

# Inhalt

<b>0</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
	<i>(Dipl.-Inform. S. Wenzel, Dipl.-Ing. V. Ahrens, Dipl.-Ing. A. Schürholz, Dipl.-Ing. H.-H. Witte)</i>	
<b>I</b>	<b>Anwendungen der Simulation ...</b>	
<b>I.1</b>	<b>... in der Unternehmensplanung.....</b>	<b>7</b>
	<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
<b>I.2</b>	<b>... in der Layoutplanung .....</b>	<b>43</b>
	<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

I.2.3	Produktionsinselplanung .....	65
I.2.4	Ausblick .....	72
I.2.5	Literatur .....	73

### **I.3 ... in der Materialflußplanung ..... 75**

*(Dipl.-Ing. U. Schmidt, Dipl.-Ing. S. Triemer)*

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

<b>I.4</b>	<b>... in der Planung von Betriebsmittelflüssen.....</b>	<b>93</b>
	<i>(Dipl.-Ing. H.-H. Witte, Dipl.-Ing. J. Balbach, Dipl.-Phys. M. Rabe)</i>	
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
<b>I.5</b>	<b>... in der Arbeitsgestaltung .....</b>	<b>109</b>
	<i>(Dipl.-Ing. M. Ohse, Dipl.-Ing. I. Erhardt, Dipl.-Ing. H.-J. Gebhardt, Dipl.-Inform. C. Vornholt)</i>	
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

I.5.4.3	Ein Anwendungsbeispiel .....	130
I.5.5	Ausblick .....	137
I.5.6	Literatur .....	138

## **I.6 ... in der Montage.....141**

*(Dipl.-Ing. S. Abels, Dipl.-Ing. W. Amann, Dipl.-Ing. Y. Wang,  
Dipl.-Ing. K. Zeugträger)*

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**

*(Dipl.-Ing. C. Woenckhaus, Dipl.-Ing. S. Krüger, Dipl.-Inform. P. Mul,  
Dr.-Ing. D. Wloka)*

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**

*(Dipl.-Ing. Hohwieler, Dipl.-Ing. Junghans, Herr Linner,  
Dipl.-Inform. Neubert)*

- 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 Verahrdaten ..... 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

<b>I.9</b>	<b>... als Entwicklungs- und Testumgebung für Steuerungssoftware.....</b>	<b>217</b>
	<i>(Dipl.-Inform. A. Schürholz, Dipl.-Ing. W. Amann, Dipl.-Ing. D. Strassacker)</i>	
I.9.1	Anwendungsbereiche und Aufbau von Simulationsumgebungen 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
<b>I.10</b>	<b>... zur Mitarbeiterschulung in der Fertigungssteuerung.....</b>	<b>235</b>
	<i>(Dr.-Ing. G. Springer, Dipl.-Ing. H. Fastabend)</i>	
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

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

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



<b>III.2</b>	<b>... Interpretations- und Optimierungsverfahren .....</b>	<b>369</b>
	<i>(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)</i>	
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
<b>IV</b>	<b>Zukunft der Simulationstechnik — Simulationstechnik der Zukunft .....</b>	<b>399</b>
	<i>(Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. R. Schmidt)</i>	
<b>Anhänge .....</b>	<b>.....</b>	<b>423</b>
<b>A 1</b>	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>423</b>
<b>A 2</b>	<b>Autorenverzeichnis .....</b>	<b>429</b>