

Gestaltungsanforderungen an eine zukunftsorientierte Produktionssteuerung

Axel Tuma, Stephan Franke und Hans-Dietrich Haasis¹

Zusammenfassung

Die Gestaltung einer zukunftsorientierten Produktionssteuerung als Teil eines integrierten Managementsystems muß sich an den Anforderungen unternehmerischen Handelns orientieren. Diese werden geprägt durch eine verschärfte Wettbewerbssituation und führen zu einer verstärkten Ausrichtung der Produktion auf die Belange des Kunden. Als Resultat dieser Situation läßt sich einerseits ein Trend zur Bildung von Logistiknetzwerken erkennen, die die Vorteile kleinerer Einheiten (flexible Produktion) mit denen größerer Systeme (großes Produktspektrum) verbinden können. Andererseits läßt sich eine Verschiebung innerhalb des Zielkalküls betrieblicher Entscheidungen feststellen. Hierbei zeigt sich neben einer stärkeren Betonung kundenorientierter Ziele wie Liefertreue, Lieferqualität und Lieferbereitschaft eine zunehmende Integration umweltschutzorientierter Zielvorstellungen.

Zur Umsetzung einer diesen Anforderungen gerecht werdenden Produktionssteuerung sind Gestaltungsprinzipien zur Konstruktion und Lösung entsprechender Entscheidungsmodelle vorzuschlagen. Dies umfaßt eine Diskussion von Modellierungsansätzen zur Abbildung zukunftsorientierter Produktionssteuerungsaufgaben, eine Präzisierung des Zielsystems sowie eine Analyse effizienter Lösungsverfahren.

1 Anforderungen an eine zukunftsorientierte Produktionssteuerung

Eine Analyse der Herausforderungen zukunftsorientierten unternehmerischen Handelns zeigt, daß diese in erster Linie geprägt sind durch den Wandel der Marktbeziehungen. Dieser läßt sich durch eine verstärkte Wettbewerbssituation (Globalisierung der Märkte) verbunden mit einer stärkeren Kundenorientierung beschreiben.

¹ Universität Bremen, Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre, Postfach 330440, 28334 Bremen, email: atuma@uni-bremen.de

Für die Unternehmen bedeutet dies einerseits einen erhöhten Kostendruck, andererseits die Gewährleistung eines hohen Lieferservice. Letzteres umfaßt nach Zäpfel (Zäpfel 1993) die Kriterien:

- *Lieferzeit*: Ziel ist hierbei die Reduzierung der Durchlaufzeit eines Kundenauftrags, gemessen von Auftragseingang bis zur Auslieferung.
- *Lieferfähigkeit (Lieferbereitschaft)*: Hierunter wird derjenige Anteil der Aufträge verstanden, die den Kunden zum gewünschten Termin zugesagt werden können.
- *Liefertreue*: Hiermit wird der Anteil der zum vereinbarten Termin ausgelieferten Kundenaufträge verstanden.
- *Lieferflexibilität*: Unter Lieferflexibilität versteht man die Fähigkeit, möglichst lange nach Auftragserteilung Änderungswünsche des Kunden berücksichtigen zu können.
- *Lieferbeschaffenheit*: Ziel hierbei ist es, den Kundenauftrag sowohl qualitäts- als auch mengenmäßig möglichst vollständig zu erfüllen.
- *Informationsflexibilität*: Der Begriff der Informationsflexibilität bezeichnet die Fähigkeit, jederzeit über den jeweiligen Status eines Kundenauftrags Auskunft geben zu können.

Die genannten Anforderungen münden einerseits in einen Trend zur Bildung von Logistiknetzwerken (Netzwerke zur Erstellung von Sachgütern bzw. Dienstleistungen), andererseits in eine stärkere Betonung kundenorientierter Ziele.

Logistiknetzwerke verbinden die Möglichkeit einer flexiblen, kundenspezifischen Produktion auf Ebene der einzelnen Netzwerkelemente mit der Möglichkeit zur Nutzung von Synergiepotentialen (Rationalisierungspotentiale, Anbieten eines breiten Produktspektrums) auf Netzwerkebene. Daraus resultiert für die Produktionssteuerung eine neue zusätzliche Aufgabenstellung. Während bisher die Koordinierung und Realisierung des Leistungserstellungsprozesses innerhalb betrieblicher Einheiten (Auftragsfreigabe, Kapazitätsanpassung, Auftragseinlastung, Intensitätssteuerung) im Vordergrund stand, tritt jetzt die Koordinierung der Netzwerkelemente (Aufgabenverteilung, Kapazitätsabstimmung innerhalb des Logistiknetzwerkes) hinzu.

Ein weiterer Aspekt ist die Bedeutung kundenorientierter Zielvorstellungen. Dies führt auf Produktionssteuerungsebene zu einer stärkeren Gewichtung der klassischen Ziele Termintreue und Durchlaufzeit sowie zu einer Integration weiterer Ziele wie Qualität, Flexibilität und Umweltschutz (Reduktion des Ressourceneinsatzes, Minderung des Emissionsanfalls). Letzteres resultiert aus erhöhten Kundenanforderungen und einer sich ändernden ordnungspolitischen Rahmensetzung.

2 Gestaltungsleitlinien einer zukunftsorientierten Produktionssteuerung

Zur Ableitung von Gestaltungsprinzipien für eine zukunftsorientierte Produktionssteuerung sind die Auswirkungen der skizzierten Anforderungen auf deren Aufgaben zu diskutieren. Von besonderer Bedeutung hierbei sind

- die Koordinierung von Stoff-, Energie-, Material- und Informationsflüssen zwischen den Elementen eines Logistiknetzwerkes,
- die Koordinierung von Stoff-, Energie-, Material- und Informationsflüssen innerhalb eines Netzwerkelementes (dies beinhaltet insbesondere die Auftragsfreigabe und Kapazitätsabstimmung als zentrale Elemente einer kurzfristigen Termin- und Kapazitätsplanung sowie die Auftragseinlastung und Intensitätssteuerung im Rahmen einer Feinsteuerung).

Aus Sichtweise einer entscheidungsorientierten Betriebswirtschaftslehre sind bezüglich der dargestellten Aufgaben einer Produktionssteuerung die Formulierung und Lösung entsprechender Entscheidungsmodelle zu diskutieren. Dies umfaßt die

- *Modellierung der zugrundeliegenden Produktionssteuerungsprobleme:* Die Modellierung von Produktionssteuerungsproblemen erfordert eine Abbildung des zugrundeliegenden Produktionssystems. Dies impliziert die Notwendigkeit Modellierungstechniken zur Verfügung zu stellen, die insbesondere auch der vernetzten Struktur zukünftiger Produktionssysteme Rechnung tragen.
- *Formulierung des Zielsystems:* Bei der Formulierung des Zielsystems ist eine verstärkte Betonung kundenorientierter Zielvorstellungen (Termintreue, Qualität) sowie einer Integration umweltschutzorientierter Zielvorstellungen zu berücksichtigen.
- *Bereitstellung effizienter Lösungsverfahren:* Die genannten Erweiterungen führen in vielen realen Anwendungen zu einer Erhöhung der Komplexität entsprechender Entscheidungsmodelle. Dies erfordert die Entwicklung und den Einsatz entsprechender Lösungsverfahren.

Modellierungsansätze

Die Modellierung² eines Produktionssteuerungsproblems geschieht mit dem Ziel, die Konsequenzen verschiedener Handlungsalternativen aufzuzeigen (z.B. Ableitung des Einflusses unterschiedlicher Auftragsmixe im Rahmen der Auftragsfreigabe, Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher zeitlicher Anpassungsmaßnah-

² In diesem Zusammenhang spricht man auch von technologischen Aussagesystemen (Schweitzer 1990, S. 51/Albert 1964, S. 66ff.)

men und Einlastungsstrategien). Hierbei sind u.a. folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- Notwendigkeit zur Abbildung dynamischer Produktionsstrukturen (z.B. virtuelle Unternehmen),
- Art der Produktionsbeziehungen (analytische und/oder synthetische Produktionsbeziehungen),
- Art der Stoff-, Energie- und Materialströme (diskret und/oder kontinuierlich),
- Notwendigkeit zur Abbildung stochastischer Einflüsse.

Prinzipiell können vernetzte Produktionssysteme auf der Basis graphentheoretischer Ansätze modelliert werden. Sind stochastische Einflüsse zu berücksichtigen, ist zu prüfen, ob das Produktionssystem als vernetztes Bediensystem abgebildet werden kann. Bei komplizierten Problemstellungen (etwa Vorliegen synthetischer Produktionsbeziehungen) ist deren Behandlung mit analytischen Methoden i. allg. nicht möglich. Daher empfiehlt sich in diesen Fällen eine Anwendung von Simulationsansätzen (Schmidt 1992, Grützner 1997). Besondere Bedeutung im Rahmen einer Modellierung unter Berücksichtigung umweltschutzorientierter Kriterien haben insbesondere Petri-Netz-Ansätze erlangt (Hilty/Rautenstrauch (1997), Tuma/Siestrup/Haasis 1997, Spengler 1998, Baumgarten 1990), mit deren Hilfe sich sowohl analytische als auch synthetische Produktionsbeziehungen darstellen lassen. Als eine Erweiterung hierzu können Modellierungsansätze auf Basis von Multi-Agenten-Systemen (Agent Oriented Simulation) betrachtet werden (Corsten 1998a, Corsten 1998b, Müller 1994, Zelewski 1995, Kirn 1996). Zur Modellierung kontinuierlicher Prozesse können Verfahren auf der Basis von Signalflußgraphen eingesetzt werden (Spengler 1998, Föllinger 1985).

Zielsystem einer zukunftsorientierten Produktionssteuerung

Die Veränderungen der Marktbeziehungen bedingen eine Anpassung des Zielsystems der Produktionssteuerung. Bezogen auf die traditionellen Zielsetzungen der Produktionssteuerung (Erhöhung der Termintreue, Verkürzung von Durchlaufzeiten, Reduktion von Beständen, Erhöhung der Kapazitätsauslastung) bedeutet dies eine stärkere Gewichtung kundenorientierter Ziele wie Termintreue und Durchlaufzeit.

Neben einer veränderten Gewichtung traditioneller Ziele sind neue Zielsetzungen zu berücksichtigen:

- Erhöhung der Flexibilität,
- Gewährleistung der Qualitätsanforderungen,
- Realisierung einer emissionsarmen und ressourcenschonenden Produktion.

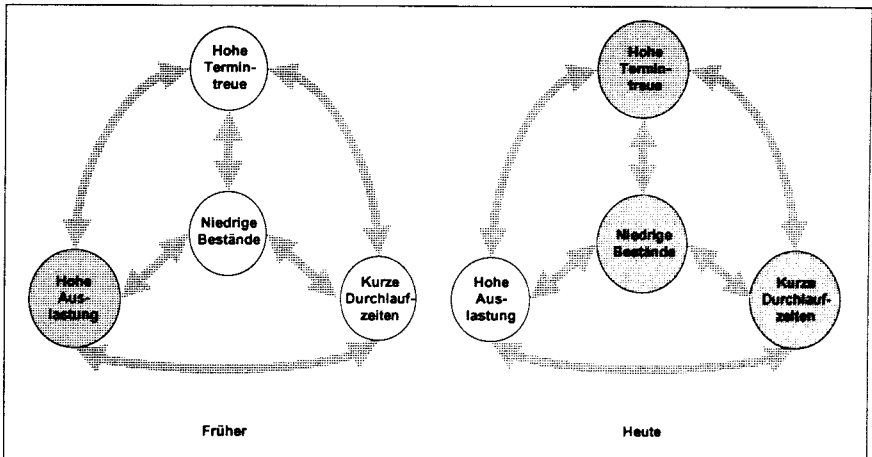


Abbildung 1

Gewichtsverschiebung bei den Zielgrößen der Fertigungssteuerung nach Wiendahl
(Wiendahl 1997, S. 4)

Eine flexible Produktion erfordert eine möglichst kurzfristige Reaktion auf sich ändernde Produktionsparameter (Modifikation von Kundenwünschen, Störungen im Produktionsablauf). Dies bedeutet eine stärkere Berücksichtigung von Kapazitätsanpassungsmaßnahmen im Rahmen der Produktionssteuerung (d-, t-, q-Anpassung) mit dem Ziel, die Kundenaufträge termingerecht fertigzustellen (Wildemann 1997). In diesem Zusammenhang erscheint die Einführung einer kurzfristigen Planungsebene (kurzfristige Termin- und Kapazitätsplanung) im Rahmen der Aufgaben einer Produktionssteuerung empfehlenswert. Hier wird neben der Auftragsfreigabe insbesondere über zeitliche und quantitative Anpassungsmaßnahmen entschieden. Die Bildung von Auftragsreihenfolgen bzw. die Entscheidungen über einzusetzende Produktionsverfahren bzw. Fahrweisen einzelner Aggregate sind, soweit dies technisch möglich ist, möglichst zeitnah zu treffen (z.B. durch den Einsatz von „online,-Verfahren). Daher sind diese Aufgaben auf einer kurzfristig orientierten Feinstuerungsebene durchzuführen.

Ansatzpunkte zur Gewährleistung der Qualitätsanforderungen auf Produktionssteuerungsebene liegen einerseits in einer entsprechenden Fahrweise der einzelnen Aggregate, andererseits in der Vermeidung von Belastungsspitzen. Hierbei ist pri-

mär die Ebene der Feinsteuerung angesprochen. Auf Ebene der kurzfristigen Termin- und Kapazitätsplanung sind jedoch zunächst durch eine entsprechende Abstimmung von Kapazitätsangebot und -nachfrage die prinzipiellen Voraussetzungen zu schaffen.

Umweltschutzorientierte Zielsetzungen betreffen die Reduzierung des Ressourceneinsatzes und die Reduzierung der Ausbringung aller unerwünschten Kuppelprodukte (Emissionen) des Leistungserstellungsprozesses (Haasis 1996). Interpretiert man Kuppelprodukte³ in Analogie zu Ressourcen als Stoffe, deren mengenmäßiger Anfall zu begrenzen bzw. zu minimieren ist, können umweltschutzorientierte Zielsetzungen auf Basis des Produktivitätskalküls abgeleitet werden. Bezogen auf die Realisierung einer kundenorientierten Produktion impliziert dies auf Produktionssteuerungsebene die Verwirklichung des Minimalprinzips der mengenmäßigen Fassung des Wirtschaftlichkeitsprinzips, d.h. ein gegebenes Produktionsprogramm soll unter minimalem Ressourceneinsatz bzw. Emissionsanfall realisiert werden. Zur Realisierung der genannten umweltschutzorientierten Ziele sind auf Ebene der kurzfristigen Termin- und Kapazitätsplanung durch die Bestimmung eines entsprechenden Auftragsmix sowie durch Festlegung der durchschnittlichen Kapazitätsbelastung die Voraussetzungen für eine umweltschutzorientierte Produktion zu schaffen (z.B. Abstimmung anfallender qualitativ unterschiedlicher Abwasserströme in der Planungsperiode). Auf Ebene der kurzfristigen Aggregatebelegung und Intensitätssteuerung ist etwa auf die Vermeidung von Umrüstemissionen sowie eine ressourcenschonende und emissionsarme Fahrweise der Aggregate zu achten.

Lösungsverfahren im Rahmen einer zukunftsorientierten Produktionssteuerung

Die dargestellten Modellierungsansätze dienen der Ermittlung der Konsequenzen verschiedener Handlungsalternativen auf Produktionssteuerungsebene. Sie bilden somit ein technologisches Aussagensystem. Ergänzt man dies etwa um die diskutierten Zielvorstellungen, erhält man ein instrumentelles Aussagensystem (Entscheidungsmodell). Von besonderer Bedeutung in diesem Zusammenhang ist die Entwicklung problemadäquater effizienter Lösungsverfahren. Hierbei sind folgende Fragestellungen zu berücksichtigen:

- Steigt der Aufwand zur Berechnung einer Lösung exponentiell an?
- Sind multikriterielle Zielvorstellungen zu berücksichtigen?
- Sind stochastische Einflüsse zu berücksichtigen?
- Liegt das Produktionswissen in einer expliziten oder impliziten Form vor?

³ Hierbei wird der Fall einer Kuppelproduktion mit variabler Relation unterstellt.

Analysiert man die skizzierten Anforderungen an eine zukunftsorientierte Produktionssteuerung (Steuerung von Logistiknetzwerken, Berücksichtigung multikriterieller Zielfunktionen, Berücksichtigung stochastischer Einflüsse im Rahmen einer flexiblen Produktion), erkennt man, daß optimierende Verfahren zur Lösung der entsprechenden Entscheidungsmodelle für praktische Anwendungsfälle i. allg. nicht anwendbar sind. Aus diesem Grund werden in der industriellen Praxis überwiegend Heuristiken bzw. Meta-Heuristiken eingesetzt. Auf Ebene der kurzfristigen Termin- und Kapazitätsplanung empfiehlt sich eine entsprechende Erweiterung bestehender Konzepte zur Auftragsfreigabe und Kapazitätsanpassung (z.B. Integration umweltschutzorientierter Zielvorstellungen in das Konzept der belastungsorientierten Fertigungssteuerung (Franke/Tuma/Kriwald/Haasis (1998)). Auf Ebene der Feinsteuerung (Aggregatebelegung) werden in realen Anwendungsfällen derzeit in erster Linie Prioritätsregelverfahren eingesetzt (Stadtler/Wilhelm/Becker 1995, Glaser/Geiger/Rohde 1992). Aufgrund der skizzierten Charakteristika (multikriterielle Zielfunktion, Anzahl und Art verfahrenstechnischer Restriktionen) sowie des Umfangs und der Struktur des zur Verfügung stehenden Produktionswissens (z. B. unscharfes, implizites Wissen) sind jedoch konventionelle Prioritätsregelverfahren oftmals nicht ausreichend. Je nach Struktur des verfügbaren Produktionswissens empfiehlt sich eine Verwendung symbolischer oder numerischer Verfahren. Erstere können etwa in regelbasierte (Tuma/Franke/Haasis 1998, Zimmermann 1991) oder verhandlungsorientierte (Corsten 1998b, Zelewski 1998, Kim 1996, Tuma/Siestrup/Haasis 1997) Ansätze unterschieden werden. Wichtige Vertreter numerischer Verfahren sind etwa genetische Algorithmen (Bierwirth 1996, Goldberg 1989), Neuronale Netze (Corsten/May 1996, Tuma 1994) und Tabu Search (Voß 1997).

3 Resumee

Zukunftsorientierte Produktionssteuerungsaufgaben zeichnen sich sowohl durch die Notwendigkeit zur Berücksichtigung von Interdependenzen mit vor- und nachgelagerten Produktionseinheiten bzw. -stufen als auch durch eine stärkere Betonung kundenorientierter sowie eine Integration umweltschutzorientierter Zielvorstellungen aus. Dies stellt einerseits erhöhte Anforderungen an Modellierungsansätze im Rahmen der Formulierung entsprechender Entscheidungsmodelle. Andererseits sind problemadäquate Lösungsverfahren bereitzustellen, die insbesondere der Komplexität der Produktionssteuerungsaufgabe, multikriteriellen Zielsystemen sowie der Struktur des zur Verfügung stehenden Produktionswissens Rechnung tragen.

Literaturverzeichnis

- Albert, H. (1964): Probleme der Theoriebildung – Entwicklung, Struktur und Anwendung sozialwissenschaftlicher Theorien, in: Albert, H. (Hrsg.): Theorie und Realität, Tübingen.
- Baumgarten, B. (1990): Petri-Netze, Grundlagen und Anwendungen, Mannheim, Zürich
- Bierwirth, C., Mattfeld, D.C., Kopfer, H. (1996): On Permutation Representations for Scheduling Problems, in: H.M Voigt et al. (eds): Parallel Problem Solving from Nature IV, Berlin, pp. 310-318
- Corsten, H.; May, C. (1997) Neuronale Netze in der Betriebswirtschaft. Anwendung in Prognose, Klassifikation und Optimierung, Wiesbaden
- Corsten, H.; Gössinger, R. (1998a): Produktionsplanung und -steuerung auf der Grundlage von Multiagentensystemen, in: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme. Eine Einführung in zehn Lektionen, Stuttgart/Berlin/Köln, S. 173-207
- Corsten, H.; Gössinger, R. (1998b): Allokationsmechanismen für kontraktbasierte unternehmensinterne Märkte - Eine Analyse am Beispiel der dezentralen Produktionsplanung und -steuerung als unternehmensinterne Dienstleistung, Schriften zum Produktionsmanagement, Kaiserslautern
- Föllinger, O. (1985): Regelungstechnik, Einführung in die Methoden und ihre Anwendung, 5. Aufl., Heidelberg
- Franke, St./Tuma, A./Kriwald, T./Haasis, H.-D. (1998): Konzeption eines umweltschutzorientierten Produktionsleitstands, in: Grützner R./Benz J. (Hrsg.) Werkzeuge für Modellierung und Simulation im Umweltbereich, Marburg
- Glaser, H./Geiger, W./Rohde, V. (1992): PPS - Produktionsplanung und -steuerung - Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, 2. Aufl., Wiesbaden.
- Goldberg, D.E. (1989): Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley
- Grützner, R (1997) Stand, Probleme und Aufgaben der Umweltsimulation in: Grützner, R.(Hrsg.): "Modellierung und Simulation im Umweltbereich, Wiesbaden
- Haasis, H.-D. (1996): Betriebliche Umweltökonomie, Bewerten - Optimieren - Entscheiden, Berlin et al.
- Hilty, L.M./Rautenstrauch, C. (1997): Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) - eine Literaturanalyse, in: Informatik-Spektrum 20(1997)3, S. 159–167.
- Kirn, S. (1996): Kooperativ-Intelligente Softwareagenten, in: Information Management, 11, H. 1, S. 18-28
- Müller, H.J. (1994): Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz, in: Kirn, S.; Weinhardt, C. (Hrsg.): Künstliche Intelligenz in der Finanzberatung. Grundlagen, Konzepte, Anwendungen, Wiesbaden, S. 157-189
- Schmidt, B. (1992): Simulationssysteme der 5. Generation im Umweltbereich in: Grützner R. (Hrsg.) Werkzeuge für Modellierung und Simulation im Umweltbereich, Rostock.
- Schweitzer, M. (1990): Industriebetriebslehre, München.

- Spengler, Th. (1998): *Industrielles Stoffstrommanagement, Betriebswirtschaftliche Planung und Steuerung von Stoff- und Energieströmen in Produktionsunternehmen*, Berlin
- Stadtler, H./Wilhelm, St./Becker, M. (1995): *Entwicklung des Einsatzes von Fertigungsleitständen in der Industrie*, in: *Management & Computer* 3(1995)4, S. 253-266.
- Tuma, A.; Siestrup, G.; Haasis, H.-D. (1997): *Stoffstrommanagement auf der Basis von Fuzzy-Petri-Netzen*, in: Grützner, R. (Hrsg.): *Modellbildung und Simulation im Umweltbereich*, Wiesbaden
- Tuma, A./Franke, St./Haasis, H.-D. (1998): *Innovation im Umweltschutz – Praxisbeispiele umweltschutzorientierter Produktionsleitstände*, in *OR News*, 1(1998)3, S. 16-21
- Voß, S (1997) *Optimization by strategically solving feasibility problems using tabu search*, in: *Modern Heuristics for Decision Support - Proceedings*, Unicom, Uxbridge, S. 29-47.
- Wildemann, H. (1997): *Logistik Prozeßmanagement*, München.
- Zelewski, S. (1995): *Petrinetzbasierte Modellierung komplexer Produktionssysteme*, Arbeitsbericht Nr. 6 des Instituts für Produktionswirtschaft und Industrielle Informationswirtschaft der Universität Leipzig, Bd. 2: Bezugsrahmen, Leipzig
- Zelewski, S. (1998): *Multi-Agenten-Systeme - ein innovativer Ansatz zur Realisierung dezentraler PPS-Systeme*, in: Wildemann, H. (Hrsg.): *Innovationen in der Produktionswirtschaft - Produkte, Prozesse, Planung und Steuerung*, München, S. 133-166
- Zimmermann, H. J. (1991): *Fuzzy Set Theory and its Applications*. Kluwer Academic Publishers, Boston et al.