

# Logistik Management

Prozesse - Systeme - Ausbildung

Thomas Spengler, Stefan Voß, Herbert Kopfer (Hrsg.)





## Inhaltsverzeichnis

<b>Supply Chain Simulation mit ICON-SimChain .....</b>	<b>1</b>
<i>Kai Gutenschwager, Knut Aliche</i>	



# Supply Chain Simulation mit ICON-SimChain

Kai Gutenschwager<sup>1</sup> und Knut Alicke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SimPlan AG, Ndl. Braunschweig, Adolfstr. 21, 38102 Braunschweig, Germany

<sup>2</sup> ICON GmbH, Amalienbadstr. 36, Raumfabrik Bau 31, 76227 Karlsruhe-Durlach, Germany

kai.gutenschwager@simplan.de, knut\_alicke@icon-scm.com

**Zusammenfassung** Die Planung und Analyse komplexer Lieferketten bedingen Werkzeuge, die zum einen Transparenz und zum anderen eine Bewertbarkeit der dynamischen Zusammenhänge entsprechender Systeme ermöglichen. Stochastische Einflüsse ergeben sich insbesondere durch Störungen in innerbetrieblichen Produktions- bzw. Lagerprozessen, im Transportablauf oder auch durch Verzögerungen in der Informationsweitergabe. In diesem Beitrag werden Potenziale der Supply Chain Simulation in den Phasen Planung, Inbetriebnahme und operativer Betrieb von Liefer- bzw. Distributionsnetzwerken am Beispiel des Werkzeugs ICON-SimChain vorgestellt. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf den Schnittstellen dieses Simulators, die insbesondere den Im- und Export von Strukturdaten sowie eine Integration übergeordneter Planungs- und Kollaborationssysteme ermöglichen. Gleichzeitig wird ein neuer Ansatz zur Abbildung (der Ergebnisgüte) von Prognoseverfahren präsentiert. Der Beitrag schließt mit der Darstellung eines industriellen Beispiels.

## 1 Einleitung

Zu Beginn der 90er Jahre führten Reengineering-Maßnahmen und die zunehmende Verringerung der Fertigungstiefe durch Outsourcing zu Lieferketten (Supply Chains) mit einer vergleichsweise großen Anzahl an Stufen. Weiterhin erhöhte sich durch Multi- und Global-Sourcing-Strategien der Grad der Vernetzung zwischen Unternehmen. Produkte werden heute zunehmend in weltweiten Unternehmensnetzwerken an mehreren Standorten hergestellt, und Ausgleichslieferungen sowie alternative Beschaffungs- und Distributionswege sind inzwischen Standard. Dadurch entstehen neue Schnittstellen zwischen Unternehmen einer Supply Chain. Werden sie nicht in eine prozessorientierte Planung und Steuerung integriert, ist der Bullwhip-Effekt, der die (entlang der Kette zunehmende) Überreaktion der Unternehmen einer Supply Chain auf Ausschläge in der Kundennachfrage beschreibt, heute vielerorts eine Folge der nicht beherrschten Komplexität; vgl. Simchi-Levi *et al.* (1999). Die Unternehmen sichern sich gegen diese Nachfrageschwankungen mit Überkapazitäten und/oder Überbeständen ab. Diese Maßnahmen widersprechen jedoch den Anforderungen an Supply Chains, die auf kurze Lebenszyklen, stark schwankende Nachfragen etc. adäquat reagieren sollen.

Dies gilt insbesondere für hochdynamische Märkte im Hightech-Bereich, aber auch für klassische Branchen wie die Automobil- oder die Konsumgüterindustrie. Kundenbestellungen erfolgen in immer geringeren Mengen. Die

Transparenz des Marktes und damit die Vergleichbarkeit von Produkten bzw. Dienstleistungen haben durch das Internet drastisch zugenommen. Die sich ergebenden Anforderungen können nur mit angepassten bzw. entsprechend komplexen Lösungsansätzen erfüllt werden. So vertreten z.B. Allard *et al.* (1999) die Meinung, dass nach einer Reihe von Konzepten wie z.B. *Business Process Reengineering*, *Total Quality Management* und *Lean Management* unternehmensinterne Optimierungspotenziale weitgehend erschöpft sind. An dieser Stelle setzt das Supply Chain Management (SCM) an, das zum Ziel hat, die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten und die Komplexität der zugrunde liegenden Strukturen sowie die Stochastik der dynamischen Prozesse beherrschbar zu machen bzw. zu reduzieren; siehe Alicke *et al.* (2002).

SCM beschreibt alle Aktivitäten, die erforderlich sind, um ein Produkt zu produzieren und zu liefern, vom Lieferanten des Lieferanten bis zum Endkunden. SCM beinhaltet die Steuerung und den Abgleich der Produktversorgung mit dem Bedarf, die Beschaffung der Rohstoffe und Bauteile, die Fertigung und Montage, die Lagerung und die Bestandskontrolle, die Auftragseingabe und die Auftragsabwicklung sowie den Versand und die Lieferung an den Kunden; vgl. hierzu die Definition des Supply Chain Council (2003). In der Vergangenheit wurden Teilprozesse i.d.R. funktionsorientiert optimiert, wobei Bestände und Überkapazitäten die fehlende Synchronisation „abpufferten“. Der zentrale Ansatz der Supply-Chain-Management-Philosophie besteht darin, die Wirkungszusammenhänge zwischen diesen Teilaktivitäten zu analysieren, aufeinander abzustimmen und zu optimieren.

Lieferketten bzw. Distributionssysteme lassen sich in eine Materialflussebene und eine steuerungstechnische bzw. informationstechnische Ebene unterscheiden. Störungen bzw. Verzögerungen im Materialfluss haben einen großen Einfluss auf Lieferketten und sind ein wesentlicher Grund für den Aufbau von (Sicherheits-) Beständen an den einzelnen Knotenpunkten entsprechender Netzwerke. Wie hoch diese Sicherheitsbestände zu dimensionieren sind, hängt hierbei insbesondere auch von der Transparenz bzw. Informationsverfügbarkeit über Bestände, Aufträge etc. in der gesamten Kette ab. So bestehen die Ziele moderner informationstechnischer Lösungen typischerweise in schnelleren Reaktionszeiten, verringerten Durchlaufzeiten und Beständen sowie insgesamt einer erhöhten Sicherheit durch die Substitution von kostenintensiven Produktionsfaktoren durch Informationen; vgl. Voß und Gutenschwager (2001). Auf der steuerungstechnischen Ebene können zwei grundsätzliche Lösungsansätze unterschieden werden:

- *Übergeordnete Planungsinstanz*: Von einem Advanced Planning-System (APS) wird ein Gesamtplan erstellt, der i.d.R. einen Grobplan bzw. enge Vorgaben für die individuelle Produktions- bzw. Distributionsplanung aller Teilnehmer der Kette auf der Basis der aktuellen Bestände und der externen (Kunden-)Aufträge festlegt; vgl. insbesondere die Beiträge in Stadtler und Kilger (2002) zu entsprechenden Lösungsansätzen. Diese Systeme sind leistungsfähig in hierarchisch organisierten Netzwerken, wie

sie typischerweise innerhalb eines Unternehmens zu finden sind. Moderne Konzepte umfassen zudem die Verbesserung von unternehmensübergreifenden Netzwerken, die häufig heterarchisch organisiert sind. Hier versagen klassische APS-Ansätze allerdings oftmals; siehe Alicke (2003).

- *Individuelle Planungsinstanzen:* Jeder Teilnehmer der Kette plant auf der Basis seiner aktuell vorliegenden Informationen über Aufträge, Kapazitäten etc. Die Informationsweitergabe kann unmittelbar oder verzögert – z.B. aufgrund von Medienbrüchen an Schnittstellen – erfolgen. So sind Planungszyklen von Wochen keine Seltenheit. Oft sind in den übermittelten Nachfragen (Abrufen) neben Bestellungen aufgrund von Kundenaufträgen (Make-to-order) auch Prognosewerte (Make-to-stock) enthalten.

Sofern alle Unternehmen der Supply Chain unabhängig voneinander (lokal) planen, werden zeit- bzw. kostenintensive Arbeiten häufig doppelt ausgeführt (Qualität prüfen, einlagern, auslagern). Weiterhin werden Informationen nur kaskadierend und dabei oftmals verfälscht weitergereicht, da jeder Teilnehmer eine eigene Prognoserechnung durchführen muss. Aufgrund von Verzögerungen im Informationsfluss erfährt das Unternehmen, das zuerst Leistungen zu erbringen hat, zuletzt über die aktuellen Marktbedarfe und Änderungen der Nachfrage.

Informations- bzw. steuerungstechnische Lösungsansätze stellen unterschiedliche Anforderungen an die Informationsverfügbarkeit (vgl. in diesem Zusammenhang auch den Begriff der zeitnahen Logistik; vgl. Mies und Voß (2003)). Diese sind für APS am höchsten, aber auch für den Fall einer direkten Informationsweitergabe ohne Informationsverzögerung sind moderne Konzepte wie z.B. Electronic Data Interchange (EDI) unerlässlich; vgl. Bergeron und Raymond (1992). Hier ist anzumerken, dass eine Supply Chain durch eine hohe Informationsverfügbarkeit nicht zuletzt auch transparent wird.

Um die Auswirkungen der Einführung solcher Lösungen bzw. verschiedener Strukturvarianten in komplexen logistischen Systeme zu bewerten, werden Werkzeuge benötigt, die insbesondere stochastische Einflußgrößen berücksichtigen. Derartige stochastische Einflüsse ergeben sich bei Störungen in Produktions- bzw. Lagerprozessen, im Transportablauf und durch die genannten Verzögerungen in der Informationsweitergabe. Hier bietet sich die diskrete, ereignisorientierte Simulation als Analysewerkzeug an (Law und Kelton (2000)). Die Simulation dient in diesem Zusammenhang auch dazu, Varianten der Informationsdistribution zu vergleichen sowie wesentliche Steuerungsparameter, wie z.B. Reichweiten für Bestände oder Liefermengen und -zykluslängen, festzulegen.

Im folgenden Abschnitt wenden wir uns zunächst den Potenzialen der Simulation im SCM zu, um anschließend den Modellierungsansatz des Simulationswerkzeugs ICON-SimChain vorzustellen. Dabei sollen die Besonderheiten zur Modellierung von Informationsverzögerungen, zur Abbildung von Prognoseverfahren sowie die Schnittstellen zu anderen SCM-Werkzeugen herausgestellt werden.

## 2 Potenziale der Simulation im Supply Chain Management

Die diskrete, ereignisorientierte Simulation ermöglicht, Material- und Informationsflüsse in mehrstufigen Liefer- und Informationsbeziehungen unter Berücksichtigung relevanter stochastischer Einflüsse abzubilden und somit die Einführung von neuen Kollaborationskonzepten sowie das (Re-)Design von Liefernetzwerken zu untersuchen. Man beachte, dass die Simulation im Kontext der Analyse und Optimierung von Lieferketten bzw. Distributionsnetzwerken normalerweise nur Szenarienanalyse und nicht stochastische, ereignisdiskrete Simulation bezeichnet, wie wir sie im Weiteren behandeln. Lee und Kim (2002) sehen die Anwendungsbereiche der diskreten, ereignisorientierten Simulation insbesondere an der Schnittstelle von der Netzwerkoptimierung zur Konfiguration und Analyse von Entscheidungs- bzw. Steuerungsstrategien innerhalb der Netzwerke. Hier wird die Simulation als ergänzendes Werkzeug betrachtet, das nach der Konfiguration eines Netzwerkes und einer entsprechenden Optimierung mittels analytischer Verfahren einzusetzen ist.

Der Einsatz der Simulation empfiehlt sich allerdings über die reine Design-Phase hinaus. So ist ihr Einsatz während des vollständigen Lebenszyklus entsprechender Systeme möglich. Die weitergehende Nutzung von Modellen der Design-Phase bietet zusätzliche Potenziale während der Inbetriebnahme und des operativen Betriebs von Supply-Chain-Softwarelösungen.

**Design-Phase.** In der Design-Phase kann die Simulation dazu eingesetzt werden, eine neue oder bestehende Lieferkette zu analysieren und z.B. verschiedene Design-Alternativen miteinander zu vergleichen. Die Simulation kann in diesem Zusammenhang dazu dienen, Potenziale für strukturelle oder steuerungstechnische Veränderungen einer Lieferkette – als Werkzeug einer übergeordneten Wirtschaftlichkeitsanalyse – auf einem vergleichsweise hohen Detaillierungsgrad abzuschätzen sowie Ursache-Wirkungsbeziehungen in komplexen Systemen zu erkennen.

Hier entspricht der Einsatz der Simulation weitgehend demjenigen in klassischen Logistikprojekten, wobei sowohl *What-if-* als auch *How-to-achieve-* Analysen durchgeführt werden können. Der Nutzen bzw. das Ergebnis des Simulationseinsatzes kann hier insbesondere in der Festlegung bzw. Validierung der Ergebnisse eines analytischen Planungsverfahrens gesehen werden.

Neben der Überprüfung grundsätzlicher Netzwerkstrukturen können auch eher taktische Problemstellungen untersucht werden. So lassen sich unterschiedliche Produktions- bzw. Beschaffungsoptionen simulativ bewerten. In Liefernetzwerken existieren häufig Beschaffungsalternativen (multi-sourcing). Die Nachfrage- und Zulieferprozesse unterliegen dabei typischerweise stochastischen Einflüssen. Die eingesetzten Bestände zur „Absicherung der Stochastik“ sind hierbei häufig sub-optimal dimensioniert, womit i.d.R. erhöhte Kapitalbindungs- und Rückstandskosten verbunden sind. So entstehen beispielsweise in der Automobilindustrie erhebliche Kosten für die Bestandssi-

cherung an den Montagelinien. Die zur (kurzfristigen) Sicherung oftmals notwendigen, kostenintensiven Sonderaktionen sind nicht zuletzt der Ausdruck von nicht beherrschten Prozessen.

Verbesserung versprechen Anwendungen des so genannten Supply-Chain-Monitoring, die unternehmensübergreifend Bestände und Nachfragen transparent machen. Damit ist ein proaktives Handeln im Engpassfall möglich, aber auch Überbestände können nach und nach abgebaut werden. Die Monitoring-Ansätze definieren als zentrale Instanz Richtwerte in Form von Korridoren von Bestandsreichweiten, die in den lokalen Steuerungen (Unternehmen) individuell umgesetzt werden können. Die Konfiguration dieser Richtwerte ist mit analytischen Mitteln kaum mehr effizient umsetzbar. Hier bietet die Simulation deutliche Vorteile, da sämtliche Störeinflüsse, die über Sicherheitsbestände „abzufedern“ sind, explizit abgebildet werden können. Voraussetzung hierzu ist allerdings eine (Online-)Kopplung von Simulationsmodell und Monitoring-System.

Neben der Bestimmung notwendiger Bestandsreichweiten für einzelne Artikel kann die Definition geeigneter Transportlösungen bzw. -modi für die verschiedenen Lieferbeziehungen Gegenstand simulativer Untersuchungen sein. Die Auswirkungen von Lieferzyklen unterschiedlicher Länge (z.B. täglich oder wöchentlich) und (Mindest-)Bestellmengen können mittels geeigneter Simulationsmodelle untersucht werden. Entsprechende Kosten-Nutzen-Untersuchungen sind insbesondere im Rahmen der Vertragsgestaltung von Transportdienstleistungen von Bedeutung.

**Inbetriebnahme.** Die Konfiguration von Planungs- bzw. Monitoring-Systemen ist ein wesentlicher Anwendungsbereich der Simulation und berührt dabei insbesondere auch die Testphase (als Teil der Inbetriebnahmephase) der Software an sich. Für ein Supply-Chain-Monitoring- oder Planungssystem ist dabei grundsätzlich ein (Daten-)Modell der Lieferkette mit sämtlichen relevanten Strukturdaten, wie z.B. Stücklisten, Bestellzyklen und Losgrößen, zu hinterlegen. Der Test solcher Datenmodelle auf Korrektheit und Vollständigkeit läßt sich mittels eines (bestehenden) Simulationsmodells unterstützen, indem die Strukturdaten importiert werden und Experimente auf der Basis dieser Daten durchgeführt werden. Voraussetzung hierzu sind geeignete Schnittstellen. Eine beispielhafte Schnittstelle stellen wir im folgenden Abschnitt für ICON-SimChain vor.

In diesem Zusammenhang kann ein Simulationsmodell der Design-Phase mittels des Exports von Strukturdaten auch dazu genutzt werden, den Modellierungsaufwand zu reduzieren. Fehler in der (erneuten und damit zeitintensiven) Modellierung auf Seiten des Monitoring- bzw. Kollaborationssystems lassen sich damit vermeiden.

In dieser Phase können Simulationsmodelle auch zu Trainingszwecken und zur Ausbildung von Nutzern von Kollaborationslösungen genutzt werden. Hier können Nutzer z.B. die Auswirkungen von individuellen (lokalen) Planungsentscheidungen am Modell bewerten lassen.

**Operativer Betrieb.** Im operativen Betrieb kann die Simulation – gegebenenfalls unter Nutzung der genannten Schnittstellen – selbst als Prognosewerkzeug eingesetzt werden, um z.B. zu überprüfen, zu welchen Ergebnissen das übergeordnete Planungssystem (in der aktuellen Parameterkonfiguration) führen wird. Dies ist insbesondere dann sinnvoll, wenn sich die Rahmenbedingungen für die Lieferkette kurzfristig verändern. Hierzu gehören z.B. Streik- oder Hochwassersituationen, deren Einflüsse auf das Gesamtverhalten der Lieferkette zu bewerten sind. Gleichzeitig können verschiedene Lösungsstrategien zur Behebung der entstehenden (Versorgungs-)Probleme am Simulationsmodell untersucht werden.

Ein Werkzeug, das entsprechend durchgängige Simulationsanwendungen in allen Lebenszyklusphasen einer Supply Chain ermöglicht, stellt ICON-SimChain dar, das im folgenden Abschnitt vorgestellt wird.

### 3 Modellierungsansatz von ICON-SimChain

ICON-SimChain dient der Abbildung und Analyse von dynamischen Zusammenhängen von Lieferketten und Distributionsnetzwerken sowie von „individuellen“ Planungs- und Bestellpolitiken. ICON-SimChain basiert auf einem prototypischen Bausteinkasten der SimPlan AG, der unter dem objektorientierten Simulationssystem eM-Plant der Firma Tecnomatix entwickelt wurde. Dieses Werkzeug zeichnet sich insbesondere durch eine Anbindung an das Monitoring- und Kollaborationssystem ICON-SCC der Firma ICON und durch einen (teil-)automatisierten Modellaufbau aus. Aufgrund der Objektorientierung und der damit verbundenen Flexibilität und Offenheit von eM-Plant ist ein Customizing von Modellen – d.h. der Abbildung auch problemspezifischer Strukturen und spezieller Prozesse – vergleichsweise unproblematisch. Damit grenzt sich dieser Simulator von den meisten Simulationswerkzeugen im Bereich des SCM ab, die eher einen monolithischen Ansatz verfolgen; vgl. hierzu auch den kurzen Überblick zu weiteren, speziellen SCM-Simulationswerkzeugen in Lee und Kim (2002).

**Grundlagen.** ICON-SimChain basiert auf zwei übergeordneten Bausteinen zur Abbildung von Material- und Informationsfluss, einem Baustein für die Parametrisierung sowie einem weiteren für die zentrale Verwaltung aller Ergebniswerte. In Abb. 1 ist die Oberfläche (einschließlich eines einfachen Beispiels für ein Distributionsnetzwerk) dargestellt.

Der zentrale Baustein ist das Depot. Depots können entweder interaktiv im Modell angelegt bzw. vernichtet werden, oder in einer entsprechenden Tabelle im Verwaltungsbaustein definiert werden. Diese werden dann automatisch in der Modellinitialisierung angelegt und parametrisiert.

Der Depot-Baustein besteht aus vier einzelnen Bausteinen (gemäß SCOR-Modell):

- Lager (Wareneingang und Warenausgang, definiert *Source* und *Deliver*)

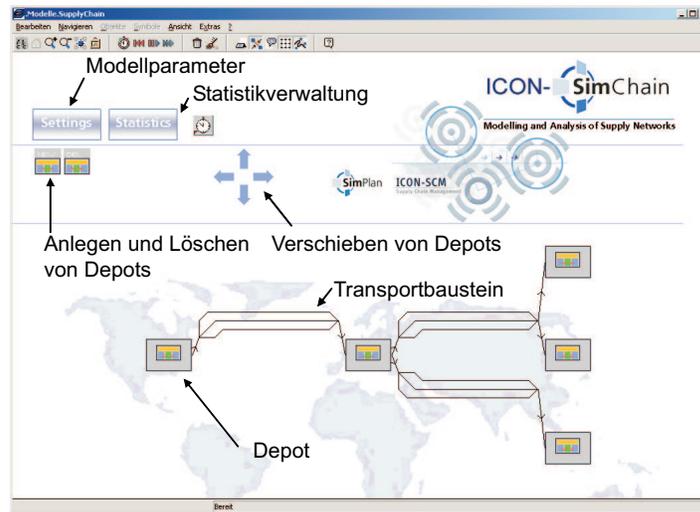


Abb. 1. Oberfläche von ICON-SimChain

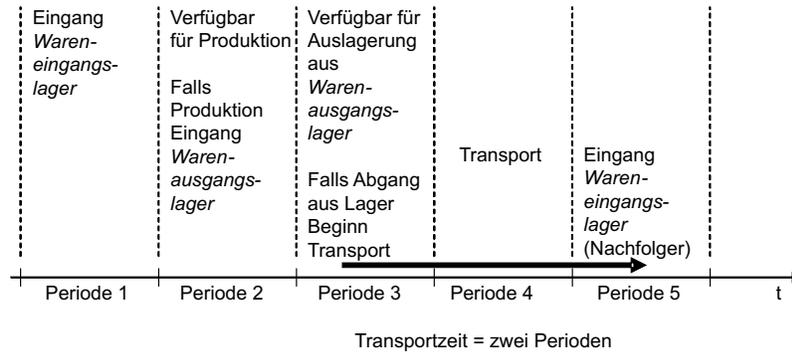
- Produktion (mit Ressourcen, modelliert *Make*)
- Übergeordnetes Bestell- und Planungssystem (ERP, definiert *Plan*)

Die beiden Lagerbausteine dienen im Wesentlichen der Abbildung der Ein- und Auslagerungsprozesse unter Berücksichtigung von Leistungsschwankungen sowie der Verwaltung der Bestände und den damit verbundenen Kosten der Lagerhaltung. Im Produktionsbaustein können beliebig viele Ressourcen parametrisiert werden, wobei jedes Produkt aber immer nur genau einer (kapazitierten) Ressource zugeordnet werden kann. Für die einzelnen Ressourcen sind Kapazitäten anzugeben und für jedes zugeordnete Produkt jeweils ein Kapazitätsverbrauch. Die Angaben dienen gleichzeitig als Basis für den Kapazitätsabgleich im Rahmen der Produktionsplanung. Für alle Ressourcen sowie die beiden Läger können (unterschiedliche) Arbeitskalender definiert werden, die in der Planung entsprechend berücksichtigt werden.

Grundsätzlich erfolgt die Planung auf der Basis von Perioden (fester, aber frei parametrisierbarer Länge). Hierbei können (vordefinierte) Planungsverfahren oder Bestellungen in individuell festlegbaren Zyklen (für jedes Depot getrennt) ausgeführt werden.

Im Rahmen der Produktion werden Vorprodukte gemäß der Losgröße und Stückliste aus dem Wareneingangslager jeweils en bloc (zu Beginn der Produktion) aus dem Lager abgezogen. Nach Beendigung der Produktionszeit für die jeweilige Losgröße werden die entstandenen Produkte (nach Abzug eines Ausschussanteils) in das Wareneingangslager (Zwischenprodukte) oder Warenausgangslager (Endprodukte) eingelagert.

Sowohl Vor- bzw. Zwischenprodukte (im Wareneingangslager) als auch Endprodukte (im Warenausgangslager) können unter Angabe eines spezifi-



**Abb. 2.** Beispiel zum periodenorientierten Materialfluss unter ICON-SimChain

zierten Transportmodus von Nachfolgern in der Kette bestellt werden. Die entsprechenden Abzugs- bzw. Zugangsmengen werden genau einmal in der jeweiligen Periode verbucht. Dabei wird davon ausgegangen, dass in einer Periode nur Produkte das Depot verlassen können, die zu Beginn der Periode im Lager vorhanden sind. In Abb. 2 ist der periodenorientierte Materialfluss mit den entsprechenden Zeitpunkten, an denen Artikel nach einem Transport im Nachfolgerdepot für einen folgenden Produktionsschritt wieder verfügbar sind, beispielhaft dargestellt.

Die komplette Planungsfunktionalität – einschließlich des zugehörigen Informationsflusses obliegt dem überlagerten Planungs- und Bestellsystem eines Depots, das die folgenden Funktionalitäten umfasst:<sup>1</sup>

- Abbildung des Bestelleingangs (einschließlich der Verzögerung der Informationsweitergabe)
- Bestimmung von Lieferterminen (für Bestellungen von Nachfolgern in der Kette)
- Periodenweise Produktionsplanung / Planung der Bestellungen
- Verwaltung von Bestellungen bei Vorgängern in der Kette

Neben dem Depot bildet der Transportbaustein den wesentlichen Bestandteil des Simulationssystems. Diese werden grundsätzlich in der Initialisierungsphase automatisch angelegt und gemäß der Spezifikationen der definierten Lieferbeziehungen zwischen je zwei Depots parametrisiert. Lieferbeziehungen sind hierbei zwar für einzelne Produkte zu definieren; es können aber identische Transportmodi, die gesondert zu parametrisieren sind, genutzt werden. Der Transportbaustein erfüllt die folgenden Funktionalitäten:

- Abbildung von Transporten unter Berücksichtigung von (diskret verteilten) Transportverzögerungen, die für jeden Transportmodus zu definieren sind

<sup>1</sup> Auf die wesentlichen Aspekte dieser Funktionalitäten wird im Folgenden näher eingegangen.

- Bestimmung der Transportkosten (in Abhängigkeit des Transportmodus)
- Abbildung von Sondersituationen (und entsprechender Informationsverfügbarkeit), wie z.B. Streiks oder Hochwasser

Auch für einzelne Transportmodi können Arbeitszeitmodelle hinterlegt werden. Sämtliche Modellparameter werden zentral in einem eigenen Baustein verwaltet, über den sämtliche Modellparameter (Strukturdaten) eingestellt sowie die Modellinitialisierung bzw. Strukturveränderungen im Zeitverlauf vorgenommen werden. Die Struktur des Modells kann sich während eines Experiments ändern, da die Möglichkeit besteht, Gültigkeitsbereiche für Lieferbeziehungen und Stücklisten zu definieren. Darüber hinaus bietet der Verwaltungsbaustein – neben einer Schnittstelle zum Einlesen von vollständigen Auftragslisten – unterschiedliche Auftragsgeneratoren, um externe Kundenaufträge auf der Basis von Wahrscheinlichkeitsverteilungen zu erzeugen.

Die wesentlichen Datenstrukturen bzw. Modellparameter setzen sich aus den folgenden Tabellen zusammen:

- *Depots*: Periodenlänge, Frequenz von Planungs- und Bestellverfahren, Ressourcen, Arbeitskalender, Kapazitätsprofile, Verzögerungen im Informationsfluss
- *Artikel*: zeitabhängige Stücklisten, Sicherheitsbestände, Mindestproduktionsmengen, Losgrößen, Reichweiten, Ausschussanteil, Güte von Prognoseverfahren
- *Lieferbeziehungen*: Frequenz von Lieferungen, Transportmodi, minimale Transportmengen, Losgrößen, Gültigkeitsbereiche, Ausschussanteil, Angestrebter Servicegrad
- *Transportoptionen*: Transportdauer als diskrete Verteilung, Kostenstruktur, Arbeitskalender
- *Arbeitskalender und Kapazitätsprofile*: Verschiedene Kalender und Kapazitätsprofile auf Periodenbasis zur Abbildung von Wochenenden, Feiertagen, unterschiedlichen Schichtmodellen etc.
- *Ausnahmesituationen*: „Ergänzungen“ zu den Arbeitskalendern und Kapazitätsprofilen, wobei neben der Angabe der Periode und der veränderten verfügbaren Kapazität auch die Periode anzugeben ist, ab der diese Veränderung bekannt ist
- *Kundenaufträge*: Lastgeneratoren bzw. Schnittstelle zu Datenbanken mit historischen Daten

Neben den Transportbausteinen wird auch ein Statistikbaustein für die Analyse bzw. Bewertung von Ergebnissen automatisch angelegt. In der Standardeinstellung werden z.B. für jedes Produkt an einem Standort eine Tabelle sowie ein Verlaufsdiagramm erzeugt, in denen die jeweiligen Ergebniswerte pro Periode protokolliert werden. Neben den Ziel- und Ist-Beständen werden hier z.B. Bestellmengen, Rückstände, Kostenkennzahlen sowie der Servicegrad geführt.

**Schnittstellen für Strukturdaten.** Die im Simulationsmodell zentral hinterlegten Strukturdaten können in das Monitoring-System ICON-SCC exportiert werden und stehen für den operativen Einsatz somit direkt zur Verfügung. Gleichzeitig kann ein Export der Strukturdaten von ICON-SCC nach ICON-SimChain erfolgen. Die Schnittstelle ist über einfache Textdateien realisiert.

Die Datenstrukturen der beiden Systeme entsprechen sich hierbei weitestgehend. Auf Seiten der Simulation sind allerdings weitere Parameter bzw. Einstellungen zur Abbildung stochastischer Größen sowie individueller Planungsmethoden zu spezifizieren. Bei einem Import werden die Daten zunächst in die simulationsinternen Datenstrukturen überführt (die sich insbesondere durch geschachtelte, d.h. multi-dimensionale, Tabellen auszeichnen).

Aufgrund des teilautomatisierten Modellaufbaus kann mit Simulationsexperimenten nahezu direkt nach Einlesen der Strukturdaten und der Festlegung von Auftragsdaten begonnen werden. Dies bedeutet, dass der simulationsseitige Modellierungsaufwand für Lieferketten, für die ICON-SCC installiert ist, äußerst gering ist.

**Informationsweitergabe.** Die Effizienz von Supply Chains hängt zu einem Großteil von einer hohen Informationsverfügbarkeit und der damit möglichen zeitnahen Koordination der Teilprozesse ab. Die Informationsweitergabe (Bestellungen etc.) kann auf verschiedenen Informationswegen erfolgen (mündlich, papierbasiert oder elektronisch). Als besonders kritisch sind hierbei Medienbrüche anzusehen. So kann ein solcher Bruch auch bei einer ansonsten elektronischen Kommunikationsform vorliegen, wenn z.B. eingehende Bestellungen zwar per E-Mail erfolgen, die Bestelldaten aber anschließend von Hand in die entsprechenden Anwendungssysteme einzugeben sind. Eine Durchgängigkeit – im Sinne der Kommunikation zwischen Anwendungen – liegt z.B. bei Konzepten aus dem Bereich EDI vor; vgl. z.B. Voß und Gutenschwager (2001) sowie Böse *et al.* (2003).

Unter ICON-SimChain können Medienbrüche bzw. Verzögerungen im Informationsfluss dergestalt abgebildet werden, dass Bestellungen erst zeitverzögert in den Planungsverfahren verarbeitet werden. Hierzu kann eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung für jedes Depot angegeben werden, die eine Parametrisierung der Verzögerung (angegeben in Anzahl Perioden) von Bestelleingängen ermöglicht. Der minimale Wert wird dabei in den Planungsverfahren zur Auslösung von Bestellungen als Standardwert berücksichtigt.

Um die Situation vollständiger Informationen abzubilden (keine Verzögerungen im Informationsfluss) ist zu gewährleisten, dass die aktuellen Bedarfe bzw. Bestellungen so durch die Kette propagiert werden, dass alle Depots sämtliche relevanten Informationen noch rechtzeitig für die aktuelle Planungsperiode erhalten. Hierzu wird im Modell ein entsprechender Vorgänger-Nachfolger-Graph in der Initialisierung ermittelt, aus dem die Reihenfolge der Aufrufe der Planungs- und Bestellverfahren der einzelnen Depots (pro Periode) abgeleitet wird.

Die Parametrisierung von Verzögerungen im Informationsfluss kann unter anderem für einen Vergleich unterschiedlicher Kommunikationswege bzw. -systeme genutzt werden. Somit können z.B. die Potenziale eines Supply-Chain-Monitoring-Systems im Vergleich zu den bestehenden Kommunikationsstrukturen im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse abgeschätzt werden. Das Ziel entsprechender Analysen könnte z.B. sein, am Modell zu bewerten, bis zu welchem Grad sich Bestände durch eine verbesserte Informationsgrundlage bzw. eine stärker zentralisierte Planung verringern lassen.

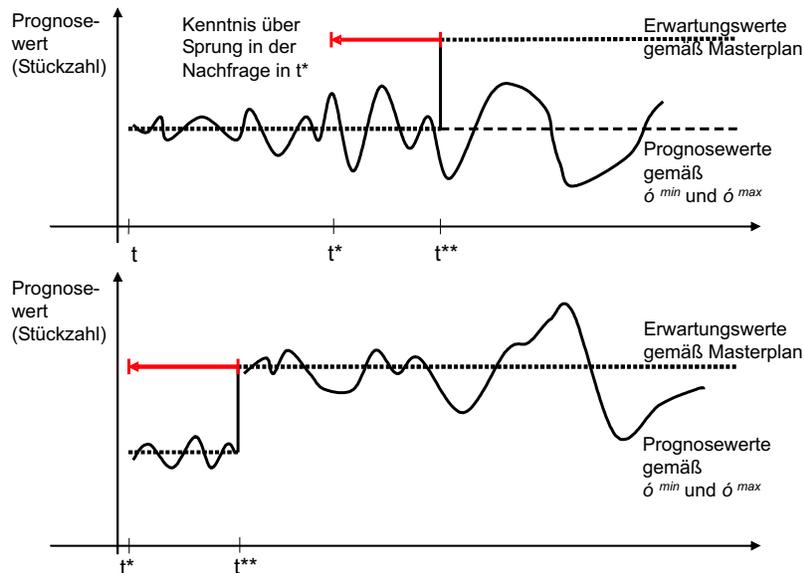
**Prognose, Produktions- und Bestellplanung.** Die Abbildung von Prognoseverfahren in Simulationssystemen stellt aus Sicht der Modellierung einen besonders kritischen Aspekt dar. So werden in der Praxis oftmals keine Standardverfahren aus der Fachliteratur eingesetzt, sondern individuelle Lösungsansätze. Im ungünstigsten Fall erfolgt die Prognose auf der Basis individueller Einschätzungen künftiger Entwicklungen.

Für die simulative Abbildung (von Ist-Situationen) sind aber genau diese Verfahren nachzuimplementieren bzw. geeignet zu modellieren. Hier entsteht ein gegebenenfalls hoher Modellierungsaufwand für notwendige Modellerweiterungen. Gleichzeitig ist es oftmals äußerst schwierig, „manuelle“ (implizite) Verfahren in algorithmischer Form zu beschreiben; vgl. Voß und Gutenschwager (2001) zu entsprechenden Verfahren der Wissensakquisition.

Unter ICON-SimChain sind demzufolge keine expliziten Prognoseverfahren abgebildet. Statt dessen wird die Güte des jeweils eingesetzten Planungsverfahrens zur Beschreibung der Prognose als Modellparameter genutzt. Die Bewertung des eingesetzten Prognoseverfahrens beinhaltet dabei gleichzeitig eine Bewertung der Entscheidungssituation selbst. So ist die Ergebnisgüte eines Verfahrens bei höherer Informationssicherheit – wie sie typischerweise auf der ersten Ebene eine Supply Chain vorliegt – i.d.R. ebenfalls höher.

Unter ICON-SimChain wird hierzu folgender Ansatz umgesetzt. Zunächst werden in der Modellinitialisierung sämtliche Kundenauftragsdaten eingelesen oder über einen Auftragsgenerator erzeugt. Damit erhält man den sogenannten *Masterplan*, der die im Simulationslauf dann tatsächlich eintretenden Kundenaufträge und (abgeleiteten) Bedarfe beschreibt.

Zur Laufzeit des Modells werden in jedem Planungsschritt (für die Prognose eines Artikels) die Prognosewerte für jede Periode des Planungshorizonts verfälscht. Die Grundlage bildet hierzu die Normalverteilung. Der Erwartungswert ist der für die jeweils betrachtete Periode später tatsächlich eintretende Bedarf, der dem Masterplan entnommen werden kann. Die einzige Ausnahme bilden Sprünge im Bedarf, die Bestandteil der Parametrisierung des entsprechenden Problemgenerators sind. Für jeden Sprung ist hier anzugeben, wie viele Perioden vorab dieser Sprung erstmals in der Prognose zu berücksichtigen ist. Vor dieser Periode, an der die Prognose die Veränderung erfasst, wird mit dem alten Erwartungswert prognostiziert. Damit können sowohl vorab bekannte saisonale Schwankungen als auch unerwartete Sprünge abgebildet werden (vgl. Abb. 3).



**Abb. 3.** Ermittlung des dynamischen Prognosefehlers unter Berücksichtigung von Sprüngen im Bedarf und entsprechender Informationsverfügbarkeit

In der Abbildung wird zum Zeitpunkt  $t$  ein Prognoseverfahren für einen Artikel angewendet. Hierbei wird ein gleichmäßiger Bedarf für den betrachteten Artikel für alle Perioden bis zum Zeitpunkt  $t^{**}$  unterstellt. Ab diesem Zeitpunkt erhöht sich der später tatsächlich eintretende Bedarf. Die (generelle) Kenntnis über den Sprung wird im Beispiel für den Zeitpunkt  $t^*$  unterstellt. Diese Form der Informationsverfügbarkeit kann im Auftragsgenerator entsprechend parametrisiert werden. Da dieser Zeitpunkt noch nicht erreicht ist, wird für die Ermittlung der Prognosewerte zunächst mit dem „alten“ Erwartungswert für alle Perioden des Planungshorizonts gerechnet (vgl. Abb. 3, oben). Erst wenn der Zeitpunkt  $t^*$  erreicht ist, wird für die der entsprechenden Periode folgenden Perioden der neue (und korrekte) Erwartungswert unterstellt (vgl. Abb. 3, unten).

Ausgehend vom anzunehmenden Erwartungswert wird der Prognosewert als Verfälschung dieses Wertes bestimmt. Im Modell wird dabei berücksichtigt, dass die Informationsgüte und damit die Prognosequalität für die nähere Zukunft höher ist als für spätere Perioden des Planungshorizonts. Die unterstellte Standardabweichung der Normalverteilung ist somit dynamisch zu gestalten.

Hierzu ist im Modell ein Wert für die Standardabweichung in der ersten Planungsperiode ( $\sigma^{min}$ ) sowie ein Wert für die Standardabweichung für die letzte Periode des Planungshorizonts ( $\sigma^{max}$ ) für die Modellierung des Prognosefehlers anzugeben. Zwischen der ersten und der letzten Periode des

Planungshorizonts nimmt der Fehler (Standardabweichung) dabei im Modell linear zu (vgl. Abb. 3).

Formal bestimmt sich die Standardabweichung der zugrundeliegenden Normalverteilung für jede Periode  $i$  des Planungshorizonts der Länge  $n$  (mit  $n > 1$ ) wie folgt:

$$\sigma_i = \sigma^{min} + \left( \frac{\sigma^{max} - \sigma^{min}}{n - 1} \right) \cdot (i - 1) \quad \forall i \in (1..n) \quad \text{mit } \sigma^{max} \geq \sigma^{min} \geq 0$$

Da negative Prognosewerte auszuschließen sind, werden die Prognosewerte nach unten begrenzt. Gleichzeitig wird angenommen, dass der verfälschte Prognosewert maximal doppelt so hoch sein darf wie der jeweilige Erwartungswert. Damit wird sichergestellt, dass die Verteilungen zur Abbildung der Verfälschungen weiterhin den vorgegebenen Erwartungswert besitzen.

Ausgehend von den ermittelten Prognosewerten wird eine periodenweise Bedarfsplanung für jedes Produkt eines Depots durchgeführt. Hierbei stehen verschiedene Verfahren zur Ermittlung des künftigen Bedarfs zur Verfügung:

- *Make-to-order*: Für die Produktion sind allein die aktuellen Aufträge von Relevanz, d.h., es wird kein Sicherheitsbestand berücksichtigt. Für diesen Fall werden keine Mindestproduktionsmengen beachtet.
- *Make-to-stock (fix)*: Das Ziel besteht darin, einen fixen Sollbestand eines Produkts am Lager vorzuhalten.
- *Make-to-stock (dynamisch bzw. reichweitenorientiert)*: Das Ziel besteht darin, einen dynamisch bestimmten Sollbestand eines Produkts am Lager vorzuhalten.
- *Verarbeitung der Ergebnisse übergeordneter Planungsverfahren*: Das Ziel besteht darin, Planungsergebnisse von APS in der Simulation umzusetzen, um eine Bewertung dieser unter Berücksichtigung relevanter stochastischer Einflüsse zu ermöglichen.

Bei der reichweitenorientierten Planung ist vom Anwender die Anzahl an Perioden anzugeben, für die der Lagerbestand am Ende der betrachteten Planung noch mindestens ausreichen soll. Der jeweilige Zielbestand wird dann dynamisch unter Berücksichtigung der aktuellen Prognose für die folgenden Perioden und eines Mindestbestands ermittelt.

Für eine Online-Kopplung mit einem übergeordneten Planungssystem steht in der aktuellen Version eine Schnittstelle zum *Demand Planner* der Firma ICON zur Verfügung. Diese Kopplung erfolgt zur Laufzeit nach folgendem Schema:

1. *Versenden* von Dateien mit allen Beständen, externen Bestellungen, Verfügbarkeiten, Arbeitskalendern etc. vom Simulationsmodell an den *Demand Planner* von ICON-SCC.
2. Aufruf des *Demand Planner* aus dem Simulationsmodell heraus. Dieser berechnet geeignete Korridore für die Zielbestände für alle Produkte und

Perioden, an denen sich die individuellen Produktions- und Bestellplannungen orientieren sollen. Die Korridore ergeben sich über die Angabe eines Mindest- sowie eines Maximalbestands für jedes Produkt pro Periode und Depot. Die entsprechenden Werte werden wiederum dem Simulationsmodell als Datei zur Verfügung gestellt und dort eingelesen.

- Über einen Modellparameter *devFromSCC* wird für jedes Produkt abschließend festgelegt, wie sich der letztendliche Zielbestand im Rahmen der lokalen Planung des jeweiligen Depots ergibt. Das Ziel dieses Modellierungsansatzes besteht darin, individuelles Entscheidungsverhalten über *devFromSCC* abzubilden: Für Werte zwischen 0 und 1 wird der entsprechende Wert zwischen dem (vom Demand Planner) vorgeschlagenen minimalen und maximalen Zielbestand bestimmt. Für Werte zwischen 1 und 2 bzw. zwischen 0 und -1 wird diese Gerade zwischen den beiden Vorgabewerten (außerhalb des vorgeschlagenen Korridors) linear weitergeführt. Damit können z.B. auch überaus konservative individuelle Planungsannahmen (mit überhöhten Sicherheitsbeständen) abgebildet und die Auswirkungen eines von den Vorgaben abweichenden Verhaltens analysiert werden.

Ausgehend von den Zielbeständen für alle Perioden des Planungshorizonts wird anschließend ein Kapazitätsabgleich durchgeführt. Dieser basiert auf einer einfachen Heuristik, die in einer Vorwärtsrechnung für jede Ressource überprüft, ob alle Kapazitätsrestriktionen in der jeweiligen Periode eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, so wird zunächst versucht, entsprechende Konflikte durch ein Vorziehen von (Teil-)Produktionsaufträgen (unter Beachtung von Losgrößen und Mindestproduktionsmengen) aufzuheben. Da mehrere Produkte einer Ressource zugeordnet sein können, wird hier versucht, die Verschiebung auf möglichst alle zugeordneten Produkte gleich zu verteilen. Ist ein Vorziehen nicht möglich, so wird sukzessive eine Verschiebung nach hinten, d.h. eine Verspätung um jeweils eine Periode, eingeplant, bis der Konflikt aufgelöst ist.

Bestellungen werden unter Beachtung eines *Supplier Splits* (bei alternativen Lieferanten) vorgenommen, der vorab festzulegen ist. Da unter ICON-SimChain mehrere Transportmodi für eine Transportverbindung angelegt werden können (z.B. Transport per Flugzeug oder Schiff), wird bei einer Bestellung jeweils der am höchsten priorisierte Modus (günstigste/langsamste) überprüft. Würde sich hierbei unter Beachtung von (vereinbarten) Mindesttransportdauern und Lieferzyklen eine Verspätung ergeben, so würde der nächste mögliche Transportmodus überprüft werden etc. Kann keine Alternative gefunden werden, die eine rechtzeitige Auslieferung gewährleistet, wird die schnellste/kostenintensivste Alternative gewählt. Es wird somit nicht nur ein Produkt in einer bestimmten Menge bestellt, sondern auch ein Transportmodus. Dies geschieht aus Gründen der Zurechenbarkeit entsprechender Kosten (Verursacherprinzip). Umgekehrt wird ein alternativer Transportmodus auch gewählt, wenn sich auf Seiten des Zulieferers eine Verspätung (z.B.

durch unzureichende Bestände) ergäbe, die dazu führen würde, dass der vereinbarte Servicegrad für die Lieferbeziehung durch den Zulieferer nicht mehr eingehalten wird.

**Abbildung von Sondersituationen.** Unter ICON-SimChain besteht die Möglichkeit, Sondersituationen (wie z.B. Streiks) mit einer veränderten Verfügbarkeit von Ressourcen zu parametrisieren. Im Unterschied zum normalen Arbeitskalender sind diese nicht sofort bekannt, sondern erst ab einem ebenfalls anzugebenden Zeitpunkt. Dies bedeutet, erst wenn dieser Zeitpunkt erreicht ist, wird mit den veränderten Randbedingungen geplant.

Sondersituationen können sowohl für Ressourcen und Läger als auch für Transportverbindungen modelliert werden. Hierzu dienen zwei Tabellen, in denen die Perioden mit veränderter Kapazität angegeben werden können. Die Angabe, ab welcher Periode die Veränderungen als bekannt vorausgesetzt werden können, dient modellintern dazu, die Produktionsplanung bzw. die Planung von Bestellungen auf der Basis dieser zusätzlichen Informationen durchzuführen. Dabei wird der ursprünglich relevante Arbeitskalender bzw. das entsprechende Kapazitätsprofil für die betroffenen Perioden überschrieben.

## 4 Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt soll abschließend ein Praxisbeispiel vorgestellt werden, das sich insbesondere durch eine Prozessverbesserung durch vermiedene Sonderaktionen und reduzierte Bestände in einer vierstufigen Supply Chain auszeichnete. Das Beispiel entstammt einem realen Projekt aus dem Bereich der Automobilindustrie; die Darstellung wurde anonymisiert.

**Das untersuchte Netzwerk.** Der Aufbau des untersuchten Netzwerkes ist in Abb. 4 dargestellt. Ein Kunde (OEM) wird in einer vierstufigen Zuliefererkette mit Waren versorgt. Die Planung der Unternehmen erfolgt lokal. Zudem wird die in der Automobilindustrie typische Abrufsteuerung verwendet, d.h., der Zulieferer erhält eine Vorschau der Nachfrage für die nächsten (typischerweise 9 bis 18) Monate, wobei die ersten Wochen auf Tagesbasis und anschließend auf Wochenbasis übermittelt werden. Basierend auf diesen Bedarfen plant das Unternehmen seine Produktion und gibt nun seinerseits die Abrufe weiter. Der OEM plant täglich, die Zulieferer auf der zweiten, dritten und vierten Ebene nur noch wöchentlich. Dies bedeutet, dass eine Änderung der Nachfrage den Zulieferer der vierten Ebene erst nach zwei Wochen erreicht. Die Steuerung des Netzwerkes erfolgt über Bestandsreichweiten, die Bestandteil des Vertrages zwischen Kunde und Lieferant sind.

Die Produktstruktur zeigt eine sehr frühe, prozessbedingte Variantenbildung bei dem Zulieferer der vierten Ebene. Der OEM produziert in einem Make-to-order-Prozess, allerdings liegt der *Order Penetration Point*, der den

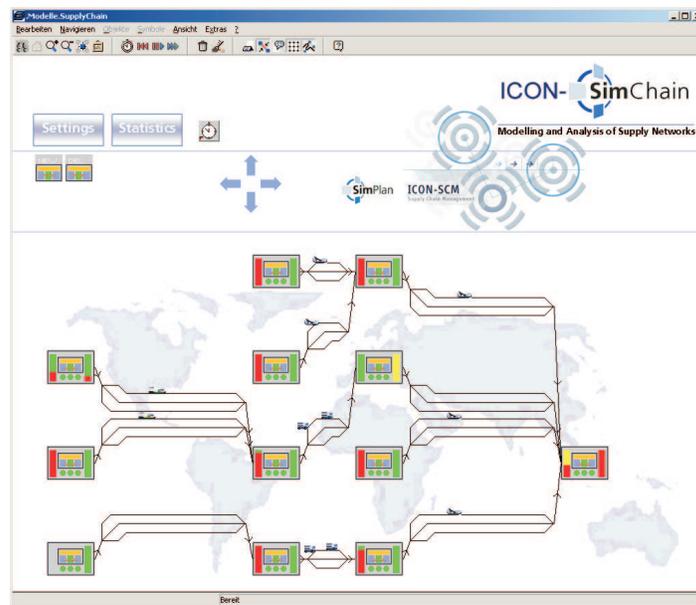


Abb. 4. Simulationsmodell der untersuchten Lieferkette

Übergang zwischen auftragsbezogener und auftragsneutraler Produktion bezeichnet, bei dem Zulieferer der zweiten Ebene. Somit müssen die Produktvarianten der vierten Ebene auftragsneutral (per Push-Ansatz) hergestellt werden, was in der Regel durch überhöhte Bestände abgefangen wird; vgl. Alicke (2003).

Ein weiteres Problem stellt der übermittelte Bedarfshorizont dar. So werden in dem Beispiel vom OEM täglich Abrufe für die nächsten neun Monate zur Verfügung gestellt, der Zulieferer auf der vierten Ebene erhält aber nur noch Abrufe für die nächsten drei Wochen von seinem Kunden (Unternehmen auf der dritten Ebene).

Vor allem die Produktionsprozesse auf der vierten und dritten Ebene sind durch lange (prozessbedingte) Durchlaufzeiten von bis zu drei Wochen geprägt. In Kombination mit der kaskadierenden Informationsweitergabe und der schwankenden Nachfrage des Marktes waren aufwendige und teure Sonderaktionen nötig, um die Versorgung der Montagelinien des OEM zu sichern.

**Supply Chain Simulation für die Potenzialanalyse.** ICON-SimChain wurde verwendet, um die komplexen Zusammenhänge innerhalb der Lieferkette zu modellieren und somit zu qualifizierten Aussagen über Prozessverbesserungen und damit zu Einsparpotenzialen zu kommen. In einem ersten Schritt wurde das Netzwerk mit den lokalen Planungsverfahren, dem bestehenden Informationsfluss und dem Materialfluss modelliert.

Die im Simulator vorgegebenen Datenstrukturen und implementierten (Planungs-)Verfahren waren für die Modellierung ausreichend und mussten nicht durch Modellerweiterungen projektspezifisch ergänzt werden. Der Modellierungsaufwand beschränkte sich damit auf eine reine Parametrisierung. Insbesondere die Abbildung der Prognoseverfahren an den einzelnen Depots hat sich als Vorteil erwiesen. Bei der Datenerhebung konnte auf eine aufwendige Beschreibung – und die damit verbundene Implementierung – der jeweils genutzten Prognoseansätze, die nicht zwangsweise methodisch unterstützt werden, verzichtet werden. Tatsächlich war die Angabe der Prognosequalität an den einzelnen Standorten mit vergleichsweise geringem Aufwand zu ermitteln, insbesondere wenn die Prognosewerte (in der Realität) „manuell“ bestimmt werden.

Für die Untersuchungen wurden typische variantenbildende Produkte ausgewählt, um detaillierte Untersuchungen durchzuführen. Das Verhalten der Struktur wurde in einem ersten Schritt mit fiktiven Daten untersucht und anschließend mit historischen, realen Daten validiert. Zur Analyse der Ursache/Wirkungszusammenhänge wurden die fiktiven Daten verwendet, da es hier nicht zu Überlagerungseffekten und Nebenläufigkeiten kommt.

Der Bullwhip-Effekt (siehe Lee *et al.* (1997)), der durch eine lokale Verarbeitung von Informationen sowie Bündeleffekten entsteht, konnte in der untersuchten Supply Chain nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass bei einer verbesserten Informationsverfügbarkeit die Sonderaktionen deutlich reduziert werden konnten. Diese Effekte wurden in Richtung der Zulieferer deutlicher. Auch war für einen Teil der Produkte eine Bestandsreduktion möglich. Diese Erkenntnisse wurden anschließend anhand der realen Abrufdaten, die für einen Zeitraum von 18 Monaten vorlagen, validiert.

Die verbesserte Prozesssicherheit, die damit einhergehende Verringerung der Sonderaktionen und die Bestandsreduktion wurden monetär am Modell bewertet. Hierbei ergab sich eine Reduktion der Logistikkosten von 8-10%. Um die Potenziale, die sich durch eine erhöhte Informationsverfügbarkeit ergaben, zu realisieren, wurde ein Supply-Chain-Monitoring-System eingeführt. Hier konnten die Potenziale in einem Pilotbetrieb auch in der Realität aufgezeigt werden.

In einem zweiten Schritt wurde das Design des Netzwerks untersucht. Bisher wurden alle Produkte aufgrund der großen räumlichen Entfernung per Luftfracht transportiert. Im Simulationsmodell wurden nun die Schnelldreher auf die wesentlich günstigere Seefracht umgestellt, die Langsamdreher werden weiterhin geflogen; siehe Fisher (1997) für eine Diskussion von innovativen und funktionalen Produkten und entsprechend definierten Supply Chains. Es zeigt sich, dass die Kapitalbindungskosten durch den erhöhten Pipelinebestand der Seefracht von den Einsparungen der Transportkosten überkompensiert werden. Insgesamt wurde der Nutzen der Simulation in diesem Projekt – nicht zuletzt aufgrund der vergleichsweise detaillierten Abbildung der Prozesse – als besonders positiv bewertet.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Zur Beherrschung der immer komplexer werdenden Supply Chains sind neue Konzepte und Lösungsansätze nötig. Speziell bei früher Variantenbildung und Supply Chains mit sehr vielen Ebenen liegen Einsparpotenziale in reduzierten Sonderaktionen und Beständen. Zur Modellierung dieser Systeme und der stochastischen Einflussfaktoren bietet sich die stochastische, ereignis-diskrete Simulation an. Diese ermöglicht Wirtschaftlichkeitsanalysen für die Einführung innovativer Kollaborations- und Planungswerkzeuge und bietet gleichzeitig eine geeignete Basis zur Parametrisierung von eingesetzten Steuerungsverfahren innerhalb von Lieferketten und Distributionsnetzwerken.

Das vorgestellte SCM-Simulationswerkzeug ICON-SimChain basiert auf dem Simulationssystem eM-Plant und bietet die Möglichkeit der Untersuchung von komplexen Systemen mit einem hohen stochastischen Einfluss bei Nachfrage, Zuliefer- und Herstellprozessen. Die Modellierung im Sinne von SCOR-Prozessen macht hierbei das Modell transparent für die beteiligten Unternehmen. Durch Konzentration auf wenige Produkte sind die Einflussfaktoren auch für den praktischen Anwender nachvollziehbar, somit ist eine hohe Akzeptanz gewährleistet. Durch die enge Kopplung an das Monitoring-System ICON-SCC sind die ermittelten Potenziale auch im operativen Betrieb realisierbar.

Erste Pilotprojekte zeigen auf, dass die Simulation ein exzellentes Werkzeug darstellt, um komplexe Prozesse zu untersuchen und vor allem auch dem Anwender verständlich zu machen. So konnte in dem hier dargestellten Praxisfall aus der Automobilindustrie die Logistikkosten einer komplexen Lieferkette um ca. 8-10% gesenkt werden. Diese Abschätzungen bildeten die Entscheidungsgrundlage für die Einführung eines neuen Monitoring-Systems für die betrachtete Supply Chain.

Weitere Forschungsaktivitäten sollten sich in diesem Bereich insbesondere auf eine Kopplung mit Optimierungsverfahren konzentrieren. Für ICON-SimChain werden spezielle Ansätze zur simulationsgestützten Optimierung derzeit entworfen, die insbesondere einer automatisierten Kalibrierung von Steuerungsparametern dienen; vgl. z.B. Andradottir (1998) sowie Carson und Maria (1997). Gleichzeitig sollen weiterführende Planungsverfahren implementiert werden; vgl. hierzu z.B. die Ansätze in Voß und Woodruff (2003). Generell ist der Einsatz der Simulation in weiteren Projekten zu untersuchen, um so die Eignung dieses Werkzeugs auf einer breiteren Basis vornehmen zu können.

## Literaturverzeichnis

- Alicke, K. (2003). *Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken*. Springer, Berlin.
- Alicke, K., Putzlocher, S., und Graf, H. (2002). Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management realisiert multi-tier collaboration. In: W. Dangelmaier und A. Busch, Hrsg., *Integriertes Supply Chain Management – Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse*, S. 471–483. Gabler, Wiesbaden.
- Allard, R., Hartel, I., und Hieber, R. (1999). Innovationstreiber im Supply Chain Management. *ioManagement*, **5**, 64–67.
- Andradottir, S. (1998). Simulation optimization. In: J. Banks, Hrsg., *Handbook on Simulation*, S. 307–333. Wiley, Chichester.
- Bergeron, F. und Raymond, L. (1992). The advantages of electronic data interchange. *Database*, **23**, 19–31.
- Böse, J., Gutenschwager, K., und Voß, S. (2003). Informationslogistikmanagement: Komponenten und Methoden zur Gestaltung innovativer E-Business-Prozesse. In: W. Dangelmaier, T. Gajewski, und C. Kösters, Hrsg., *Innovationen im E-Business*, S. 310–323. ALB-HNI, Paderborn.
- Carson, Y. und Maria, A. (1997). Simulation optimization: Methods and applications. In: S. Andradottir, K. Healy, D. Withers, und B. Nelson, Hrsg., *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*, S. 118–127. Association for Computing Machinery, New York.
- Fisher, M. (1997). What is the right supply chain for your product. *Harvard Business Review*, **75**(2), 105–116.
- Law, A. und Kelton, W. (2000). *Simulation Modeling & Analysis*.
- Lee, H., Padmanabhan, V., und Whang, S. (1997). The bullwhip effect in supply chains. *Sloan Management Review*, **38**(3), 93–102.
- Lee, Y. und Kim, Y. (2002). A discrete-continuous combined modeling approach for supply chain simulation. *Simulation*, **78**, 321–329.
- Mies, A. und Voß, S. (2003). Logistik ‚zeitnah‘ gestalten. In: W. Dangelmaier, A. Emmrich, und D. Kaschula, Hrsg., *Modelle im E-Business*, S. 197–218. ALB-HNI, Paderborn.
- Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., und Simchi-Levi, E. (1999). *Designing and Managing the Supply Chain*. McGraw-Hill, New York.
- Stadtler, H. und Kilger, C., Hrsg. (2002). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Springer, Berlin, 2. Auflage.
- Supply Chain Council (2003). <http://www.supply-chain.org>. February 12, date of last check.
- Voß, S. und Gutenschwager, K. (2001). *Informationsmanagement*. Springer, Berlin.
- Voß, S. und Woodruff, D. (2003). *Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain*. Springer, Berlin.