

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>11</b>
1.1	Einige Bemerkungen zu diesem Buch . . . . .	11
1.2	Informationsquellen . . . . .	14
1.3	Was stellen wir mit Petri-Netzen dar? . . . . .	15
1.4	Was sind und was sollen Modelle? . . . . .	19
1.4.1	Was versteht man unter einem Modell? . . . . .	19
1.4.2	Was nützen formale Modelle? . . . . .	21
1.5	Übersicht über die Kapitel . . . . .	25
<b>2</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b>	<b>29</b>
2.1	Logik . . . . .	29
2.1.1	Die Sprache der Aussagenlogik . . . . .	29
2.1.2	Der Aussagenkalkül . . . . .	30
2.1.3	Die Semantik der Aussagenlogik . . . . .	31
2.1.4	Klauseln, Normalformen, Resolution . . . . .	31
2.1.5	Die Sprache der Prädikatenlogik erster Stufe mit Identität . . . . .	32
2.1.6	Der Prädikatenkalkül erster Stufe . . . . .	33
2.1.7	Die Semantik der Prädikatenlogik erster Stufe . . . . .	34
2.1.8	Resolution erster Stufe . . . . .	35
2.2	Mengen, Relationen, Abbildungen . . . . .	36
2.3	Graphen . . . . .	42
2.4	Lineare Algebra . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Netzgraphen</b>	<b>49</b>
3.1	Netze und Teilnetze . . . . .	50
3.2	Strukturvergleiche . . . . .	54
3.3	Netztransformationen . . . . .	58
3.3.1	Vergrößerung . . . . .	59
3.3.2	Verfeinerung . . . . .	62

3.3.3	Einbettung und Restriktion . . . . .	63
3.3.4	Faltung und Entfaltung . . . . .	66
3.4	Netzmorphismen . . . . .	69
3.5	Spezielle Netzklassen . . . . .	71
<b>4</b>	<b>Systeme mit anonymen Marken</b>	<b>77</b>
4.1	S/T-Systeme . . . . .	77
4.2	Die Dynamik der S/T-Systeme . . . . .	80
4.2.1	Markierungen und Schaltungen . . . . .	80
4.2.2	Schaltfolgen und Erreichbarkeit . . . . .	83
4.2.3	Netzdynamik und Lineare Algebra . . . . .	89
4.2.4	Grundsituationen . . . . .	92
4.2.5	Netzprozesse . . . . .	108
4.3	Bedingungs-Ereignis-Systeme . . . . .	111
<b>5</b>	<b>Praktischer Entwurf: Die Bedienung eines Verkaufsautomaten als Fallbeispiel</b>	<b>117</b>
5.1	Methodische Entwurfsschritte . . . . .	117
5.2	Das Grundverhalten . . . . .	119
5.3	Das Ausnahmeverhalten . . . . .	121
5.4	Eine überarbeitete Version . . . . .	123
5.5	Nebenläufigkeit, Umgruppierung . . . . .	126
<b>6</b>	<b>Die Analyse von Systemen</b>	<b>129</b>
6.1	Dynamische Eigenschaften von S/T-Systemen . . . . .	130
6.1.1	Sicherheit . . . . .	131
6.1.2	Lebendigkeit . . . . .	137
6.1.3	Synchronie . . . . .	143
6.1.4	Netzsprachen . . . . .	150
6.1.5	Weitere Dynamische Eigenschaften . . . . .	156
6.1.6	Dynamisch definierte Netzeigenschaften . . . . .	162
6.2	Erreichbarkeitsanalyse . . . . .	163
6.3	Partielle Erreichbarkeitsanalyse . . . . .	170
6.4	Lineare Analyse . . . . .	176
6.4.1	Algebraische Charakterisierung dynamisch definierter Netzeigenschaften . . . . .	176
6.4.2	Lineare Invarianten . . . . .	177
6.5	Zusammenhänge zwischen Struktur und Dynamik . . . . .	183

6.5.1	1-Sicherheit, Konfusion und Nebenläufigkeit . . . . .	184
6.5.2	Sicherheit und Lebendigkeit (und mehr) auf besonderen Netzgraphen . . . . .	186
6.6	Weitere Analysetechniken . . . . .	188
6.6.1	Invariantentypen . . . . .	188
6.6.2	Netztransformationen . . . . .	191
<b>7</b>	<b>Systeme mit individuellen Marken</b>	<b>193</b>
7.1	Grundlagen . . . . .	195
7.2	Anwenderfreundliche Schreibweisen . . . . .	199
7.2.1	Gleiche Variablennamen und Konsistenzregel . . . . .	200
7.2.2	Ausdrücke an Kanten . . . . .	203
7.2.3	Tupel . . . . .	205
7.3	Die formale Seite der IM-Systeme . . . . .	211
7.3.1	Die Definition der IM-Systeme . . . . .	211
7.3.2	Die formale Markendynamik in IM-Systemen . . . . .	215
7.4	Eigenschaften und Analyse . . . . .	217
7.4.1	Lineare Analyse in höheren Netzen . . . . .	217
7.4.2	Die Entfaltung zu S/T-Systemen . . . . .	221
<b>8</b>	<b>Praktischer Entwurf: Der wechselseitige Ausschluß als Fallbeispiel</b>	<b>223</b>
8.1	Der wechselseitige Ausschluß . . . . .	224
8.2	Mutex 1: My turn/ your turn . . . . .	230
8.3	Mutex 2: Warnung lesen, Warnung setzen . . . . .	232
8.4	Mutex 3: Warnung setzen, Warnung lesen . . . . .	233
8.5	Mutex 4: ... und evtl. vorübergehend verzichten . . . . .	233
8.6	Mutex 5 (Dekker): ... mit alternierender Priorität . . . . .	237
<b>9</b>	<b>Nonstandard-Netze</b>	<b>241</b>
9.1	Netze mit Verbotskanten . . . . .	242
9.1.1	Netze mit Prioritäten . . . . .	247
9.2	Netze mit Abräumkanten . . . . .	250
9.3	Netze mit markierungsgesteuerten Kantengewichten . . . . .	252
9.4	Netze mit Zeitbegriffen . . . . .	256
9.4.1	Zeitmodellierung mit Timer-Netzen . . . . .	258
9.4.2	Die Modellierung von Uhren in Standard-Netzen . . . . .	264

<b>10 Das Verhalten von Systemen</b>	<b>267</b>
10.1 Beobachtung und externes Verhalten . . . . .	268
10.1.1 Wann endet eine Beobachtung? . . . . .	269
10.1.2 Die Verknüpfung von Objekt und Beobachter . . . . .	274
10.2 Internes Verhalten . . . . .	279
10.3 Implementierung, Äquivalenz . . . . .	281
10.3.1 Interne und externe Äquivalenz . . . . .	285
10.4 Atomizität . . . . .	289
10.4.1 Atomizität und System-Verknüpfung . . . . .	294
<b>11 Protokolle und Petri-Netze</b>	<b>297</b>
11.1 Einige Aspekte der Kommunikation . . . . .	297
11.2 Dienste und Protokolle . . . . .	299
11.3 Beispiel: eine Mini-Protokollhierarchie . . . . .	303
11.3.1 Randbedingungen und Aufgabenstellung . . . . .	303
11.3.2 Vom 1-Dienst zum 2-Dienst . . . . .	303
11.3.3 Vom 2-Dienst zum 3-Dienst . . . . .	309
11.4 Protokolltechnik mit Netzen . . . . .	312
<b>12 Logik in der Netzdarstellung</b>	<b>317</b>
12.1 Deduktion durch Netztransformation . . . . .	317
12.1.1 Die Syntax der Aussagenlogik in der Netzdarstellung	317
12.1.2 Die Semantik der Aussagenlogik in der Netzdarstellung	321
12.1.3 Prädikatenlogik erster Stufe . . . . .	326
12.2 Horn-Klausel-Logik und T-Invarianten . . . . .	327
12.2.1 Aussagen-Horn-Logik . . . . .	327
12.2.2 Horn-Logik erster Stufe . . . . .	330
<b>A Lösungen ausgewählter Übungsaufgaben</b>	<b>333</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>351</b>
<b>Register</b>	<b>365</b>