

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>1 Grundbegriffe</b>	<b>15</b>
1.1 Notationen . . . . .	15
1.2 Halbgruppen und Monoide . . . . .	19
1.3 Homomorphismen und Erzeugendensysteme . . . . .	23
1.4 Quotienten von Monoiden . . . . .	31
1.5 Einfache Programme . . . . .	34
1.6 Aufgaben . . . . .	41
<b>2 Mathematische Modelle</b>	<b>47</b>
2.1 Definition einer mathematischen Maschine . . . . .	47
2.1.1 Eine erste Gliederung der Maschine . . . . .	48
2.1.2 Beschreibung des Programm- und Rechenspeichers . . . .	49
2.1.2.1 Der Programmspeicher . . . . .	50
2.1.2.2 Der Rechnerpeicher . . . . .	51
2.1.3 Beschreibung des Schaltwerkes . . . . .	52
2.1.3.1 Einige Operationen und ihre Wirkungen . . . . .	53
2.1.3.2 Bedeutung der Schalter $\omega_1$ und $\omega_2$ . . . . .	58
2.1.4 Ausbau des Befehlsvorrats, Indexregister, Adressenrechnung, Programmbeispiele . . . . .	58
2.1.4.1 Das Horner Schema als Programmbeispiel . . . . .	58
2.1.4.2 Adressenrechnung und Adressenmodifikation . . . .	67
2.1.5 Ein Sortierprogramm . . . . .	80
2.2 Die formale Definition der Maschine . . . . .	86
2.2.1 Abstrakte Maschinen und Berechnungen . . . . .	86
2.2.2 Simulationen . . . . .	89
2.2.3 Beispiele von Simulationen und Weiterentwicklung des Begriffes . . . . .	91
2.2.4 Partielle und relationelle Simulationen . . . . .	102
2.2.5 Spezielle Simulationen und Abschlußeigenschaften . . . .	115
2.2.6 Verschiebbarkeit von Programmen im Programmspeicher	119

2.3	Unterprogrammtechnik . . . . .	125
2.3.1	Anforderungen an eine Unterprogrammtechnik . . . . .	125
2.3.1.1	Realisierungsidee . . . . .	127
2.3.2	Erweiterung der Maschinenkonfiguration . . . . .	128
2.3.3	Dycksprachen und Klammerausdrücke . . . . .	130
2.3.3.1	Analyse von Klammerausdrücken . . . . .	133
2.3.3.2	Listen und Programme . . . . .	139
2.3.4	Der Kellerautomat oder Push-Down-Automat . . . . .	143
2.3.5	Syntaktisch korrekte Programme . . . . .	145
2.3.5.1	Syntaxregeln . . . . .	146
2.3.5.2	Automatische Überprüfung der Kriterien . . . . .	150
2.3.5.3	Abfolge der Befehle . . . . .	155
2.3.6	Organisation der Maschine . . . . .	157
2.3.6.1	Definition der erweiterten Konfiguration . . . . .	157
2.3.6.2	Die Syntaxanalyse . . . . .	160
2.3.7	Seitenorientierte Verwaltung des Rechenspeichers . . . . .	170
2.3.8	Ein Beispiel . . . . .	187
2.3.8.1	Aufgabenstellung . . . . .	188
2.3.8.2	Beschreibung des Programmes $u$ zur Berechnung von $\varphi(w)$ für $w \in \mathcal{A} - \mathcal{Z}^+$ . . . . .	189
2.3.9	Dynamische Verwaltung des Rechenspeichers . . . . .	197
2.4	Aufgaben . . . . .	201
3	Schaltkreise und Schaltwerke . . . . .	207
3.1	Einleitung . . . . .	207
3.2	Die boolesche Algebra der Schaltfunktionen . . . . .	211
3.2.1	Definition der Schaltfunktionen und ein Beispiel . . . . .	211
3.2.2	Die Boolesche Algebra der Schaltfunktionen . . . . .	215
3.2.3	Boolesche Ausdrücke und Schaltkreise . . . . .	220
3.2.3.1	Bemerkungen zum Bausteinsystemen . . . . .	228
3.2.4	Berechnungsnetze und Laufzeiten . . . . .	229
3.2.4.1	Berechnungsdauer in einem Berechnungsgraphen . . . . .	232
3.2.5	Minimalpolynome . . . . .	235
3.2.6	Schaltfunktionen, $n$ -dimensionaler Würfel, Diagramme . . . . .	241
3.2.7	Boolesche Netze . . . . .	247
3.2.7.1	Simultane Berechnung zweier Übertragungsfunktionen . . . . .	247
3.2.7.2	Eine Bemerkung zur Berechnung unterer Schranken für die Kosten von Realisierungen . . . . .	257
3.3	Sequentielle Schaltkreise . . . . .	257
3.3.1	Das D-Flipflop . . . . .	257
3.3.1.1	Ein Zähler modulo 10 . . . . .	261
3.3.2	Das (R,S)-Flipflop . . . . .	263

3.3.3	Ausnutzung der funktionalen Eigenschaften des (R,S)-Flipflops . . . . .	267
3.3.3.1	Ein Multiplizierer modulo 7 . . . . .	269
3.3.4	Auflösung boolescher Gleichungssysteme . . . . .	271
3.3.5	Endliche Automaten und sequentielle Schaltkreise . . . .	278
3.3.5.1	Der Zustandsgraph eines endlichen Automaten . . . . .	281
3.3.6	Reguläre Mengen . . . . .	286
3.3.6.1	Abschlußeigenschaften der regulären Mengen . . . . .	286
3.3.6.2	Ein Erzeugendensystem der Kleene-Algebra . . . . .	293
3.3.6.3	Eine Realisierung endlicher Akzeptoren durch Schaltwerke . . . . .	296
3.3.7	Produkte endlicher Automaten . . . . .	300
3.3.8	Lineare Schaltwerke . . . . .	304
3.3.9	Alternative Beschreibung von Schaltwerken . . . . .	311
3.4	Mikroprogrammierung . . . . .	312
3.4.1	Vorläufiges über Programmiersprachen . . . . .	312
3.4.2	Die Datenstrukturen der Mikroprogramme . . . . .	313
3.4.3	Die Elementaroperationen der Mikroprogrammierung . . . .	315
3.4.4	Die Struktur der Mikroprogramme . . . . .	319
3.4.4.1	Mikroprogramm für die Addition nach der Schulmethode . . . . .	320
3.4.5	Die Syntax der Mikroprogramme . . . . .	326
3.4.6	Die Semantik der Mikroprogramme . . . . .	329
3.4.7	Realisierung der Mikroprogramme durch Schaltwerke . . . .	330
3.4.8	Ein Mikroprogramm für die Multiplikation . . . . .	334
3.4.9	Das Speicherwerk . . . . .	340
3.4.10	Mikroprogrammwerk . . . . .	349
3.4.11	Schlußbemerkungen . . . . .	350
3.5	Aufgaben . . . . .	351
4	Programmierersprachen . . . . .	363
4.1	Grundlegende Konzepte . . . . .	363
4.1.1	Einleitung . . . . .	363
4.1.2	Programmbeispiele und Anweisungen . . . . .	365
4.1.3	Der Datentyp Real . . . . .	371
4.1.4	Der Datentyp String . . . . .	378
4.1.5	Der Datentyp List . . . . .	384
4.1.6	Der Datentyp Sentence . . . . .	394
4.1.7	Die Datentypen Boolean und Set . . . . .	404
4.2	Unstrukturierte Programme . . . . .	404
4.2.1	Wertzuweisungen, Variablen, Konstanten und Typen . . . .	405
4.2.1.1	Einfache Zuweisungen und einfache Prädikate . . . . .	409
4.2.2	Ausdrücke . . . . .	412

4.2.2.1	Arithmetische Ausdrücke . . . . .	412
4.2.2.2	Arithmetische Prädikate . . . . .	417
4.2.2.3	Allgemeinere Interpretationen . . . . .	420
4.2.2.4	Allgemeine Ausdrücke . . . . .	421
4.2.2.5	Wertzuweisung . . . . .	424
4.2.3	Einfache Programme . . . . .	425
4.2.3.1	Endgültige Definition der "einfachen Programme" . . . . .	435
4.2.4	Elimination von Kontrollanweisungen . . . . .	437
4.2.5	Elimination von Ausdrücken . . . . .	441
4.3	Prozeduren . . . . .	453
4.3.1	Einleitung . . . . .	453
4.3.2	Die Syntax von Prozeduren und Programmen . . . . .	454
4.3.2.1	Prozeduren . . . . .	454
4.3.2.2	Die Syntax der Programme von PSp . . . . .	459
4.3.3	Die Semantik der Programme aus PSp . . . . .	460
4.3.3.1	Aufspannende Bäume und Wege in Graphen . . . . .	461
4.3.3.2	Definition der Semantik der Programme . . . . .	464
4.3.3.3	Prozeduren als Prozedurparameter . . . . .	470
4.4	Datenstrukturen . . . . .	473
4.4.1	Felder oder Arrays . . . . .	474
4.4.1.1	Darstellung von Matrizen als lineare Arrays . . . . .	483
4.4.2	Verbunde oder Records . . . . .	485
4.4.2.1	Definition des Verbundes . . . . .	487
4.4.2.2	Konstruktion des zu dem Verbund gehörigen Graphen . . . . .	491
4.4.2.3	Definition der Variablen des Verbundes . . . . .	493
4.4.2.4	Definition der Operationen für Verbundvariablen . . . . .	493
4.4.3	Der Datentyp flexibles Array . . . . .	494
4.4.4	Das Modulkonzept . . . . .	498
4.4.4.1	Der Modul List . . . . .	499
4.5	Reduktionen . . . . .	502
4.5.1	Elimination von Prozeduren . . . . .	502
4.5.1.1	Die formale Konstruktion . . . . .	503
4.6	Reguläre Datentypen und Wörterbücher . . . . .	506
4.6.1	Hierarchische Verfeinerung regulärer Datentypen . . . . .	508
4.7	Unvollständigkeit von Programmiersprachen . . . . .	508
4.7.1	Die Antinomie des Barbiers . . . . .	510
4.7.2	Die Nichtabzählbarkeit der unendlichen Dualbrüche . . . . .	510
4.7.3	Die Unvollständigkeit der Programmiersprachen . . . . .	511
4.8	Aufgaben . . . . .	511

<b>Literatur</b>	<b>515</b>
Ergänzende und weiterführende Literatur . . . . .	515

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>13</b>
<b>Index</b>	<b>518</b>
<b>Liste der Tabellen</b>	<b>531</b>
<b>Liste der Abbildungen</b>	<b>532</b>
<b>Verzeichnis der Maschinenbefehle</b>	<b>538</b>
<b>Verzeichnis der Programme</b>	<b>540</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>541</b>