

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG	1
TEIL I: GRUNDLAGEN DER SIMULATION	
2 VOR- UND NACHTEILE DER SIMULATION	5
3 ABLAUF EINER SIMULATIONSSTUDIE	7
3.1 GRUNDMODELL	7
3.2 PROGNOSEMODELL	8
3.3 ABLAUFMODELL	10
3.3.1 Formulieren des Problems.....	11
3.3.2 Entwickeln des Modells	11
3.3.3 Erheben und Generieren von Daten	12
3.3.4 Implementieren des Modells	12
3.3.5 Verifizieren und Validieren des Modells	12
3.3.6 Durchführen und Auswerten von Simulationsläufen	13
3.3.7 Interpretieren der Simulationsergebnisse	14
3.3.8 Umsetzen der Simulationsergebnisse in die Realität.....	14
3.4 EBENENMODELL	15
3.5 ZUSAMMENFASSUNG	16
4 GRUNDBEGRIFFE DER SIMULATION	17
4.1 GRUNDBEGRIFFE.....	17
4.1.1 System.....	17
4.1.2 Modell.....	18
4.1.3 Simulation	19
4.1.4 Simulationssystem.....	20
4.2 KLASSIFIZIERUNGEN.....	21
4.2.1 Kontinuierliche vs. diskrete Systeme	21
4.2.2 Deterministische vs. stochastische Simulation.....	22
4.2.3 Statische vs. dynamische Systeme und Modelle	24
4.2.4 Rückgekoppelte vs. nicht rückgekoppelte Systeme	24
4.2.5 Terminierende vs. nichtterminierende Systeme	26
4.2.6 Stationäre vs. nichtstationäre Systeme	27
4.2.7 Echtzeit-Simulation vs. Nicht-Echtzeit-Simulation	28
4.2.8 Spezialfälle.....	29
4.2.8.1 Chaotische Systeme.....	29
4.2.8.2 Finite-Elemente-Simulation	29
4.2.8.3 Monte-Carlo-Methoden.....	30
4.3 ZEITFORTSCHRITT IN DER SIMULATION	31
4.3.1 Zeitorientierte Simulation	31
4.3.2 Prozeßorientierte Simulation.....	32
4.3.3 Ereignisorientierte Simulation.....	33

TEIL II: REALISIERUNG UND EINSATZ VON SIMULATIONSSYSTEMEN

5	MODELLBILDUNG	35
5.1	ALLGEMEINES	35
5.2	FORMULIEREN DES PROBLEMS	35
5.3	ABGRENZEN DES SYSTEMS VON SEINER UMGEBUNG	37
5.4	VERHALTENS- VS. STRUKTURMODELL	37
5.5	FESTLEGEN DER RELEVANTEN GRÖßEN	39
5.6	ERHEBEN UND GENERIEREN VON DATEN	41
5.6.1	Allgemeines	41
5.6.2	Auswertung der erhobenen Daten	42
5.6.3	Direkte Verwendung der erfaßten Daten in der Simulation	43
5.6.4	Verwendung empirischer Verteilungen	44
5.6.5	Verwendung theoretischer Verteilungen	45
5.7	BESCHREIBEN DES MODELLS	45
5.8	PRAKTISCHES BEISPIEL ZUR MODELLBILDUNG	48
6	IMPLEMENTIERUNG	51
6.1	ALLGEMEINES	51
6.2	IMPLEMENTIEREN DES MODELLS	51
6.2.1	Allgemeines	51
6.2.2	Implementieren in einer konventionellen Programmiersprache	52
6.2.3	Nutzen von Simulationsbibliotheken für universelle Programmiersprachen	53
6.2.4	Modell als Modul innerhalb eines Simulationssystems	54
6.2.5	Verwenden eines Simulationssystems mit spezieller Simulationssprache	55
6.2.5.1	Allgemeines	55
6.2.5.2	Vorhandene Simulationssprachen	58
6.2.5.3	Selbstdefinierte Simulationssprachen	58
6.2.6	Vergleichende Bewertung	59
6.3	IMPLEMENTIEREN DES SIMULATIONSSYSTEMS	62
6.3.1	Allgemeines	62
6.3.2	Simulationssteuerung	64
6.3.2.1	Zeitorientierte Simulation	64
6.3.2.2	Ereignisorientierte Simulation	65
6.3.2.3	Automatische statistische Auswertung von Simulationsläufen	73
6.3.3	Zufallszahlengeneratoren	74
6.3.3.1	Einführung	74
6.3.3.2	Anforderungen an Zufallszahlen	76
6.3.3.3	Generieren (0; 1)-verteilter Zufallszahlen	77
6.3.3.4	Erzeugen unabhängiger Ströme von Zufallszahlen	80
6.3.3.5	Erzeugen von Zufallszahlen unterschiedlicher Verteilung	82
6.3.3.6	Testen von Zufallszahlengeneratoren	85
6.3.4	Simulationssprache	88
6.3.4.1	Allgemeines	88
6.3.4.2	Grundlagen	89
6.3.4.3	Praktische Realisierung	91
6.3.5	Datenspeicherung	93
6.3.6	Client/Server-Konzepte	98
6.3.6.1	Grundlagen	98
6.3.6.2	Datenbank-Server	99
6.3.6.3	Simulations-Server	101

7 VERIFIKATION UND VALIDIERUNG	103
7.1 ALLGEMEINES.....	103
7.2 VERIFIKATION UND VALIDIERUNG DES MODELLS	104
7.3 VERIFIKATION DER IMPLEMENTIERUNG.....	105
7.3.1 Überblick.....	105
7.3.2 Allgemeine Methoden des Programmtests.....	105
7.3.3 Tracing	106
7.3.4 Vergleich mit analytischen Modellen.....	107
7.3.5 Durchführen automatischer Konsistenzprüfungen.....	107
7.3.6 Verwendung grafischer Methoden	108
7.3.7 Interaktive Simulation.....	108
7.4 VALIDIEREN DER SIMULATIONSERGEBNISSE.....	109
7.4.1 Allgemeines	109
7.4.2 Ergebnisvergleich mit dem Realsystem	110
7.4.2.1 Allgemeines	110
7.4.2.2 Zeitbezug bei einmaligen Prozessen	111
7.4.2.3 Verhalten in Extremsituationen.....	112
7.4.2.4 Kalibrieren des Simulationsmodells.....	112
7.4.2.5 Konkretes Vorgehen beim Ergebnisvergleich	113
7.4.3 Sonstige Methoden.....	115
7.4.3.1 Sensitivitätsanalyse	115
7.4.3.2 Vergleich mit plausiblen Annahmen, Theorien und anderen Simulationen	116
7.4.3.3 Vergleich mit analytischen Modellen.....	116
7.4.3.4 Vergleich mit Fremdsystemen.....	117
7.4.3.5 Einbeziehen von Anwendungsexperten.....	117
8 ANALYSE DER SIMULATIONSERGEBNISSE	119
8.1 GRUNDLAGEN.....	119
8.1.1 Quantifizieren des stochastischen Fehlers.....	119
8.1.2 Einschwingvorgänge.....	120
8.1.3 Statistische Unabhängigkeit von Simulationsergebnissen	124
8.1.4 Bestimmen von Konfidenzintervallen.....	126
8.1.5 Sensitivitätsanalyse	128
8.1.6 Nicht modellierte Ausnahmen innerhalb des realen Verhaltens.....	129
8.2 ANALYSE EINES SYSTEMS.....	130
8.2.1 Allgemeines	130
8.2.2 Analyse stationärer Prozesse.....	131
8.2.3 Analyse nichtstationärer Prozesse.....	132
8.3 VERGLEICH VON SYSTEMALTERNATIVEN	134
8.4 OPTIMIERUNGSSTRATEGIEN.....	136
TEIL III: PROJEKTE	
9 WARTESCHLANGENSYSTEME	137
9.1 EINFÜHRUNG	137
9.2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	138
9.3 SIMULATION	140
9.3.1 Modell.....	140
9.3.2 Implementierung	141
9.3.2.1 Übersicht.....	141
9.3.2.2 Kundenorientierte Implementierung in Excel	142

9.3.2.3	Zeitorientierte Implementierung in Excel.....	143
9.3.2.4	Zeitorientierte Implementierung in C.....	145
9.3.2.5	Ereignisorientierte Implementierung in Excel.....	148
9.3.2.6	Ereignisorientierte Implementierung in C++.....	149
9.3.2.7	Implementierung mit automatischer Auswertung.....	158
9.3.2.8	Vergleichende Bewertung der Implementierungen.....	160
9.3.3	Simulationsergebnisse.....	161
9.3.3.1	Ergebnisse.....	161
9.3.3.2	Statistische Validierung.....	163
9.3.3.3	Inhaltliche Bewertung.....	164
10	ELEKTRONISCHE DIGITALSCHALTUNGEN.....	167
10.1	EINFÜHRUNG.....	167
10.2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	167
10.2.1	Digitaltechnik.....	167
10.2.2	Digitalsimulation.....	169
10.3	SIMULATION.....	173
10.3.1	Modell.....	173
10.3.2	Implementierung.....	174
10.3.3	Simulationsergebnisse.....	180
11	LAGERHALTUNGSSYSTEME.....	183
11.1	EINFÜHRUNG.....	183
11.2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	183
11.3	SIMULATION.....	185
11.3.1	Modell.....	185
11.3.2	Implementierung.....	186
11.3.2.1	Allgemeines.....	186
11.3.2.2	Modellvariante mit konstanten Lieferzeiten.....	188
11.3.2.3	Modellvariante mit zufälligen Lieferzeiten.....	191
11.3.3	Simulationsergebnisse.....	193
12	FORMEL-ÜBERSETZER.....	195
12.1	EINFÜHRUNG.....	195
12.2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	195
12.2.1	Sprachdefinition.....	195
12.2.2	Aufbau des Übersetzers.....	196
12.3	IMPLEMENTIERUNG.....	198
12.4	ERGEBNISSE.....	206
ANHANG		
A.1	STATISTISCHE GRUNDLAGEN.....	209
A.2	STATISTISCHE TABELLEN.....	213
LITERATURVERZEICHNIS.....		215
SACHWORTVERZEICHNIS.....		221