

Digitale Fabrik

Wolfgang Kühn

Fabriksimulation für Produktionsplaner

ISBN 3-446-40619-0

Inhaltsverzeichnis

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/3-446-40619-0> sowie im Buchhandel

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	V
1	Was ist eine Digitale Fabrik	1
1.1	Ziele der Digitalen Fabrik	5
1.1.1	Verbesserung der Wirtschaftlichkeit	6
1.1.2	Verbesserung der Planungsqualität	8
1.1.3	Transparente Kommunikation	8
1.1.4	Standardisierung von Planungsprozessen	9
1.1.5	Verbesserung der Wissensbasis	9
1.2	Aufgaben der Digitalen Fabrik	10
1.2.1	Produktentwicklung	11
1.2.2	Fabrik- und Produktionsplanung	12
1.2.3	Inbetriebnahme und Anlauf der Produktion	13
1.2.4	Produktionsbetrieb und Auftragsmanagement	13
1.3	Modelle der Digitalen Fabrik	13
1.3.1	Synergie durch Vernetzung der Modelle	15
1.3.2	Anforderungen an die Systemarchitektur der Digitalen Fabrik	17
1.4	Visualisierung der Digitalen Fabrik	17
1.5	Simulation der Digitalen Fabrik	19
1.6	Nutzen und Aufwand von Simulation	23
2	Technische Grundlagen der Simulationstechnik	27
2.1	Allgemeine Modelltheorie	27
2.1.1	Modellbegriff	28
2.1.2	Grundsätzliches zum Modellieren von Systemen	30
2.1.3	Qualitatives Modellieren von Systemen	32
2.1.4	Quantitative Modellkonzepte für dynamische Systeme	35
2.1.4.1	Zustandsgrößen, Veränderungsgrößen und Flussgrößen	36
2.1.4.2	Modellannahmen	37
2.2	Vorgehensweise der Systemabgrenzung und Systemanalyse	39
2.2.1	Systemabgrenzung	41
2.2.2	Analyse des Systemzwecks und der globalen Systemeigenschaften ...	41
2.2.3	Analyse der Systemstruktur	42
2.2.4	Analyse der einzelnen Systemelemente	43
2.2.5	Wirkungsanalyse und Analyse der Ablaufstruktur	43

2.2.6	Darstellung der Analyse und Modellierung	44
2.3	Discrete-Event-Simulation	46
2.4	3D-Kinematik-Simulation	47
2.5	Mehrkörpersimulation	48
2.6	Prozesssimulation	49
3	Simulationsanwendungen der Digitalen Fabrik	53
3.1	Dezentrale Anwendungen mit zentraler Datenhaltung	54
3.2	Hierarchisches Modellierungskonzept	55
3.3	Layoutplanung und Simulation zur Layoutbewertung	57
3.4	Statische Untersuchung von Logistik- und Produktionsflüssen	59
3.5	Dynamische Simulation von Logistik- und Produktionsflüssen	60
3.6	Simulation zur Ermittlung der Systemverfügbarkeit	62
3.7	Planung und Simulation der Montageprozesse	63
3.7.1	Integrierte Datenplattform zur Montageplanung	63
3.7.2	Montagevisualisierung und -simulation	64
3.8	Robotik und komplexe Bewegungen	65
3.8.1	Robotermodellierung	66
3.8.2	Planung automatisierter Roboterzellen	70
3.8.3	Offline-Programmierung	72
3.9	Simulation in der Teilefertigung	74
3.10	Simulation von Personal	76
3.10.1	Simulation der Personallogistik	77
3.10.2	Personalorientierte Simulation	80
3.10.3	Ergonomie-Simulation	82
3.11	Simulation von Betriebsmittelbau und -logistik	83
3.12	Simulation in der Automatisierungstechnik	85
3.13	Simulation im operativen Betrieb	89
3.13.1	Überprüfung des aktuellen Produktionsprogramms und der Produktionsplanung	91
3.13.2	Verbesserung der Feinplanung und Produktionssteuerung	92
3.13.3	Operative Simulation zum kontinuierlichen Redesign der Fabrik	93
3.13.4	Anspruch an Modelle für den operativen Betrieb	94
3.13.5	Daten und Schnittstellen für die operative Simulation	95
3.13.6	Nutzer operativer Simulation	96
3.14	Referenzmodelle	97
4	Simulationsstudien	99
4.1	Prinzipieller Ablauf von Simulationsstudien	99

4.1.1	Systemdefinition, Zielfestlegung und Lastenheft	101
4.1.2	Modellentwurf	102
4.1.3	Implementierung des Modells	103
4.1.4	Modellverifikation	104
4.1.5	Datenbeschaffung	105
4.1.6	Validierung	107
4.1.6.1	Validierung der Modellannahmen/Eingangsdaten	108
4.1.6.2	Validierung der Modellergebnisse	108
4.1.7	Simulationsversuchsplanung	111
4.1.7.1	Szenario-Definition	112
4.1.7.2	Definition von Simulationsläufen	114
4.1.8	Durchführung Simulationsläufe	116
4.1.9	Laufbetrachtung und Ergebnisauswertung	116
4.1.10	Systemvariation und Optimierung	119
4.1.11	Praktische Umsetzung der Simulationsergebnisse	120
4.2	Typische Fehler vermeiden	120
5	Lastenheft, Pflichtenheft und Spezifikation	125
5.1	Lastenheft	126
5.1.1	Spezifikation der Anforderungen	127
5.1.2	Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Leistungserstellung	128
5.1.3	Anforderungen an den Auftragnehmer	129
5.1.4	Anforderungen an das Projektmanagement	129
5.1.5	Vertragliche Konditionen	129
5.1.6	Unternehmen, Zuständigkeiten und Ansprechpartner	130
5.2	Pflichtenheft	130
5.2.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung	132
5.2.2	Eingangsdaten und Eingangsvoraussetzungen	132
5.2.3	Leistungsbeschreibung des Simulationsmodells	134
5.2.3.1	Systemgrenze und Modellumfang	134
5.2.3.2	Modelleigenschaften, Modellabstraktion und Modellstrukturierung	135
5.2.3.3	Verifizierung und Validierung des Modells	135
5.2.4	Spezifikation der Simulationsszenarien und Simulationsexperimente	136
5.2.5	Ergebnisdarstellung und Auswertung	137
5.2.6	Lieferumfang	137
5.2.7	Abnahmekriterien	139
5.2.8	Projektterminplan und Projektcontrolling	139
5.2.9	Projektfeld	139

6	Datenmanagement für Simulationsanwendungen	141
6.1	Merkmale zur Beurteilung von Information.	142
6.2	Aufgaben des Datenmanagements	142
6.3	Datenerhebung und Messen	143
6.4	Simulationsdatenbasis	143
6.5	Eingangsdaten für die Simulation	144
6.5.1	Technische Daten der Produktions- und Logistiksysteme	146
6.5.1.1	Fabrikstrukturdaten	146
6.5.1.2	Betriebsmitteldaten	147
6.5.1.3	Ausfälle, Fehler und Störungen von Ressourcen	148
6.5.2	Daten der Produktionsplanung und -steuerung	149
6.5.2.1	Produktbezogene Daten	150
6.5.2.2	Arbeitspläne.	150
6.5.2.3	Systemlasten	151
6.5.3	Organisationsdaten	151
6.5.4	Kostendaten (optional)	152
6.6	Datenaufbereitung stochastischer Daten.	152
6.6.1	Logiken von Anlagen- und Maschinensteuerungen.	153
6.7	Ergebnisdaten	154
7	Versuchsplanung, Simulationsdurchführung und Auswertung der Simulationsergebnisse	155
7.1	Statistische Experimentplanung	156
7.2	Experimentplan	157
7.3	Durchführung der Simulationsläufe	158
7.4	Auswertung der Simulationsergebnisse	159
7.4.1	Datenaufbereitung	159
7.4.2	Statistische Auswertung.	160
7.4.3	Interpretation der Ergebnisdaten	161
7.4.4	Bewertung von Varianten	162
7.5	Grafische Darstellung von Simulationsergebnissen	163
8	Optimierung mit Hilfe von Simulation	171
8.1	Grundsätzliche Vorgehensweise	173
8.1.1	Parameteroptimierung	174
8.1.2	Kombinatorische Optimierung und Reihenfolgenoptimierung.	175
8.2	Gütefunktion zur Systembewertung.	175
8.3	Optimierungsverfahren	176
8.3.1	Technik der iterativen Verbesserung	176

8.3.2	Rastersuche	177
8.3.3	Gradienten- und stochastische Verfahren	177
8.3.4	Genetische und evolutionäre Algorithmen	179
8.4	Auswahl eines geeigneten Optimierungsverfahrens	181
8.5	Kopplung von Simulation und Optimierung	182
9	Simulation als integriertes Werkzeug der Digitalen Fabrik	185
9.1	Planungsaspekte beim Einsatz von Simulation in der Digitalen Fabrik	187
9.1.1	Organisatorische Aspekte	188
9.1.2	Zeitliche Aspekte	188
9.1.3	Betriebswirtschaftliche Aspekte	189
9.1.4	Technische Voraussetzungen	189
9.1.5	Qualität der Ergebnisse	190
9.1.6	Psychologische Aspekte	190
9.2	Vorbereitungsphase	191
9.2.1	Analyse der Einsatzfelder	191
9.2.2	Istanalyse	192
9.2.3	Verfügbare Planungs- und Simulationswerkzeuge	192
9.3	Konzepterstellung	193
9.3.1	Definition der Planungsprozesse	193
9.3.2	Projektorganisation	193
9.3.3	Systemarchitektur	195
9.3.4	Personalqualifikation	196
9.3.5	Pilotanwendung	196
9.3.6	Konzeptbewertung	197
9.4	Umsetzung der Digitalen Fabrik	197
9.5	Systemisches Denken und Handeln	198
9.5.1	Vernetztes Denken	198
9.5.2	Denken in Modellen	199
9.5.3	Dynamisches Denken	200
9.5.4	Systemgerechtes Handeln	201
10	Softwarewerkzeuge	203
10.1	Klassifikation von Simulationswerkzeugen	203
10.1.1	Simulatoren auf Sprachkonzeptebene	203
10.1.2	Bausteinsimulatoren	204
10.1.3	Multi-Level-Simulatoren	205
10.1.4	Softwaretechnologie	206

10.2	Historische Entwicklung der Fabriksimulatoren	207
10.3	Digital Factory Solution von DELMIA	209
10.3.1	Produkt- und Prozessstrukturierung, Fertigungsgestaltung, Logistik und Optimierung	213
10.3.1.1	DELMIA Process Engineer	213
10.3.1.2	DELMIA Layout Planner	216
10.3.1.3	DELMIA QUEST	217
10.3.2	Dynamische Ergonomieuntersuchungen	220
10.3.2.1	DELMIA Human Builder	221
10.3.2.2	DELMIA Human Measurements Editor	222
10.3.2.3	DELMIA Human Posture Analysis	223
10.3.2.4	DELMIA Human Task Simulation	223
10.3.2.5	DELMIA Human Activity Analysis	224
10.3.3	Teilefertigung	225
10.3.3.1	DELMIA Virtual NC	225
10.3.4	DELMIA DPM V5 Machining	226
10.3.5	Robotik	226
10.3.5.1	DELMIA PLM V5 Robotics Simulation	226
10.3.5.2	DELMIA UltraArc	229
10.3.5.3	DELMIA UltraSpot	230
10.3.5.4	DELMIA UltraPaint	230
10.3.5.5	DELMIA UltraGrip	230
10.3.6	Automatisierungstechnik	231
10.3.6.1	DELMIA V5 Automation	231
10.3.6.2	DELMIA V5 Automation LCM Studio	231
10.3.6.3	DELMIA V5 Automation Smart Device Builder	231
10.3.6.4	DELMIA V5 Automation Controlled System Simulator	231
10.3.7	Geometrieorientierte Montageplanung	232
10.3.7.1	DELMIA V5 DPM Assembly	232
10.3.8	Operative Produktionsplanung	234
10.3.8.1	DELMIA V5 DPM Shop	234
10.3.9	Integration und Managementinformationssystem	236
10.3.9.1	PPR Hub	236
10.4	Digital Factory Solution von UGS	237
10.4.1	Fabriklayout Logistik und Optimierung	240
10.4.1.1	FactoryCAD	241
10.4.1.2	FactoryFLOW	242
10.4.1.3	FactoryMockup	244
10.4.1.4	Plant Simulation	245

10.4.1.5	eMPower for Logistics	247
10.4.1.6	Process Designer	248
10.4.2	Ergonomieuntersuchungen	250
10.4.2.1	Jack Human Simulation	251
10.4.2.2	Jack/Jill	252
10.4.3	Teilefertigung	252
10.4.3.1	Machining Line Planner	252
10.4.3.2	RealNC	254
10.4.3.3	Die Verification	256
10.4.4	Robotik und Steuerungsprogrammierung	257
10.4.4.1	Robcad PC	257
10.4.4.2	Spot	259
10.4.4.3	Process Simulate Commissioning	260
10.4.5	Montageplanung	262
10.4.5.1	Assembly Process Planner	262
10.4.5.2	Process Simulate	262
10.4.5.3	eMPower Box Build Planning	264
10.4.6	Operative Produktionsplanung	265
10.4.6.1	Sequencer	265
10.4.6.2	Work Instructions	266
10.4.7	Produktionsmanagement	267
10.4.7.1	FactoryLink	268
10.4.7.2	Xfactory	269
10.4.8	Integration und Managementinformationssystem	271
10.4.8.1	Teamcenter Community	272
10.4.8.2	Teamcenter Engineering	272
10.4.8.3	Teamcenter Enterprise	272
10.4.8.4	Teamcenter In-Service	273
10.4.8.5	Teamcenter Manufacturing	273
10.4.8.6	Teamcenter Project	273
10.4.8.7	Teamcenter Requirements	273
10.4.8.8	Teamcenter Sourcing	273
10.4.8.9	Teamcenter Visualization	273
10.5	Weitere Fabrik simulationswerkzeuge	274
10.5.1	Arena	275
10.5.2	AutoMod	276
10.5.3	AutoSched/AutoSched AP	277
10.5.4	Enterprise Dynamics	277
10.5.5	Flexsim	278

10.5.6	ProModel	278
10.5.7	WITNESS	279
11	Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik	281
11.1	Wahrscheinlichkeit	281
11.2	Zufallsvariable	282
11.2.1	Diskrete Zufallsvariablen	282
11.2.2	Kontinuierliche Zufallsvariablen	282
11.3	Wahrscheinlichkeitsverteilung	283
11.4	Kennzahlen	283
11.5	Stochastische Verteilungen für Simulationsanwendungen	286
11.6	Gleichverteilung (diskret)	287
11.6.1	Beispiel Würfeln	288
11.7	Gleichverteilung (kontinuierlich)	289
11.8	Normalverteilung	290
11.9	Logarithmische Normalverteilung	292
11.10	Exponentialverteilung	295
11.11	Weibull-Verteilung	296
11.12	Pearson Type V	298
11.13	Dreiecksverteilung	300
11.13.1	Anwendung von Verteilungen	301
11.14	Methoden der statistischen Datenanalyse	302
11.14.1	Parameterabschätzung	302
11.14.2	Goodness-of-Fit-Tests	303
11.14.3	Chi-Square-Test	304
11.14.4	Kolmogorov-Smirnov-Test	304
11.15	Statistische Absicherung von Simulationsergebnissen	306
11.15.1	Analyse zur Ermittlung des eingeschwungenen Zustandes	306
11.15.2	Analyse der Ergebnisse eines einzelnen Systems	308
11.15.3	Vergleich alternativer Systemkonfigurationen	308
11.16	Tabelle t -Verteilung	310
11.17	Verwendete Formelzeichen	312
	Materialien für die Praxis	313
12	Lastenheft und Ausschreibungsunterlage	315
12.1	Spezifikation der Anforderungen	317
12.1.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung der Simulation	317
12.1.2	Layout und Systemgrenzen	317

12.1.3	Technische Daten der Produktions- und Logistikmodule	318
12.1.4	Materialfluss	319
12.1.4.1	Blockschaltbild	320
12.1.4.2	Transportmatrix	321
12.1.5	Anforderungen an das Modell	322
12.1.5.1	Systemgrenzen/Modellierungsebenen/Abstraktionsgrad	322
12.1.5.2	Parametrisierung/Modellmodifikationen	323
12.1.5.3	Auswertemöglichkeiten	324
12.1.5.4	Verifizierung des Modells	325
12.1.5.5	Validierung des Modells	325
12.1.6	Zu untersuchende Szenarien und Simulationsexperimente	325
12.1.6.1	Experimentplanung	327
12.1.6.2	Experimente und Versuchsdurchführung	327
12.1.7	Anforderungen an die Auswertung und Ergebnisdarstellung	328
12.1.8	Anforderung an den Lieferumfang	329
12.1.8.1	Simulationsuntersuchung	329
12.1.8.2	Dokumentation	331
12.1.8.3	Schulung zur Nutzung der erstellten Simulation	334
12.1.9	Modellintegration	334
12.1.10	Projektterminplan	335
12.2	Voraussetzungen und Rahmenbedingungen für die Leistungserstellung	336
12.2.1	Eingangsdaten für die Simulation	336
12.2.1.1	Fabrikstruktur/Layoutdaten/Materialfluss	337
12.2.1.2	Technische Daten der Anlagenkomponenten	337
12.2.1.3	Transportmitteldaten/Fördertechnik	338
12.2.1.4	Steuerungslogiken	338
12.2.1.5	Produktdaten	339
12.2.1.6	Prozessbeschreibungen, Arbeitspläne	339
12.2.1.7	Systemlastdaten/Mengen und Termine	339
12.2.1.8	Organisationsdaten	340
12.2.1.9	Zu untersuchende Szenarien	343
12.2.1.10	Schnittstellen	343
12.2.2	Vorhandene Planungsergebnisse	344
12.2.3	Simulationswerkzeuge und Bausteinbibliotheken	344
12.2.4	Entwicklungs- und Qualitätsvorgaben	344
12.3	Anforderungen an den Simulationsdienstleister	345
12.4	Anforderungen an das Projektmanagement	346
12.5	Vertragliche Konditionen	346

12.5.1	Abnahmekriterien	346
12.5.2	Rechte am Modell	346
12.5.3	Vertraulichkeit, Rückgabe, Copyright	347
12.6	Zuständigkeiten, Ansprechpartner und Planungsumfeld	347
12.6.1	Organisationsstruktur des Auftraggebers	347
12.6.2	Rückfragen zu den Ausschreibungsunterlagen	349
12.6.3	Angebotsabgabe	349
12.6.4	Geschäftsbedingungen	349
13	Leitfaden für Simulationsprojekte	351
13.1	Spezifikation und Dokumentation	351
13.2	Vorgehensmodell für den Projektablauf	352
13.3	Modellierungsrichtlinie	356
13.3.1	Allgemeines zur Modellierung	356
13.3.2	Modell- und Ordnernamen	357
13.3.3	Dateibezeichnung	357
13.3.4	Modellstruktur	357
13.3.5	Aufbau der Klassenbibliothek	357
13.3.6	Aufbau der Modellnetzwerke	359
13.3.7	Datenverwaltung	362
13.4	Programmierrichtlinie	363
13.4.1	Allgemeines zur Programmierung	363
13.4.2	Methodendokumentation	363
13.4.3	Variablenbenennung	364
13.5	Richtlinie Simulationsdurchführung	365
13.5.1	Experimentplan	365
13.5.2	Verwendung von stochastischen Verteilungen (Seed-Werten)	365
13.6	Voraussetzungen	366
13.6.1	Einzusetzende Softwarewerkzeuge	366
13.6.2	Organisation, Zuständigkeiten und Ansprechpartner	366
13.6.3	Gültigkeit dieser Richtlinie	367
14	Checklisten	369
14.1	Checkliste Simulationsstudien	369
14.2	Checkliste zur Leistungsbeschreibung des Lastenheftes	374
14.3	Checkliste zur Leistungsbeschreibung des Pflichtenheftes	375
14.4	Checkliste Eingangsdaten für die Simulation	377
14.5	Checkliste Simulationsdokumentation	380
14.6	Checkliste zur Abnahme von Simulationsstudien	383

14.7	Checkliste Simulatoreauswahl	385
14.7.1	Simulationsprinzip.	387
14.7.2	Größe und Struktur der Modelle	387
14.7.3	Modellierung	388
14.7.4	Modellelemente.	388
14.7.5	Bausteinbibliotheken und Applikationsmodule	389
14.7.6	Steuerungen und Informationsverarbeitung	390
14.7.7	Modellparameter - stochastische Verteilung.	391
14.7.8	Funktionalitäten zur Bewegungssimulation.	392
14.7.9	Einschränkungen bei der Modellierung	393
14.7.10	Modelldokumentation.	394
14.7.11	Unterstützung bei Verifikation und Validierung.	394
14.7.12	Organisation von Simulationsexperimenten und Optimierung	395
14.7.13	Durchführung von Simulationsläufen	396
14.7.14	Laufbetrachtung und Visualisierung	397
14.7.15	Ergebnisbewertung und Ergebnisdarstellung.	398
14.7.16	Systemintegration und Schnittstellen	399
14.7.17	Benutzerschnittstelle.	400
14.7.18	Systemanforderungen.	400
14.7.19	Schulung und Service.	401
14.7.20	Kosten	402
14.7.21	Softwareanbieter.	403
15	Weiterführende Informationen	405
15.1	Glossar.	405
15.2	Abkürzungsverzeichnis	421
15.3	Schnittstellen und Datenaustauschformate	427
15.4	Anbieter von Simulationssoftware	431
15.5	Organisationen	435
15.6	Regelmäßige Konferenzen.	437
15.7	Technische Regeln, Literatur und Links	438
15.7.1	Technische Regeln	438
15.8	Literatur.	440
	Stichwortverzeichnis	467