

**Axel Kuhn
Adolf Reinhardt
Hans-Peter Wiendahl
(Hrsg.)**

**Handbuch
Simulationsanwendungen
in
Produktion und Logistik**

**Fortschritte in der Simulationstechnik
im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM)
herausgegeben von Walter Ameling**

- Band 1 F. Breitenecker, I. Troch, P. Kopacek (Hrsg.)
Simulationstechnik
6. Symposium in Wien, September 1990
- Band 2 F. Breitenecker, H. Ecker, I. Bausch-Gall
Simulation mit ACSL
- Band 3 Dj. Tavangarian
Simulation und Entwurf elektronischer Schaltungen
- Band 4 Dj. Tavangarian (Hrsg.)
Simulationstechnik
7. Symposium in Hagen, September 1991
- Band 5 O. Rathjen
Digitale Echtzeitsimulation
- Band 6 A. Sydow (Hrsg.)
Simulationstechnik
8. Symposium in Berlin, September 1993
- Band 7 A. Kuhn, A. Reinhardt, H.-P. Wiendahl (Hrsg.)
Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik

Exposés und Manuskripte erbeten unter der Adresse:
Prof. Dr.-Ing. Walter Ameling,
RWTH Aachen, Schinkelstr. 2, D-52062 Aachen
oder an den Verlag Vieweg, Postfach 58 29, D-65048 Wiesbaden

Axel Kuhn, Adolf Reinhardt, Hans-Peter Wiendahl
(Hrsg.)

Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik

Mit 194 Abbildungen



Herausgeber der Reihe im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM):

o. Prof. Dr.-Ing. Walter Ameling, RWTH Aachen,
Schinkelstraße 2, D-52062 Aachen

Alle Rechte vorbehalten

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1993

Ursprünglich erschienen bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden 1993.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1993



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Gedruckt auf säurefreiem Papier

ISBN 978-3-528-06581-2 ISBN 978-3-322-91114-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-91114-8

Vorwort

Der Nutzen der Simulationstechnik in der Unterstützung von Planungs- und Steuerungsaufgaben in Produktion und Logistik hat sich nicht nur für große Unternehmen herausgestellt. Es steht zu erwarten, daß die Simulationstechnik ein zentrales Hilfsmittel einer neu zu organisierenden, permanenten Gestaltung der Produktionsstätten, Geschäftsprozesse, Steuerungshierarchien oder Logistik-Prozeßketten wird. Die Simulationsmodelle sind geeignet, das hierfür erforderliche Allgemeinwissen (Bausteine der Simulatoren), das Anwendungswissen und die Methodik der Simulationstechnik selbst zu speichern und jederzeit abrufbar zu machen; das dokumentierte Wissen ist erweiterbar und wiederverwendbar. Dies gilt auf allen Ebenen der Systemgestaltung, für alle Phasen des Lebenszyklus von Anlagen und Prozessen der Unternehmen. Damit müßte ein Simulationsmodell eines Unternehmens zum "Sammelbecken" des Wissens der beteiligten Disziplinen und zur gemeinsamen Sprache aller am Entscheidungs- und Tuningprozeß teilnehmenden Personen werden. Dies ist heute jedoch noch eine ferne Vision.

Die Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) in der Gesellschaft für Informatik (GI) hat sich zur Aufgabe gemacht, den gemeinsamen Weg zum beschriebenen Ziel zu ebnen. In mehreren Arbeitskreisen lernen Entwickler und Anwender der Simulationstechnik miteinander und voneinander. Der Arbeitskreis "Simulation in der Fertigungstechnik" hat zur Unterstützung der Aktivitäten die Anwendungserfahrungen aus einem großen Nutzerkreis zusammengetragen. Es werden hervorragende Ergebnisse vorgelegt und Lösungswege zur Vermeidung von Problemen sowie zur Beseitigung von Defiziten beschrieben.

Daß so viele Simulationsexperten und Institutionen ein gemeinsames Werk zusammengestellt haben, ist ein hoffnungsvolles Indiz dafür, daß die Erkenntnis gereift ist: nur im Zusammenwirken der unterschiedlichsten Fachkompetenzen, der vielfältigen Anwender und der erfahrenen "Simulanten" läßt sich der volle Nutzen der Simulationstechnik erschließen. Hierzu gehören auch Beiträge aus Forschung und Lehre, Ausbildung, Erklärung und Erprobung.

Dieses Handbuch soll einen Beitrag hierzu leisten. Allen an der Entstehung beteiligten Personen sei hiermit herzlich gedankt.

Für die Herausgeber und im Namen der ASIM

Prof. Dr.-Ing. A. Kuhn

Inhalt

0	Einleitung	1
	<i>(Dipl.-Inform. S. Wenzel, Dipl.-Ing. V. Ahrens, Dipl.-Ing. A. Schürholz, Dipl.-Ing. H.-H. Witte)</i>	
I	Anwendungen der Simulation ...	
I.1	... in der Unternehmensplanung.....	7
	<i>(Dr.-Ing. B. Noche, Dipl.-Ing. P. Scholtissek)</i>	
I.1.1	Anwendungsfelder und Ziele der Unternehmensplanung	7
I.1.2	Strategische Unternehmensplanung	9
I.1.2.1	Ein Simulationssystem für die strategische Unternehmensplanung	11
I.1.2.2	Ein Anwendungsbeispiel	12
I.1.3	Taktische Unternehmensplanung.....	19
I.1.3.1	Aufbau eines Produktionssimulationssystems	20
I.1.3.2	Durchführung von Simulationsexperimenten	21
I.1.3.3	Beispielhafte Ergebnisse aus Simulationsanwendungen.....	23
I.1.4	Operative Unternehmensplanung mit simulationsgestützten Leitständen	30
I.1.4.1	Aufgaben der simulationsgestützten Leitstände	32
I.1.4.2	Der Einsatz der Simulation in den Leitständen	34
I.1.4.3	Beispiele von simulationsgestützten Leitständen	36
I.1.5	Ausblick	38
I.1.6	Literatur	41
I.2	... in der Layoutplanung	43
	<i>(Dipl.-Ing. V. Ahrens, Dipl.-Phys. M. Rabe, Dr.-Ing K. Schlüter, Dipl.-Ing. C. Skudelny)</i>	
I.2.1	Werkstrukturplanung	44
I.2.2	Produktionsbereichsplanung.....	49
I.2.2.1	Ein Beispiel aus der Elektronikindustrie.....	49
I.2.2.2	Ein Beispiel aus dem allgemeinen Maschinenbau	58

VII

I.2.3	Produktionsinselplanung	65
I.2.4	Ausblick	72
I.2.5	Literatur	73
I.3	... in der Materialflußplanung	75
	<i>(Dipl.-Ing. U. Schmidt, Dipl.-Ing. S. Triemer)</i>	
I.3.1	Warum Simulation?	75
I.3.1.1	Komplexität	75
I.3.1.2	Objektivität	76
I.3.2	Einsatzgebiete der Materialflußsimulation	76
I.3.3	Nutzen der Materialflußsimulation	77
I.3.4	Durchführung von Simulationsstudien	78
I.3.4.1	Vorarbeiten	78
I.3.4.2	Erforderliche Eingangsdaten	78
I.3.4.3	Datenerhebung	79
I.3.4.4	Modellaufbau	79
I.3.4.5	Modellierung mit bausteinorientierten Simulatoren	80
I.3.4.6	Modellierungsgenauigkeit	81
I.3.4.7	Modellvalidierung	81
I.3.4.8	Durchführung von Simulationsläufen	82
I.3.4.9	Ergebnisinterpretation und Bewertung	82
I.3.5	Praktische Anforderungen	83
I.3.5.1	Anwendungsphilosophie	83
I.3.5.2	Simulatorfunktionalität	84
I.3.6	Anwendungsbeispiele	85
I.3.6.1	Planung eines komplexen FTS	85
I.3.6.2	Planung einer mehrstufigen Kommissionieranlage	87
I.3.6.3	Modellierung einer Pick-to-Belt Anlage	87
I.3.7	Kosten und Wirtschaftlichkeit	88
I.3.7.1	Zeitaufwand	88
I.3.7.2	Kosten	89
I.3.7.3	Wirtschaftlichkeit	89
I.3.8	Ausblick	89
I.3.9	Literatur	90

VIII

I.4 ... in der Planung von Betriebsmittelflüssen..... 93

(Dipl.-Ing. H.-H. Witte, Dipl.-Ing. J. Balbach, Dipl.-Phys. M. Rabe)

I.4.1	Problemstellung	93
I.4.2	Betriebsmittelbewirtschaftung	95
I.4.3	Betriebsmitteleinsatz	96
I.4.4	Anwendungsbeispiele	99
I.4.4.1	Werkzeug- und Werkstückversorgung in Flexiblen Fertigungssystemen.....	99
I.4.4.2	Werkzeug- und Materialversorgung in einer Blechfertigung.....	105
I.4.5	Ausblick	107
I.4.6	Literatur	108

I.5 ... in der Arbeitsgestaltung109

*(Dipl.-Ing. M. Ohse, Dipl.-Ing. I. Erhardt, Dipl.-Ing. H.-J. Gebhardt,
Dipl.-Inform. C. Vornholt)*

I.5.1	Problemstellung	110
I.5.2	Rechnergestützte Planungsinstrumente zur Abbildung des Mensch-Maschine-Systems	112
I.5.2.1	Instrumente in der Anthropometrie und Biomechanik	112
I.5.2.2	Instrumente für die Arbeitssystemgestaltung	113
I.5.2.3	Instrumente für die Personaleinsatzplanung	113
I.5.2.4	Instrumente zur Belastungs- und Beanspruchungsanalyse.....	115
I.5.3	Beitrag der Belastungs- und Beanspruchungsanalyse zur Arbeitsgestaltung	116
I.5.3.1	Das Belastungs- und Beanspruchungskonzept	117
I.5.3.2	Simulation von Arbeitssituationen	120
I.5.3.3	EMSIG — ein Beitrag zur Entwicklung ganzheitlicher Planungsinstrumente.....	123
I.5.3.4	Ein Anwendungsbeispiel	125
I.5.4	SIMINNOV-AW, ein Simulationsinstrument zur Beantwortung arbeitswirtschaftlicher Fragestellungen.....	127
I.5.4.1	Motivation für die Entwicklung eines arbeitswirtschaftlichen Simulators.....	127
I.5.4.2	Entwicklungshistorie	127

IX

I.5.4.3	Ein Anwendungsbeispiel	130
I.5.5	Ausblick	137
I.5.6	Literatur	138
I.6	... in der Montage.....	141
	<i>(Dipl.-Ing. S. Abels, Dipl.-Ing. W. Amann, Dipl.-Ing. Y. Wang, Dipl.-Ing. K. Zeugträger)</i>	
I.6.1	Ziele auf Bereichs- und Anlagenebene	142
I.6.2	Ziele auf Zellen-, Maschinen-/Bediener- und Komponentenebene	145
I.6.3	Initialisierung	146
I.6.4	Entwicklung des Simulationsmodells.....	147
I.6.5	Durchführung von Simulationsexperimenten	150
I.6.6	Darstellung der Ergebnisse.....	151
I.6.7	Beispiele für Simulationsstudien von Montagesystemen	152
I.6.7.1	Simulationsstudie: PKW-Rohbau	152
I.6.7.2	Simulationsuntersuchung: Gestaltung gruppenorientierter Arbeitsstrukturen am Fließband	153
I.6.8	Ausblick	155
I.6.9	Literatur	155
I.7	... in der Robotereinsatzplanung	157
	<i>(Dipl.-Ing. C. Woenckhaus, Dipl.-Ing. S. Krüger, Dipl.-Inform. P. Mul, Dr.-Ing. D. Wloka)</i>	
I.7.1	Interaktive grafische Simulation	157
I.7.1.1	Übersicht	157
I.7.1.2	Einführung	158
I.7.1.3	Robotersimulation.....	158
I.7.1.4	Integration in eine CIM-Architektur.....	160
I.7.2	Leistungsstand heutiger Systeme.....	161
I.7.3	Weiterentwicklungen in der 3D-Simulation	163
I.7.3.1	Allgemeine Trends	163
I.7.3.2	Grafik.....	164

I.7.3.3	Neuronale Netze in der Robotersimulation	169
I.7.3.4	Automatische Optimierung von 3D-Zellenlayouts	175
I.7.3.5	Integration von Konstruktion und Planung	179
I.7.4	Ausblick	186
I.7.5	Literatur	187
I.8	... in der NC-Programmierung.....	191
	<i>(Dipl.-Ing. Hohwieler, Dipl.-Ing. Junghans, Herr Linner, Dipl.-Inform. Neubert)</i>	
I.8.1	Programmkorrektur und -optimierung in der NC-Simulation.....	191
I.8.2	Anforderungen an die Simulation	195
I.8.2.1	Praxisnahe Darstellung	195
I.8.2.2	Werkstückaktualisierung	195
I.8.2.3	Kollisionserkennung.....	195
I.8.2.4	Einfache Handhabbarkeit.....	196
I.8.2.5	Bedienung der Simulation	197
I.8.3	Einbindung der NC-Simulation in den betrieblichen Ablauf	197
I.8.3.1	Methoden der NC-Programmerstellung	197
I.8.3.2	Klassen von NC-Simulationssystemen	199
I.8.3.3	Eingangsdaten für die grafische NC-Simulation.....	199
I.8.3.4	Versorgung der Simulation mit Verfahrdaten	201
I.8.3.5	Versorgung der Simulation mit Geometriedaten	204
I.8.4	Verfahren und Modelle der Simulation	206
I.8.4.1	Grundsätzliche Struktur eines Simulationssystems	206
I.8.4.2	Modelle der Simulationssysteme	207
I.8.5	Anwendung der Simulation in verschiedenen Verfahren	209
I.8.5.1	Drehen	211
I.8.5.2	Fräsen	212
I.8.5.3	Erodieren	213
I.8.5.4	Schleifen	214
I.8.6	Ausblick	214
I.8.7	Literatur	215

I.9 ... als Entwicklungs- und Testumgebung für Steuerungssoftware.....217
(Dipl.-Inform. A. Schürholz, Dipl.-Ing. W. Amann, Dipl.-Ing. D. Strassacker)

I.9.1	Anwendungsbereiche und Aufbau von Simulations- umgebungen für Steuerungen	218
I.9.1.1	Möglichkeiten der Simulationsanwendung während der Realisierung und des Betriebes von Steuerungen	218
I.9.1.2	Testumgebungen für die verschiedenen Steuerungsebenen	220
I.9.1.3	Gestaltungsaspekte von simulationsgestützten Testumgebungen für Leitsysteme	221
I.9.2	Beispiele und deren Nutzeffekte.....	226
I.9.2.1	Simulationsgestützte Erstellung und Überprüfung von SPS-, NC- und RC-Steuerungen	226
I.9.2.2	Testumgebung einer Zellensteuerung für ein flexibles Montagesystem.....	226
I.9.2.3	Testumgebung für ein Montageleitsystem.....	228
I.9.2.4	Nutzung einer Testumgebung zur Steuerungsferndiagnose.....	229
I.9.3	Zusammenfassung und Ausblick.....	230
I.9.4	Literatur	233

I.10 ... zur Mitarbeiterschulung in der Fertigungssteuerung.....235
(Dr.-Ing. G. Springer, Dipl.-Ing. H. Fastabend)

I.10.1	Einleitung	235
I.10.1.1	Notwendigkeit der PPS-Ausbildung.....	235
I.10.1.2	Anforderungen an Systeme zur simulationsgestützten Ausbildung.....	237
I.10.1.3	Auswahl des Lehrinhaltes für die Fertigungssteuerung.....	239
I.10.2	Aufbau und Funktionsweise eines Trainingssystems.....	240
I.10.2.1	Möglichkeiten zur Beeinflussung des Fertigungsablaufes in einem Trainingssystem	240
I.10.2.2	Regelkreise der PPS in einem Trainingssystem für die Fertigungssteuerung	242
I.10.3	Simulation von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells	243

XII

I.10.4	EDV-technischer Aufbau des Trainingssystems	246
I.10.5	Beispielhafte Anwendungen	248
I.10.5.1	Struktur des Betriebes	248
I.10.5.2	Beispiel für die Analyse der Auftragsdaten.....	248
I.10.5.3	Einbindung der Simulation in das Trainingssystem.....	250
I.10.5.4	Auswertung des Verhaltens von Arbeitssystemen in bezug auf die logistischen Zielgrößen.....	253
I.10.5.5	Schulungsablauf: Wirkung des Bestandes	255
I.10.6	Ausblick	262
I.10.7	Literatur	265

II Simulationsinstrumente ...

II.1 ... im Überblick

*(Dr.-Ing. B. Noche, Dipl.-El.-Ing.HTL W. Bernhard, Dr. techn. J. Krauth,
Dipl.-Inform. R. Meyer, Dipl.-Inform. S. Wenzel)*

II.1.1	Marktübersicht.....	267
II.1.1.1	Hinführung	267
II.1.1.2	Allgemeine Anmerkungen.....	268
II.1.2	Klassifizierung der Simulationssysteme.....	270
II.1.2.1	Konzepte	270
II.1.2.2	Methoden zur Abbildung von Entscheidungsstrukturen.....	283
II.1.2.3	Einteilung der Simulationsinstrumente.....	287
II.1.3	Produktübersicht	289
II.1.4	Vorgehensweise zur Simulatorauswahl.....	304
II.1.5	Literatur	307

II.2 ... Modellierung- und Implementierung.....

*(Univ. Prof. Dipl.-Ing. A. Reinhardt, Dipl.-Inform. D. Koop,
Dipl.-Ing. S. Hanisch, Dipl.-Phys. M. Rabe, Dipl.-Ing. B. Rottbeck)*

II.2.1	Aufgabe und Modell	309
II.2.2	Modell und Erkenntnisprozeß	309

XIII

II.2.3	Aufgabenstellung und gedanklicher Lösungsansatz	311
II.2.3.1	Eine Aufgabenstellung.....	311
II.2.3.2	Lösungsansatz durch Denken.....	313
II.2.3.3	Erweiterte Aufgabenstellung.....	314
II.2.3.4	Lösungskonzept durch Denken.....	314
II.2.4	Simulationswerkzeuge in Schubladen	315
II.2.4.1	Modellmedien.....	315
II.2.4.2	Modellierungswerkzeuge.....	319
II.2.5	Lösungsansätze mit Simulatoren	323
II.2.5.1	SIMFLEX/2.....	325
II.2.5.2	DOSIMIS-3	329
II.2.5.3	MOSYS.....	333
II.2.5.4	SIMPLE++.....	337
II.2.5.5	simpro	341
II.2.6	Simulation — heute und morgen	345
II.2.7	Literatur	346

III Kopplung der Simulation mit ...

III.1 ... Methoden des Datenmanagements.....347

(Dipl.-Inform. S. Wenzel, Dipl.-Inform. R. Meyer)

III.1.1	Aufgaben des Datenmanagements.....	347
III.1.2	Einsatz des Datenmanagements in der Simulation.....	348
III.1.2.1	Aufbau der Simulationsdatenbasis	348
III.1.2.2	Simulationsdaten hoher Komplexität.....	350
III.1.2.3	Ableitung komplexer Simulationsdaten.....	355
III.1.3	Integrationskonzept	360
III.1.4	Anwendungsbeispiele	362
III.1.4.1	Systemlasten für Transportvorgänge.....	362
III.1.4.2	Auswertung von Stördaten zur Generierung von Störprofilen....	365
III.1.5	Vorteile und Nutzen	366
III.1.6	Ausblick	367
III.1.7	Literatur	368

III.2 ... Interpretations- und Optimierungsverfahren369

*(Dipl.-Ing. L. Barfels, Dipl.-Phys. M. Rabe, Dipl.-Ing. P. Rally,
Dipl. Ing. J. Schulte, Dipl.-Ing. H. Stiegenroth, Dipl.-Ing. W. Schweizer,
Dipl.-Ing. F. Wagner)*

III.2.1	Optimierung von Produktionssystemen	369
III.2.1.1	Optimierungsproblematik	371
III.2.1.2	Bewertung von Simulationsergebnissen bei stochastischen Simulationsmodellen	373
III.2.2	Ergebnisaufbereitung und -bewertung	374
III.2.2.1	Ergebnisaufbereitung und -präsentation	374
III.2.2.2	Variantenverwaltung in Simulationsprogrammen	376
III.2.2.3	Bewertung von Planungsvarianten.....	379
III.2.3	Optimierende Modell- und Parameterveränderungen.....	381
III.2.3.1	Enumerative Vorgehensweise.....	382
III.2.3.2	Zielorientiertes Suchen.....	382
III.2.4	Realisierte Ansätze zur Optimierung von Produktionssystemen. .	384
III.2.4.1	Kennliniengestützte Optimierung von Produktionssystemen	384
III.2.4.2	Simulationsgestützte Optimierung in der Planung von Produktionssystemen mit wissensbasierten Systemen.....	385
III.2.4.3	Flexible Optimierung mit Genetischen Algorithmen	389
III.2.4.4	Interaktive Simulation und Optimierung.....	392
III.2.5	Zusammenfassung und Ausblick.....	395
III.2.6	Literatur	397

**IV Zukunft der Simulationstechnik —
Simulationstechnik der Zukunft399**
(Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. R. Schmidt)

Anhänge 423**A 1 Stichwortverzeichnis423****A 2 Autorenverzeichnis429**