

Operations Research im Supply-Chain-Management

Supply-Chain-Management als Instrument zur übergreifenden Planung logistischer Prozesse in Wertschöpfungsverbänden hat in den vergangenen Jahren sowohl in der betrieblichen Praxis als auch in der Forschung zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die eingesetzten Planungsmethoden beruhen auf Modellen und Methoden des Operations Research. Der interdisziplinäre Wissenszweig Operations Research befasst sich an der Nahtstelle zwischen Betriebswirtschaftslehre, Wirtschaftsinformatik und praktischer Mathematik mit der Problemanalyse und Vorbereitung optimaler Entscheidungen in Organisationen.

PD DR. CHRISTOPH SCHWINDT

DR. NORBERT TRAUTMANN

Institut für Wirtschaftstheorie und Operations Research

Supply-Chain-Management als integrativer Ansatz

Unter Supply-Chain-Management (SCM) versteht man einen integrativen Ansatz zur übergreifenden Planung und Steuerung von Material- und Informationsflüssen entlang der Wertschöpfungskette von der Beschaffung der Rohmaterialien über die verschiedenen Stufen der Produktion und Distribution bis zur Auslieferung der Endprodukte. Die ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette wurde insbesondere durch drei Faktoren begünstigt:

- ▶ Unternehmen beschränken sich zunehmend auf ihre Kernkompetenzen. Die hiermit verbundene Ausgliederung von Geschäftsbereichen hat zu einer Verkürzung innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten und damit zu einer Verlängerung der unternehmensübergreifenden Lieferketten geführt.
- ▶ Erhebliche Fortschritte in der Informationstechnologie erlauben heute einen einfachen Austausch von Informationen zwischen Standorten und Unternehmen über das Internet.

- ▶ Eine leistungsfähige Logistik wird im Sinne einer kundenorientierten Planung zunehmend als entscheidender Wettbewerbsfaktor begriffen.

In diesem Beitrag stellen wir Modelle und Verfahren des Operations Research (OR) vor, die als Instrumente des SCM eingesetzt werden. Dabei konzentrieren wir uns auf Problemstellungen, die von Advanced-Planning-Systemen (APS) zur integrierten Planung und Steuerung in Wertschöpfungsketten abgedeckt werden [5]. Zunächst stellen wir einige Lehrveranstaltungen vor, die sich mit Aspekten der Supply-Chain-Planung befassen.

Integrationsfach Operations Research als Grundlage der Supply-Chain-Planung

Fragestellungen des Supply-Chain-Managements werden in verschiedenen an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften durchgeführten Lehrveranstaltungen behandelt. Vom Lehrstuhl Professor Klaus Neumann werden insbesondere die folgenden Veranstaltungen angeboten.

- ▶ OR-Methoden in der Produktion: Thema sind verschiedene Teilprobleme des SCM, insbesondere Prognosemethoden, Materialbedarfs- und Losgrößenplanung, Ablaufplanung der Produktion, Hierarchische Planung,

Standort- und Layoutplanung sowie Qualitätssicherung.

- ▶ Optimierung auf Graphen und Netzwerken: Behandelt werden theoretische Grundlagen, Algorithmen und Anwendungen aus dem Bereich der Distribution und des Transports. Im Vordergrund stehen hierbei die Planung transportkostenminimaler mehrstufiger Mengenströme von Produktionsstätten zu Kunden sowie die Planung geeigneter Touren und Fahrzeugbelastungen.

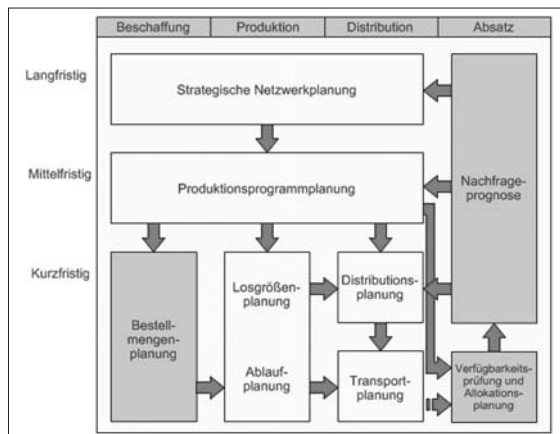
▶ Project Management and Project Scheduling: Im Rahmen dieser englischsprachigen Vorlesung werden Modelle und Methoden aus dem Bereich der Ablaufplanung von Projekten und Anwendungen in der Produktionsplanung diskutiert.

- ▶ Praktikum Software-Entwicklung im Operations Research: Gegenstand dieser in Gruppenarbeit durchgeführten Veranstaltung ist die Implementierung eines modularen Softwaresystems zur Entscheidungsunterstützung mit OR-Methoden. Im vergangenen Vorlesungszyklus wurde beispielsweise ein System zur Ablaufplanung der Produktion in der Prozessindustrie entwickelt.

Theoretische Grundlage für alle Veranstaltungen werden in der Vorlesung Einführung in das Operations Research vermittelt.

Decision-Support-Systeme im OR und Supply-Chain-Management

Die im Wintersemester 2002/2003 und im Sommersemester 2003 vom Lehrstuhl Professor Neumann angebotene zweisemestrige Lehrveranstaltung Decision-Support-Systeme im OR und Supply-Chain-Management ist Advanced-Planning-Systemen zur Supply-Chain-Planung gewidmet. Diese Systeme werden von verschiedenen Herstellern betrieblicher Planungssoftware entwickelt, u.a. von SAP, i2 und J.D. Edwards. Während die von diesen Herstellern angebotenen traditionellen ERP-Systeme in erster Linie zur Ausführung transaktionsorientierter Geschäftsprozesse eingesetzt werden, analysieren APS die ERP-Daten, um im Sinne ei-



▲ **Abbildung 1: Supply-Chain-Planungs-Matrix**

ner echten Entscheidungsunterstützung Handlungsalternativen identifizieren, bewerten und selektieren zu können.

In den klassischen Systemen zur Produktionsplanung und -steuerung (PPS) wird das Problem der Planung der Produktion an einem Standort zerlegt in die Phasen der Primärbedarfsermittlung, der programmgesteuerten Mengenplanung durch Stücklistenauflösung, Nettobedarfsermittlung und Vorlaufverschiebung, der Terminplanung und des Kapazitätsbelastungsabgleichs sowie der Ablaufplanung. Die Phase der Ablaufplanung wird dabei häufig dezentral in Leitständen durchgeführt. Die einzelnen Planungsprobleme werden sukzessiv gelöst, was eher der Automatisierung manueller Planungsabläufe als einer optimierenden Planung entspricht.

In der Literatur [1,2] werden u.a. die folgenden systemimmanenten Schwächen von PPS-Systemen genannt:

- ▶ Aufgrund der reinen Sukzessivplanung werden Probleme auf nachgelagerten Planungsebenen nicht antizipiert.
- ▶ Die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen wird nur mangelhaft berücksichtigt. Dadurch gehen PPS-Systeme davon aus, dass die Primärbedarfe stets bedarfs-synchron und vollständig befriedigt werden. Die Durchlaufzeit eines Auftrags ist dabei Datum der Planung und nicht ihr Ergebnis.
- ▶ In der Regel findet weder eine segmentspezifische Feinplanung noch eine ganzheitliche Planung von Beschaffung, Produktion und Distribution statt.

Diese Kritik an PPS-Systemen hat vor einigen Jahren im Zuge der zunehmenden informationstechnischen Vernetzung von Unternehmen zur Entwicklung einer neuen

Generation von Planungssystemen geführt. Die Anbieter dieser Advanced-Planning-Systeme erheben den Anspruch, die resultierenden Entscheidungsoptionen durch echte vorausschauende Planung zu nutzen.

Auf der Grundlage des Konzeptes der Hierarchischen Planung [4] zerlegen APS die Planung der Wertschöpfungskette in individuelle Module, wobei Pläne für die Funktionsbereiche

auf einer gegebenen Planungsebene durch einen aggregierten Plan auf der nächsthöheren Ebene koordiniert werden. Diese modulare Struktur, bezüglich derer sich die verschiedenen Softwaresysteme nur wenig voneinander unterscheiden, veranschaulicht die in Abb. 1 dargestellte Supply-Chain-Planungs-Matrix [3].

Den Spalten der Matrix entsprechen die funktionalen Bereiche Beschaffung, Produktion, Distribution und Absatz. Die Zeilen spiegeln die Hierarchie der lang-, mittel- und kurzfristigen Planungsebenen wider. Wir geben zunächst einen Überblick über die Funktionen der einzelnen Module und gehen dabei auch auf die Informationsflüsse zwischen den Modulen ein, die in Abb. 1 durch Pfeile dargestellt sind.

Auf der obersten Planungsebene wird der Aufbau der Wertschöpfungskette entworfen (Strategische Netzwerkplanung). Die mittelfristige Produktionsprogrammplanung wird für gegebene Wertschöpfungskette auf der Basis von Nachfrageprognosen funktionsübergreifend durchgeführt. Ihre Ergebnisse dienen auf der kurzfristigen Planungsebene als Vorgaben für die Bestellmengenplanung, die Losgrößen- und Ablaufplanung sowie die Distributions- und Transportplanung. Zudem bilden die geplanten disponiblen Bestände die Grundlage für eine kurzfristige Verfügbarkeitsprüfung, die für eintreffende Kundenanfragen durchgeführt wird. Die Zuordnung disponibler Bestände zu den einzelnen Kundenaufträgen findet regelbasiert im Rahmen der Allokationsplanung statt.

Im Folgenden untersuchen wir die hell unterlegten Module, in denen Optimierungsverfahren des OR zum Einsatz kommen. Aufgabe der Strategischen Netzwerkplanung

ist das Design der Wertschöpfungskette für einen Planungszeitraum von drei bis zehn Jahren. Entscheidungsgrößen sind hierbei die Standorte der Produktion, die Struktur des Distributionsnetzwerks, die Menge der Zulieferer, die aggregierten Güterströme entlang der Wertschöpfungskette sowie die Transferpreise. Als Ziel wird häufig die Maximierung der Summe aller diskontierten Jahresgewinne nach Steuern in einer Referenzwährung verfolgt. Zu beachten ist dabei, dass die ausgelieferten Mengen den langfristigen Nachfrageprognosen entsprechen, dass Teile der Infrastruktur bereits bestehen, dass die Produktionsstätten und Distributionslager jeweils aus der Menge der potentiellen Standorte auszuwählen sind und dass die Lieferkapazitäten potentieller Lieferanten sowie die gesetzlichen Rahmenbedingungen wie Steuern oder untere Schranken für Transferpreise berücksichtigt werden. Das Problem der strategischen Netzwerkplanung lässt sich für den Fall gegebener Transferpreise als gemischt-ganzzahliges lineares Optimierungsproblem formulieren. Die Transportmengen werden dabei durch kontinuierliche und die Entscheidungen über Standorte und Lieferanten mit Hilfe von binären Variablen abgebildet. Bei gleichzeitiger Optimierung der Transferpreise erhält man entsprechende Probleme der bilinearen Optimierung, bei denen in der Zielfunktion Produkte aus Transportmengen und zugehörigen Transferpreisen als Summanden auftreten.

Der Produktionsprogrammplanung kommt die zentrale Aufgabe zu, die Materialflüsse entlang der von der strategischen Netzwerkplanung definierten Wertschöpfungskette unter Beachtung von Ressourcenbeschränkungen zu synchronisieren. Um eine zeitliche Entkopplung der Absatz- von der Produktionsplanung zu ermöglichen, umfasst der Planungszeitraum mindestens einen saisonalen Zyklus mit einer Periodenlänge zwischen einer Woche und einem Monat. Die Endprodukte und Hauptkomponenten werden dabei zu Produktgruppen aggregiert. Für jede Planungsperiode und jede Produktgruppe ist dann über die in den einzelnen Distributionslagern bereitzustellenden Mengen, die an den einzelnen Produktionsstätten herzustellenden Mengen, die zwischen den Standorten zu transportierenden Mengen sowie die für die Produktion an den einzelnen Produktionsstätten benötigten Überstunden

zu entscheiden. Ziel ist dabei die Minimierung aller entscheidungsrelevanten Kosten für Produktion, Lagerung, Transport, Kapazitätsausweitung sowie die Nichterfüllung von Aufträgen. Vorgegeben sind die Nachfrageprognosen für die von den Distributionslagern jeweils abgedeckten Absatzregionen, die Normal- und Maximalkapazitäten der Produktionsstätten einschließlich Überstunden sowie die vorzuhaltenden Sicherheitsbestände in den Distributionslagern. Das Problem der Produktionsprogrammplanung lässt sich als lineares Optimierungsproblem modellieren. Sind zusätzlich sogenannte Single-Sourcing-Bedingungen zu berücksichtigen, die eine Belieferung bestimmter Kunden von nur jeweils einem Standort aus erlauben, müssen außerdem binäre Entscheidungsvariablen eingeführt werden.

Aufgabe der Losgrößen- und Ablaufplanung ist die dezentrale, segmentspezifische Terminierung von Produktionslosen zur Fertigung und Montage von Vor-, Zwischen- und Endprodukten für einen Planungshorizont von einem Tag bis zu wenigen Wochen. Die Losgrößenplanung bestimmt dabei Produk-

tionsmengen für die Produkte in den einzelnen Perioden des Planungshorizonts so, dass die Summe aus Lagerhaltungs- und Rüstkosten minimiert wird. Die anschließende Ablaufplanung ordnet den sich hieraus ergebenden Arbeitsgängen Maschinen und Ausführungszeiten zu, wobei zeitbezogene Zielgrößen wie die Zykluszeit, die Termintreue oder die Summe der Rüstzeiten im Vordergrund stehen. Die Restriktionen der Losgrößen- und Ablaufplanung ergeben sich aus den von der Produktionsprogrammplanung vorgegebenen Zielbeständen an Endprodukten, den Stücklisten und Arbeitsplänen sowie der begrenzten Maschinenverfügbarkeit und den Schichtplänen. Die Probleme der Losgrößen- und Ablaufplanung können entweder sukzessiv mittels Dekomposition oder simultan gelöst werden. Für beide Varianten existiert eine Vielzahl spezialisierter Lösungsverfahren. Bei einer Dekomposition sollte dabei eine Rückkopplung zwischen den beiden Planungsebenen vorgesehen werden, um Inkonsistenzen aufgrund der zeitlichen Aggregation von Maschinenkapazitäten für die Losgrößenplanung und deren anschließender Disaggregation für die Ablaufplanung zu vermeiden. Eine Simultanplanung ist insbesondere bei reihenfolgeabhängigen Umrüstungen erforderlich.

Die Distributionsplanung ermittelt für einen Planungshorizont von einer Woche eine transportkostenoptimale Verteilung der Produktionslose von den Produktionsstätten über die Distributionslager zu den Kunden. Zur Lösung dieses Mehrgüter-Flussproblems sind verschiedene Algorithmen zur Optimierung auf Graphen und Netzwerken bekannt. Werden die Transporte nicht an Speditionen außerhalb der betrachteten Wertschöpfungskette fremdvergeben, so schließt sich an die Distributionsplanung eine Transportplanung an, die die durchzuführenden Fahrten und die Beladungen der Fahrzeuge ermittelt. Die Fahrtenplanung entspricht dem aus der Literatur bekannten Tourenplanungsproblem mit Kundenzeitschranken und die Planung der Fahrzeugbeladung kann als Packungsproblem in Graphen formuliert werden. Da in der Praxis jedoch meist standardisierte Ladungsträger verwendet werden, beschränkt man sich hier häufig auf einen einfachen Ladungsträgerabgleich.

Obwohl APS die gegenseitige Information der Supply-Chain-Partner über Abverkaufs-

zahlen, Bestände, Nachfrageprognosen oder Störungen mit Internet-basierten Werkzeugen unterstützen, führen sie dennoch eine zentrale Planung (ggf. für mehrere Partner in der Wertschöpfungskette) durch, was die Offenlegung aller für die Planung relevanten Informationen voraussetzt. Häufig wird diese Voraussetzung in der Praxis jedoch nicht erfüllt sein. Eine gemeinschaftliche Planung erfordert daher den Einsatz von Verfahren zur Koordination unabhängiger Entscheidungsträger in logistischen Zusammenhängen. Solche Methoden sind in jüngster Zeit von verschiedenen Autoren vorgeschlagen worden (siehe bspw. [6,7]). Dieser Aspekt der Supply-Chain-Planung wird bei der Weiterentwicklungen von APS von entscheidender Bedeutung sein.

Fazit

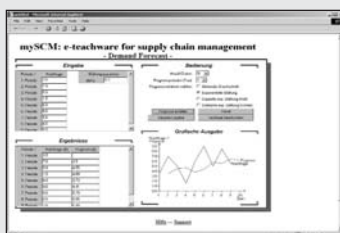
Advanced-Planning-Systeme zur integrierten Planung der Beschaffung, der Produktion und der Distribution stellen einen erheblichen Fortschritt gegenüber den traditionellen PPS-Systemen dar. Sie integrieren Aspekte der strategischen Planung, führen eine funktionsübergreifende Planung durch und berücksichtigen auf allen Planungsebenen die beschränkte Verfügbarkeit von Ressourcen. Im Gegensatz zu PPS-Systemen kommen leistungsfähige OR-Verfahren zum Einsatz. Die Planung wird jedoch nach wie vor aus der Sicht einer zentralen Einheit vorgenommen. Bei zukünftigen Entwicklungen von Systemen zur Supply-Chain-Planung werden Fragen der Koordination verteilter Entscheidungsträger in Wertschöpfungsketten eine wichtige Rolle spielen.

Literatur

- [1] Fleischmann, B. (1998): Der Unterschied zwischen MRP und Planung. Industrielle Informationstechnik 1998, 52-55.
- [2] Günther, H.-O., Tempelmeier, H. (2000): Produktion und Logistik. Springer, Berlin.
- [3] Rohde, J., Meyr, H., Wagner, M. (2000): Die Supply Chain Planning Matrix. PPS-Management 5(1), 10-15.
- [4] Schneeweiß, C. (2002): Einführung in die Produktionswirtschaft. Springer, Berlin.
- [5] Stadler, H., Kilger, C., Hrsg. (2002): Supply Chain Management and Advanced Planning. Springer, Berlin.
- [6] Sucky, E. (2002): Eine spieltheoretische Analyse von Zulieferer-Abnehmer-Beziehungen auf Basis des JELS-Modells. In Operations Research Proceedings 2001, Springer, Berlin, 149-156.
- [7] Zimmer, K. (2001): Koordination im Supply Chain Management. Gabler, Wiesbaden.

Neue Form des Übungsbetriebs: Internet-basierte Lehrsoftware

Vorlesungsbegleitend werden Rechnerübungen angeboten, in denen internetgestützt die interaktive Lehrsoftware mySCM eingesetzt wird. mySCM stellt Applets für die schrittweise Ausführung von Optimierungsalgorithmen zur Verfügung. Eine graphische Benutzeroberfläche erlaubt die Eingabe und Veränderung von Eingangsdaten und die Visualisierung der Planungsergebnisse (siehe Abb. 2). Gegenwärtig sind in mySCM Verfahren für die APS-Module Strategische Netzwerkplanung, Nachfrageprognose, Bestellmengenplanung, Losgrößenplanung, Ablaufplanung und Transportplanung integriert. Im Rahmen von Rechnerlabors, Studien- und Diplomarbeiten werden laufend weitere Algorithmen integriert.



▲ **Abbildung 2:**
Screenshot mySCM