

# **GLIEDERUNG**

## **Einleitung**

### **I Voruntersuchungen**

<b>1 Einführung in die Modellbildung und Simulation</b>	<b>1</b>
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
<b>2 Werkzeuge zur Unterstützung der Modellbildung und Simulation</b>	<b>21</b>
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

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

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

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