

Stoffstrommanagement in verteilten Produktionssystemen

G. Siestrup, A. Tuma, H.-D. Haasis¹

1. Einführung

In modernen Systemen der industriellen Produktion ist ein Trend zur Bildung von Unternehmensnetzwerken festzustellen. Dies bedeutet, daß unterschiedliche Teile eines bestimmten Produktes zunehmend an verschiedenen, teilweise weltweit verteilten Standorten produziert und vertrieben werden. Triebkräfte für das Streben nach Formulierung und Implementierung verteilter Produktionsstrategien sind die sich bietenden Möglichkeiten zur Realisierung von Flexibilitätszuwächsen, Kostensenkungspotentialen und zur Verringerung von Währungsrisiken. Ziel dieses Beitrages ist es, anwendungsbezogene Lösungswege für eine effiziente Gestaltung von Stoffströmen in Unternehmensnetzwerken unter besonderer Berücksichtigung rückfließender Stoffströme aufzuzeigen. Für die Koordination der verteilten Produktionsaktivitäten wird der Informationslogistik und der Informatik eine Schlüsselrolle beigemessen.

1. Produktionsnetzwerke und verteilte Produktion

Bei der Untersuchung von Produktionsnetzwerken können zwei unterschiedliche Ebenen betrachtet werden: die innerbetriebliche und die überbetriebliche Ebene, wobei in diesem Beitrag insbesondere letztere betrachtet wird. Entsprechend soll im folgenden unter einem Produktionsnetzwerk ein Unternehmensverbund verstanden werden,

- der aus einer bestimmten Anzahl räumlich (d.h. international, national oder regional) verteilter Produktionsstandorte besteht,
- deren Austauschaktivitäten über material-, informations- und finanzlogistische Infrastrukturen miteinander verbunden sind
- und die koordiniert im Hinblick auf ein oder mehrere Ziele hin agieren,
- wobei die Koordinationssysteme von der Ausprägung der Organisationsstruktur, und hierbei insbesondere auch von der Stärke und Richtung der Bindungen zwischen den Teilsystemen abhängen.

Produktionsnetzwerke können dabei sowohl von selbständig agierenden Einheiten (z.B. im Rahmen von Allianzen oder Kooperationen), als auch von unter einer

¹ Dipl.-Kfm. G. Siestrup, Dr. A. Tuma, Prof. Dr. H.-D. Haasis, Universität Bremen, FB7, Produktionswirtschaft, Postfach 330440, D-28334 Bremen

einheitlichen wirtschaftlichen (und unter Umständen auch rechtlichen) Leitung stehenden Unternehmenseinheiten (z.B. Konzerne) ausgebildet werden.

Die Entwicklung der Netzwerkstruktur multinationaler Unternehmen ist als evolutionäre Reaktion auf die Unsicherheiten internationaler Märkte, den sich bietenden Potentialen zur Verringerung von Währungsrisiken und in Wettbewerbsvorteilen durch Kostensenkungen zu sehen [Fawcett/ Closs, 1993]. Änderungen der Netzwerkstruktur können durch folgende Unternehmensaktivitäten verursacht werden:

- Unternehmeseexpansion (-schrumpfung) durch Ausweitung (Einschränkung) der Geschäftsaktivität,
- Outsourcingaktivitäten im Bereich der Produktion,
- Unternehmensübernahme/ Konzernierung,
- Zusammenarbeit einzelner Unternehmen (z.B. durch Kooperationsformen wie Produktionsallianzen oder Joint Ventures).

Die Voraussetzungen für die Verwirklichung verteilter Produktionsstrategien bilden Innovationen aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik. Der aus verteilter Produktion resultierende steigende Koordinationsbedarf zwischen den einzelnen, zu einem Produktionsnetzwerk gehörenden Unternehmen, kann heute zunehmend durch die zwischenbetriebliche Integration der EDV bewältigt werden. Diese informationelle Unternehmensvernetzung hat zudem organisatorische Implikationen, was sich beispielweise in längerfristigen Verträgen über auszutauschende Leistungen (z.B. in Form von Rahmenverträgen) auswirkt und so zu einer Stärkung der Netzwerkbindungen führt.

Betriebswirtschaftliche Untersuchungen im Bereich der Konfigurations- und Koordinationsplanung von Produktionsnetzwerken stehen noch weitgehend aus. Wichtige Impulse können jedoch vor allem Ansätze des Supply Chain Managements [Christopher, 1994; Lee/ Billington, 1993], das Konzept der Logistikkette [Pfohl, 1994] und Methoden der Prozesskettenanalyse [Gaitanides, 1994] liefern.

Neben rein betriebswirtschaftlichen Zielen werden in Zukunft neue Anforderungen an die Unternehmen im Umweltwirtschaftsbereich gestellt werden. Dabei sei nur auf das von der Brundtland-Kommission formulierte Konzept des „Sustainable Development“, die leitbildorientierten Verhaltensgrundsätze der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen“ und insbesondere auf das im Oktober 1996 in Kraft tretende Kreislaufwirtschaftsgesetz hingewiesen. Anpassung und Reorganisation bestehender Netzwerkstrukturen unter Verfolgung einer dualen Zielausrichtung - sowohl betriebs- als auch umweltwirtschaftlich - scheinen daher erforderlich.

2. Stoffströme in Produktionsnetzwerken

Für die Anpassung der einzelnen Zuliefer-, Produktions- und Distributionsstufen müssen kombinierte Probleme der Transport-, Kapazitäts- und Bestandsplanung gelöst werden. Im Produktdurchlauf sind neben den sachzielorientierten Güterflüssen, die den Prozessen der Leistungserstellung und -verwertung zugrunde liegen (Fertigungsmaterial- und Produktströme), auch „sekundäre“ Güterflüsse zu beachten. Zu diesen Güterflüssen können neben Rest- und Wertstoffflüssen auch Bewegungen gezählt werden, die aufgrund von Wiederverwendung/ -verwertung und Weiterverwendung/ -verwertung entstehen [Wicke/ Haasis/ Schafhausen/ Schulz, 1992].

In den weiteren Ausführungen werden sachzielbezogene und sekundäre Flüsse unter den Begriff „Stoffströme“ subsumiert. Die Einbeziehung der Rückflüsse kommt einer Erweiterung des Supply Chain Ansatzes gleich, mit dessen Hilfe Prozeßketten in Stoffstromnetzwerken analysiert und gestaltet werden können. Abbildung 1 stellt diese Sichtweise dar.

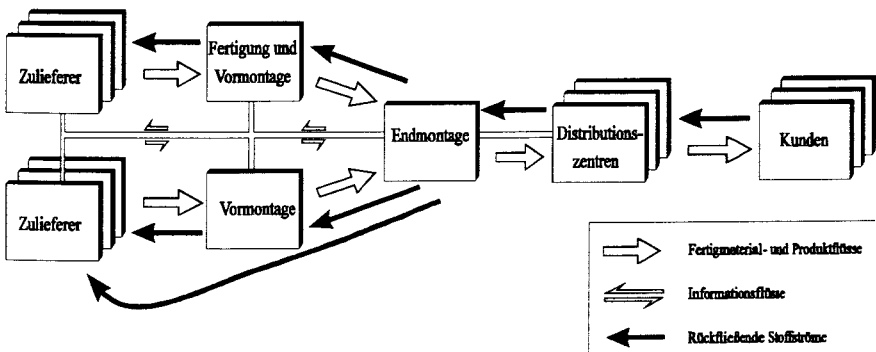


Abb. 1: Stoff- und Informationsströme in einem Unternehmensnetzwerk

Voraussetzung für die Gestaltung durchgängiger Flußsysteme sind koordinierende Prozesse, durch die die Netzwerkknoten informationslogistisch miteinander verketten werden können. Zum gegenwärtigen Stand sind die Möglichkeiten datentechnischer Vernetzung zwischen im Verbund stehenden Unternehmen noch wenig genutzt. Erhebliche Fortschritte sind von der Einführung gemeinsamer Standards, wie etwa EDIFACT zu erwarten. In Zukunft werden sich insbesondere durch die Anpassung der Schnittstellen erhebliche Rationalisierungspotentiale erschließen lassen. Zu Vorteilen führt dies auch bei der Abwicklung der mit den rückführenden Stoffströmen in Zusammenhang stehenden Prozessen (z.B. Demontage mit Hilfe

von Konstruktionsdaten, Daten über die Materialzusammensetzung für das Recycling u.a.m. [Haasis, 1994]).

3. Ein betriebswirtschaftliches Bewertungsinstrumentarium für die Planung von Stoffströmen

Um eine wirtschaftliche Optimierung der physischen Flüsse gewährleisten zu können, wird der Einsatz eines betriebswirtschaftlichen Bewertungsinstrumentariums erforderlich [Pfohl, 1994]. Entscheidungshilfe kann in diesem Kontext die Betrachtung der „Value Chain“, der sog. Wertschöpfungskette als Ergänzung zur Supply Chain liefern. Nach Porter stellt die Wertschöpfungskette das Unternehmen als eine Kette von wertsteigernden Aktivitäten dar. Die Differenz zwischen den Kosten der Wertschöpfungsaktivitäten und dem gemessenen Kundennutzen kann als Gewinnspanne interpretiert werden. Abbildung 2 zeigt eine „Supply-Value Chain“ unter Berücksichtigung rückfließender Stoffströme für einen Netzwerk-Ausschnitt:

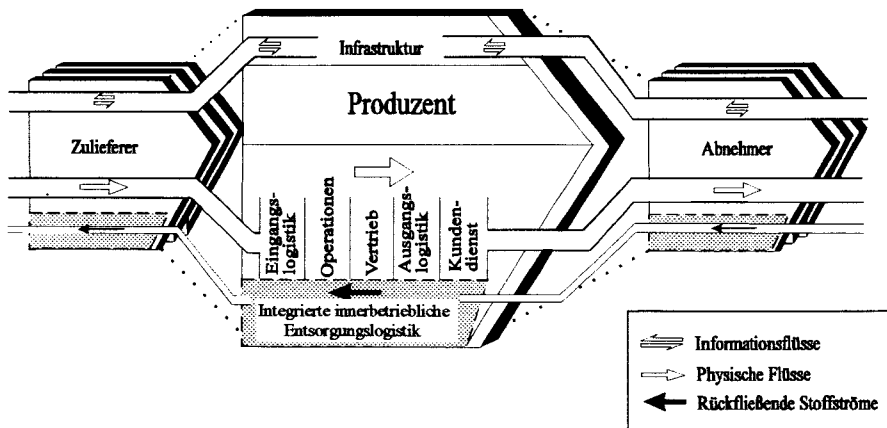


Abb. 2: Kombinierte Supply-Value Chain
(in Anlehnung an [Porter, 1992] und [Lee/ Billington, 1993])

Porter zeigt in seinem Ansatz, daß Differenzierungs- und Kostenvorteile nicht nur auf marktbezogene Funktionen beschränkt sind, sondern in allen wertschöpfenden Funktionen eines Unternehmens realisiert werden können. Betrachtet man das durch die Erweiterung um kreislauforientierte Aspekte hinzukommende Entsorgungsmanagement, etwa bestehend aus den Teilfunktionen Rückführung, Lagerung, Aufbereitung und Demontage, so gilt es zu untersuchen, inwieweit diese

Funktionen Differenzierungs- und Kostenpotentiale bieten und damit als strategische Wertaktivitäten eingestuft werden können.

Im Zuge der Einführung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wird der Hersteller verstärkt in die Verantwortung für seinen produzierten Output (z.B. Fertig- und Halbfertigerzeugnisse, Kuppelprodukte, Reststoffe, Verpackungsmaterialien, Transporthilfsmittel u.a.m.) genommen. Mit dem Bestreben, kreislaufwirtschaftsorientierte Aspekte zu realisieren, kommt insbesondere dem Zustand des Altproduktes eine große Bedeutung zu. Die Wirtschaftlichkeit der erneuten Nutzbarmachung eines Produktes hängt dabei einerseits vom Produzenten ab, der etwa in der Entwurfs- und Konstruktionsphase entscheidend die Lebensdauer bestimmt. Andererseits hat der Kunde im Rahmen seiner Nutzung maßgeblichen Einfluß auf den Zustand des Produktes.

Betrachtet man in Anlehnung an Porter einen solchen Wertschöpfungskreislauf, so ist neben dem Wert des Neuproduktes auch der Wert des Altproduktes und der Wert der einzelnen Komponente nach der Aufbereitung relevant (vgl. Abb. 3):

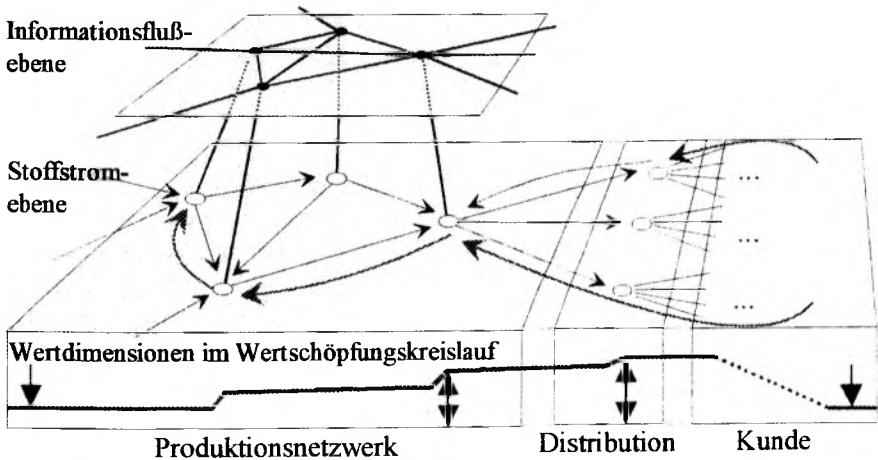


Abb. 3: Wertdimensionen von Produkten im Kreislaufsystem eines Produktionsnetzwerks

Die Ermittlung dieser Größen erfordert eine Umorientierung im Kostenrechnungssystem des Unternehmens. Durch die möglicherweise mehrfache Verwendung von Produkten kommt diesen zudem Investitionscharakter zu, was zusätzliche Auswirkungen auf die Produktkalkulation hat [Meffert/ Kirchgeorg, 1993].

4. Methodische Ansätze zur Planung und Steuerung des physischen Flußsystems

Im Rahmen des Business Process Reengineering wird eine Vereinfachung, Beschleunigung und qualitative Verbesserung von Geschäftsvorgängen in Unternehmen angestrebt. Eine umfassende Analyse und Neugestaltung, wie vom Business Process Reengineering impliziert, wird notwendig, wenn umfassende Umstrukturierungen aufgrund der Umstellung der Produktionsstrukturen in Richtung auf eine kreislaufwirtschaftlich orientierte Produktions- und Distributionsweise in Produktionsnetzwerken angestrebt wird. Kontinuierliche Verbesserungsprozesse, die ähnlich wie bei KAIZEN, Veränderungen in kleinen Schritten vornehmen, reichen bei einer derartigen Umstellung nicht aus. Zur Planung und Steuerung des physischen Flußsystems, insbesondere auch der hier betrachteten rückfließenden Stoffströme, kommen aus methodischer Sicht insbesondere folgende Ansätze in Frage:

- Petri-Netz-Ansätze,
- Warteschlangen- bzw. Bedientheorie,
- Einsatz der Simulationstechnik.

Als Werkzeuge zur Modellierung flexibler Produktions- und Montagesysteme werden u. a. Petri-Netze herangezogen [Krauth, 1990]. Analog kann dieses Werkzeug auch auf höher aggregiertem Niveau zur Modellierung ganzer Unternehmensnetzwerke eingesetzt werden. Das Petri-Netz-Konzept bildet durch die gleichzeitige Darstellung von Prozeßzuständen und Systemstruktur eine geeignete Modellgrundlage für operative Entscheidungen. Das zweiwertige Schaltverhalten der Transitionen beschränkt jedoch seine Anwendung auf determinierte Prozesse. Mit Hilfe von Petri-Netzen kann die Planung eines Flußmodells insbesondere auf dessen logische Konsistenz hin überprüft werden. Dabei können Aussagen im Sinne einer Bilanzierung von Stoffströmen etwa über benötigte Entsorgungskapazitäten abgeleitet werden.

Farbige Petri-Netze sind Erweiterungen „einfacher“ Petri-Netze. Ihr Vorteil liegt darin, daß sie das Produktionsgeschehen realitätsnäher abbilden können. Bei vergleichbarer Systemkomplexität lassen sich Sachverhalte übersichtlicher darstellen. So können beim Einsatz farbiger Petri-Netze verschiedene Stoffe (z.B. Fertigprodukte und Abfälle) im gleichen Netzwerk durch die Vergabe verschiedener „Farben“ berücksichtigt werden.

Weitere für diese Problemstellung in Frage kommende Instrumente stellt die Warteschlangentheorie bereit. Die Struktur von Warteschlangenmodellen ist für die Abbildung vieler Situationen in Fertigung und Produktion geeignet, insbesondere

dann, wenn bestimmte Verteilungen von Ankunftsraten und Bedienzeiten unterstellt werden können [Papadopoulos/ Heavey/ Browne, 1993].

Aus produktionswirtschaftlicher Sicht können dabei insbesondere folgende fünf elementare Klassen von Produktionsstrukturen unterschieden werden:

1. serielle Produktionssysteme,
2. parallele Produktionsstrukturen,
3. offene Produktionsnetzwerke,
4. geschlossene Produktionsnetzwerke,
5. Montage- und Demontageschritte.

Abstrahiert man zunächst von Klasse 5, so erscheint dieser Ansatz geeignet, auch Entsorgungs- und Recyclingbereiche in Netzwerken im Hinblick auf die bereits oben genannten Größen Kapazitäten, Durchlaufzeiten und Bestände hin zu analysieren.

Soll ein Flußsystem im Sinne eines Steuerungs- und Regelungskreises auch auf dynamische Anpassungsprozesse innerhalb einzelner Knoten hin untersucht werden, so empfiehlt sich die Anwendung von Fuzzy-Petri-Netzen. Das Fuzzy-Petri-Netz kann aus dem Petri-Netz durch Verunschärfung von Stellen und Transitionen abgeleitet werden. Entsprechend kann ein Fuzzy-Petri-Netz als Zusammenfassung einzelner spezieller Petri-Netze interpretiert werden. Die Stellen und Transitionen sind dabei unscharfe Mengen, deren Zugehörigkeitsfunktionen durch Expertenwissen gebildet werden [Looney, 1988].

Im Rahmen der Simulation eines Fuzzy-Petri-Netzes wird zunächst diejenige Stelle identifiziert, die entsprechend ihrer Membershipfunktion im betrachteten Zeitpunkt als „am unzufriedensten“ einzustufen ist. Im zweiten Schritt werden entsprechende Reaktionsweisen abgeleitet, um vom Zustand der „starken Unzufriedenheit“ auf einen möglichst günstigen Zustand übergehen zu können. Fortgefahren wird mit der Festlegung der Anzahl der zu schaltenden Marken. Ausgehend von einer zu Beginn hohen Dynamik, wird im Simulationslauf eine zunehmende Stabilisierung des Systems angestrebt.

Mit zunehmender Systemkomplexität bietet sich auch die Anwendung von Simulationstechniken an. Ziel einer ganzheitlichen Simulation ist es, aus einer am Geschäftsprozeß orientierten Sichtweise, Ablaufstrukturen unter Verfolgung der Unternehmensziele (z.B. bezüglich der Kosten, des Servicegrades und der Qualität) zu verbessern. Im Rahmen des Stoffstrommanagements kann die Simulation dabei sowohl zur Planung von Stoffströmen, als auch zur Steuerung dieser (etwa durch Koppelung von Simulationswerkzeugen mit einem PPS-System) eingesetzt werden.

5. Ausblick und künftige Forschungsschwerpunkte

Vor dem Hintergrund zunehmend verteilter Produktionsaktivitäten und der einhergehenden Diskussion kreislaufwirtschaftlicher Konzepte, erscheint die vorstehend beschriebene Rekonfigurierung von Netzwerkstrukturen erforderlich. Erste praktische Anwendungsfälle, die zum Teil sehr erfolgreich eingeführt wurden (etwa bei Rank Xerox), sind bereits zu verzeichnen. Als Instrumente können zur Planung der Produktionssysteme insbesondere Warteschlangentheorie, Simulationsstudien und Petri-Netz-Ansätze eingesetzt werden.

Insbesondere erscheint aus produktionswirtschaftlicher Sicht der Einsatz von Fuzzy-Petri-Netz-Tools vielversprechend zur operativen Planung und Steuerung komplexer Produktionsverbundsysteme mit integrierten Umweltschutzkonzepten.

Literatur:

- Christopher, M. (1994): Logistics and supply chain management, London.
- Fawcett, E. S.; Closs, D. J. (1993): Coordinated global manufacturing, the logistics/ manufacturing interaction, and firm performance, in: Journal of business logistics, Vol. 14, No. 1, S.1-25.
- Gaitanides, M.; Scholz, R.; Vrohlings; A.; Raster, M. (1994): Prozeßmanagement, München.
- Haasis, H.-D. (1994): Planung und Steuerung emissionsarm zu betreibender industrieller Produktionssysteme, Heidelberg.
- Krauth, K. (1990): Modellierung und Simulation flexibler Montagesysteme mit Petri-Netzen, in: OR-Spektrum, S. 239-248.
- Lee, H. L.; Billington, C. (1993): Supply Chain Management, in: Operations Research, Vol. 41, Nr.5.
- Looney, C. G. (1988): Fuzzy Petri Nets for Rule-Based Decisionmaking, in: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 18, No. 1, S. 178-183.
- Meffert, H.; Kirchgeorg, M. (1993): Marketingorientiertes Umweltmanagement, Stuttgart.
- Papadopoulos, H. T.; Heavey, C.; Browne, J. (1993): Queueing theory in manufacturing systems analysis and design, Cambridge.
- Pfohl, H.-Chr. (1994): Management der Logistikkette, Darmstadt.
- Porter, M. E. (1992): Wettbewerbsvorteile, Frankfurt a. M..
- Wicke, L; Haasis, H.-D.; Schafhausen, F.; Schulz, W. (1992): Betriebliche Umweltökonomie, München.