

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	1
1.1 Sequentielle Rechnungen .....	1
1.2 Parallele Rechnungen .....	12
1.3 Nebenläufige Rechnungen .....	19
<b>2. Mathematische Grundlagen</b> .....	27
2.1 Mengen und Relationen .....	27
2.2 Graphen und Bäume .....	29
2.3 Ringe und Körper .....	33
2.4 Erweiterte natürliche Zahlen .....	36
2.5 Sprachen und Sprachoperationen .....	38
2.6 Maschinen und Komplexität .....	41

---

## Teil I. Interleaving Verhalten von Petri-Netzen

---

<b>3. Grundlegende Eigenschaften</b> .....	49
3.1 Petri-Netze .....	49
3.2 Der Feuerbegriff .....	51
3.2.1 Transitionssysteme .....	52
3.2.2 Hürde und Zustandswechsel .....	55
3.2.3 Alternative Petri-Netz-Modelle .....	58
3.2.4 Erreichbare Markierungen .....	63
3.2.5 Erreichbarkeits- und Überdeckungsgraphen .....	64
3.2.6 Reverse Petri-Netze .....	77
3.3 Invarianten, Lebendigkeit, Sicherheit .....	79
3.3.1 Invarianten .....	79
3.3.2 Beschränkte Petri-Netze und Sicherheit .....	82
3.3.3 Lebendigkeit .....	85
3.3.4 Einige notwendige Kriterien zur Erreichbarkeit von Markierungen .....	90

<b>4. Die Entscheidbarkeit der Erreichbarkeit</b> .....	93
4.1 Zum Erreichbarkeitsproblem EP .....	93
4.2 Lineare Gleichungssysteme über $\mathbb{Z}$ .....	94
4.3 Gesteuerte Überdeckungsgraphen und Keime .....	96
4.4 Die Charakteristische Gleichung .....	105
4.5 Perfekte Keim-Transition-Folgen .....	108
4.6 Dekomposition in perfekte Keim-Transition-Folgen .....	112
<b>5. Berechenbarkeit, Erreichbarkeit, Erzeugbarkeit</b> .....	119
5.1 Varianten des Erreichbarkeitsproblems .....	119
5.1.1 Komplexität von Petri-Netzen .....	119
5.1.2 Varianten des Erreichbarkeitsproblems (EP) .....	120
5.1.3 Varianten des Lebendigkeitsproblems (LP) .....	123
5.1.4 Der Zusammenhang EP – LP .....	126
5.2 Schwache PN-Berechenbarkeit .....	131
5.2.1 Addition und Multiplikation .....	134
5.2.2 Die Ackermann-Funktion .....	137
5.2.3 Komplexität von Überdeckungsgraphen .....	142
5.2.4 Schwache Graphen .....	143
5.3 Das Petri-Netz-Gleichheitsproblem .....	144
5.4 Starke PN-Berechenbarkeit .....	155
5.4.1 Inhibitorische PN und PN mit Prioritäten .....	165
5.4.2 Beschränkte Simulation von Registermaschinen .....	168
<b>6. Petri-Netz-Sprachen</b> .....	189
6.1 Grundlagen .....	189
6.1.1 Gleichheit von Petri-Netz-Sprachen .....	191
6.1.2 Normalformen für Petri-Netze .....	196
6.2 Abschlußeigenschaften .....	203
6.2.1 Shuffle, Vereinigung, Konkatenation .....	206
6.2.2 Durchschnitt und Synchronisation .....	210
6.2.3 Homomorphismen .....	215
6.2.4 Inverse Homomorphismen .....	217
6.3 Algebraische Sprachcharakterisierung .....	220
6.3.1 Restriktion .....	220
6.3.2 Sprachen elementarer Netze .....	224
6.3.3 Freie Petri-Netz-Sprachen .....	230
6.4 Gegenbeispiele zu Petri-Netz-Sprachen .....	238

---

**Teil II. True-Concurrency Verhalten von Petri-Netzen**

---

<b>7. Pomset- und Stepsprachen</b> .....	243
7.1 Pomsets und Steps .....	243
7.1.1 Stepsprachen .....	246
7.1.2 Pomsetsprachen .....	252
7.1.3 Prozesse und Pomsetsprachen von Petri-Netzen .....	256
7.2 Abschlußeigenschaften .....	268
7.2.1 Normalform .....	269
7.2.2 Verallgemeinerbare Operationen .....	272
7.2.3 Vereinigung und Konkatenation .....	273
7.2.4 Synchronisation und abgeleitete Operationen .....	274
7.2.5 Homomorphismen .....	287
<b>8. Algebraische Charakterisierungen</b> .....	291
8.1 Kompositionale Semantiken und Algebren .....	291
8.1.1 Grundlagen kompositionaler Semantiken .....	291
8.1.2 Ein Basiskalkül für Petri-Netze .....	295
8.1.3 Petri-Netze mit Interface .....	302
8.1.4 Spezielle Kalküle für Petri-Netze .....	305
8.1.5 Ein universeller Kontext .....	309
8.2 Konkrete Semantiken .....	311
8.2.1 Zwei kompositionale Pomsetsemantiken .....	311
8.2.2 Abgeleitete kompositionale Semantiken .....	323
8.3 Algebraische Charakterisierungen .....	331
8.3.1 Terminale Sprachen .....	331
8.3.2 Nicht-terminale Sprachen .....	336
<b>A. Lineare Gleichungssysteme über <math>\mathbb{Z}</math></b> .....	341
<b>B. Bibliographische Hinweise</b> .....	357
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	361
<b>Sachverzeichnis</b> .....	367