

GLIEDERUNG

Einfleitung

I Voruntersuchungen

1 Einführung in die Modellbildung und Simulation _____ **1**

 1.1 Definition des Modellbegriffs _____ **1**

 1.2 Das Verfahren der Modellbildung und Simulation _____ **3**

 1.2.1 Die Objekte der Modellbildung und ihre Beziehungen zueinander _____ **3**

 1.2.1.1 Realsystem - konzeptuelles Modell: Der Modellentwurf _____ **4**

 1.2.1.2 Konzeptuelles Modell - Computermodell: Die Implementierung _____ **4**

 1.2.1.3 Computermodell - Realsystem: Die Simulation _____ **4**

 1.2.2 Die Schritte der Modellvalidierung _____ **5**

 1.2.2.1 Validierung des konzeptuellen Modells _____ **6**

 1.2.2.2 Modellverifikation _____ **6**

 1.2.2.3 Operationale Modellvalidierung _____ **6**

 1.2.2.4 Abschließende Bemerkungen zur Modellvalidierung _____ **7**

 1.2.3 Eine zusammenfassende Beschreibung des Begriffs "Modellbildung" _____ **8**

 1.3 Genauere Untersuchung des konzeptuellen Modells _____ **8**

 1.3.1 Klassifikation formaler Modelle nach ihren Zustandsvariablen _____ **8**

 1.3.2 Analytische Modelle versus Simulationsmodelle _____ **9**

 1.3.3 Simulationsmodelle und ihre formale Beschreibung _____ **11**

 1.4 Modellierungsprinzipien _____ **13**

 1.4.1 Induktive und deduktive Modellbildung _____ **13**

 1.4.2 Klassifizierung der Modellentwicklung nach der Anwendbarkeit von Modellen _____ **14**

 1.5 Die Modellbildung als Prozeß: Die Sichtweise des Modellentwicklers _____ **16**

2 Werkzeuge zur Unterstützung der Modellbildung und Simulation _____ **21**

 2.1 Ein Überblick über existierende Unterstützungskonzepte _____ **21**

 2.1.1 Die Leistung von Simulationssprachen _____ **21**

 2.1.2 Klassifizierung diskreter Simulationssprachen _____ **25**

 2.1.3 Gegenüberstellung der verschiedenen Sprachebenen _____ **26**

 2.2 Anforderungen an Modellbildungs- und Simulationswerkzeuge _____ **28**

2.3	Untersuchung von Simulationssprachen mit graphischer Modellbildungsunterstützung	31
2.3.1	Auswahlkriterien	31
2.3.2	GPSS	32
2.3.3	SLAM II	36
2.3.4	SIMAN	40
2.3.5	Zusammenfassung der Sprachuntersuchungen	44
3	Untersuchung von Petri-Netzen zur Modellbildung und Simulation	45
3.1	Das klassische Petri-Netz Instrumentarium	46
3.1.1	Das Grundmodell der Netztheorie: Bedingungs/Ereignis-Systeme	46
3.1.2	Stellen/Transitions-Netze und ihre wichtigsten Analyseverfahren	49
3.1.2.1	Invarianten-Analyse	50
3.1.2.2	Erreichbarkeits-Analyse	53
3.1.2.3	Abschließende Bemerkungen zu Stellen/Transitions-Netzen	54
3.1.3	Netze mit individuellen Marken	55
3.1.4	Netze höherer konzeptioneller Ebene und Hierarchisierungsmechanismen	57
3.1.5	Gründe für den Einsatz des klassischen Petri-Netz Instrumentariums als Modellbildungs- und Simulationswerkzeug	59
3.2	Integration von Zeit in Petri-Netze	60
3.2.1	Stochastische Petri-Netz Ansätze	62
3.2.2	Beurteilung stochastischer Petri-Netze	65
3.2.2.1	Möglichkeiten und Grenzen analytischer Lösungsverfahren	65
3.2.2.2	Auswahl eines für die Simulation geeigneten Ansatzes	66
3.3	Untersuchung von Petri-Netz Werkzeugen	68
3.3.1	FORCASP	69
3.3.2	Funktionsnetze	72
3.3.3	NET	76
3.3.4	PACE	79
3.3.5	Zusammenfassung	81
3.4	Abschließend Beurteilung von Petri-Netzen zur Modellbildung und Simulation	82
II	PEGROS: Ein Konzept zur Entwicklung eines auf Petri-Netzen basierenden, graphischen und objektorientierten Simulationswerkzeugs	
4	Präzisierung der Idee einer auf Petri-Netzen basierenden Sprachschale	84

5 Objektorientierte Modellbildung mit Petri-Netzen	89
5.1 Konzepte des objektorientierten Ansatzes	89
5.2 Existierende Ansätze objektorientierter Modellbildung mit Petri-Netzen	90
5.2.1 OBJSA-Netze	90
5.2.2 PROTOB	93
5.2.3 Auftragsverkehrs-Netze	95
5.3 Die Entwicklung objektorientierter Netzmodelle	96
5.4 Genauere Untersuchung der objektorientierten Modellbildung mit Netzen	106
5.4.1 Abweichungen vom klassischen objektorientierten Ansatz	106
5.4.2 Vorteile dieser Vorgehensweise	107
5.4.2.1 Vergleich zur herkömmlichen Modellentwicklung mit Netzen	108
5.4.2.2 Objektorientierung versus Weltsicht	109
6 Definition der Netze von Standardkonstrukten der Bibliothek	112
6.1 Allgemeine Überlegungen zur Realisierung von Bedien- und Wartesystemkomponenten als wiederverwendbare Objektklassen	112
6.2 Definition von Prototypen der Basisobjekte in Bedien- und Wartesystemen	115
6.2.1 Der Prototyp "Kunde"	115
6.2.2 Der Prototyp "Warteschlange"	119
6.2.3 Der Prototyp "Bedieneinheit"	122
6.3 Modifizierende Wirkungen auf die Struktur der Netze durch Hinzufügen von Attributen	125
6.3.1 Die Attribute des Kunden	126
6.3.1.1 Bedienungsfolge	126
6.3.1.2 Bedienungsbedarf	127
6.3.1.3 Präferenz	128
6.3.1.4 Wartebereitschaft	131
6.3.1.5 Priorität	134
6.3.2 Die Attribute der Warteschlange	135
6.3.2.1 Warteraumkapazität	135
6.3.2.2 Warteschlangendisziplin	136
6.3.3 Die Attribute der Bedieneinheit	136
6.3.3.1 Leistungsfähigkeit der Bedieneinheiten	136
6.3.3.2 Bedienungsunterbrechung	137
6.4 Die Modellierung von Attributkombinationen	139
6.4.1 Kombination von abhängigen Attributen	139
6.4.2 Die Netze der umfassenden Konstrukte..	141
6.4.2.1 .. eines Kunden	142
6.4.2.2 .. einer Warteschlange	143
6.4.2.3 .. einer Bedieneinheit	144

7 Konzeption einer Entwicklungsumgebung zur Arbeit mit Konstrukten	146
7.1 Die graphische Repräsentation der Konstrukte	146
7.2 Der Konstrukteditor	149
7.2.1 Der Zusammenhang der verschiedenen Systemkomponenten	149
7.2.2 Transformation zwischen Netz- und Konstruktebene	150
7.2.3 Verknüpfung von Konstrukten zu einem Modell und Parametrisierung des Modells	152
7.2.4 Die Benutzeroberfläche des Konstrukteditors	153
7.3 Die Konstruktbibliothek	158
7.3.1 Der Leistungsumfang der Bibliothek und ihre mögliche Ordnungsstruktur	158
7.3.2 Der Eintrag eines Konstrukts in die Bibliothek	161
7.3.3 Die Auswahl eines Konstrukts aus der Bibliothek	164
7.3.3.1 Die erste Ebene: Die Spezifikation der Suche	165
7.3.3.2 Die zweite Ebene: Die Auflistung der gefundenen Konstrukte	168
7.3.3.3 Die dritte Ebene: Die detaillierte Beschreibung eines Konstrukts	170
7.3.3.4 Auswahl eines neuen Statistikkonstrukts zu einem Modellkonstrukt	172
8 Zusammenfassende Beurteilung und Ausblick	173
Literatur	178

Anhang