

Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik

Lothar März • Wilfried Krug
Oliver Rose • Gerald Weigert
Herausgeber

Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik

Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen

 Springer

Herausgeber

Dr.-Ing. Lothar März
LOM Innovation GmbH & Co KG
Kemptener Straße 99
88131 Lindau (Bodensee)
Deutschland
lothar.maerz@lom-innovation.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Wilfried Krug
DUALIS GmbH IT Solution
Tiergartenstraße 32
01219 Dresden
Deutschland
wkrug@dualis-it.de

Prof. Dr. rer. nat. Oliver Rose
Fakultät Informatik
Institut für Angewandte, Informatik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden
Deutschland
oliver.rose@inf.tu-dresden.de

PD Dr.-Ing. Gerald Weigert
Fakultät Elektrotechnik
& Informationstechnik
Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik
der Elektronik
Technische Universität Dresden
01062 Dresden
Deutschland
gerald.weigert@tu-dresden.de

ISBN 978-3-642-14535-3 e-ISBN 978-3-642-14536-0

DOI 10.1007/978-3-642-14536-0

Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Dieses Buch entstand im Auftrag der Fachgruppe 4.5.6 „Simulation in Produktion und Logistik“ der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM). Die ASIM ist zugleich der Fachausschuss 4.5 der Gesellschaft für Informatik.

Die Erstellung des Buches erfolgte durch die ASIM-Arbeitsgruppe „Simulationsbasierte Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen“ und wird innerhalb der ASIM als ASIM-Mitteilung Nr. 130 geführt.

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe sind:

Nico M. van Dijk, Amsterdam
Wilfried Krug, Dresden
Lothar März, Lindau (Sprecher)
Markus Rabe, Berlin
Oliver Rose, Dresden
Peter-Michael Schmidt, Stuttgart
Dirk Steinhauer, Flensburg
Gerald Weigert, Dresden



Vorwort

Seit inzwischen mehr als 30 Jahren werden im deutschsprachigen Raum Simulationsverfahren zur Planung von Produktions- und Logistiksystemen eingesetzt. Zu Beginn dieser Entwicklung waren es Simulations- und größtenteils auch Programmierexperten, die derartige Systeme mittels Rechnerverfahren modellierten. Basierend auf ihrem Expertenwissen und vielfach unterstützt durch ein Planungsteam aus dem Produktions- und Logistikbereich versuchten sie dann, die anfänglichen Planungslösungen durch Modifizieren der Modelle zu verändern, wobei Irrwege und Sackgassen die Regel und systematisches Vorgehen eher die Ausnahme waren. Diese Vorgehensweise gemäß Versuch und Irrtum wurde dann oftmals als „Optimierung“ bezeichnet. In bemerkenswerter Weise hat sich diese Bezeichnung im Zusammenhang mit der Nutzung von Simulationsverfahren bei den Planungsingenieuren über die Jahrzehnte hinweg erhalten und findet sich heute noch nicht nur im Sprachgebrauch, sondern auch in Hochglanzbroschüren und auf Internetseiten von Softwarehäusern und Beratungsunternehmen wieder.

Hier ist jedoch Vorsicht geboten: Verwendet man den Begriff „Optimierung“ im Sinne des Operations Research, so stellt sich zunächst die Frage, welches Ziel oder sogar welches Zielsystem aus mehreren Einzelzielen bestmöglich erreicht werden soll. Diesbezüglich wird im Anwendungsfall von Produktions- und Logistiksystemen sehr schnell deutlich, dass vielfach mehrere konkurrierende Ziele möglichst gut erreicht werden sollen; Beispiele hierfür wie „Auslastung der Betriebsmittel“ und „Durchlaufzeit der Aufträge“ lassen sich sehr leicht finden. Gerade die Überprüfung der Zielerreichung im Hinblick auf derartige produktionsorganisatorische und logistische Ziele ist es, die im Zentrum der Simulationsanwendung steht. Dabei ergibt sich dann aber das Problem, wie die Erreichung verschiedenartiger Ziele in einem formalen Ausdruck zusammengefasst werden kann, erst recht dann, wenn das verwendete Simulationsverfahren auch noch Auskunft über die Erreichung kostenbezogener oder sogar personalorientierter Ziele liefern kann. Die vielfach dazu verwendete additive Präferenzfunktion ist nur eine von mehreren Möglichkeiten und weist dazu noch den Nachteil auf, dass sich unterschiedliche Zielerreichungsgrade bei den verwendeten Kriterien mehr oder weniger gewollt aggregieren oder auch kompensieren können. Demgegenüber erscheint es dann oftmals besser, die für die Auswahl einer Planungslösung wichtigsten Ziele nicht miteinander zu verrechnen.

nen, sondern sie mit ihren simulativ ermittelten Werten einem Diskussionsprozess in einem Entscheidungsgremium zu unterwerfen. Alternative Bewertungsansätze nach dem Prinzip der Vektoroptimierung, z. B. nach einer lexikographischen Präferenzfunktion, finden – abgesehen von Anwendungen aus dem Wissenschaftsbereich – bei Planungsprojekten kaum eine Anwendung.

Als nächstes stellt sich die Frage, welche Parameter eines Produktions- oder Logistiksystems überhaupt im Sinne einer Optimierung verändert werden können. Hier kommt zunächst wieder das Erfahrungswissen der Planer zum Tragen, wobei die Art und Anzahl der eingesetzten Betriebsmittel traditionell an zentraler Stelle stehen. Der Personaleinsatz wird – abgesehen von manuellen Montagesystemen – in der Regel als nachrangig betrachtet, obwohl allseits vom Stellenwert des Menschen für die Produktivität in Betrieben gesprochen wird und es durchaus Möglichkeiten gibt, die Anzahl und Qualifikation der im geplanten System eingesetzten Personen zu modellieren und die Effekte bei variierendem Personaleinsatz simulativ zu ermitteln. Der Einfluss weiterer Gestaltungsparameter, z. B. hinsichtlich der Pufferkapazitäten oder der Schichtbesetzung, lässt sich zumindest in einer Reihe simulierter Szenarien ermitteln. Bei systematischer Vorgehensweise bedient man sich der Methoden der statistischen Versuchsplanung, die nicht nur die Effekte einzelner Parameter, sondern auch die Wechselwirkungen mehrerer davon ausweisen können.

Schließlich lehren die Methoden des Operations Research, dass es einer algorithmischen Vorgehensweise bedarf, die quasi automatisiert zu einem im Sinne des Zielsystems optimalen oder zumindest zu einer nahezu optimalen Gestaltungslösung führt, und zwar (möglichst) ohne einen Eingriff des Planers in das Optimierungsverfahren. Eine traditionelle Möglichkeit hierzu bietet die mehr oder weniger vollständige Enumeration von Lösungen, oftmals auch als Brute-Force-Methode tituliert. Die dabei untersuchten Modelle lassen sich zwar relativ einfach informationstechnisch generieren, jedoch verbietet sich dieser Ansatz aufgrund nicht akzeptabler Rechenzeiten. Ein nächster Schritt besteht darin, bekannte Gestaltungsregeln durch Modifikation einer anfänglichen Planungslösung anzuwenden, um auf ihrer Basis schrittweise verbesserte Modelle zu erzeugen. Eine weitere Möglichkeit bieten Gradientenverfahren, die nach dem Prinzip der Breiten- und Tiefensuche mehrere Lösungspfade modellieren, aber dann schrittweise nur die besten davon weiter verfolgen. Derartige Heuristiken führen zwar nicht zwangsläufig zu einer optimalen Lösung, da eine vorzeitige Vernachlässigung eines Pfades deren Auffindung verhindern kann. Dafür bieten sie aber im Prinzip die Möglichkeit, den Lösungsweg zurückzuverfolgen und somit zunächst ungünstige Lösungspfade wieder aufzugreifen. Diese Rückverfolgung eines Lösungspfades bieten Genetische Algorithmen, die in jüngerer Zeit in zunehmendem Maße für die Lösung komplexer Optimierungsprobleme angesetzt werden, grundsätzlich nicht. Sie basieren auf dem Prinzip der Evolution, in dem sie eine begrenzte Menge von Lösungen erzeugen, diese schrittweise durch Mutation und Selektion als Generationen verfolgen und nach einer vorgegebenen Anzahl von Generationen oder bei Erreichen eines Grenzwertes für nur noch marginale Verbesserungen zu einer quasi-optimalen Planungslösung gelangen. Über die Weiterverfolgung einer Planungslösung in der nächsten Gene-

ration entscheidet ein Fitnesswert, der ggf. auch mehrkriteriell aus den Ergebnissen der Simulation berechnet werden kann.

Diese dargestellten Möglichkeiten der Kombination von Simulations- und Optimierungsverfahren verdeutlichen, dass es mit einer „Optimierung“ nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum selbst unter Einsatz von Expertenwissen nicht getan ist. Vielmehr eröffnen sich durch die Fortschritte in der Informationsverarbeitung, aber auch durch neue Lösungsmethoden (beispielsweise durch einen Ameisenalgorithmus als eine Form der so genannten naturanalogen Optimierung) neue Lösungsansätze, die systematisch und zielgerichtet zumindest zu einer nahezu optimalen Lösung führen.

Der vorliegende Band zeigt die derzeitige Bandbreite der simulationsunterstützten Optimierung auf. Dabei werden nicht nur deren Chancen benannt, sondern auch die möglichen Schwierigkeiten bei ihrer Anwendung. Besonders hervorzuheben ist, dass neben einer Darstellung der Methoden auch Anwendungsbeispiele aufgezeigt werden, die exemplarisch den Nutzen einer simulationsunterstützten Optimierung veranschaulichen.

Die Herausgeber gehören einer Arbeitsgruppe der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM), genauer gesagt der ASIM-Fachgruppe „Simulation in Produktion und Logistik“ an. Diese Fachgruppe ist personell und inhaltlich eng mit einem Fachausschuss des Vereins Deutscher Ingenieure verbunden, der für die Erarbeitung der Richtlinienreihe VDI 3633 „Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen“ verantwortlich zeichnet. Die Anregungen zum vorliegenden Band entstammen somit beiden Gremien. Das Buch erscheint aus Anlass der 14. ASIM-Fachtagung, die im Herbst 2010 am Karlsruher Institut für Technologie (vormals Universität Karlsruhe) ausgerichtet wird. Herausgebern und Autoren sei in besonderer Weise dafür gedankt, dass sie sich diesem komplexen Thema mit großem Engagement gewidmet haben. Sie geben damit der Fachtagung einen besonderen Akzent.

Im Namen der ASIM
Karlsruhe, im Oktober 2010

Prof. Gert Zülch
Institut für Arbeitswissenschaft
und Betriebsorganisation
Karlsruher Institut für Technologie

Gliederung des Fachbuchs

Das Fachbuch gliedert sich in zwei Teile. Im ersten Teil werden die Grundlagen von Simulation und Optimierung sowie deren Kopplung erläutert. Der zweite Teil setzt sich aus zwölf Fallbeispielen zur simulationsgestützten Optimierung zusammen.

Da sich das Fachbuch an Praktiker richtet, die mehr an der Anwendbarkeit und den Einsatzmöglichkeiten der simulationsgestützten Planung interessiert sind, konzentrieren sich die Darstellungen auf anwendungsorientierte Aspekte und gehen nur an den Stellen, die aus Sicht der Autoren hilfreich für das Verständnis sind, detaillierter auf die notwendigen mathematischen Grundlagen ein. Darüber hinaus sind für eine tiefere Beschäftigung mit den Themen entsprechende Literaturangaben ausgewiesen.

Die Einführung beleuchtet zunächst den Anwendungsbereich der simulationsgestützten Optimierung in der Planung von Produktions- und Logistiksystemen. Dem folgen Abhandlungen zur Simulation und der Optimierung sowie ein Überblick über die Stell- und Zielgrößen der Planung. Der erste Teil schließt mit der Beschreibung der Kopplungsmechanismen von Simulation und Optimierung.

Der zweite Teil wurde von Autoren gestaltet, die über Erfahrungen in der Anwendung der simulationsgestützten Optimierung berichten. Anhand von industrie-relevanten Fallbeispielen zeigen sie die Aufgabenstellung, den Lösungsansatz und die Ergebnisse einer Applikation auf.

Trotz der weitreichenden Möglichkeiten zum gekoppelten Einsatz von Simulation und Optimierung zeigt die Gesamtheit der Fallbeispiele auf, dass der Schwerpunkt des Einsatzes der Methoden im operativen Bereich liegt. Darunter befinden sich Anwendungsbeispiele in der Optimierung von Auftragsfreigaben und Reihenfolgen mit anschließender Simulation der Auswirkungen auf die Produktion hinsichtlich Personal- und Ressourceneinsatz. Neben den operativen Anwendungsbeispielen mit dem Charakter einer kontinuierlichen Integration in den Planungsprozess zeigt ein Beitrag auf, wie eine optimale Personalorganisation mit Hilfe von Simulation und Optimierung gefunden werden kann. Weitere Beispiele demonstrieren den Einsatz in der Auslegung von Anlagen, um die optimale Konfiguration hinsichtlich Produktivität und Kosten zu finden. Da sowohl Optimierungsalgorithmen als auch Simulationsmodelle eine nicht unerhebliche Rechenleistung verlangen, sind Ansätze gefragt, die eine Verkürzung der Suchvorgänge nach besseren Lösungen

unterstützen. Interessant hierzu sind die Ausführungen zur Verkürzung der Suchvorgänge durch Konformitätsanalysen sowie ein Vergleich zwischen Online- und Offline-Optimierung.

Die im Teil II aufgeführten Fallbeispiele zur simulationsgestützten Planung behandeln folgende Anwendungsgebiete:

- Fertigungsprozesse in der Halbleiterindustrie (Kap. 6),
- Produktionsprozesse in der Schienenherstellung (Kap. 7),
- Montageprozesse bei einem Anlagenhersteller (Kap. 8)
- Montageprozesse im Flugzeugbau (Kap. 9),
- Sequenzierte Produktions- und Distributionsprozesse in der Automobil-industrie (Kap. 10 bis 13),
- Montageprozesse in der Feinwerktechnik (Kap. 14)
- Produktionsprozesse von Verpackungsanlagen (Kap. 15)
- Konformitätsanalysen in der simulationsgestützten Optimierung (Kap. 16)
- Vergleich von Online- und Offline-Optimierung bei Scheduling-Problemen (Kap. 17)

Um den Einstieg in die unterschiedlichen Anwendungsbeschreibungen sowie eine Vergleichbarkeit zu erleichtern, sind die Fallbeispiele einer vorgegebenen Struktur unterworfen. Zudem findet sich in jedem Beitrag eine einheitliche Darstellung der Kopplung von Simulation und Optimierung, die aufzeigt, wie Simulation und Optimierung zusammenwirken, welche Software eingesetzt wurde und welche Stell- und Zielgrößen gegeben sind. In der nachfolgenden Abbildung sind der grundsätzliche Aufbau und die Lesart des Diagramms beschrieben.

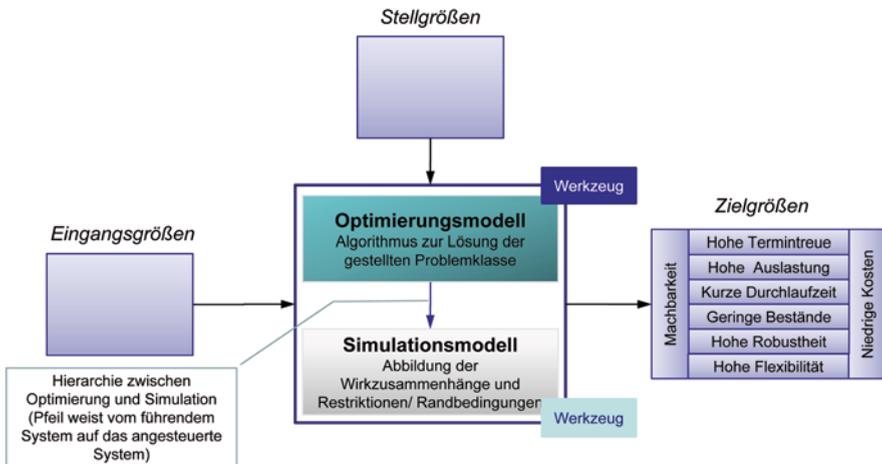


Abb. 1 Diagrammvorlage zur Einordnung von Simulation und Optimierung

Das Fachbuch kann nur ein beispielhafter Querschnitt der Einsatzfelder von Simulation und Optimierung sein. Die Herausgeber sind aber davon überzeugt, dass

die Potentiale dieses Ansatzes noch weitaus größer sind. Daher hoffen sie, dass das Buch dem einen oder anderen Anwender als hilfreiche Unterstützung bei der Einführung von Simulation und Optimierung dient und so manchen Zweifler vom Nutzen der Methoden überzeugen kann.

Im Namen der ASIM
Lindau (Bodensee) und Dresden
Oktober 2010

Lothar März
Wilfried Krug
Oliver Rose
Gerald Weigert

Inhalt

Teil I Einführung	1
1 Simulationsgestützte Optimierung	3
<i>Lothar März und Gerald Weigert</i>	
2 Simulation	13
<i>Oliver Rose und Lothar März</i>	
3 Optimierung	21
<i>Wilfried Krug und Oliver Rose</i>	
4 Stell- und Zielgrößen	29
<i>Gerald Weigert und Oliver Rose</i>	
5 Kopplung von Simulation und Optimierung	41
<i>Lothar März und Wilfried Krug</i>	
Teil II Fallbeispiele	47
6 Simulationsgestützte Optimierung von Fertigungsprozessen in der Halbleiterindustrie	49
<i>Andreas Klemmt, Sven Horn und Gerald Weigert</i>	
7 Vorausschauende Produktionsregelung durch simulationsbasierte heuristische Optimierung	65
<i>Matthias Gruber, Michael Rinner, Thomas Löscher, Christian Almeder, Richard Hartl und Stefan Katzensteiner</i>	
8 Modellierung und Optimierung von Montageprozessen	79
<i>Thomas Henlich, Gerald Weigert und Andreas Klemmt</i>	

9 Personaleinsatz- und Ablaufplanung für komplexe Montagelinien mit MARTA 2 93
Oliver Rose, Martin F. Majohr, Evangelos Angelidis, Falk S. Pappert und Daniel Noack

10 Simulationsbasierte Reihenfolgeoptimierung in der Produktionsplanung und -steuerung 105
Wilfried Krug und Markus Schwöpe

11 Simulationsbasierte Optimierung der Einsteuerungsreihenfolge für die Automobil-Endmontage 117
Lutz Iltzsche, Peter-Michael Schmidt und Sven Völker

12 Integrierte Programm- und Personaleinsatzplanung sequenzierter Produktionslinien 133
Lothar März, Thorsten Winterer, Walter Mayrhofer und Wilfried Sihn

13 Simulationsgestützte Optimierung für die distributionsorientierte Auftragsreihenfolgeplanung in der Automobilindustrie 151
Christian Schwede, Katja Klingebiel, Thomas Pauli und Axel Wagenitz

14 Optimierung einer feinwerktechnischen Endmontage auf Basis der personalorientierten Simulation 171
Gert Zülch und Martin Waldherr

15 Simulative Optimierung von Verpackungsanlagen 185
Matthias Weiß, Joachim Hennig und Wilfried Krug

16 Entwurfsunterstützung von Produktions- und Logistikprozessen durch zeiteffiziente simulationsbasierte Optimierung 195
Wilfried Krug

17 Performancevergleich zwischen simulationsbasierter Online- und Offline-Optimierung anhand von Scheduling-Problemen 205
Christian Heib und Stefan Nickel

Herausgeber..... 215

Sachwortverzeichnis 217

Autorenverzeichnis

Christian Almeder Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Universität Wien, Brünner Straße 72, 1210 Wien, Österreich, URL: <http://prolog.univie.ac.at/>

Evangelos Angelidis Institut für Angewandte Informatik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.simulation-dresden.de

Matthias Gruber PROFACTOR GmbH, Im Stadtgut A2, 4407 Steyr-Gleink, Austria, URL: www.profactor.at

Richard Hartl Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Universität Wien, Brünner Straße 72, 1210 Wien, Österreich, URL: <http://prolog.univie.ac.at/>

Christian Heib Robert Bosch GmbH, Diesel Systems, Werk Homburg, Bexbacher Str. 72, 66424 Homburg, Deutschland, URL: www.bosch.de; Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Operations Research, Universität Karlsruhe, Englerstr. 11, 76128 Karlsruhe, Deutschland URL: www.kit.edu

Thomas Henlich Fakultät Elektrotechnik & Informationstechnik, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.avt.et.tu-dresden.de/rosi/

Joachim Hennig IKA Dresden, Gostritzer Straße 61-63, 01217 Dresden, Deutschland, URL: www.ika.tz-dd.de

Sven Horn Fakultät Elektrotechnik & Informationstechnik, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.avt.et.tu-dresden.de/rosi/

Lutz Iltzsche Siemens Industry Sector, Siemens Industry Software GmbH & Co.KG, Haus Grün, 3.OG West, Weissacher Str. 11, Stuttgart, 70499 Deutschland URL: www.siemens.com/plm

Stefan Katzensteiner Lehrstuhl für Produktion und Logistik, Universität Wien, Brünner Straße 72, 1210 Wien, Österreich, URL: <http://prolog.univie.ac.at/>

Andreas Klemmt Fakultät Elektrotechnik & Informationstechnik, Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.avt.et.tu-dresden.de/rosi/

Katja Klingebiel Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML,
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Deutschland
URL: www.ima.fraunhofer.de

Wilfried Krug DUALIS GmbH IT Solution Dresden, Tiergartenstraße 32, 01219
Dresden, Deutschland, E-Mail: wkrug@dualis-it.de, URL: www.dualis-it.de

Thomas Löscher PROFACOR GmbH, Im Stadtgut A2, 4407 Steyr-Gleink,
Österreich, URL: www.profactor.at

Martin F. Majohr Institut für Angewandte Informatik, Technische Universität
Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.simulation-dresden.de

Lothar März LOM Innovation GmbH & Co. KG, Kemptener Straße 99, 88131
Lindau (Bodensee), Deutschland, E-Mail: lothar.maerz@lom-innovation.de,
URL: www.lom-innovation.de; Institut für Managementwissenschaften,
Technische Universität Wien, Theresianumgasse 27, 1040 Wien, Österreich
URL: www.imw.tuwien.ac.at

Walter Mayrhofer Institut für Managementwissenschaften, Technische
Universität Wien, Theresianumgasse 27, 1040 Wien, Österreich
URL: www.imw.tuwien.ac.at; Fraunhofer Austria Research GmbH,
Theresianumgasse 7, 1040 Wien, Österreich, URL: www.fraunhofer.at

Daniel Noack Institut für Angewandte Informatik, Technische Universität
Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.simulation-dresden.de

Stefan Nickel Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Operations
Research, Universität Karlsruhe, Englerstr. 11, 76128 Karlsruhe, Deutschland
URL: www.kit.edu

Falk S. Pappert Institut für Angewandte Informatik, Technische Universität
Dresden, 01062 Dresden, Deutschland, URL: www.simulation-dresden.de

Thomas Pauli Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Joseph-
von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Deutschland
URL: www.ima.fraunhofer.de

Michael Rinner PROFACOR GmbH, Im Stadtgut A2, 4407 Steyr-Gleink,
Österreich, URL: www.profactor.at

Oliver Rose Fakultät Informatik, Institut für Angewandte Informatik, Technische
Universität Dresden, 01062 Dresden, Deutschland,
E-Mail: oliver.rose@inf.tu-dresden.de, URL: www.simulation-dresden.de

Peter-Michael Schmidt Siemens Industry Sector, Siemens Industry Software
GmbH & Co. KG, Haus Grün, 3.OG West, Weissacher Str. 11, 70499 Stuttgart,
Deutschland, URL: www.siemens.com/plm

Christian Schwede Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML,
Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Deutschland
URL: www.iml.fraunhofer.de

Markus Schwope intelligence2IT GmbH Radeberg, An der Hohle 12, 01471
Radeberg, Deutschland, URL: www.intelligence2it.com

Wilfried Sihl Institut für Managementwissenschaften, Technische Universität
Wien, Theresianumgasse 27, 1040 Wien, Österreich, URL: www.imw.tuwien.ac.at;
Fraunhofer Austria Research GmbH, Theresianumgasse 7, 1040 Wien, Österreich,
URL: www.fraunhofer.at

Sven Völker Institut für Betriebsorganisation und Logistik, Hochschule Ulm,
Prittwitzstraße 10, 89075 Ulm, Deutschland, URL: www.hs-ulm.de

Axel Wagenitz Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Joseph-
von-Fraunhofer-Str. 2-4, 44227 Dortmund, Deutschland
URL: www.iml.fraunhofer.de

Martin Waldherr Karlsruher Institut für Technologie, Institut für
Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Universität Karlsruhe,
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland, URL: www.kit.edu

Gerald Weigert Fakultät Elektrotechnik & Informationstechnik, Institut für
Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Technische Universität Dresden,
01062 Dresden, Deutschland, E-Mail: gerald.weigert@tu-dresden.de
URL: www.avt.et.tu-dresden.de/rosi/

Matthias Weiß Fachbereich Bioprocess Engineering, FH Hannover,
Heisterbergallee 12, 30453 Hannover, Deutschland, URL: www.fh-hannover.de

Thorsten Winterer flexis AG, Schockenriedstraße 46, 70565 Stuttgart,
Deutschland, URL: www.flexis.de

Gert Zülch Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Arbeitswissenschaft
und Betriebsorganisation, Universität Karlsruhe, Kaiserstraße 12, Karlsruhe,
76131 Deutschland, URL: www.kit.edu

Teil I
Einführung

Kapitel 1

Simulationsgestützte Optimierung

Lothar März und Gerald Weigert

1.1 Motivation

Die industrielle Produktion steht unter dem Einfluss permanenter Veränderungen der externen und internen Planungsvariablen. Langfristig spielt für die Wettbewerbsfähigkeit der mitteleuropäischen Industrieunternehmen die schnelle und permanente Anpassung der Produktionslogistik an sich ändernde Randbedingungen und Aufgabenstellungen eine essentielle Rolle, da die hohe Änderungshäufigkeit und -geschwindigkeit oftmals Ineffizienzen und Kapazitätsprobleme mit sich bringt. Ziel eines jeden Unternehmens ist es, das sehr komplexe System „Fabrik“ kontinuierlich im „optimalen Betriebszustand“ zu fahren.

Kurze Lieferzeiten und die verlässliche Einhaltung von zugesagten Terminen sind mittlerweile für Industrieunternehmen gleichbedeutend wie der technische Stand ihrer Produkte. Damit gewinnt die Planung der Produktion zunehmend an Bedeutung. Aufgrund der engen Verflechtung zwischen den einzelnen Planungsfeldern und den wechselseitigen Abhängigkeiten sind die Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung (PPS), der Fabrikplanung sowie der Logistik- und Layoutplanung nicht unabhängig voneinander. Die Fokussierung auf prozessorientierte Unternehmensstrukturen verstärkt diesen Effekt, da organisatorische Trennungen von Funktionseinheiten mit definierten Schnittstellen entfallen.

Überlagert wird diese Entwicklung durch immer schwieriger zu prognostizierende Auftragsingangsverläufe. Die in kürzeren Abständen vollzogenen Wechsel und die zunehmende Individualisierung der Produkte führen in Richtung einer Losgröße von einem einzelnen Kundenauftrag und bewirken hohe Schwankungen sowohl quantitativ im Auftragsbestand als auch qualitativ innerhalb des Auftragsportfolios.

L. März (✉)

LOM Innovation GmbH & Co. KG, Kemptener Straße 99, 88131 Lindau (Bodensee),
Deutschland, www.lom-innovation.de
E-Mail: lothar.maerz@lom-innovation.de

Institut für Managementwissenschaften, Technische Universität Wien, Theresianumgasse 27,
1040 Wien, Österreich, www.imw.tuwien.ac.at

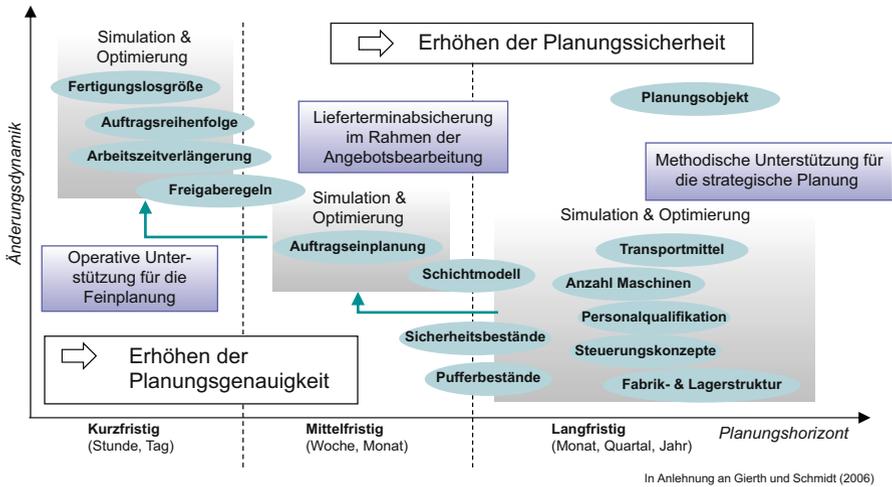


Abb. 1.1 Einsatzfelder der simulationsgestützten Optimierung

Die Unternehmen stellen sich auf diese Veränderungen ein. Agile Produktions- und Organisationsstrukturen erhöhen die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit der involvierten Produktionsfaktoren (Ressourcen, Mitarbeiter, Methoden, etc.). Die Fähigkeit zum Wandel ist eine Bedingung zur Anpassung der Produktion, um sie somit kontinuierlich in einem optimalen Betriebszustand zu betreiben. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass unter Berücksichtigung von Prozessschwankungen und zufälligen, prognostizierbaren (aus der Vergangenheit ermittelten) Störeinflüssen die logistischen Anforderungen an Lieferzeit und Termintreue und die betriebswirtschaftlichen Forderungen nach möglichst geringen Bestands- und Logistikkosten erfüllt werden können.

Nun stellt sich die Frage, wie die Produktion auszulegen ist, an welchen Stell-schrauben zu drehen ist und welche Auswirkungen unter der zu erwartenden Systemlast zu erwarten sind. Welche Verbesserungen sind auftrags- bzw. auslastungsorientiert zu erzielen? Und welche Planungsobjekte lassen sich in Abhängigkeit des zur Verfügung stehenden Planungszeitraums ändern? Um solche Fragen beantworten zu können, ist eine Bewertung des dynamischen Verhaltens notwendig, die einerseits alle Einflussgrößen berücksichtigt und andererseits eine Ermittlung der Ergebnisgrößen in Form von Kompromisslösungen transparent darstellt.

Zur Bewertung und Gestaltung von Logistiksystemen benötigen Planer ein Instrument, mit dem sich zu planende Systeme bewerten lassen. Planer benötigen Informationen über die Güte eines Systems, über vorhandenes Verbesserungspotential und über potenzielle Maßnahmen zur Realisierung dieser Verbesserungen. Weiterhin muss bekannt sein, welche Rückwirkungen zukünftige Änderungen auf die aktuelle Leistung haben. Zudem unterliegen Produktions- und Logistiksysteme vielfältigen dynamischen und stochastischen Wechselwirkungen, die eine statische Abschätzung des Verhaltens erschweren oder sogar unmöglich machen. Der Einsatz der simulationsgestützten Optimierung kann hierbei in der Entscheidungsunterstützung wertvolle Dienste leisten. In Abb. 1.1 sind die für eine pro-

duktionslogistische Betrachtung relevanten Planungsfelder und beeinflussbaren Planungsobjekte über dem Planungshorizont dargestellt, die beispielsweise mit Hilfe der simulationsgestützten Optimierung unterstützt werden können. Im vorliegenden Buch sind Beispiele von erfolgreichen Ansätzen und Implementierungen illustriert.

1.2 Hemmnisse und Hürden

Der Nutzen der simulationsgestützten Optimierung in der Planung von produktionslogistischen Aufgaben spiegelt sich in der Verbreitung in der betrieblichen Praxis nur ungenügend wider. Es gibt mannigfaltige Gründe für dieses Defizit. Vielfach fehlen Kenntnisse über die Potentiale und Möglichkeiten des Einsatzes von Simulations- und Optimierungsverfahren. Dies ist nicht zuletzt das Versäumnis der Experten aus dem Bereich des Operations Research, die nicht immer die Sprache der industriellen Praxis sprechen. Diese mangelnde Fähigkeit und sprichwörtliche unzureichende Einsicht der Experten in die Belange eines Unternehmens führt oftmals zu Missverständnissen und dem Gefühl, nicht verstanden worden zu sein. Als Beispiel sei hier angeführt, dass jedes Unternehmen die für sie wichtige Information im Vorfeld erwartet, wie viel denn die Einführung einer methodengestützten Planung einsparen wird. Demgegenüber steht die nachvollziehbare Position des Experten, der diese Frage ohne eingehende Analyse nicht gewissenhaft beantworten kann. So scheitert die Zusammenarbeit bereits bevor sie angefangen hat. Dieses Dilemma ist bekannt und eine Lösung hierfür gibt es nicht (Dueck 2006). Dieses Kommunikationsproblem kann nur durch den Experten angegangen werden. Ebenso die Aufgabe, die Brücke zwischen den Planungsanforderungen und einem Lösungsansatz zu schlagen, ohne den potentiellen Anwender zu verschrecken, der Hemmnisse einem System gegenüber aufbaut, weil er aufgrund des verwendeten Fachvokabulars oder komplexer mathematischer Ansätze nicht mehr folgen kann und daher aus Angst vor Bloßstellung eine Einführung verhindert.

Erschwerend kommt oftmals die unzureichende Erfahrung der Simulations- und Optimierungsexperten im Projektmanagement hinzu, die für die Einführung einer simulationsgestützten Optimierung notwendig ist. Neben der Expertise in den Methoden Simulation und Optimierung gehören Erfahrungen über die Anforderungen einer Integration in den operativen Planungsprozess, Wissen in der organisatorischen, ablaufbezogenen und funktionalen Gliederung von Planungen und Führungserfahrung eines heterogenen Projektteams. Die Einführung eines solchen Systems muss einhergehen mit der Etablierung einer Kultur, die Vertrauen in die Vorschläge des Planungssystems schafft. Aufgrund der Komplexität sind die Ergebnisvorschläge nicht immer auf den ersten Blick nachvollziehbar. Dies ist nicht überraschend, denn gerade in komplexen Problemstellungen ist ein Gesamtoptimum schwer erkennbar; wäre dies der Fall, bedürfte es keiner methodengestützten Planung. Dabei verliert der Planer aber zu keinem Zeitpunkt die Planungskompetenz und -hoheit, d. h. die Systeme dienen zur Unterstützung und der Planer besitzt die Kontrolle und letzt-

endliche die Entscheidungsbefugnis. Dafür dienen ihm die Szenarienanalysen als Werkzeug zur kreativen Gestaltung und Überprüfung alternativer Planungsansätze. Damit kann der Planer seiner eigentlichen Tätigkeit nachgehen: über methodisch bewährte Verfahren das Routinegeschäft erledigen und sein Hauptaugenmerk auf planerische Aufgaben lenken.

Eine weitere Herausforderung liegt in der Datenqualität im Unternehmen, die vielfach nicht den Anforderungen an eine simulationsgestützte Optimierung genügt, weil sie u. a. nicht digital vorliegt oder inkonsistent bzw. nicht hinreichend detailliert ist. Die für eine Simulationsstudie notwendigen Daten müssen jedoch vollständig generiert sein, um mit der Problemlösung zu beginnen, sei es durch gemeinsame Annahmen mit dem Anwender, sei es durch die Verarbeitung vorliegender Daten. So sind beispielsweise Ausfalldaten einer Maschine in stochastische Verteilungen abzubilden und als Funktionen zu hinterlegen.

Für die simulationsgestützte Optimierung gibt es noch keine standardisierten Verfahren. Sie setzt zwar auf bewährten Vorgehensweisen (Wenzel et al. 2007; Rabe et al. 2008) und Algorithmen (Kap. 2) auf, dennoch bleibt die Erstellung eines Simulationsmodells und die Parametrierung der Optimierungsalgorithmen eine individuelle Konfigurationsarbeit.

Zudem findet man noch zu wenige Beispiele einer erfolgreichen Einführung von simulationsgestützten Optimierungsverfahren. Dies liegt neben der noch geringen Verbreitung des Ansatzes sicherlich auch darin begründet, dass die Unternehmen erfolgreiche Implementierungen vertraulich behandelt wissen wollen, da die optimierte Planung logistische und betriebswirtschaftliche Wettbewerbsvorteile bedeuten und die Konkurrenz nicht davon erfahren soll. Daher sind in diesem Band auch einige Fallbeispiele anonymisiert, wenngleich ohne Verlust an inhaltlicher Transparenz.

Dass die simulationsgestützte Optimierung sehr wohl und in zunehmendem Masse eine Rolle spielen kann, soll anhand von einigen Praxisbeispielen aufgezeigt werden.

1.3 Zielgruppe

Dieses Buch wendet sich an den Praktiker. Gemeint sind Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aus Planungsabteilungen, die sich mit der Frage beschäftigen, welcher Nutzen im Einsatz der Methoden von Simulation und Optimierung liegen könnte. Die Einsatzgebiete der Anwendungen liegen in der Produktion und Logistik.

Unter Produktion und Logistik werden Fertigungs-, Montage- und Produktionseinrichtungen einschließlich ihrer Prozesse sowie alle Aufgaben der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik verstanden. Die Logistik bezieht sich dabei sowohl auf produzierende Unternehmen als auch auf nicht produzierende Betriebe wie Handelsunternehmen, Flughäfen und Krankenhäuser. Die Abbildungstiefe reicht von der Modellierung übergeordneter Abläufe in Logistiknetzen – beispielsweise auf der Ebene des Supply Chain Managements (SCM) – bis hin zur detaillierten Betrachtung einzelner produktions- oder fördertechnischer Abläufe sowie der Anlagensteuerung.

Nicht betrachtet wird hingegen das detaillierte physikalische, kinematische und kinetische Verhalten technischer Systeme. Hierzu zählen beispielsweise urform- oder umformtech-

nische Prozesse, Schmelzen oder Verformen, Reibungs- oder Kippverhalten sowie Roboterbewegungen. Ergonomiebewegungen unter Verwendung von Menschmodellen sind ebenfalls nicht Gegenstand der Betrachtung. (Wenzel et al. 2007)

1.4 Betrachtete Planungsaufgaben

Die Zuordnung der Methode von Simulation und Optimierung zu einer betrieblichen Planungsaufgabe gestaltet sich aus mehreren Gründen schwierig: Die betrieblichen Planungsaufgaben sind mannigfaltig und in ihren Begrifflichkeiten, insbesondere in der betrieblichen Praxis, nicht eindeutig abgegrenzt. Das Begriffsdilemma gilt vor allem für die Fabrikplanung und resultiert aus differierenden Betrachtungsweisen und damit unterschiedlichen Bezeichnungen des Planungsobjekts Fabrik. Die in dieser Arbeit gebrauchten Definitionen wurden unter den Aspekten Verbreitung und Zweckmäßigkeit ausgewählt. Desweiteren tangiert die Simulation zumeist mehrere Planungsaufgaben, die, im Falle der Produktionslogistik, den Materialfluss relevant beeinflussen. Nachfolgend sind die wichtigsten Planungsaufgaben aufgeführt, die von einer simulationsgestützten Optimierung im Sinne der logistischen Betrachtung profitieren könnten.

Die langfristige Unternehmensplanung gibt die Ziele und Strategien des Unternehmens vor. Die Erfüllung der durch die Strategieüberlegungen abgesicherten Unternehmensaufgaben erfolgt in den Planungsbereichen Produktentwicklung, Produktionsplanung und -steuerung sowie der Fabrikplanung. Diese Planungsfelder sind, was die strategischen Aspekte der Aufgaben angeht, Bestandteil der Unternehmensplanung.

Die Fabrikplanung stellt sich als komplexes, mehrschichtig strukturiertes Aufgabenfeld dar und bildet ebenfalls einen Teil der Unternehmensplanung. Die Planungsfelder der Fabrikplanung lassen sich nach dem Systemaspekt und nach Sachgebieten gliedern. Nach dem Systemaspekt werden Planungsfelder unterschieden, die sich auf das Planungsobjekt Fabrik als System (Produktionssystem- und Werksstrukturplanung), auf einzelne Elemente (Bau-, Anlagen-, Einrichtungs- und Personalplanung), auf einzelne Prozesse (Fertigungs-, Transport-, Lager-, Versorgungs-, Entsorgungs- und Informationsprozessplanung) sowie auf einzelne Seiten der Struktur (Layout- und Logistikplanung) beziehen.

Die Produktionsplanung gliedert sich nach dem zeitlichen Kriterium in die strategische und taktische Produktionsplanung sowie die operative Produktionsplanung und -steuerung. Die Aufgabe der strategischen Produktionsplanung als Teil der langfristigen Unternehmensplanung ist die Ausrichtung von Produkt- und Produktionskonzept, um eine wettbewerbsfähige Stellung im Markt zu behaupten. Die taktische Produktionsplanung beschäftigt sich mit der Festlegung der notwendigen Kapazitäten von Personal und Produktionsmittel sowie der Produktionsorganisation. Die operative Produktionsplanung und -steuerung (PPS) hat zur Aufgabe, die vorhandenen Produktionsmittel optimal einzusetzen, sowie die Leistungserstellung in einem wirtschaftlich günstigen Betriebspunkt zu vollziehen.

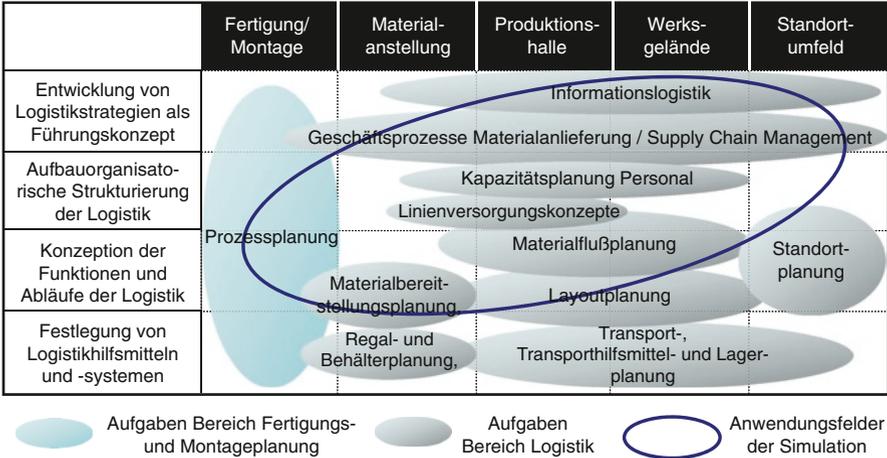


Abb. 1.2 Planungsfelder am Beispiel der Simulation der Versorgungsprozesse einer Montagelinie

In Abb. 1.2 sind beispielhaft die Planungsfelder aufgezeigt, die einen direkten und indirekten Einfluss auf die Simulation der Versorgungsprozesse einer Montagelinie haben können. Die betroffenen Planungsfelder von Layout-, Materialfluss- und Materialbereitstellungsplanung sind der Fabrikplanung zuzuordnen, wohingegen die Linierversorgungskonzepte, Kapazitätsplanung und die Geschäftsprozesse Materialanlieferung der Logistikplanung und im weiteren Sinne der taktischen Produktionsplanung zuzuordnen sind. Die operative Produktionsplanung und -steuerung findet ihre Ausprägung in der Informationslogistik.

Im aufgezeigten Beispiel wird die Verknüpfung zwischen Material- und Informationsfluss deutlich. Auf der technischen Ebene der Logistiksysteme spielt die prozessorientierte Sichtweise eine untergeordnete Rolle. Bei der funktionalen Betrachtung können bereits strukturelle Festlegungen wie das Layout eine Rolle spielen. So sind die Materialanlieferungspunkte an einem Montageband für die Berechnung der Transportfahrzeiten von Bedeutung, denn je nach Positionierung und Anbindung an ein Transportnetz ergeben sich abweichende Auslastungs- und Bestandsverläufe. Die Zuordnung von Personal und Ressourcen zu den logistischen Aufgaben bestimmen die ablauforganisatorische Strukturierung der Logistik. Den größten Hebel auf die Materialversorgungsprozesse hat aber die Informationslogistik: sie determiniert die Auslösung der Materialflussvorgänge in Abhängigkeit aktuell vorliegender Kriterien.

1.5 Logistische Zielgrößen

Ziel der Planung ist es, den anstehenden Aufträgen die vorhandenen Produktionsfaktoren (Betriebsmittel, Personal, Material, u. a.) so zuzuordnen, dass sie termingerecht fertiggestellt werden. Die Planung bewegt sich hierbei in einem Spannungs-

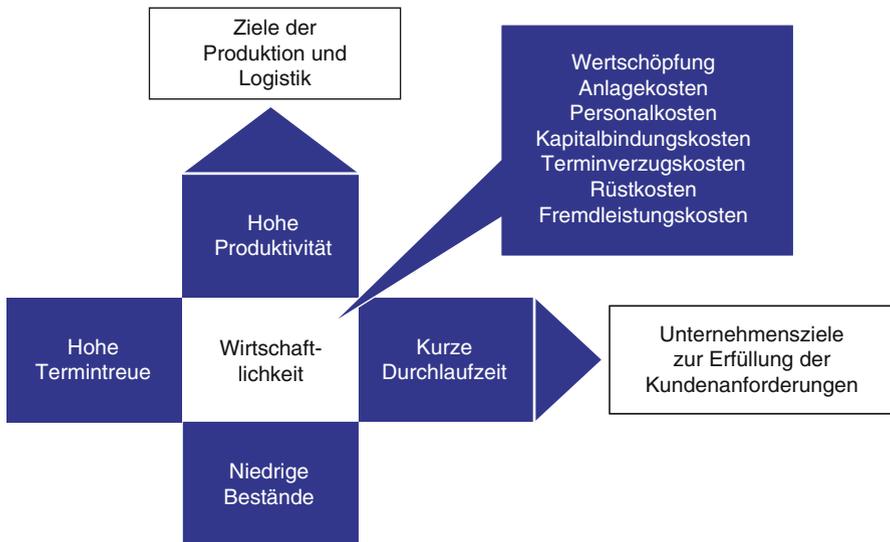


Abb. 1.3 Zusammenhang der logistischen Zielgrößen. (März 2002)

feld. Zu hohe Fertigungslosgrößen bedingen hohe Bestände und längere Durchlaufzeiten, was indirekt zu einer schlechteren Termintreue führt. Kleinere Losgrößen bedingen höhere Rüstaufwände und geringere Produktivität. Der grundlegende Zusammenhang der logistischen Größen ist in Abb. 1.3 dargestellt.

In Abhängigkeit von der Komplexität und den Wechselwirkungen von Produkt, Ressourcen und Prozessen ist die Vorhersage der logistischen Auswirkungen auf Durchlaufzeiten und Auslastungen bei ständig wechselnden Auftragslasten nur mit erheblichen Aufwänden oder Ungenauigkeiten möglich. Eine detaillierte Planung im Zyklus weniger Stunden bzw. Tage ist entweder nicht möglich oder auf Dauer mit zu hohen Aufwänden verbunden; eine Grobplanung übersieht potentielle Engpässe bzw. Potentiale für weitere Aufträge.

Somit sind entweder zu hohe Bestände oder eine zu geringe Produktivität die Folge. In den meisten Produktionsunternehmen finden sich zu hohe Bestände, da die Personal- und Ressourcenauslastung zumeist Priorität genießt. Demgegenüber steht der Trend zu kleineren Losgrößen. Alle Einflussgrößen von Auftragslast (Mengen, Produktmix, Terminerwartungen), Produkt (Prozesscharakteristika, Prozessfolgen) und Produktionsfaktoren unterliegen Schwankungen. Eine einmalige Festlegung der Fertigungsdispositionsparameter (Reihenfolgen, Losgrößen) etc. würde der Dynamik nicht Rechnung tragen. Daher ist eine Lösung gefragt, die eine zur jeweils vorliegenden Umweltsituation optimierte Auslegung der Fertigungsparameter erlaubt. Optimierte bedeutet in diesem Falle zumindest die Erreichung von vorgegebenen Zielwerten. Dies kann je nach Unternehmenssituation minimale Bestände, maximale Auslastung, gleichmäßiges Produktspektrum je Planungsperiode o. a. bedeuten. In Abb. 1.4 sind die in Abb. 1.3 dargestellten Zielgrößen um häufig in der Produktionslogistik anzutreffende Zielgrößen erweitert.