

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Nutzen einer Theorie der Informatik .....</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>Mathematisch-logische Grundlagen .....</b>	<b>21</b>
1.1	Klassische Aussagenlogik .....	22
1.1.1	Grundbegriffe der zweiwertigen Aussagenlogik .....	22
1.1.2	Einfache Rechengesetze .....	28
1.2	Prädikatenlogik 1. Stufe .....	31
1.3	Logik, Schaltalgebra und Rechnen mit Dualzahlen .....	36
1.3.1	Subtraktion und Division mit Komplementdarstellungen .....	37
1.3.2	Codierung .....	39
1.3.3	Bezüge zur Theorie der Automaten .....	41
1.3.3.1	Sequenzielle Schaltung ohne Gedächtnis .....	41
1.3.3.2	Sequenzielle Schaltung mit Gedächtnis .....	42
1.3.3.3	Computer .....	44
1.3.3.4	Sequenzielles Arbeiten .....	45
1.4	Logik als Basis für ein Programmierparadigma .....	45
1.4.1	Horn-Klauseln .....	46
1.4.2	Resolventen .....	47
1.4.3	Resolutionsprinzip .....	49
1.4.4	Unifikation .....	51
1.5	Übungen .....	51
1.6	Literatur .....	53
<b>2</b>	<b>Turing-Maschinen .....</b>	<b>55</b>
2.1	Modell und Arbeitsweise .....	55
2.1.2	Übungen .....	58
2.2	Definition der Turing-Maschine .....	58
2.2.1	Turing-Maschine als Akzeptor .....	58
2.2.2	Berechnung von Funktionen mittels Turing-Maschinen .....	60
2.2.3	Übungen .....	63
2.3	Das Halteproblem .....	63
2.3.1	Codierung von Turing-Maschinen .....	64
2.3.2	Selbstanwendbarkeit .....	64
2.3.3	Halteproblem .....	65



2.3.4	Halteproblem anhand von SCHEME .....	66
2.3.5	Universelle Turing-Maschinen .....	67
2.3.6	Übungen .....	68
2.4	Literatur .....	68

### **3 Formale Sprachen und Programmiersprachen ..... 69**

3.1	Einleitung .....	69
3.2	Formale Sprachen und Automaten .....	71
3.2.1	Der Zustandsautomat .....	71
3.2.2	Sprache eines endlichen Automaten .....	72
3.2.3	Nichtdeterministischer endlicher Automat .....	74
3.2.4	Kellerautomaten und Sprachen .....	76
3.2.5	Übungen .....	78
3.3	Grammatiken formaler Sprachen .....	79
3.3.1	Semi-Thue-System und Regelgrammatiken .....	80
3.3.2	Chomsky-Hierarchie .....	83
3.3.3	Reguläre Ausdrücke und Automaten .....	84
3.3.4	Kontextfreie Grammatiken (Typ-2) .....	88
3.3.5	Kontextsensitive und allgemeine Grammatiken .....	91
3.3.6	Übungen .....	93
3.4	Grammatiken und Programmiersprachen .....	94
3.4.1	Sprachelemente regulärer Grammatiken (Morpheme) .....	94
3.4.2	Sprachelemente kontextfreier Grammatiken .....	96
3.4.3	Übungen .....	98
3.5	Attributierte Grammatiken .....	99
3.5.1	Attribute als Kontexte .....	99
3.5.2	Attributberechnung und semantische Regeln .....	99
3.5.3	Übungen .....	101
3.6	Literatur .....	101

### **4 Algorithmen, Berechenbarkeit und ihre prinzipiellen Grenzen ..... 103**

4.1	Einleitung zur Theorie der Algorithmen .....	103
4.1.1	Unlösbare Aufgaben und Werkzeuge in Mathematik und Informatik .....	103
4.1.2	Algorithmen und Informatik .....	105
4.1.3	Rekursive Funktionen .....	108
4.1.4	Rekursive Definition der Grundrechenarten .....	112
4.1.5	Minimum-Rekursion (m-Rekursivität) .....	113
4.1.6	Hypothese von Church .....	120
4.2	Begriff der Berechenbarkeit .....	122



4.3	Algorithmisch unlösbare Probleme .....	127
4.3.1	Unvollständigkeitssatz von Gödel .....	128
4.3.2	Korrespondenzproblem von Post .....	129
4.3.3	Spezialfall des Wortproblems nach Zeitin .....	130
4.4	Übungen .....	132
4.4.1	Kontrollfragen .....	132
4.4.2	Aufgaben .....	132
4.4.3	Referate .....	132
4.5	Literatur .....	133
<b>5</b>	<b>Komplexität von Algorithmen, Grenzen der praktischen Berechenbarkeit .....</b>	<b>135</b>
5.1	Einführende Beispiele .....	136
5.1.1	Schnelle Multiplikation komplexer Zahlen .....	136
5.1.2	Aufwandsverhalten bei Verfahren der linearen Algebra .....	137
5.1.3	Aufwandsverhalten des Tests auf Primzahl .....	138
5.2	Weitere grundlegende Begriffe zur Komplexität .....	139
5.2.1	Aufwandsverhalten bei Sortieralgorithmen .....	140
5.2.2	Extensive und intensive Ressourcenerweiterung .....	142
5.2.3	Schnelle Matrixmultiplikation .....	143
5.3	Die schwierigsten Probleme für Computer .....	145
5.3.1	Cliquen-Problem .....	146
5.3.2	Nichtdeterministisch in Polynomzeit lösbare (NP-) Probleme .....	147
5.3.3	NP-vollständige Probleme .....	148
5.3.4	Springer-Problem .....	150
5.3.5	Kurze Liste NP-vollständiger Probleme .....	153
5.4	Verfahren und Näherungsverfahren zur Bearbeitung von NP-Problemen .....	154
5.4.1	Königinnen- oder n-Damen-Problem und Back-tracking (Rückspuren) .....	154
5.4.2	Dynamisches Optimieren .....	157
5.4.3	Verzweigen und Begrenzen (branch and bound) .....	159
5.4.4	Näherungsalgorithmen zur Bearbeitung von NP-vollständigen Problemen .....	161
5.5	Kurzinformationen zu weiteren Verfahren .....	165
5.5.1	Hill Climbing (Bergsteiger-Algorithmus) .....	165
5.5.2	Sintflut-Algorithmus .....	166
5.5.3	Tabu-Suche .....	166
5.5.4	Neuronale Netze .....	166
5.5.5	Genetische Algorithmen .....	166
5.5.6	Greedy Algorithmen .....	167
5.5.7	Threshold Accepting (Akzeptanz von Schwellwerten) .....	167
5.5.8	Simulated Annealing (simuliertes Abkühlen) .....	167





5.6	Übungen .....	168
5.7	Literatur .....	169
<b>6</b>	<b>Übersetzung von Programmiersprachen .....</b>	<b>171</b>
6.1	Einführung .....	171
6.2	Übersetzerstruktur .....	172
6.3	Lexikalische Analyse .....	174
6.4	Syntaktische Analyse .....	176
6.4.1	Deterministische LL(k)-Analyse .....	176
6.4.2	Rekursiver Abstieg .....	182
6.4.3	LR(k)-Syntaxanalyse .....	184
6.4.4	Der Earley-Algorithmus .....	189
6.4.5	Semantische Analyse und Fehlerbehandlung .....	192
6.4.6	Übungen .....	194
6.5	Semantische Synthese .....	194
6.5.1	Codeerzeugung mit Bottom-up-Parser .....	195
6.5.2	Übersetzung von UPN-Strukturen .....	196
6.5.3	Übungen .....	200
6.6	Literatur .....	200
<b>7</b>	<b>Graphen .....</b>	<b>201</b>
7.1	Grundlegende Definitionen .....	202
7.1.1	Grundlegende Graphenbegriffe .....	202
7.1.2	Graphendarstellung im Computer .....	204
7.1.3	Übungen .....	206
7.2	Bäume, Minimalgerüste und Steinerbäume .....	206
7.2.1	Bäume .....	206
7.2.2	Minimalgerüste .....	208
7.2.3	Das Prinzip der Konstruktion eines Minimalgerüsts .....	209
7.2.4	Steinerbäume .....	211
7.2.5	Übungen .....	212
7.3	Breitensuche und Tiefensuche .....	212
7.3.1	Breitensuche .....	212
7.3.2	Tiefensuche .....	214
7.3.3	Übungen .....	215
7.4	Kürzeste Wege .....	216
7.4.1	Breitensuche und kürzeste Wege in ungerichteten Graphen ohne Kantengewichte .....	216
7.4.2	Algorithmus von Dijkstra zur Bestimmung kürzester Wege von einem Knoten aus .....	216



7.4.3 Algorithmus von Floyd und Warshall  
zur Bestimmung kürzester Wege zwischen je zwei Knoten ..... 217

7.4.4 Übungen ..... 219

7.5 Flüsse und Schnitte in Netzwerken ..... 219

7.5.1 Übungen ..... 223

7.6 Eulerkreise und Hamiltonkreise sowie  
das Problem des Handlungsreisenden ..... 223

7.6.1 Eulerkreise ..... 223

7.6.2 Hamiltonkreise und das Problem des Handlungsreisenden ..... 224

7.6.3 Übungen ..... 226

7.7 Planare Graphen; Färbungen; Weitere Themen ..... 227

7.7.1 Planare Graphen ..... 227

7.7.2 Unabhängige Knotenmengen und Färbungen von Graphen ..... 228

7.7.3 Unabhängige Kantenmengen: Zuordnungen ..... 230

7.7.4 Weitere Themen ..... 231

7.7.5 Übungen ..... 232

7.8 Literatur ..... 233

**8 Fuzzy-Systeme ..... 235**

8.1 Einleitung ..... 235

8.1 Übungen ..... 239

8.2 Fuzzy-Mengen ..... 239

8.2.1 Übungen ..... 246

8.3 Operatoren auf Fuzzy-Mengen ..... 247

8.3.1 Übungen ..... 253

8.4 Fuzzy-Relationen ..... 254

8.4.1 Übungen ..... 258

8.5 Fuzzy-Arithmetik ..... 259

8.5.1 Übungen ..... 264

8.6 Fuzzy-Logik / Unscharfes Schließen ..... 265

8.6.1 Übungen ..... 270

8.7 Defuzzifizierung ..... 272

8.8 Fuzzy-Systeme in der Anwendung ..... 274

8.9 Literatur ..... 275

**9 Codierung und Kryptographie ..... 277**

9.1 Codierung ..... 277

9.1.1 Fehlererkennende und fehlerkorrigierende Codes ..... 280



9.1.2	Genetischer Code .....	281
9.2	Kryptographie .....	282
9.2.1	Verschlüsselung von Daten .....	282
9.2.2	Historische Verfahren .....	283
9.2.3	Allgemeine Grundlagen und Begriffe .....	283
9.2.4	Permutationsschlüssel .....	284
9.3	Moderne Chiffriersysteme .....	287
9.3.1	Codiermaschine ENIGMA .....	288
9.3.2	Rivest-Shamir-Adleman-(RSA-)Verfahren .....	289
9.4	Exkurs in die elementare Zahlentheorie .....	293
9.4.1	Rolle der Primzahlen .....	293
9.4.2	Satz von Carmichael .....	294
9.5	Übungen .....	295
9.6	Literatur .....	299
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>301</b>