

**Bernd Baumgarten**

# Petri-Netze

Grundlagen und Anwendungen

2. Auflage

Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg • Berlin • Oxford

# 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>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>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>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 besonde- ren 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 Fall- beispiel</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