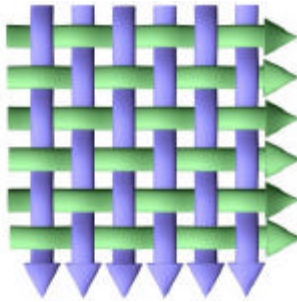


Sonderforschungsbereich 559

**Modellierung großer
Netze in der Logistik**



Technical Report 03020

ISSN 1612-1376

Entwicklung von Simulationsmodellen für die Analyse von Supply Chain-Strategien und -Strukturen im ProC/B- Paradigma

Teilprojekt A3:

Michael Kaczmarek

Universität Dortmund

Lehrstuhl Industriebetriebslehre

D-44221 Dortmund

Teilprojekt M1:

Marcus Völker

Universität Dortmund

Lehrstuhl Informatik IV

D-44221 Dortmund

Dortmund, 26. November 2003

1 Untersuchung von Supply Chain-Strategien und -Strukturen mit Hilfe von Simulationsmodellen

1.1 Gegenstand der Untersuchung

Im Rahmen dieses Berichtes soll ein Weg aufgezeigt werden, wie Supply Chain-Strategien und -Strukturen mit Hilfe von Simulationsmodellen analysiert und bewertet werden können. Bei der Analyse der Strategien und Strukturen sind die spezifischen Charakteristika einer Supply Chain zu berücksichtigen. Zu den Eigenschaften einer Supply Chain zählt u. a. die Komplexität, 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.¹ Die rechtliche Selbstständigkeit der an der Supply Chain beteiligten Unternehmen hat insbesondere für die Bewertung der Strategien eine große Bedeutung, denn es handelt sich bei den Unternehmen, um "selbstständige, eigenwirtschaftliche Einheiten, die jeweils verschiedenen Eigentümern und Kapitalgebern Rechenschaft abzulegen haben."² Konsequenz dieser Tatsache ist, dass es nicht nur eine gute Supply Chain-Lösung zu finden gilt, gleichzeitig müssen auch die mit dieser Lösung einhergehenden lokalen, d. h. akteurspezifischen Defizite identifiziert werden, um gegebenenfalls einen Ausgleich der Nachteile herbeiführen zu können.³ Weiterhin bereitet das Finden einer guten 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 beispielsweise der Abnehmer seine Bestellmengen absenkt und damit verbunden die Anzahl der Auftragsabwicklungs- und Transportprozesse beim Lieferanten steigt. Auf der anderen Seite kann bei einer Bestandsminimierung beim Lieferanten der Abnehmer gegenüber seinen Kunden in Lieferschwierigkeiten geraten, wenn durch diese Bestandsminimierung der Warennachschub nicht mehr sichergestellt ist.

Grundlage der Untersuchungen soll ein Simulationsmodell eines Vertriebsnetzwerkes sein, in dem die in Abbildung 1 dargestellten Vertriebswege modellierbar sind. Im Rahmen der Simulationsexperimente sollen zunächst ein zwei- und ein dreistufiger Vertriebsweg (vgl. Abbildung 1, Vertriebsweg 3 und 5) in den Supply Chain-Modellen hinterlegt werden. Der dreistufige Vertriebskanal ermöglicht hierbei Analysen, die über die übliche Betrachtung von zweistufigen Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen hinausgehen.

Anhand dieses Modells sollen die Auswirkungen alternativer Strategien und Strukturen analysiert werden. Für die Bewertung der Alternativen werden technische, logistische und ökonomische Kennzahlen herangezogen.

¹ Vgl. Scholz-Reiter (2001), S. 141.

² Baumgarten/Zadek (2002), S. 19.

³ Vgl. Baumgarten/Zadek (2002), S. 19.

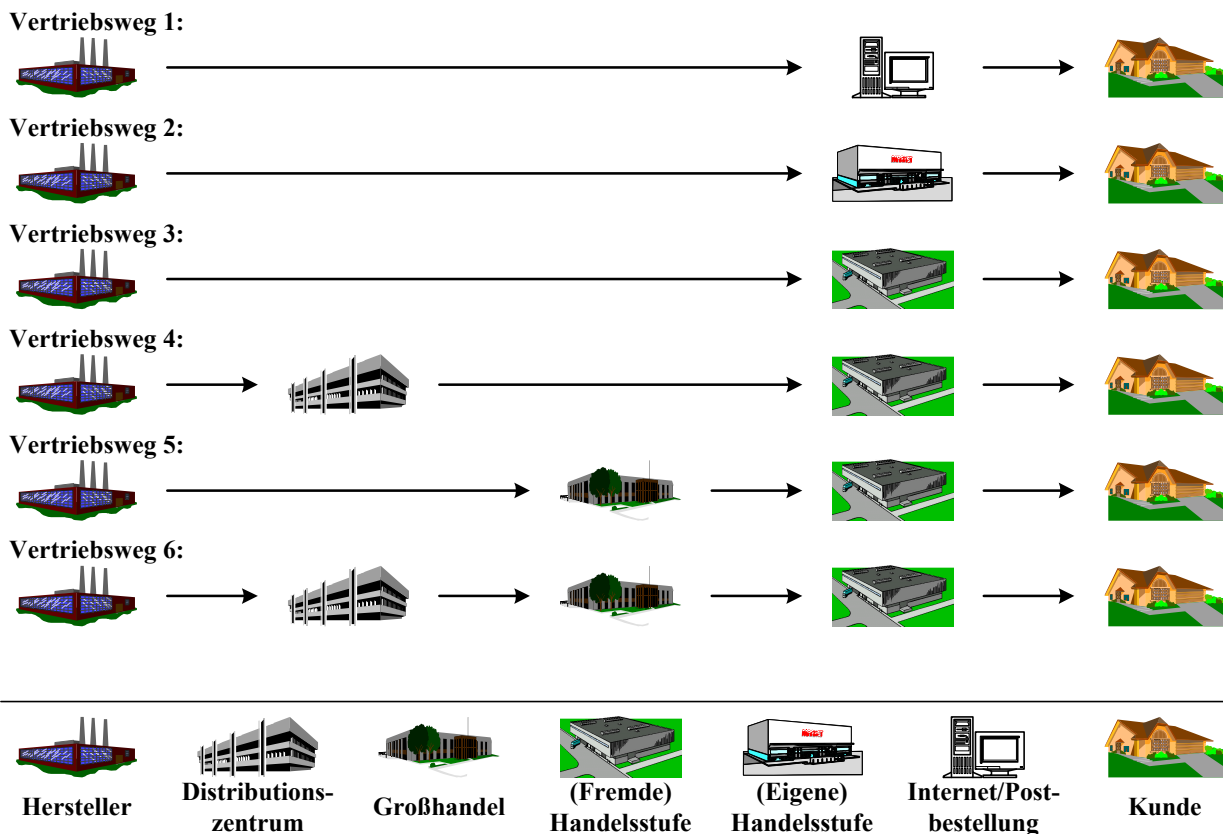


Abbildung 1: Übersicht über alternative Vertriebswege⁴

1.2 Zielsetzungen

Zwischen den unterschiedlichen Stufen des Vertriebsnetzwerkes werden Waren ausgetauscht. Supply Chain-Strategien stellen ein Regelwerk bereit, mit dessen Hilfe die zwischen den Akteuren ablaufenden Material- und Informationsflüsse gesteuert werden. Die Strategien unterscheiden sich hinsichtlich der Verantwortlichkeit für die Abwicklung der Prozesse, der Überprüfungs- bzw. Bestellzeitpunkte und der Bestellmengen. Weiterhin führen diese Strategien zu unterschiedlichen Lagerbeständen und Ressourcenauslastungen in der Supply Chain. Hierdurch werden im unterschiedlichen Maße (Logistik-)Kosten verursacht. Mit Hilfe eines Simulationsmodells und Simulationsexperimente sollen die Auswirkungen der verschiedenen Strategien gemessen werden.

Weiterhin sollen exemplarisch unterschiedliche Supply Chain-Strukturen simuliert und mit Hilfe von Kennzahlen bewertet werden. Hierfür ist ein Simulationsmodell erforderlich, das eine hohe Flexibilität hinsichtlich der modellierbaren Supply Chain Strukturen aufweist. So müssen die Anzahl der Supply Chain-Stufen und die Anzahl der Akteure auf den jeweiligen Stufen variierbar sein.

⁴ In Anlehnung an Aliche (2003), S. 75.

1.3 Untersuchungsaufbau

1.3.1 Untersuchungsannahmen

Die nachfolgenden Annahmen liegen der Studie zugrunde:

- (1) Es erfolgt eine Fokussierung auf die Vertriebsseite einer Supply Chain (Downstream-Supply Chain).
- (2) Es wird unterstellt, dass das Zulieferernetzwerk und die Fertigung des OEM so optimiert sind, dass keine Engpässe hinsichtlich der Warenverfügbarkeit im Fertigwarenlager des OEM auftreten.
- (3) Die vom Kunden nachgefragte Menge kann seitens der Einzelhändler nur komplett abgegeben werden. Teillieferungen sind nicht vorgesehen.
- (4) Großhändler liefern, falls die Bestellmenge der Einzelhändler den eigenen Lagerbestand übersteigt, den verfügbaren Lagerbestand aus, um so die Lieferbereitschaft der Einzelhändler aufrechtzuerhalten.
- (5) Es werden bei jedem Akteur die Nachfragedaten der letzten 6 Perioden mitgehalten. Die Periodenlänge beträgt 1 Monate.

1.3.2 Akteursbeschreibungen

Der Groß- und Einzelhandel ist für die Verteilung und den Verkauf von Waren verantwortlich. Der Tätigkeitsbereich des Handels wird durch die *European Logistics Association (ELA)* wie folgt definiert:

„A business that does not manufacture its own products but purchase and resells these products usually maintaining a finished goods inventory“⁵

Die Materialflussaktivitäten beim Handel sind in den Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

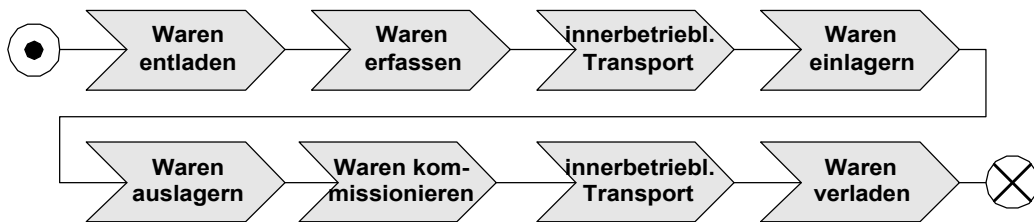


Abbildung 2: Materialfluss bei einem Großhändler⁶



Abbildung 3: Materialfluss bei einem Einzelhändler⁷

Bei den Groß- und Einzelhändlern sind gegebenenfalls Restriktionen zu berücksichtigen. Hierzu zählen:

- eine Mindestbestellmenge,
- ein Mindestbestand,
- ein Maximalbestand,
- eine maximale Bestandsreichweite und
- der verfügbare Lagerplatz.

Die nachfolgende Abbildung enthält Daten bezüglich der Zeitverzögerungen in der Supply Chain. Betrachtet werden sollen nicht alle möglichen, sondern nur ausgewählte Zeitverzögerungen.

⁵ ELA (1994), S. 46.

⁶ Bei dem Bereitstellverfahren ändert sich der Materialfluss geringfügig (vgl. Abbildung 14).

⁷ Bei dem Bereitstellverfahren ändert sich der Materialfluss geringfügig (vgl. Abbildung 14).

Produzent		Großhändler			Einzelhändler
kommissionieren	transportieren	annehmen	kommissionieren	transportieren	annehmen
1 Std.	48 Std.	1 Std.	30 Min.	24 Std.	30 Min.

Wiederbeschaffungszeit Großhändler

 Wiederbeschaffungszeit Einzelhändler

Abbildung 4: Zeitverzögerungen

Die Zeitverzögerungen sind nicht konstant, sondern unterliegen einer Normalverteilung. Der angegebene Wert stellt den Mittelwert dar. Die Standardabweichung beträgt 20 %.

1.3.3 Historische Nachfragedaten

Für die Bestimmung der dynamischen Meldemenge, der optimalen Bestellmenge und der kostenoptimalen Bestellmenge werden historische Nachfragedaten der Akteure benötigt (Kapitel 1.3.5).

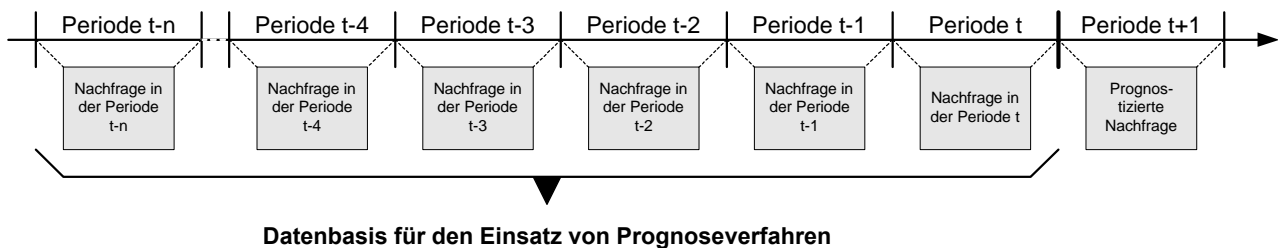


Abbildung 5: Historische Daten

Die Nachfragedaten der vergangenen Perioden (Abbildung 5) liefern die Grundlage für die Bestimmung der mittleren Nachfrage und der Standardabweichung der Nachfrage sowie für den Einsatz weiterer in Kapitel 1.3.4 beschriebener Prognoseverfahren.

Die sinnvolle Anzahl der Perioden und die Periodenlänge sind abhängig von unterschiedlichen Faktoren wie z. B. den Nachfrageverlauf, der Branche, dem Produktlebenszyklus usw. Hier sollen entsprechende Annahmen getroffen werden.

1.3.4 Prognoseverfahren

1.3.4.1 Gleitender Mittelwert

Bei dem gleitenden Mittelwert wird für einen festgelegten Vergangenheitszeitraum, z. B. 6 Monate, der durchschnittliche Verbrauchswert bestimmt. Ziel ist hierbei die Ausschaltung von Unregelmäßigkeiten bei den Verbrauchswerten der letzten Perioden.⁸ Von einem gleitenden Mittelwert spricht man, weil eine rollierende Planung vorliegt.

Die Formel lautet:

$$PW_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}$$

Dabei bedeuten:

PW_{t+1} = Prognosewert für die Periode t+1 (Mittelwert der Verbrauchswerte der n Perioden),

n = Anzahl der Perioden und

r_i = Verbrauchswert der Periode t.

⁸ Vgl. Bartsch/Bickenbach (2001), S. 138.

1.3.4.2 Gewichteter gleitender Mittelwert

Die Berechnung des gewichteten gleitenden Mittelwertes unterscheidet sich von der Berechnung des gleitenden Mittelwerts dahingehend, dass den Verbrauchswerten aus der Vergangenheit zusätzlich noch ein Gewichtungsfaktor zugewiesen wird. Dadurch wird es möglich gegenwartsnahe Vergangenheitswerte mit einem höheren Gewicht zu versehen, als weiter zurückliegende.

Die Formel zur Berechnung des gewichteten gleitenden Mittelwertes lautet:

$$PW_{t+1} = \frac{\sum_{t=1}^n g_t * r_t}{n}$$

Dabei bedeuten:

PW_{t+1} = Prognosewert für die Periode t+1 (gewichteter Mittelwert der Verbrauchswerte der n Perioden),

n = Anzahl der Perioden,

r_t = Verbrauchswert der Periode t und

g_t = Gewichtungsfaktor der Periode t.

1.3.4.3 Exponentielle Glättung 1. Ordnung

Grundgedanke der exponentiellen Glättung 1. Ordnung ist die Einbeziehung von Verbrauchswerten aus der Vergangenheit bei der Prognose des zukünftigen Verbrauchswertes.

Die Formel für die exponentielle Glättung 1. Ordnung lautet:

$$PW_{t+1} = \alpha * r_t + (1 - \alpha) * PW_t$$

Dabei bedeuten:

PW_{t+1} = Prognosewert für die neue Periode t+1,

PW_t = Prognosewert für die laufende Periode t,

α = Glättungsfaktor und

r_t = tatsächlicher Verbrauch in der laufenden Periode t.

Die möglichen Werte für den Glättungsfaktor α liegen zwischen 0 und 1. Für normalverteilt schwankende Verbrauchswerte ist ein α -Wert zwischen 0,1 und 0,2 zu wählen, bei saisonal schwankenden Verbrauchswerten ein α -Wert zwischen 0,3 und 0,5.⁹

1.3.5 Bestimmung von Melde- und Bestellmengen

Die Meldemenge kann entweder über den gesamten Zeitraum statisch, d. h. sie verändert sich während der Simulation nicht, oder dynamisch, d. h. sie wird während der Simulation immer wieder neu berechnet, sein.

Die optimale Höhe dieser **statischen Meldemenge** kann mit Hilfe von Simulationsläufen ermittelt werden. Bei einer zyklisch oder saisonal stark schwankenden Kundennachfrage kann sich eine statische Meldemenge allerdings als ungeeignet erweisen.

Die **dynamische Meldemenge** wird bei jeder Überprüfung neu berechnet (Abbildung 7). Der jeweils erste Teil der Formel (L_{konst} bzw. $L_{\text{AVG}} * N_{\text{AVG}}$) beschreibt den Verbrauch in der Wiederbeschaffungszeit und der hintere Teil der Formel den notwendigen Sicherheitsbestand, um den geforderten Lieferbereitschaftsgrad

⁹ Jehle (1999), S. 48.

sicherzustellen.¹⁰ Die durchschnittliche Nachfrage lässt sich auf Grundlage historischer Nachfragedaten berechnen.¹¹ Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass die durchschnittliche Nachfrage und die Lieferzeit bzw. Wiederbeschaffungszeit dieselbe Basiszeiteinheit z. B. Stunden haben. Der Sicherheitsfaktor z ergibt sich durch die inverse Standardnormalverteilung.¹² Einen Überblick über die Werte des Sicherheitsfaktors z bei ausgewählten Lieferbereitschaftsgraden zeigt Abbildung 6.

Lieferbereitschaftsgrad	Sicherheitsfaktor z
50,0 %	0,00
80,0 %	0,84
85,0 %	1,04
90,0 %	1,28
95,0 %	1,64
98,0 %	2,05
99,0 %	2,33
99,9 %	3,09

Abbildung 6: Überblick über ausgewählte Sicherheitsfaktoren z

Der erwartete Verbrauch in der Wiederbeschaffungszeit lässt sich mit Hilfe der in Kapitel 1.3.4 beschriebenen Prognoseverfahren bestimmen. Weiterhin ist bei einem kontinuierlichen und vor allem konstanten Nachfrageverlauf eine Übernahme von Vergangenheitswerten möglich.

Hinsichtlich der Bestellmenge existieren drei relevante Alternativen:

1. Auffüllung des Lagers bis zum Maximal- bzw. Sollbestand
2. Bestellung einer fixen Menge
3. Bestellung der optimalen Bestellmenge nach *Simchi-Levi/Kaminsky/Simchi-Levi*¹³

Bei der Auffüllung des Lagers bis zum Maximal- bzw. Sollbestand ist die Bestellmenge variabel. Es wird die Differenz zwischen dem aktuellen Lagerbestand und dem Maximal- bzw. Sollbestand bestellt .

Bei der zweiten Alternative wird die Bestellmenge vorab festgelegt. Allerdings birgt diese Alternative die Gefahr, dass durch eine zu hoch festgelegte Bestellmenge die Performance des System beeinträchtigt wird. Empfehlenswert ist eine vorherige Festlegung der Bestellmenge nur, wenn diese durch gezieltes Experimentieren auf ihre Korrektheit und Angemessenheit hin überprüft wird.

Simchi-Levi/Kaminski/Simchi-Levi nutzen bei der Berechnung der Bestellmenge eine modifizierte Form des klassische Modells zur Bestimmung der optimalen Bestellmenge x_{opt} (Abbildung 7).

Bei der kooperativen Bestellmenge berücksichtigt beispielsweise das bestellende Unternehmen bei der Wahl der Bestellmenge (x_{koop}) nicht nur eigene Daten bzw. Kosten, sondern auch die Kostengrößen, die im Zusammenhang mit der Bestellung beim Lieferanten anfallen (Abbildung 7).¹⁴ Hierbei handelt es sich im

¹⁰ Vgl. zu den folgenden Ausführungen *Simchi-Levi/Kaminsky/Simchi-Levi* (2003), S. 47-66. Eine ähnliche Vorgehensweise bei der Berechnung der dynamischen Meldemenge unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbestandes in Abhängigkeit von der geforderten Lieferbereitschaft wird beschrieben in: Gudehus (2000), S. 296-301.

¹¹ Vgl. Kapitel 1.3.3.

¹² Vgl. Gudehus (2000), S. 297.

¹³ Vgl. *Simchi-Levi/Kaminsky/Simchi-Levi* (2003), S. 47-66.

¹⁴ Der Grundgedanke der hier dargestellten kooperativen Bestellmenge findet sich in Gudehus (2000), S. 293.

Wesentlichen um die Auftragsabwicklungs-, Kommissionier- und Transportkosten des Lieferanten. Diese Kosten werden in die oben vorgestellte Formel zur Bestimmung der optimalen Bestellmenge integriert. Dieses Vorgehen soll, ähnlich wie beim Joint Economic Lot Size-Modell (JELS-Modell), zur Wahl einer Bestellmenge führen, die eine kosteneffiziente bilaterale Bestellabwicklung ermöglicht.

Dynamische Meldemenge:	
$MM_{\text{dynamisch}} = L_{AVG} * N_{AVG} + z * \sqrt{L_{AVG} * N_{STD}^2 + N_{AVG}^2 * L_{STD}^2}$	
Optimale Bestellmenge:	
$x_{opt} = \sqrt{\frac{200 \times (K_{Best} + K_{Wurf}) \times N_{AVG}}{w \times K_{LuZ}}}$	
Kooperative Bestellmenge:	
$x_{koop} = \sqrt{\frac{200 \times (K_{Best} + K_{Wurf} + K_{Trans} + K_{Kom} + K_{Auf}) \times N_{AVG}}{w \times K_{LuZ}}}$	
Gesamte Bestellmenge:	
$BM = \max\{x_{opt}, x_{koop}\} * L_{AVG} * N_{AVG} + z * \sqrt{L_{AVG} * N_{STD}^2 + N_{AVG}^2 * L_{STD}^2}$	
Legende:	<ul style="list-style-type: none"> L_{AVG} = Durchschnittliche Wiederbeschaffungszeit L_{STD} = Standardabweichung der Wiederbeschaffungszeit N_{AVG} = Durchschnittliche Nachfrage N_{STD} = Standardabweichung der Nachfrage z = Sicherheitsfaktor K_{Best} = Bestellkosten K_{Wurf} = Warenerfassungskosten K_{LuZ} = Lager- und Zinskosten K_{Trans} = Transportkosten K_{Kom} = Kommissionierkosten K_{Auf} = Auftragsabwicklungskosten w = Einstandspreis

Abbildung 7: Relevante Formeln für den Einsatz von Supply Chain-Strategien

1.3.6 Experimenttopologie und Systemlast

Der Untersuchung von Strategien, die den Warenaustausch entlang der Supply Chain steuern, soll die in Abbildung 8 dargestellte Vertriebsstruktur zugrunde gelegt werden. Auf Basis dieser Struktur sollen sowohl Strategien, die auf traditionelle Weise den Warenaustausch zwischen den Akteuren steuern, als auch kooperative Strategien untersucht werden. Mit Hilfe des traditionellen Szenarios sollen die Leistungsfähigkeit der Strategien ermittelt werden, bei denen eine traditionelle Zusammenarbeit¹⁵ zwischen den Akteuren stattfindet. Die erzielten Ergebnisse dienen als Benchmark für kooperative Szenarien. In diesen Szenarien soll dann untersucht werden, ob kooperative Strategien gegenüber den traditionellen Strategien sowohl für die gesamte Supply Chain als auch für jeden einzelnen Akteur Vorteile bringen.

Die Supply Chain-Topologie besteht aus einem Produzenten (OEM) dem zwei Großhändler (GH₁ und GH₂) und zwei Einzelhändler (EH₁ und EH₂) zugeordnet sind. Den Großhändlern wiederum sind jeweils 5 Einzelhändler (GH₁ → EH₃ bis EH₆; GH₂ → EH₇ bis EH₁₀) zugeordnet.

¹⁵ Vgl. Schönsleben (2000), S. 48-50.

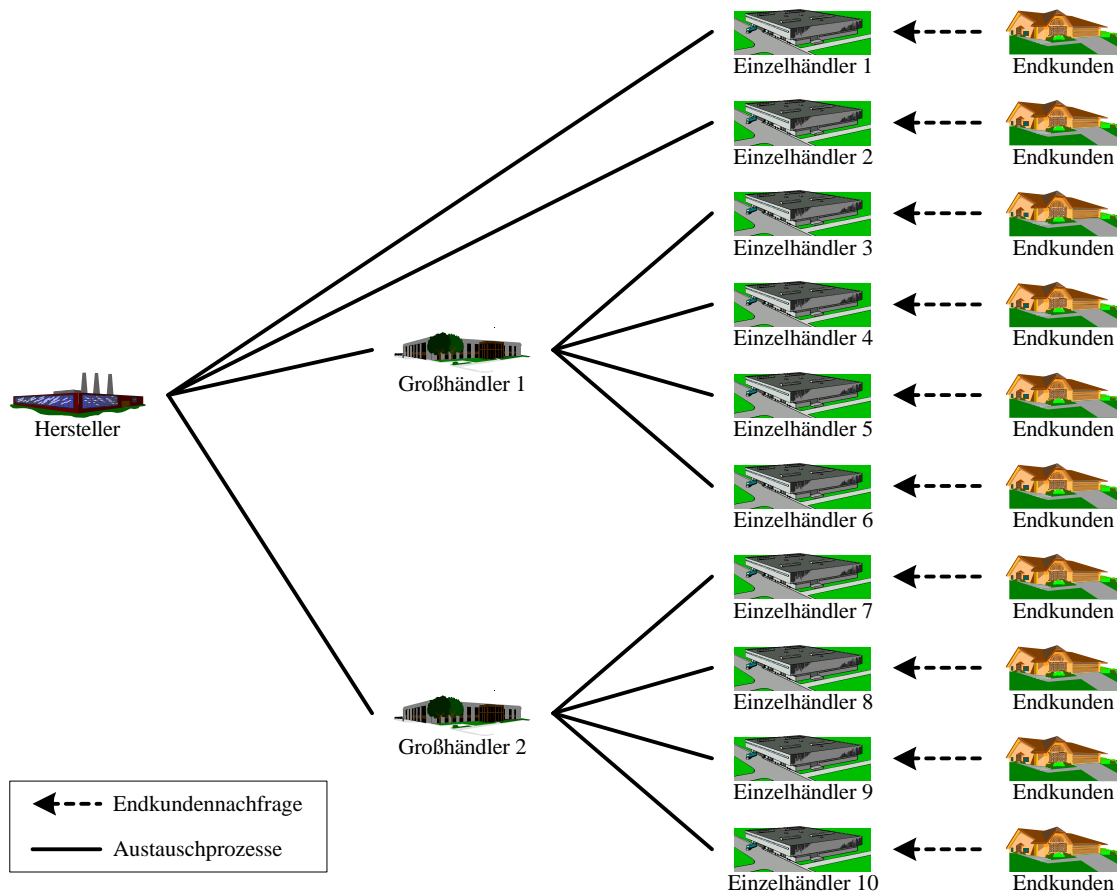


Abbildung 8: Supply Chain-Experimenttopologie

Die Nachfrage der Endkunden stellen die Systemlast der Modelle dar. Um unterschiedliche Nachfrageverhalten der Endkunden nachzubilden zu können, müssen sowohl die Kundenankunftsrate als auch die Nachfragemenge individuell, d. h. für jeden Einzelhändler separat einstellbar sein. Mit Hilfe dieser beiden Parameter ist es möglich, unterschiedliche Nachfrageverläufe (konstanter Verlauf, Trendverlauf, saisonaler Verlauf usw.) nachzubilden.

1.4 Bewertung von Simulationsexperimenten

Zentrale technische Ergebnisgrößen sind die aktorenspezifischen Lagerbestände und Ressourcenauslastungen sowie die Anzahl der Prozessaufrufe. Für eine umfassende Bewertung der Alternativen ist aber ein Vergleich des Gesamtbestandes oder der Gesamtauslastung der Ressourcen in der Supply Chain nicht ausreichend. Vielmehr ist eine Bewertung dieser technischen Größen mit ökonomischen Größen und eindeutige Zuordnung dieser Größen zu den jeweiligen Akteuren erforderlich (Abbildung 9).

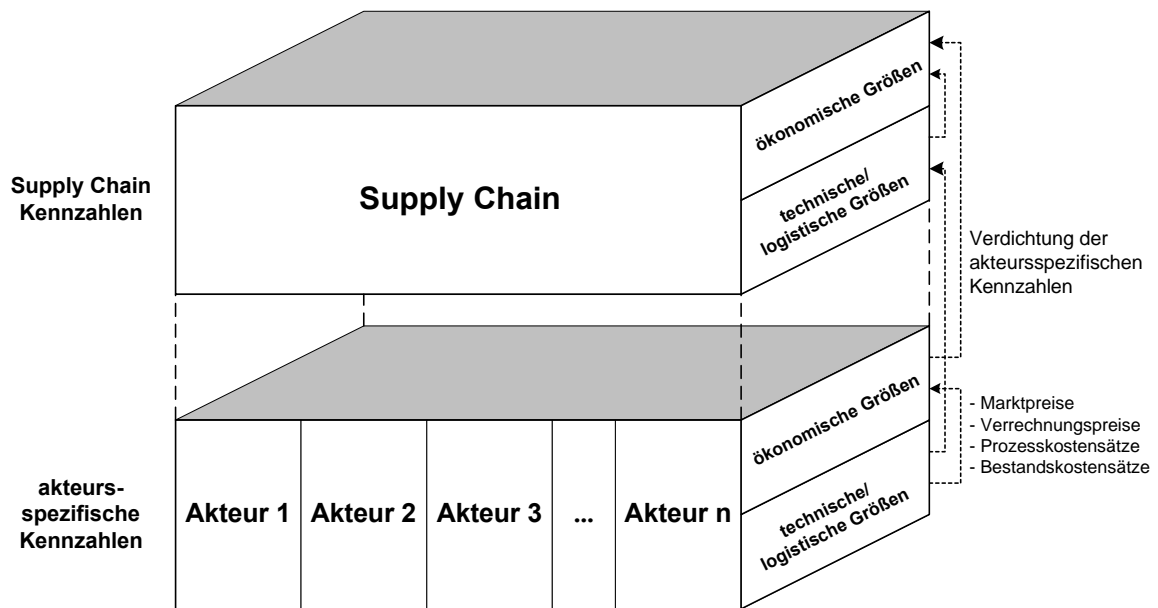


Abbildung 9: Systematik zur Aufbereitung der Simulationsergebnisse¹⁶

Der Vergleich der unterschiedlichen Szenarien soll anhand der in Abbildung 10 dargestellten Ergebnisgrößen erfolgen. Die fett gedruckten Ergebnisgrößen, werden dabei direkt durch die Simulation gewonnen. Die anderen Ergebnisgrößen werden auf Grundlage der direkt simulierten Größen durch Berechnungen gewonnen. Für diese Berechnungen sind weitere Inputdaten, wie z. B. Kostensätze erforderlich. Auch der Ressourcenbedarf der einzelnen Prozesse (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3) lässt sich auf Grundlage der durch Simulation ermittelten Ergebnisse berechnen. Weiterhin können durch Annahmen hinsichtlich des Verkaufspreises bzw. SC-interner Verrechnungspreise Aussagen über die Erlöse (Umsatz, Gewinn) der Akteure getätigt werden.

Szenario/Akteur	Ergebnisgrößen	
	technisch/logistisch	ökonomisch
Szenario	<ul style="list-style-type: none"> • mittlerer Supply Chain-Bestand • mittlere Gesamtanzahl an Transporten 	<ul style="list-style-type: none"> • Supply Chain-Gesamtkosten • Supply Chain-Transportkosten • Supply Chain-Lagerkosten • Supply Chain-Auftragsabwicklungskosten
Produzent	<ul style="list-style-type: none"> • mittlerer Auftragseingang • Stdw Auftragseingang • mittlere Anzahl an Transporten 	<ul style="list-style-type: none"> • Transportkosten • Auftragsabwicklungskosten
Großhändler/ Einzelhändler	<ul style="list-style-type: none"> • mittlerer Lagerbestand • Stdw Lagerbestand • Anteil Out-of-Stock-Zeiten • mittlerer Auftragseingang • Stdw Auftragseingang • Lagerumschlagshäufigkeit • mittlere Bestell- bzw. Liefermenge • Stdw Bestell- bzw. Liefermenge • Lieferbereitschaftsgrad • mittlere Anzahl an Transporten 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtkosten • Transportkosten • Lagerkosten • Auftragsabwicklungskosten • Kosten pro ausgelieferter Einheit

Abbildung 10: Ergebnisgrößen

¹⁶ Vgl. Kaczmarek (2002).

2 Beschreibung von ausgewählten Supply Chain-Strategien

2.1.1 Traditionelle Strategien

Beim traditionellen Szenario sollen drei Strategien in das Modell des Vertriebsnetzwerkes implementiert werden. Hierzu zählen:

- das Meldebestandsverfahren,
- das Zykluszeitverfahren und
- das Bereitstellverfahren.

2.1.1.1 Meldebestandsverfahren

Der Ablauf bei dem Meldebestandsverfahren (Bestellpunktverfahren) ist der Folgende (Abbildung 11): Zunächst wird die vom Kunden nachgefragte Menge, falls ein entsprechender Lagerbestand vorhanden ist, ausgeliefert. Anderenfalls wird die entgangene Menge dokumentiert. Im Anschluss daran wird überprüft, ob der neue Lagerbestand kleiner oder gleich der Meldemenge ist. In diesen Fall wird eine Bestellung generiert. Die beiden wesentlichen strategischen Parameter bei diesem Verfahren sind die Melde- und die Bestellmenge. Nach einer Zeitverzögerung erfolgt die Annahme der Lieferung.

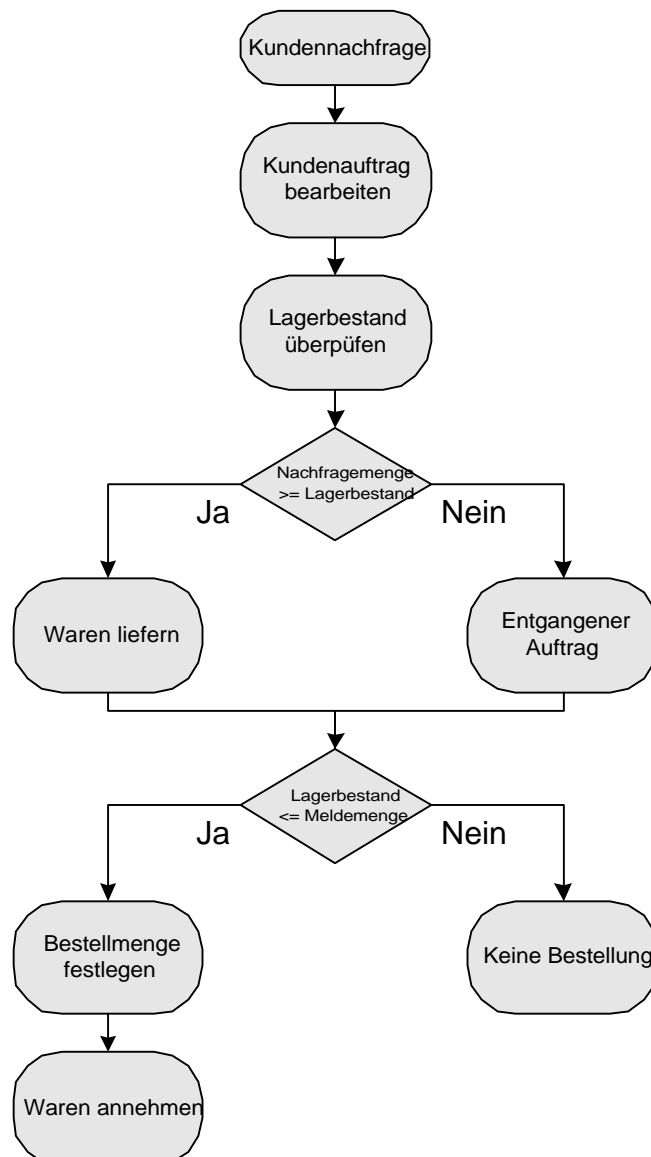


Abbildung 11: Ablaufschema beim Meldebestandsverfahren

2.1.1.2 Zykluszeitverfahren

Das Zykluszeitverfahren (Bestellrhythmusverfahren) ist dadurch gekennzeichnet, dass zu fest definierten regelmäßigen Zeitpunkten eine Bestellung bzw. bei einer zusätzlichen Berücksichtigung einer Meldemenge eine Überprüfung der Bestellnotwendigkeit erfolgt (Abbildung 12). Wird bei dem Verfahren keine Meldemenge berücksichtigt, dann wird zu den definierten Zeitpunkten eine Bestellung generiert. Die Bestellmenge kann hierbei auf die in Kapitel 1.3.5 vorgestellten Arten bestimmt werden. Aus ökonomischer Sicht ist allerdings das Zykluszeitverfahren ohne eine zusätzliche Meldemengenprüfung kritisch zu hinterfragen, weil hierdurch bei einer entsprechenden Nachfrage viele kleinvolumige Bestellungen generiert werden können, die vergleichsweise hohe Auftragskosten verursachen.¹⁷

Empfehlenswert ist das Zykluszeitverfahren in der Regel nur, wenn es mit einer Meldebestandsprüfung gekoppelt ist. Hierbei wird nur dann eine Bestellung ausgelöst, wenn der aktuelle Lagerbestand kleiner gleich der Meldemenge ist oder die Meldemenge bis zum nächsten Überprüfungszeitpunkt wahrscheinlich erreicht bzw. unterschritten sein wird.¹⁸ Die Bestellmenge wird auf den in Kapitel 1.3.5 vorgestellten Arten bestimmt.

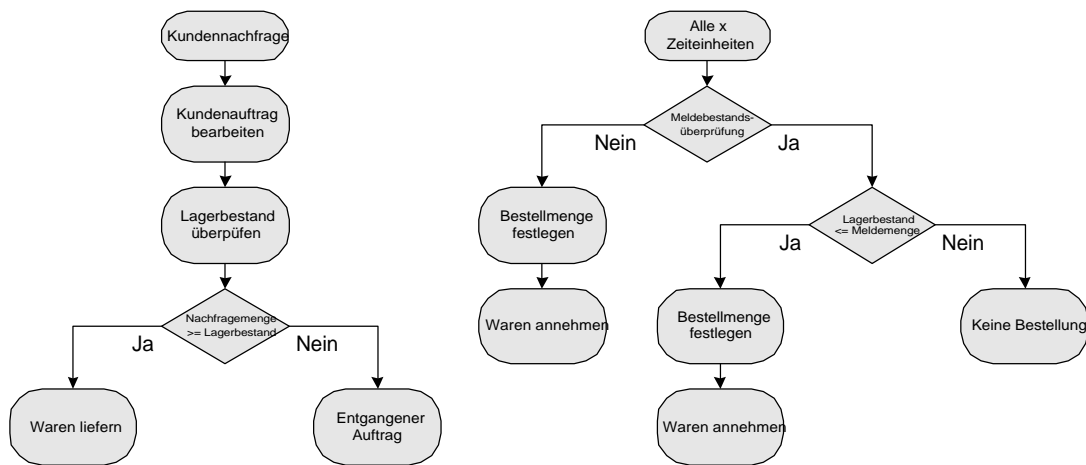


Abbildung 12: Ablaufschema beim Zykluszeitverfahren

2.1.1.3 Bereitstellverfahren

Das Bereitstellverfahren basiert auf dem Kanban-Prinzip und ist durch eine Art Selbstregelung gekennzeichnet. Der Materialfluss beim Bereitstellverfahren ist in Abbildung 13 skizziert.

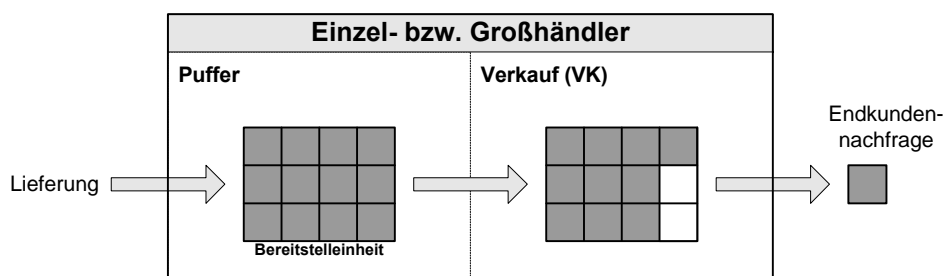


Abbildung 13: Materialfluss beim Bereitstellverfahren

Das Bereitstellverfahren läuft wie folgt ab (Abbildung 14): Die eingehenden Kundenaufträge werden erfasst und bearbeitet. Wenn ein entsprechender Bestand im Verkauf verfügbar ist, dann erfolgt eine Lieferung bzw. Abgabe der geforderten Anzahl an Waren. Im Anschluss daran erfolgt eine Überprüfung, ob sich im Verkauf noch Waren befinden. Ist dieses nicht der Fall, dann werden die Waren aus dem Puffer in den Verkauf gebracht. Der Lieferant erhält eine Benachrichtigung, dass eine Bereitstelleinheit geliefert werden muss. Wenn die Nachfragemenge den aktuellen Bestand im Verkauf übersteigt, dann wird auf den Puffer-

¹⁷ Vgl. Gudehus (2001), S. 5.

¹⁸ Zur Bestimmung des Meldebestandes vgl. Kapitel 1.3.5.

bestand zurückgegriffen. Reicht dieser ebenfalls nicht aus, um die Nachfrage zu decken, dann kann der Auftrag nicht erfüllt werden. Für den Fall das auf den Pufferbestand zurückgegriffen wurde, wird der verbliebene Pufferbestand im Anschluss in den Verkauf transportiert. Der Lieferant wird mit der Wiederauffüllung beauftragt.

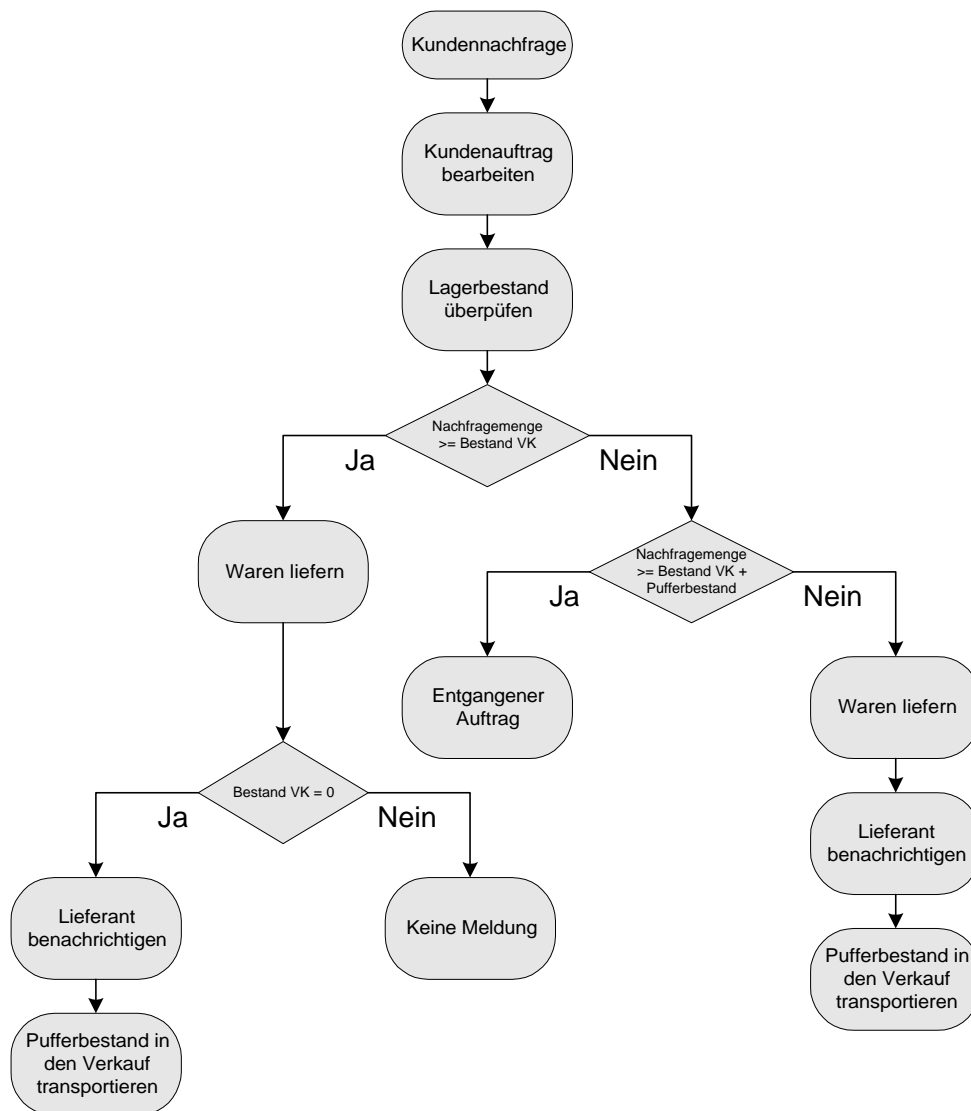


Abbildung 14: Ablaufschema beim Bereitstellverfahren

Eine Wiederauffüllung des Puffers durch den Lieferanten erfolgt bei diesem Verfahren dann, wenn der Pufferbestand in den Verkauf überführt wird.

Die Hauptprobleme beim Bereitstellverfahren sind die optimale Dimensionierung der Bereitstellereinheit und die evtl. unzureichende Flexibilität bei stark schwankenden Nachfrageverläufen.

2.1.2 Kooperatives Szenario

Das kooperative Szenario ist gegenüber dem zuvor beschriebenen traditionellen Szenario durch eine auf dem Gedanken der Kooperation basierende Zusammenarbeit zwischen den Akteuren gekennzeichnet. Die Kooperation kommt in einem weitreichenden Informationsaustausch unter den Akteuren zum Ausdruck.

2.1.2.1 Echelon-Inventory-Strategie

Das Ziel der Echelon-Inventory-Strategie ist die Minimierung der systemweiten Kosten. Sie unterscheidet sich dadurch grundlegend von den in Kapitel 2.1.1 vorgestellten Strategien, in deren Mittelpunkt die isolierte Minimierung der individuellen Kosten der einzelnen Akteure stand.

Die Echelon-Inventory-Strategie geht von folgenden zwei Annahmen aus:

1. Die Bestandsentscheidungen werden von einem einzelnen Entscheidungsträger getroffen, der das Ziel der Minimierung der systemweiten Kosten verfolgt.
2. Der Entscheidungsträger verfügt über Bestands- bzw. Nachfrageinformationen von jedem beteiligten Akteur.

Der Grundgedanke der Echelon-Inventory-Strategie ist in Abbildung 15 skizziert.

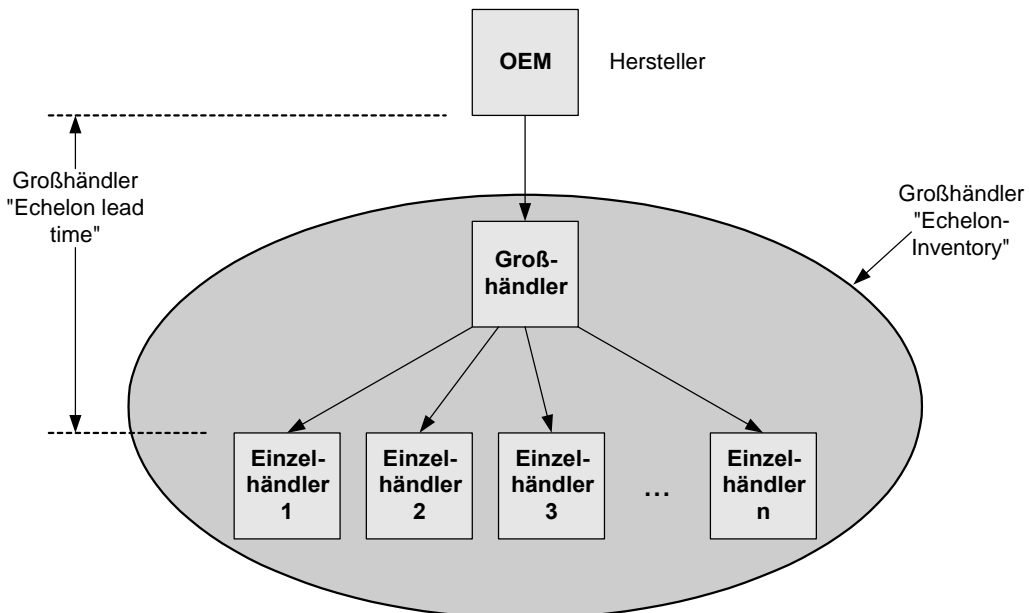


Abbildung 15: Systematik der Echolon-Inventory-Strategie¹⁹

In Abbildung 16 ist der Ablauf der Echelon Inventory Strategie skizziert.

¹⁹ In Anlehnung an Simchi-Levi/Kaminsky/Simchi-Levi (2003), S. 68.

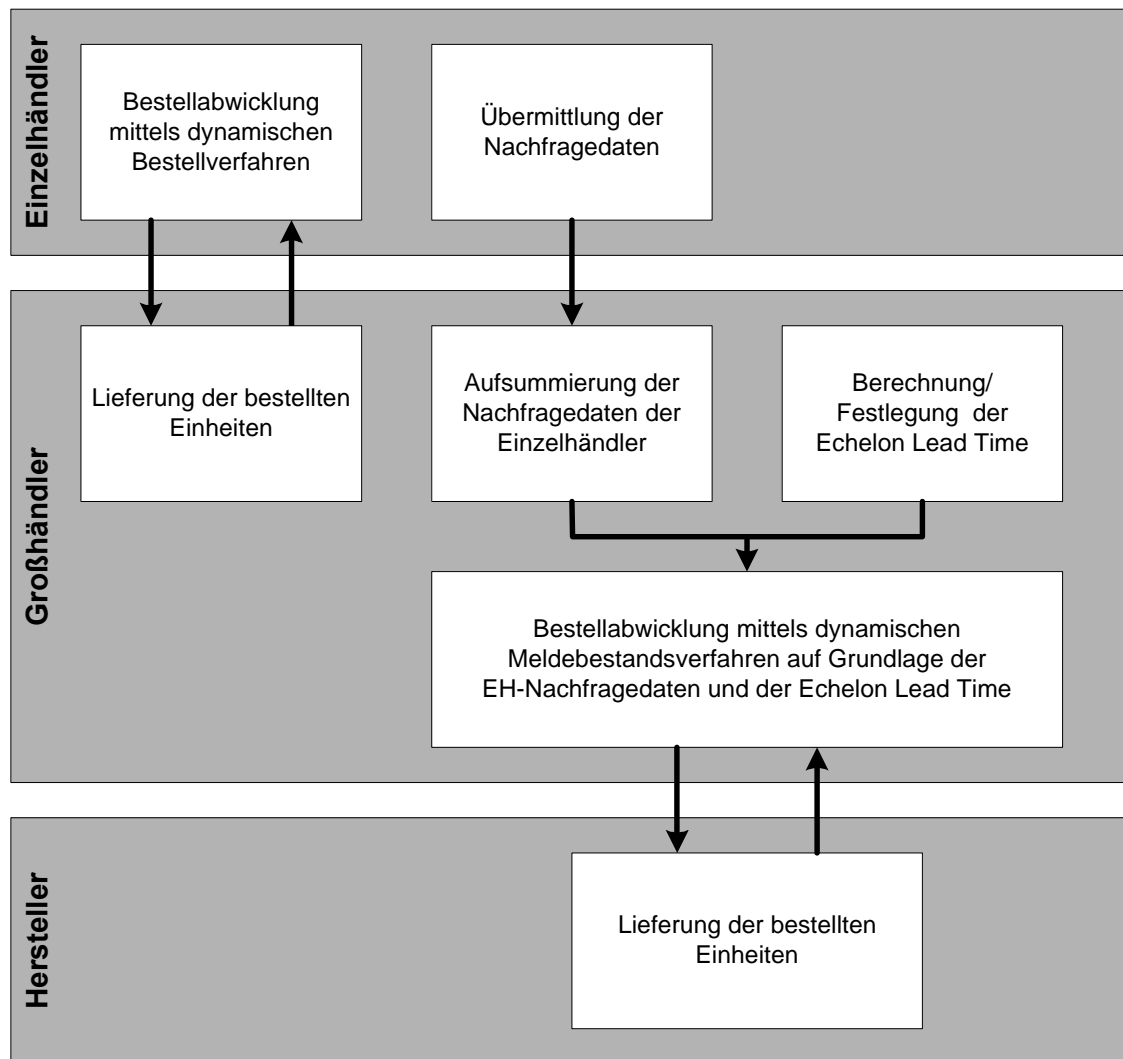


Abbildung 16: Ablauf der Echelon Inventory Strategie²⁰

Der Meldebestand wird wie folgt berechnet:

$$MB = L^e * N_{AVG}^R + z * N_{STD}^R * \sqrt{L^e}$$

Hierbei bedeuten:

L^e = „Echelon lead time“ (Abbildung 15)

N_{AVG}^R = mittlere Nachfrage aller Einzelhändler

N_{STD}^R = Standardabweichung der mittleren Nachfrage

Wenn der Meldebestand erreicht ist, erfolgt eine Wiederauffüllung bis zum (dynamischen) Sollbestand.

2.1.2.2 Kostenoptimale Nachschubmenge nach Gudehus²¹

Das nachfolgend dargestellte Verfahren basiert auf das in Kapitel 2.1.1.1 beschriebenen Meldebestandsverfahren. Der Unterschied zu den dortigen Ausführungen besteht in der Bestimmung der Bestellmenge. Anstelle der optimalen Bestellmenge wird die kooperative Bestellmenge²² gewählt. Somit gehen bei der

²⁰ Kaczmarek (2003), S. 17.

²¹ Siehe Gudehus (2000), S. 293.

²² Vgl. Kapitel 1.3.5.

Bestellmengenbestimmung nicht nur Informationen des bestellenden Akteurs sondern auch Kosteninformationen des Lieferanten ein. Um diesen praktisch realisieren zu können, müssen die Akteure ihre Kostenstrukturen gegenüber den anderen Akteuren der Supply Chain offen legen.

2.1.2.3 Vendor Managed Inventory (VMI)

Beim Vendor Managed Inventory bekommt der Lieferant die Verantwortung und die Kompetenz für die Bestandsführung des Kundenlagers übertragen.²³ Beim Erreichen eines definierten Meldebestandes sorgt der Lieferant automatisch für den Warennachschub der Kunden. Je nach Ausgestaltung des VMI können ein Mindest-, Höchst- und/oder Sicherheitsbestand festgelegt sein.²⁴ Voraussetzung für ein funktionierendes VMI ist eine Übermittlung der aktuellen Point-of-Sales-Daten (POS-Daten) seitens des Kunden an den Lieferanten, der diese als Entscheidungsgrundlage für seine Lieferungen und seinen eigenen Warennachschub nutzt.

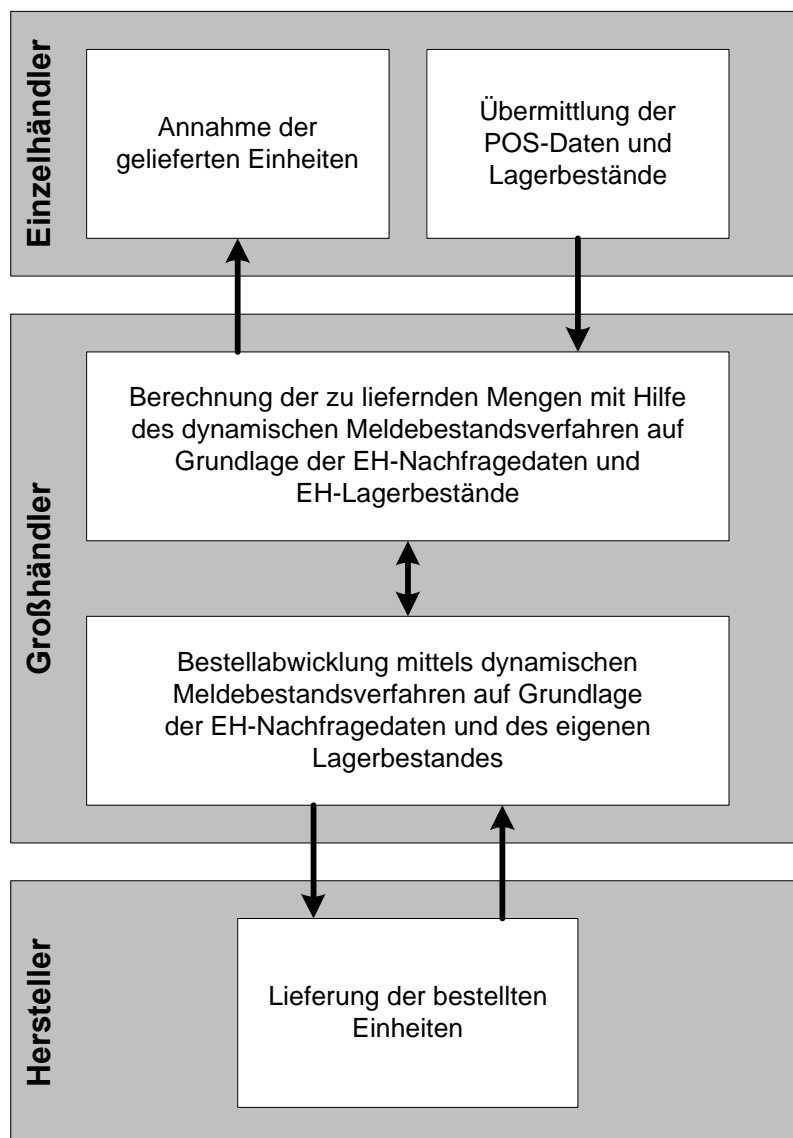


Abbildung 17: Ablaufplan des Vendor Managed Inventory²⁵

²³ Vgl. Bause/Kaczmarek (2001); Christopher (1998); Kaipia/Holmström (2000); Tanskanen Kaipia/Holmström/Tanskanen (2000).

²⁴ Vgl. Werner (2000), S. 55.

²⁵ Vgl. Kaczmarek (2003), S. 21.

Der Vorteil dieser Strategie ist, dass der Lieferant durch die Übermittlung der aktuellen Verkaufszahlen eine erhöhte Transparenz hinsichtlich der Nachfrage auf den vorgelagerten Stufen erhält und so besser die Warenversorgung seiner Kunden planen kann. Die Kunden haben den Vorteil, dass die Generierung von Bestellaufträgen entfällt und sich die Warenannahme und -einlagerung je nach Ausgestaltung des VMI vereinfacht.

2.2 Zeitverzögerungen in der Supply Chain

Die nachfolgende Abbildung enthält Daten bezüglich der Zeitverzögerungen in der Supply Chain. Betrachtet werden sollen nicht alle möglichen, sondern nur ausgewählte Zeitverzögerungen.

Produzent		Großhändler			Einzelhändler
kommissionieren	transportieren	annehmen	kommissionieren	transportieren	annehmen
1 Std.	48 Std.	1 Std.	30 Min.	24 Std.	30 Min.

Wiederbeschaffungszeit Großhändler

 Wiederbeschaffungszeit Einzelhändler

Abbildung 18: Zeitverzögerungen

Die Zeitverzögerungen sind nicht konstant, sondern unterliegen einer Normalverteilung. Der angegebene Wert stellt den Mittelwert dar. Die Standardabweichung beträgt 20 %.

3 Anforderungen an die Modellstruktur

Innerhalb der Kooperation von A3 und M1 sollen mehrere verschiedene Supply Chain-Strukturen untersucht werden. Dabei können die Handelsbeziehungen der Akteure variieren und auch Hierarchieebenen überspringen. Ferner sollen dabei auch unterschiedliche Akteurs-Anzahlen innerhalb der einzelnen Hierarchieebenen auswählbar sein. Außerdem ist es eine Anforderung an die Modelle, verschiedene Supply Chain-Strategien zu unterstützen.

Eine getrennte Modellierung für jede der Strukturen ist weder effizient noch wünschenswert. Gelöst wurde die Variation der Modelle durch Erstellung eines ProC/B-Modells, das mit Hilfe von Parametern einstellbar ist hinsichtlich der Supply Chain-Struktur (inkl. Akteursanzahlen und Auswahl der Handelspartner) und der -Strategien. Diese Parameter liegen über die Funktionseinheiten (FEs) verteilt und bilden gemeinsam eine Inzidenzmatrix der direkten Handelspartner.

Ebenso konnten alle Akteure einer Hierarchieebene zusammengefasst werden in eine parametrisierte FE, da sich ihre Aktivitätsfolgen insofern gleichen, dass sie sich lediglich in Parametern und Zufallswerten unterscheiden. Hierzu wurden alle Kundenklassen, Einzelhändler, Großhändler und Produzenten getrennt und jeweils bei 1 startend nummeriert, wodurch sie über Parameter unterschieden werden können.

Somit ergab sich ein Modell, indem sich die Handlungen der Akteure einfach anpassen lassen (durch Veränderung ihrer Parameter), sich die Anzahl der Akteure leicht verändern lässt (durch Verändern von FE-Parametern) und sich durch Parameter auch die zu benutzenden Strategien leicht auswählen lassen. Auch eine Erweiterung hinsichtlich weiterer Hierarchieebenen kann durch Einfügen je einer weiteren FE je Ebene auf die gleiche Modellierungsweise erfolgen, mit dem Vorteil, dass ein evtl. Verkleinern des Modells nicht zwingend nötig ist, da Hierarchieebenen mit Hilfe der Parameter für spezielle Strukturen übersprungen werden können.

Ein weiterer Vorteil der Parameterbenutzung liegt darin, dass auch eine Modellierung dynamischer Struktur- oder Strategieauswahlmöglichkeiten einfach ermöglicht wird, indem in den Aktivitätsketten Elemente eingefügt werden, die die Auswahlparameter modifizieren.

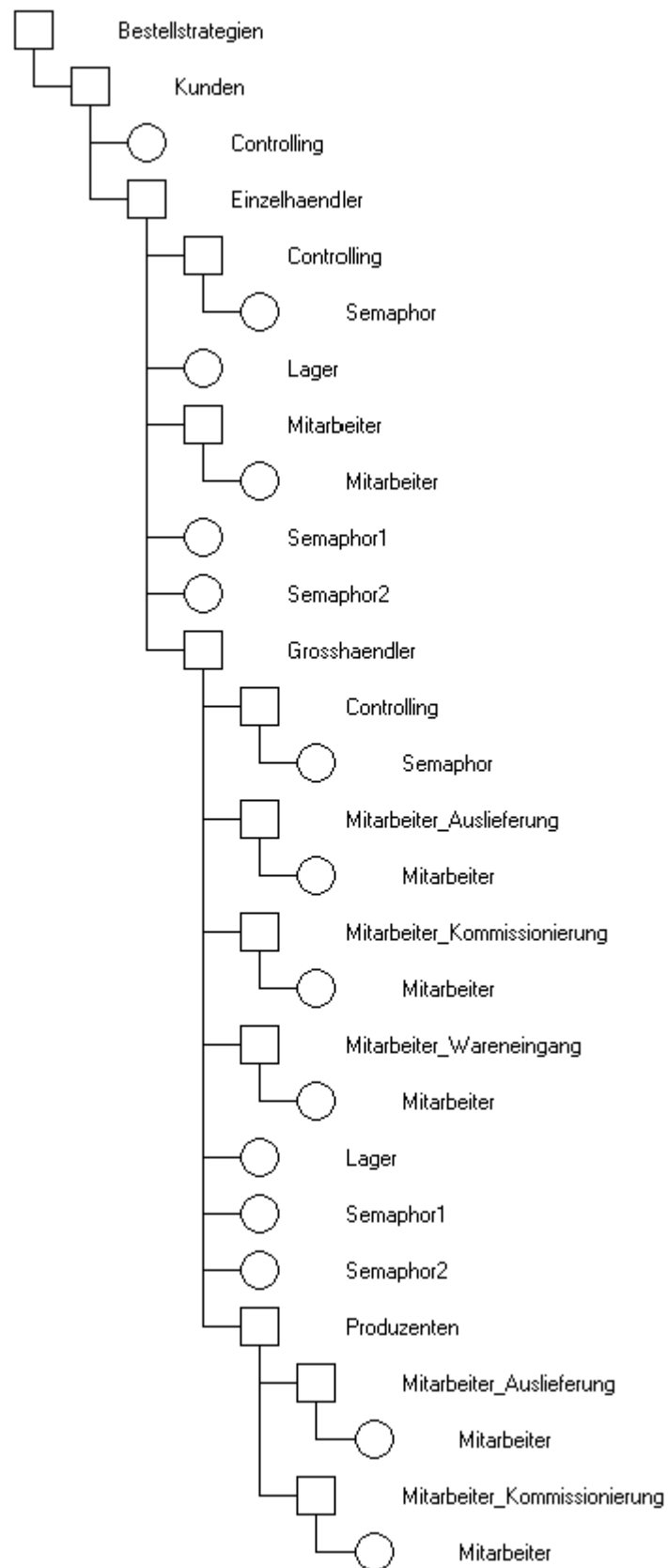


Abbildung 19: Hierarchie des Modells.

4 Die Funktionseinheiten

Die Abbildung 19 zeigt die Hierarchie des Modells in ProC/B-Notation²⁶. Es ist so angelegt, dass die jeweiligen Lieferanten mittelbare oder unmittelbare Untereinheiten der Empfänger einer Lieferung sind. Somit stehen nach der Umwelt (FE Bestellstrategien) die Kunden auf oberster Hierarchieebene gefolgt von der Einzelhändler-, Großhändler- und Produzentenebene. Diese Konstruktion vereinfacht den Aufruf der Dienste und spiegelt die reale Dienstleistungsfunktion wider.

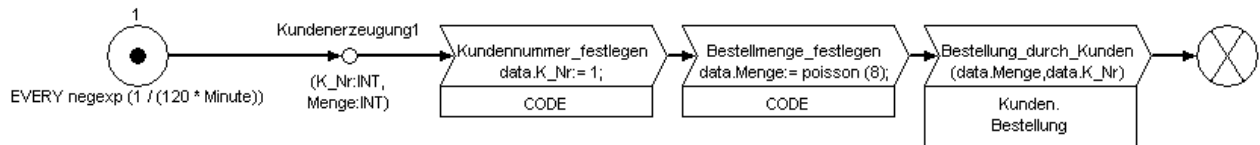


Abbildung 20: Prozesskette zur Erzeugung von Kunden einer Klasse.

4.1 Bestellstrategien

Die FE Bestellstrategien steht auf der obersten Ebene der FE-Hierarchie und bildet die Schnittstelle zur Umwelt. 10 Kundenklassen sind definiert, für die jeweils eine eigene Prozesskette (vgl. Abbildung 20) beschrieben ist, damit auf einfache Weise Variation der Parameter einzelner Kundenklassen vorgenommen werden können. Jeder Prozess einer solchen Kette repräsentiert einen Kunden der entsprechenden Kundenklasse.

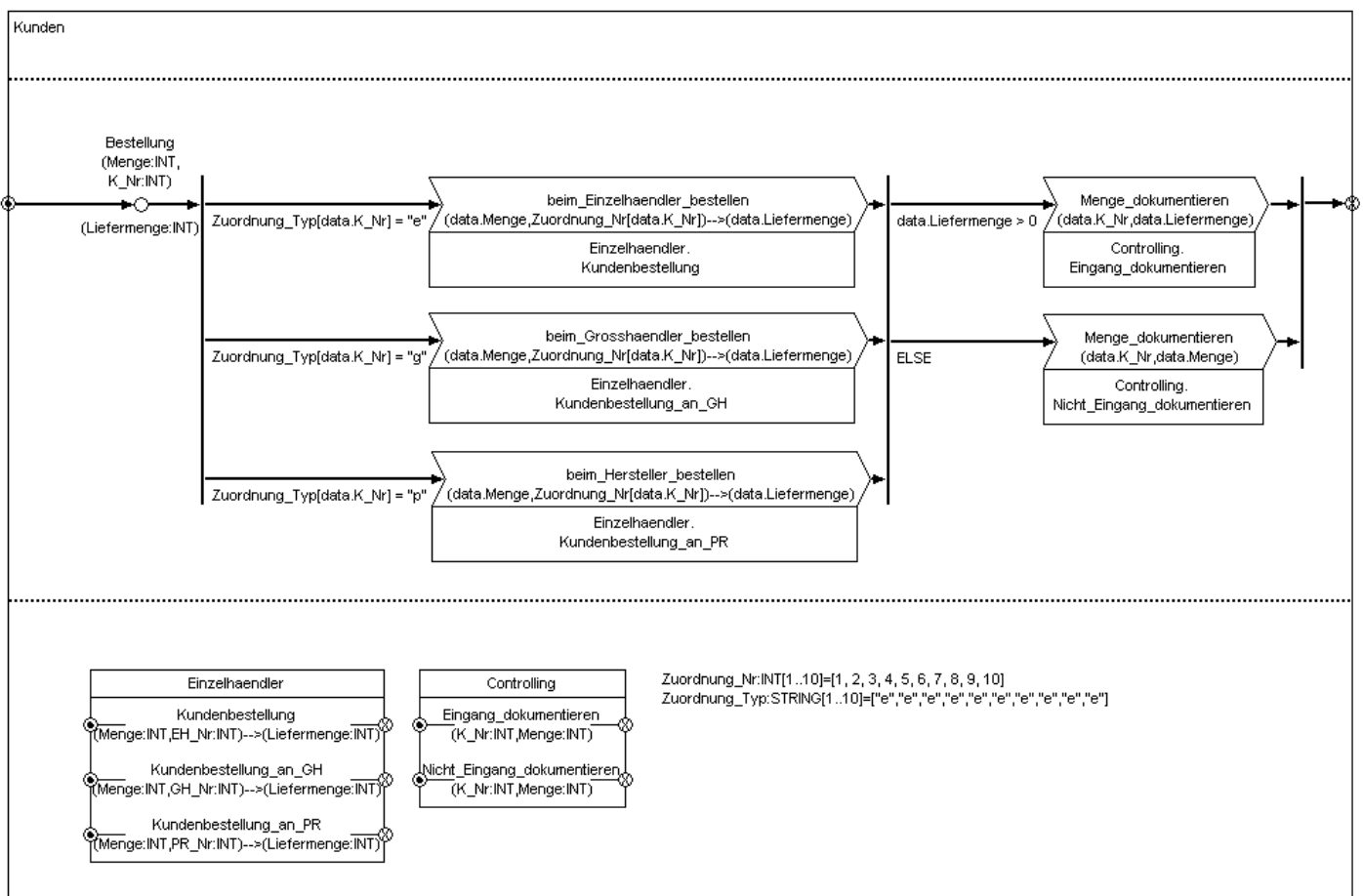


Abbildung 21: Innenansicht der FE Kunden.

²⁶ Vgl. Bause/Beilner/Fischer/Kemper/Völker (2002).

Jede Kette legt eine stochastische Bestellmenge sowie eine Nummer für die Kundenklasse fest und leitet die Prozesse weiter an die FE *Kunden*, die das den Kunden gemeinsame Verhalten nachbildet.

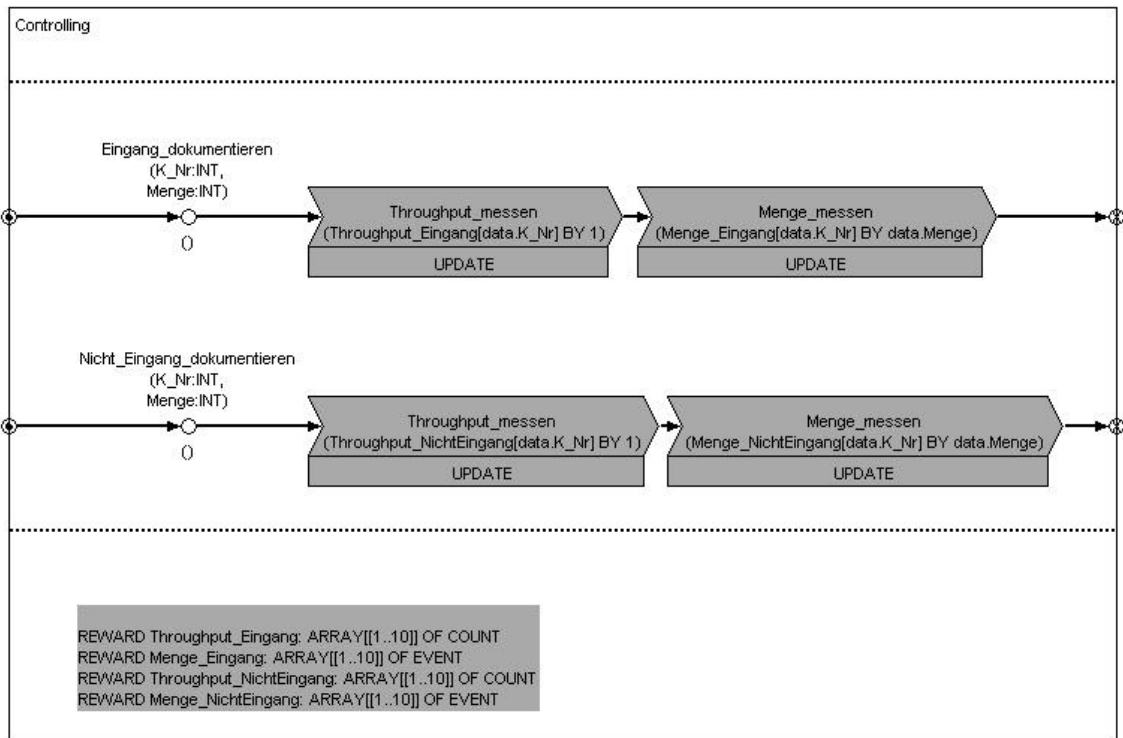


Abbildung 22: Innenansicht der FE *Controlling* (der Kunden).

4.2 Kunden

Die FE *Kunden* (vgl. Abbildung 21) verfügt über eine Prozesskette, die den Bestellvorgang der Kunden beschreibt. Dazu wird die Prozessausführung einer Bestellung entsprechend an den zugeordneten Handelspartner durch einen Prozessaufruf weitergeleitet. Ist der Handelspartner des Kunden nicht in der benachbarten Ebene (dem Einzelhändler), so wird dabei ein Dienst der benachbarten Ebene aufgerufen, der lediglich der Weiterleitung dient (vgl. Kapitel 4.3).



Abbildung 23: Außenansicht der FE *Einzelhaendler*.

Die Zuordnung geschieht mit Hilfe von globalen Variablen. Dazu hat der Modellierer vor dem Start der Analyse für jede Kundenklasse den Typ des Handelspartners ("e" für einen Einzelhändler, "g" für einen Großhändler und "p" für einen Produzenten) sowie eine Nummer des Partners in je einem Array festzulegen. Diese Arrays sind sortiert nach der Nummer der Kundenklasse, die jeder Prozess der FE *Kunden* als Parameter mitführt. So kann jeder Prozess mit Hilfe seiner eigenen Nummer auf die Stellen der Arrays zugreifen, die die Zuordnung zu seinem Handelspartner eindeutig beschreiben. Da es sich bei den in der Array-Definition enthaltenen Werte lediglich um Default-Werte handelt, ist für zukünftige Betrachtungen eine dynamische Modifikation der Werte und dementsprechend der Handelspartner-Zuweisung problemlos möglich.

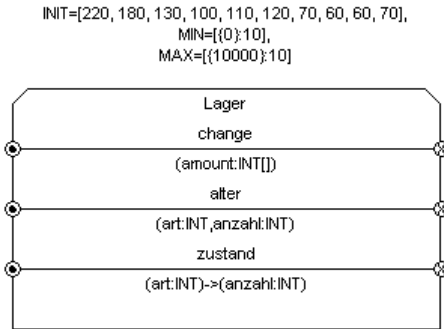


Abbildung 24: Außenansicht der FE Lager (der Einzelhändler).

Nach erfolgreicher Bearbeitung der Bestellung wird die Prozesskontrolle wieder an die FE Kunden zurückgegeben, die durch Benutzung der FE Controlling (siehe Kapitel 4.2) die Bestellung als erfolgreich oder nicht-erfolgreich (d. h. der Handelspartner war nicht lieferfähig) dokumentiert.

```

Zuordnung_Nr:INT[1..10]=[1, 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2]
Zuordnung_Typ:STRING[1..10]=[“b”, “p”, “g”, “g”, “g”, “g”, “g”, “g”, “g”, “g”]
Bestellstrategie:STRING[1..10]=[“m”, “m”, “m”, “m”, “m”, “m”, “m”, “m”, “m”, “m”]
Pufferbestand:INT[1..10]=[25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25]
{nur für Bestellstrategie b}
Bereitstellung_Groesse:INT[1..10]=[50, 0, 0, 50, 0, 0, 50, 0, 0, 50]
{nur für Bestellstrategie b}
Meldemenge:INT[1..10]=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
{nur für Bestellstrategien m und z; falls 0, dann dynamische Ermittlung}
Sollbestand:INT[1..10]=[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
{nur für Bestellstrategien m und z; falls 0, dann dynamische Ermittlung}
Zykluszeit:INT[1..10]=[0, 0, 360, 0, 0, 360, 0, 0, 360, 0]
{nur für Bestellstrategie z}

```

Abbildung 25: Struktur- und Strategie-Parameter der FE Einzelhaendler.

4.2.1 Controlling (der Kunden)

Die FE Controlling (vgl. Abbildung 22) dient zur Erfassung des Ergebnisses der Bestellvorgänge, um somit nach einer Simulation Aussagen über den Grad der Erfüllung der Kundenwünsche treffen zu können. Dies soll anhand einer Bewertung hinsichtlich des Erfolges einer Bestellung (Kundenwunsch erfüllt/nicht erfüllt) sowie der umgesetzten Verkaufsmengen und der entgangenen Verkaufsmengen bei Nicht-Lieferbarkeit erfolgen.

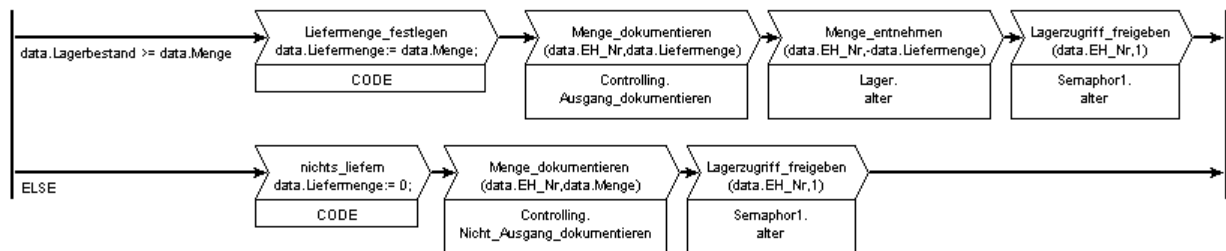


Abbildung 26: Festlegen der Liefermenge (Ausschnitt aus der Prozesskette Kundenbestellung).

In dieser FE kommt das neue Konzept der Rewards zur Anwendung. Rewards sind durch den Modellierer definierte Maße, deren Auswertung (d. h. die Berechnung von Mittelwerten, Konfidenzintervallen etc.) durch die verwendete Simulationssoftware HIT²⁷ automatisch durchgeführt wird, aber bei denen die Erfassung neuer Werte bzw. Ereignisse durch das Modell zu leisten ist. Hierzu steht das UPDATE-Statement bereit.

²⁷ Vgl. Beilner/Mäter/Wysocki (1994).

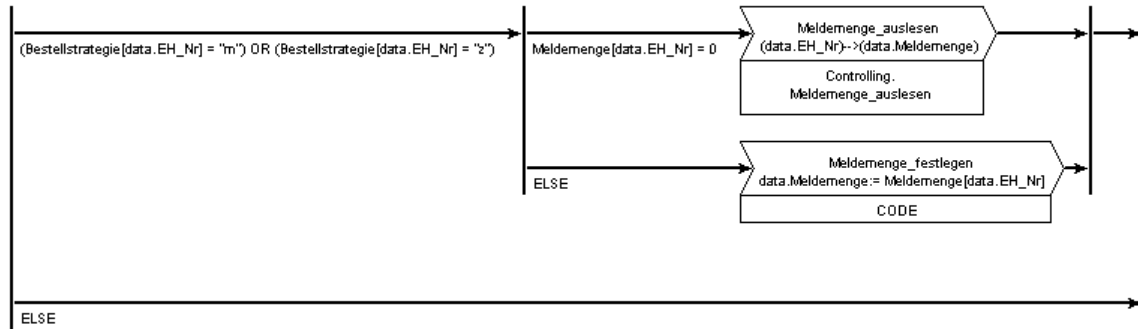


Abbildung 27: Evtl. Auslesen der Meldemenge (Ausschnitt aus der Prozesskette Kundenbestellung).

Rewards können ebenso wie Variablen als Array angelegt sein. So ist es leicht möglich mit Hilfe der Kundenklassen-Nummer für jede dieser Klassen getrennt auszuwertende jedoch gemeinsam definierte Rewards zu verwenden.

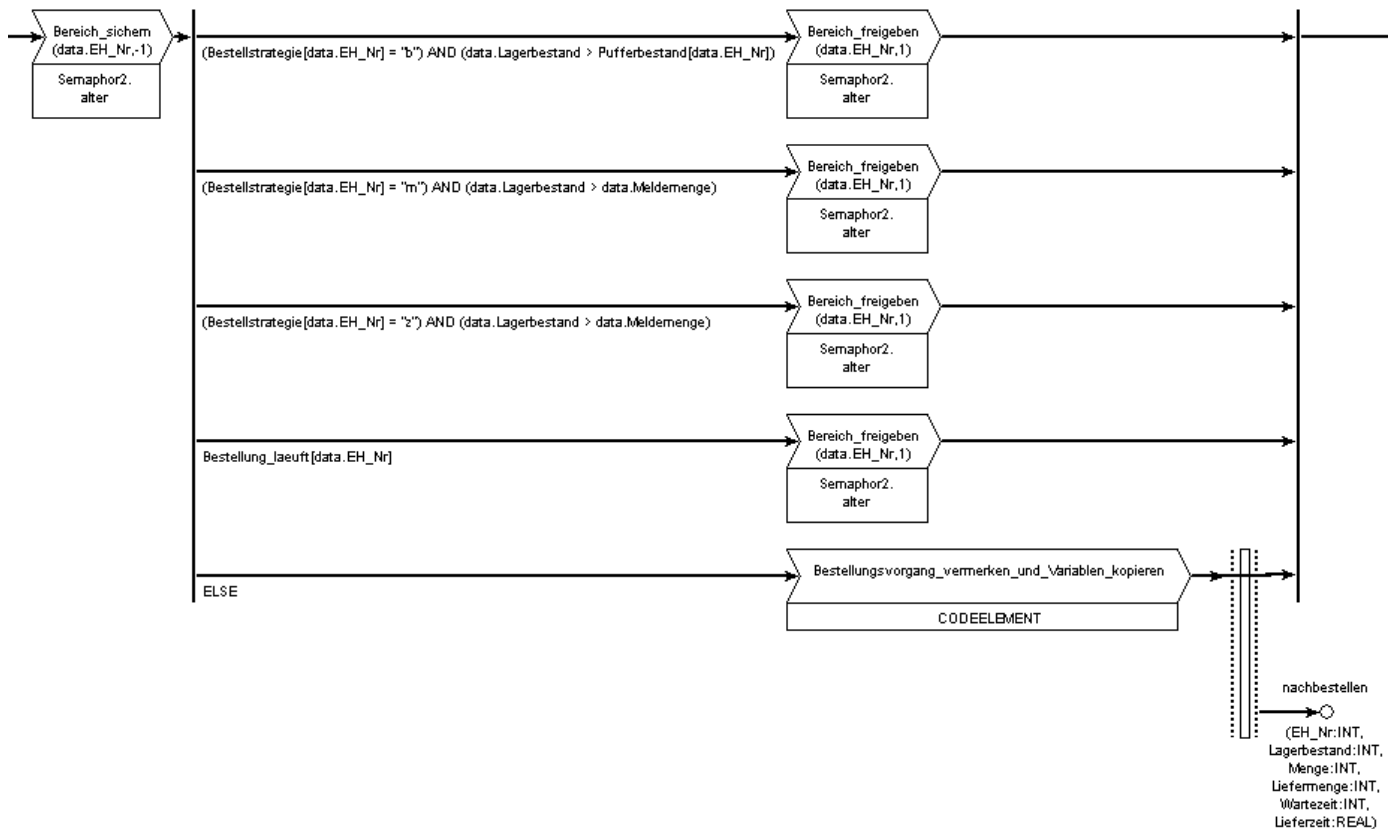


Abbildung 28: Überprüfung auf Notwendigkeit der Nachbestellung und evtl. Auslösen einer Nachbestellung (Ausschnitt aus der Prozesskette Kundenbestellung).

In der FE Controlling sind zwei Prozessketten beschrieben. Eine dient der Erfassung gelieferter Mengen und der Zählung erfolgreicher Bestellvorgänge, die andere der Erfassung bestellter Menge, die jedoch nicht geliefert werden konnten sowie der Zählung solcher erfolglosen Bestellvorgänge. Dementsprechend wurden für jede der 10 Kundenklassen 4 Rewards definiert, die den Durchsatz sowie die Mengen erfolgreicher und erfolgloser Bestellungen verarbeiten können. In den beiden Prozessketten muss lediglich für jeden Prozess der entsprechende Durchsatz-Reward um 1 (für je eine Bestellung) sowie der entsprechende Mengen-Reward um die bestellte Menge aktualisiert werden.

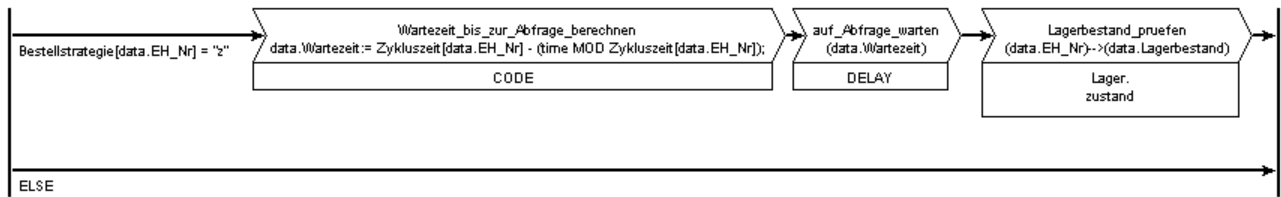


Abbildung 29: Verzögern einer Bestellung für das Zykluszeitverfahren (Ausschnitt aus der Prozesskette nachbestellen).

4.3 Einzelhändler

Die FE `Einzelhaendler` bietet drei Dienste nach außen an (vgl. Abbildung 23). Zwei davon dienen lediglich dem Durchschleifen von Bestellungen eines Kunden an einen Großhändler oder Produzenten, bei denen kein Einzelhändler Handelspartner ist.

Der Dienst `Kundenbestellung` verarbeitet die an Einzelhändler gerichteten Bestellungen und initiiert, falls nötig, unter Berücksichtigung der gewählten Strategien, Parametern und Lagerbeständen eigene Bestellungen an den zugehörigen Handelspartner.

Verwendung findet dabei ein Lagerbaustein (vgl. Abbildung 24), der für jeden Einzelhändler unabhängig in Lagerkapazität, Initialzustand und Minimalbestand dimensioniert werden kann.

Ferner ist eine FE `Controlling` definiert, die entscheidungsrelevante Daten sammelt und auswertet sowie Messgrößen ermittelt (siehe hierzu Kapitel 4.3.1), sowie eine FE `Mitarbeiter` (siehe hierzu Kapitel 0).

Wie auch bei den Kunden findet die Zuordnung der Handelspartner über Zuordnungsparameter statt (vgl. Abbildung 25).

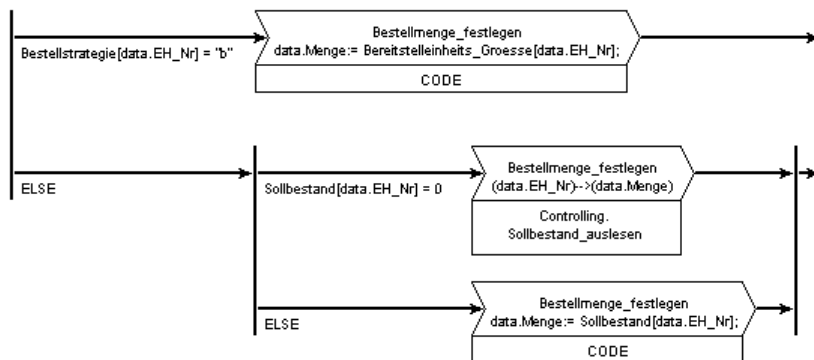


Abbildung 30: Festlegen der Bestellmenge (Ausschnitt aus der Prozesskette nachbestellen).

Ferner werden auch Parameter für die Strategieauswahl und -parametrisierung verwendet (siehe ebenfalls Abbildung 25). Die Bestellstrategie wird mit dem `Bestellstrategie`-Array (durch Kürzel für die Verfahren) für jeden Einzelhändler unabhängig voneinander und bei Bedarf dynamisch veränderbar eingestellt. Unterstützt werden im aktuellen Modell das Meldebestandsverfahren (mit dem Kürzel 'm'), das Zykluszeitverfahren (mit dem Kürzel 'z') und das Bereitstellverfahren (mit dem Kürzel 'b'). Für das Meldebestandsverfahren und das Zykluszeitverfahren werden zusätzliche Parameter für die Meldemenge und den Sollbestand benötigt. In diesen Arrays werden wiederum unabhängig und dynamisch veränderbare Startwerte eingetragen. Wird als Sonderfall eine 0 eingetragen, so werden keine festen Meldemengen und Sollbestände verwendet, sondern dynamisch aus Vergangenheitsdaten ermittelt (vgl. Kapitel 4.3.1). Bei Einzelhändlern, die keine der beiden Strategien einsetzen, wird der entsprechende Wert des Arrays grundsätzlich ignoriert.

Darüber hinaus sind Parameter definiert für Zykluszeiten (für das Zykluszeitverfahren) sowie Pufferbestände und Bereitstelleinheits-Größen für das Bereitstellverfahren.

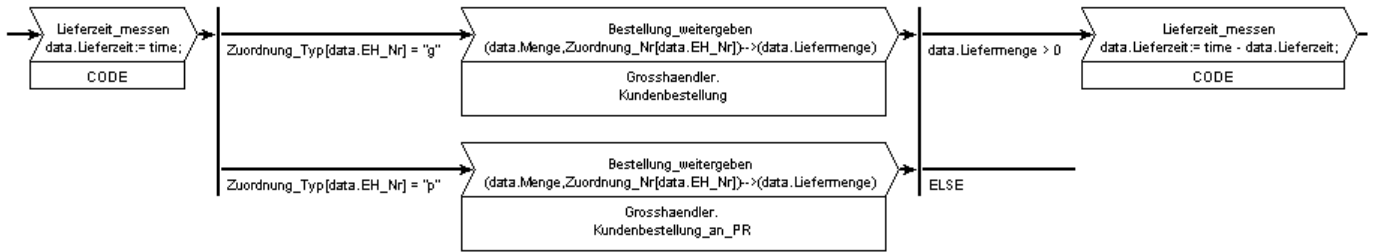


Abbildung 31: Nachbestellen und Lieferzeitmessung (Ausschnitt aus der Prozesskette nachbestellen).

Der Dienst *Kundenbestellung* stellt zunächst den aktuellen Lagerbestand fest. Es sind keine Teillieferungen vorgesehen und die Kunden zeigen ein scheuendes Verhalten. Daher wird anschließend in Abhängigkeit vom aktuellen Lagerbestand die Liefermenge auf die Gesamtbestellmenge oder auf 0 festgelegt (vgl. Abbildung 26). Dementsprechend wird mit Hilfe der FE *Controlling* die Menge als Ausgangsmenge bzw. Nicht-Ausgangsmenge dokumentiert. Diese Aktivitäten finden in einem durch einen Einzelhändler-lokalen Semaphor gesicherten Bereich statt, um keine Inkonsistenzen durch gleichzeitig beim selben Händler eingehende Bestellungen zu erhalten.



Abbildung 32: Lieferungseingang (Ausschnitt aus der Prozesskette nachbestellen).

An diesen Bereich anschließend wird geprüft, ob der Einzelhändler seinerseits nachbestellen muss, und ggf. wird eine neue Bestellung ausgelöst. Gestartet wird damit, dass abhängig von der verwendeten Strategie die statische Meldemenge aus der zugehörigen Variablen bzw. die dynamische Meldemenge aus der FE *Controlling* ausgelesen wird (vgl. Abbildung 27).

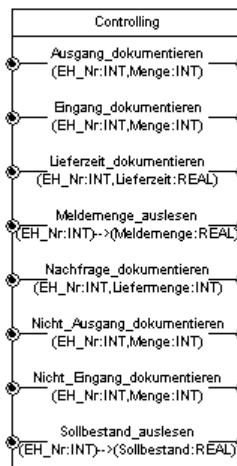


Abbildung 33: Außenansicht der FE *Controlling* (der Einzelhändler)

Mit Hilfe des aktuellen Lagerbestandes, der Meldemenge, des Pufferbestandes wird in Abhängigkeit von der verwendeten Strategie bei Bedarf eine neue Bestellung ausgelöst. Dabei wird durch ein Kontrollvariable (*Bestellung_laeuft*) garantiert, dass niemals mehr als eine Nachbestellung gleichzeitig abläuft, damit nicht bei einer einzelnen Mindestbestandunterschreitung durch Eintreffen mehrerer Kundenbestellungen während der Lieferzeit an den Einzelhändler mehrere Nachbestellung ausgelöst werden können (vgl. Abbildung 28). Eine nötige Nachbestellung wird wegen der von der Prozesskette *Kundenbestellung* unabhängigen Ausführung durch eine eigene Prozesskette (*nachbestellen*) beschrieben.

Innerhalb der Prozesskette `nachbestellen` werden zunächst alle Bestellungen, bei denen das Zykluszeitverfahren angewandt wird, so lange verzögert, bis ein Zykluszeitpunkt erreicht ist, da bei dieser Strategie nur in festgelegten Zeitabständen Bestellungen initiiert werden (vgl. Abbildung 29). Da während dieser Wartezeit der Lagerbestand weiter verringert worden sein kann, wird er erneut erfragt, damit die Nachbestellung den zum Zykluszeitpunkt herrschenden Verhältnissen gerecht wird.

Anschließend wird in Abhängigkeit von der Strategie die Bestellmenge festgelegt. Bei Verfahren, die einen Sollbestand verwenden, wird dabei zwischen dem statischen Sollbestand (gelesen aus der zugehörigen Variable) und dem dynamischen Sollbestand (ermittelt in der Controlling-FE) unterschieden (vgl. Abbildung 30).

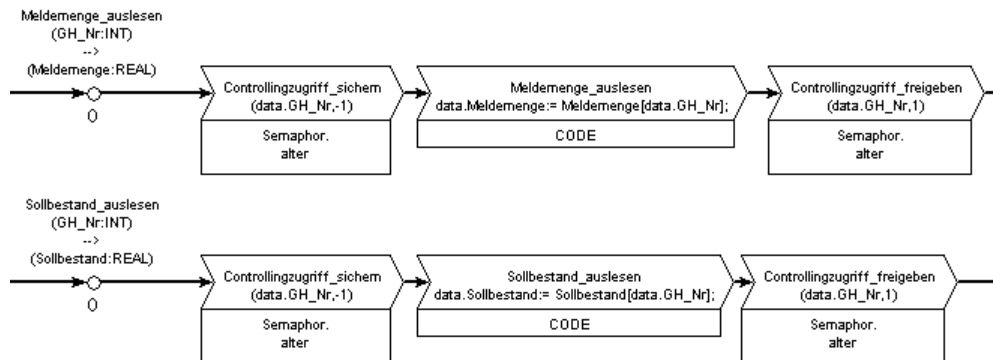


Abbildung 34: Ausschnitt aus den Diensten zum Auslesen der Meldemenge bzw. des Sollbestandes.

Entsprechend der Zuordnung der Einzelhändler zu einem Handelspartner werden die Bestellungen weitergegeben (vgl. Weitergabe der Kundenbestellungen). Dabei wird mit Hilfe der `time`-Funktion die Lieferzeit gemessen (vgl. Abbildung 31), die im Falle einer nicht-abgewiesenen Bestellung dokumentiert wird.

Der Wareneingang erfolgt über die Verwendung der FE `Mitarbeiter`. Abschließend wird die eingegangene Menge dokumentiert und eingelagert (vgl. Abbildung 32). Im Falle der Nicht-Belieferung wird die nicht-eingegangene Menge dokumentiert. Nach der Freigabe des Einzelhändlers für weitere Nachbestellung (durch Setzen der Variablen `Bestellung_laeuft`) endet die Prozesskette in einer Senke.

```

LS2:REAL[1..10]={{(0.0275*0.0275):2, {0.01388888*0.01388888}:8}
    {Quadierte Standardabweichung der Lieferzeit}
L_quer:REAL[1..10]={{(0.1375):2, {0.069444444}:8}
    {Durchschnittliche Lieferzeit}
Sx:REAL[1..10, 1..7]={{(1440):7}:10}
    {Summe der eingehenden Nachfrage je Periode (je 7 für jeden Einzelhändler)}
SL:REAL[1..10, 1..7]={{(49.5 * Stunde):7}:2, {(25 * Stunde):7}:8}
    {Summe der Lieferzeiten ausgehender Bestellungen je Periode (je 7 für jeden Einzelhändler)}
nL:INT[1..10, 1..7]={{(1):7}:10}
    {Zähler für die Anzahl der ausgehenden Bestellung je Periode (je 7 für jeden Einzelhändler)}
Periode:INT=7
z:REAL[1..10]={{(1.64):10}
    {Werte für den Sicherheitsfaktor des Meldebestandsverfahrens}
Kf:REAL[1..10]={{(25):10}
    {bestellmengenfixe Kosten (für Sollbestandsberechnung)}
l:REAL[1..10]={{(0.15):10}
    {Lagerkostensatz (für Sollbestandsberechnung)}
w:REAL[1..10]={{(24):10}
    {Wert einer Produkteinheit (für Sollbestandsberechnung)}
Meldemenge:REAL[1..10]={{(0):10}
    {für dynamische Verfahren berechnete aktuelle Meldemenge}
Sollbestand:REAL[1..10]={{(0):10}
    {für dynamische Verfahren bestimmter aktueller Sollbestand}

```

Abbildung 35: Variablen der FE Controlling (der Einzelhändler).

4.3.1 Controlling (der Einzelhändler)

Die FE *Controlling* (vgl. Abbildung 33) dient auch bei den Einzelhändlern wie bei den Kunden zur Erfassung des Ergebnisses der Bestellvorgänge, um somit nach einer Simulation Aussagen über den Grad der Erfüllung der Kundenwünsche treffen zu können. Ferner werden hier auch strategierelevante Werte aus Nachfrage- und Lieferungsdaten ermittelt.

Die Dienste zur Dokumentation der Ausgänge, Nicht-Ausgänge, Eingänge und Nicht-Eingänge sind analog zu den Diensten der FE *Controlling* der Kunden aufgebaut (vgl. Abbildung 22). Auch hier wird das neue Reward-Konzept eingesetzt.

Die Dienste zum Auslesen der Meldemenge bzw. des Sollbestandes geben lediglich den in der FE *Controlling* ermittelten jeweiligen Wert zurück (vgl. Abbildung 34). Diese Dienste sowie die zugehörigen Berechnungen werden für den Fall benötigt, dass dynamische Meldemengen oder Sollbestände Verwendung finden.

Zur Ermittlung der strategierelevanten Werte (vgl. Kap. 2) werden eine Reihe von Variablen definiert (vgl. Abbildung 35). Diese werden für jeden Einzelhändler und für jede der 6 zu betrachtenden Periode sowie zusätzlich die aktuelle Periode getrennt definiert. Dies ergibt eine zweidimensionale Array-Bildung dieser Variablen mit $10 * 7$ Werten je Array. Eine weitere Variable (*Periode*) kontrolliert, welche Periode und somit welcher Arraybereich aktuell ist.

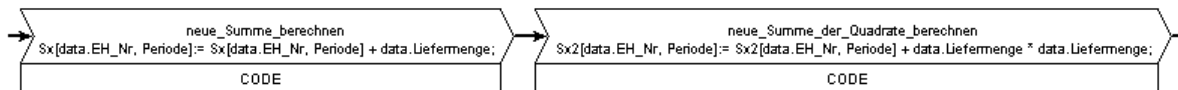


Abbildung 36: Hilfsrechnungen bei der Nachfragedokumentation.

Bei der Nachfragedokumentation werden neben der eigentlichen Dokumentation Hilfsrechnungen durchgeführt (vgl. Abbildung 36), um die Standardabweichung der ermittelten Werte errechnen zu können (nach der Formel $S^2 = E(X^2) - (EX)^2$).

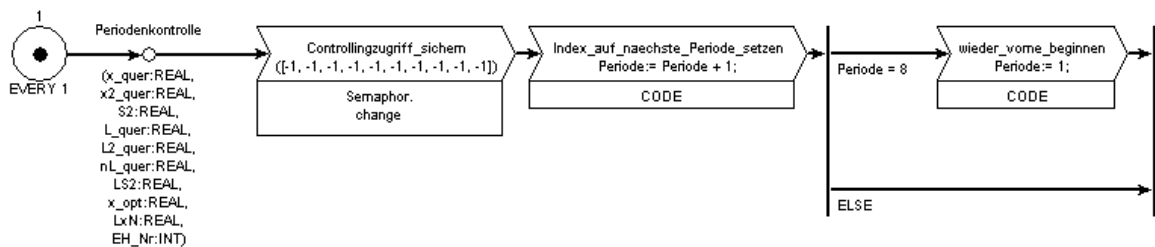


Abbildung 37: Quelle der Periodenkontrolle und Setzen der Variablen Periode (Ausschnitt aus der Prozesskette Periodenkontrolle).

Die Berechnung der strategierelevanten Werte findet in einer nicht nach außen angebotenen Prozesskette (Periodenkontrolle) statt. Diese wird jeweils nur zum Monatswechsel durchgeführt, da nur dann ein Periodenwechsel stattfindet und somit in der Zwischenzeit alle Ergebnisse unverändert bleiben. Zunächst wird die Variable *Periode* auf den Bereich zwischen 1 und 7 beschränkt (vgl. Abbildung 37).

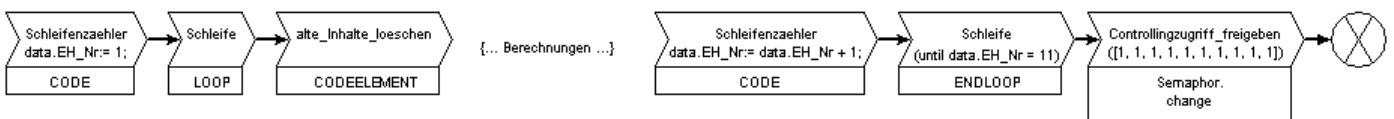


Abbildung 38: Schleife innerhalb der Prozesskette Periodenkontrolle inkl. Senke.

Die Berechnung aller Werte findet innerhalb einer Schleife statt, die über alle Einzelhändler-Nummern läuft. (vgl. Abbildung 38) Zunächst werden alle Inhalte der nicht mehr relevanten Periode gelöscht und danach

analog der Formeln für die strategierelevanten Werte (siehe Kap. 2) die neuen Inhalte berechnet. Dabei findet das neue Konzept des mehrere Code-Zeilen enthaltenden CODEELEMENTS Anwendung, um das Modell übersichtlich zu halten (vgl. Abbildung 39).

```
x_quer_berechnen

data.x_quer:= Sx[data.GH_Nr, 1] + Sx[data.GH_Nr, 2] + Sx[data.GH_Nr, 3] + Sx[data.GH_Nr, 4] + Sx[data.GH_Nr, 5] + Sx[data.GH_Nr, 6] + Sx[data.GH_Nr, 7];
data.x_quer:= data.x_quer - Sx[data.GH_Nr, Periode];
data.x_quer:= data.x_quer / 6;
```

Abbildung 39: Inhalt des CODEELEMENTS x_quer_berechnen zur Berechnung des Mittelwertes der Nachfrage der letzten 6 Perioden.

4.3.2 Mitarbeiter (der Einzelhändler)

Bei der Modellierung der Mitarbeiter der Einzelhändler stellte sich das Problem, dass sie einerseits zwar mit einem Server modelliert werden könnten, andererseits die Mitarbeiter aber keine geteilte Ressource zwischen allen Einzelhändler sind. Daher wurde eine Funktionseinheit für die Mitarbeiter (vgl. Abbildung 40) entworfen, die das Verhalten und die Messmöglichkeiten eines Server nachbildet, aber als Array einzelhändlerweise unabhängiger Mitarbeiter definiert ist. Dabei steht jedes Array-Element für einen Einzelhändler. Die Anzahl der Mitarbeiter je Einzelhändler lässt sich innerhalb dieser FE beliebig modellieren, da diese durch einen Lagerbaustein festgelegt wird.

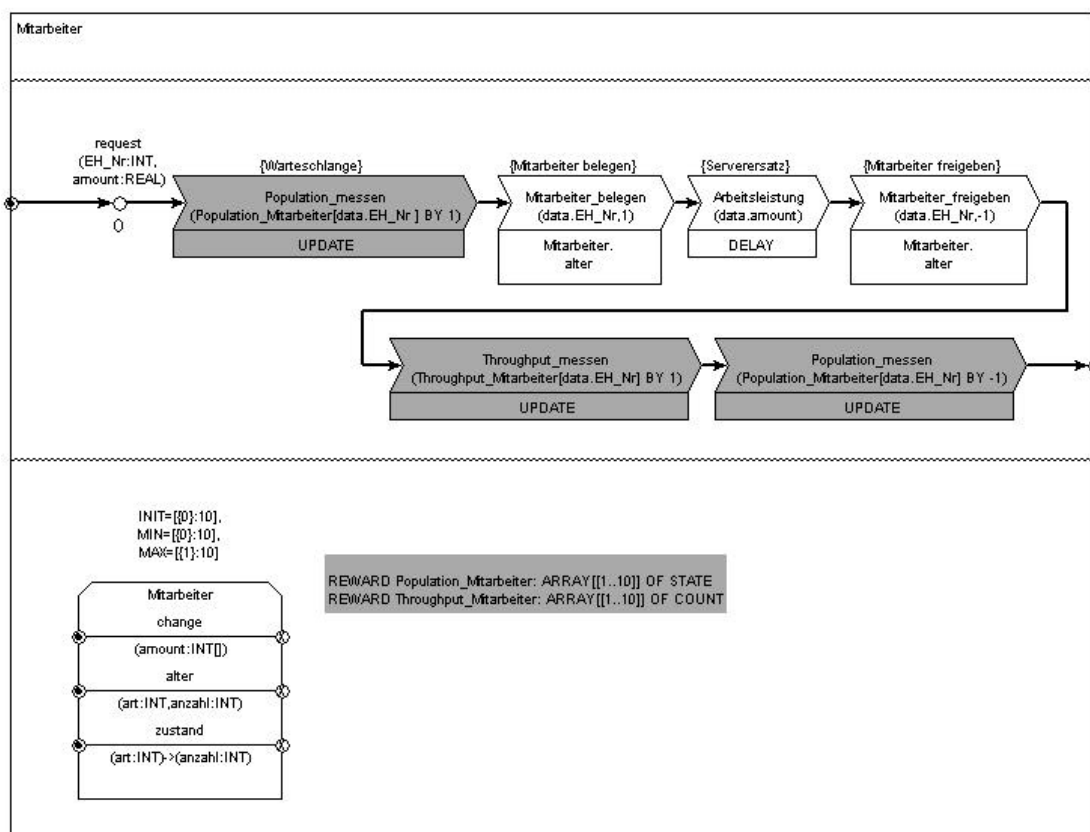


Abbildung 40: FE Mitarbeiter (der Einzelhändler).

Der Ablauf eines Requests an die FE Mitarbeiter startet mit einem UPDATE der Population (als Reward definiert), dann wird ein Mitarbeiter über den Lagerbaustein belegt und die Arbeitsdauer abgewartet. Anschließend wird der Mitarbeiter wieder freigegeben und der Durchsatz (Throughput_Mitarbeiter; ebenfalls als Reward definiert) sowie erneut die Population aktualisiert. Die Auslastung der Mitarbeiter kann durch eine Standard-Messgröße des Lagerbausteins ermittelt werden. Hierzu ist der mittlere Zustand (State) zu messen, da diese Größe die mittlere Anzahl der belegten Mitarbeiter für jeden Einzelhändler

getrennt angibt. Durch Teilen des Zustandwertes durch die Anzahl der jeweiligen Mitarbeiter ergibt sich somit die Auslastung. Die Turnaroundtime lässt sich mit Hilfe von Little's Law aus dem Quotienten von Population und Durchsatz berechnen und braucht daher nicht explizit mitgemessen zu werden.

4.4 Großhändler

Die für den Großhändler benötigten FEs sind analog zu den Einzelhändler-FEs aufgebaut. Ebenso sind die Abläufe analog und weisen nur geringfügige Unterschiede auf. Lediglich ein Dienst zur Bestellungsweiterleitung entfällt gegenüber den Einzelhändlern und es gibt getrennte Mitarbeiter-FEs für die Auslieferung, Kommissionierung und den Wareneingang, die jeweils entsprechend Kap. 4.3.2 aufgebaut sind.

4.5 Produzenten

Die FE *Produzenten* (vgl. Abbildung 41) modelliert die Produzenten als stets lieferfähig. Die einzige Prozesskette *Kundenbestellung* besteht neben dem Festlegen der Liefermenge (die der Bestellmenge entspricht) lediglich aus Verzögerungen für das Kommissionieren und das Ausliefern. Benutzt werden dabei zwei Mitarbeiter-FEs, die wiederum jeweils entsprechend Kap. 4.3.2 aufgebaut sind.

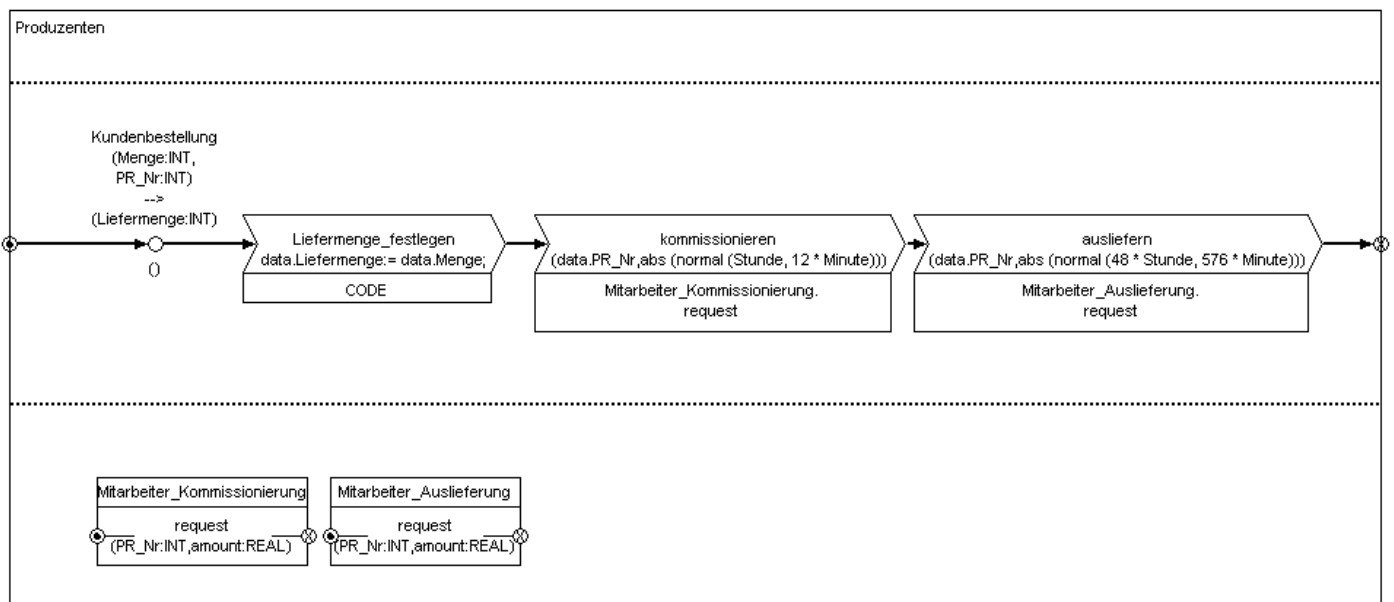


Abbildung 41: FE *Produzenten*.

5 Fazit

Das in diesem Beitrag beschriebene Supply Chain-Modell kann genutzt werden, um alternative Supply Chain-Strategien und -Strukturen simulativ zu untersuchen. Die Ermittlung der Simulationsergebnisse wird dabei durch das neue ProC/B-Konstrukt der Rewards unterstützt. Die im Modell hinterlegten Strukturparameter ermöglichen eine flexible Generierung unterschiedlicher Supply Chain-Strukturen. Ferner wird durch die integrierten Supply Chain-Strategien ermöglicht, die Warenaustauschprozesse zwischen den Unternehmen anhand von unterschiedlichen Regelwerken zu steuern.

6 Literatur

- Alicke, K. (2003): Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken – Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. Berlin u. a. 2003.
- Bartsch, H.; Bickenbach, P. (2001): Supply Chain Management mit SAP APO: Supply-Chain-Modelle mit dem Advanced Planner & Optimizer 3.1. 2. Aufl. Bonn 2001.
- Baumgarten, H.; Zadek, H. (2002): Netzwerksteuerung durch Fourth-Party-Logistics-Provider (4PL). In: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik, Düsseldorf 2002, S. 14-21.
- Bause, F.; Beilner, H.; Fischer, M.; Kemper, P.; Völker, M. (2002): The ProC/B Toolset for the Modelling and Analysis of Process Chains. Tools 2002, London (UK), 14th - 17th April 2002. In: T. Field, P.G. Harrison, J. Bradley, U. Harder (eds): Computer Performance Evaluation, Modelling Techniques and Tools. Lecture Notes in Computer Science, No 2324, Springer, pp. 51 - 70, 2002.
- Bause, F.; Kaczmarek, M. (2001): Modellierung und Analyse von Supply Chains. In: Wirtschaftsinformatik, 43 (2001) 6, S. 569-578.
- Beilner, H.; Mäter, J.; Wysocki, C. (1994): The Hierarchical Evaluation Tool HIT In: Short Papers and Tool Descriptions of the 7th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation, 1994.
- Christopher, M. (1998): Logistics and Supply Chain Management – Strategies for Reducing Cost and Improving Service. 2. Aufl. London 1998.
- ELA – European Logistics Association (1994): Terminology in Logistics, Brüssel 1994.
- Gudehus, T. (2000): Logistik 1: Grundlagen, Verfahren und Strategien. Berlin u. a. 2000.
- Gudehus, T. (2001): Optimaler Nachschub in Versorgungsnetzen – Teil II. Logistik Spektrum, 13 (2001) 5, S. 4-6.
- Jehle, E. (1999): Produktionswirtschaft. 5. Aufl. Heidelberg 1999.
- Kaczmarek, M. (2002): Definition von Anforderungen an die Modellierung und Analyse der Supply Chain. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 02007, 2002, ISSN 1612-1376.
- Kaczmarek, M. (2003): Beschreibung ausgewählter Strategien zur Steuerung der Austauschprozesse in der Supply Chain. Technical Report – Sonderforschungsbereich 559 „Modellierung großer Netze in der Logistik“ 03021, 2003, ISSN 1612-1376.
- Kaipia, R.; Holmström, J. (2000): On the way to supply chain collaboration – measuring the benefits of information sharing. http://www.tai.hut.fi/ecomlog/publications/time_profit.html. Abruf am 2000-12-20.
- Kaipia, R.; Holmström, J.; Tanskanen, K. (2000): VMI: what are you losing if you let your customer place orders?. http://www.tai.hut.fi/ecomlog/publications/time_benefit.html. Abruf am 2000-12-20.
- Scholz-Reiter, Chr. (2001): Supply Chain-Simulation für kleine und mittlere Unternehmen. In: Lawrenz, O.; Hildebrand, K.; Nenniger, M. (Hrsg.): Supply Chain Management – Strategien, Konzepte und Erfahrungen auf dem Weg zu E-Business Networks. 2. Aufl. Braunschweig/Wiesbaden 2001, S. 139-149.
- Schönsleben, P. (2000): Integrales Logistikmanagement – Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen. 2. Aufl. Berlin u. a. 2000.
- Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E. (2003): Designing and Managing the Supply Chain. 2. Aufl. Boston u. a. 2003.
- Werner, H. (2000): Supply Chain Management – Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. Wiesbaden 2000.