

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