

# Inhalt

<b>Vorwort</b> .....	1
<b>1. Einführung</b> .....	7
1.1 Grundbegriffe .....	7
1.2 Berechenbarkeit .....	12
1.2.1 Turingmaschinen .....	12
1.2.2 Die Church-Turing-These .....	16
1.2.3 Turing-Vollständigkeit, algorithmische Vollständigkeit .....	17
1.3 Der Universalrechenautomat .....	17
1.3.1 Turingmaschinen und Rechenmaschinen .....	17
1.3.2 Berechenbarkeit und praktisches Rechnen .....	18
1.3.3 Funktionseinheiten .....	20
<b>2. Minimalprinzipien der Rechentechnik</b> .....	23
2.1 Minimalprinzipien der Turing-Vollständigkeit .....	23
2.2 Minimalmaschinen der Theorie .....	26
2.2.1 Das algorithmische Schema von Post als Grundlage des Universalrechners .....	26
2.2.2 Eine erste fiktive Maschine .....	28
2.2.3 Maschinen der mathematischen Grundlagenforschung .....	29
2.2.4 Rechnende Universalmaschinen .....	33
2.2.5 Die Minimalmaschine nach van der Poel .....	38
2.2.6 Muß man überhaupt verzweigen? – Die bedingte Befehlsausführung .....	40
2.2.7 Muß man überhaupt rechnen? .....	43
2.2.8 Universalrechner verbessern? .....	47
2.3 Minimalmaschinen der Praxis .....	49
2.3.1 Einfachmaschinen .....	49
2.3.2 Möglichst wenige Befehle .....	51
2.3.3 Einfachste Befehlsformate .....	63
<b>3. Turingmaschinen</b> .....	73
3.1 Hypothetische und fiktive Turingmaschinen .....	73
3.2 Turingmaschinen in der Grundlagenforschung .....	77
3.3 Spezielle Turingmaschinen .....	80
3.4 Universelle Turingmaschinen .....	84
<b>4. Zur Begründung des Universalrechners</b> .....	95
4.1 Entwicklungswege .....	95
4.2 Fiktive Turingmaschinen .....	98
4.2.1 Die Turing-Vollständigkeit nachweisen .....	98
4.2.2 Eine Definition der Turing-Vollständigkeit .....	99
4.2.3 Den Steuerautomaten implementieren .....	100
4.2.4 Effektive Turingmaschinen .....	103

4.2.5 Die universelle Turingmaschine abwandeln .....	106
4.2.6 Turingmaschinen mit adressierbarem Speicher .....	109
4.2.7 Turingmaschinen mit Assoziativspeicher .....	112
4.2.8 Eine Turingmaschine mit Einadreßbefehlen .....	114
4.3 Die Turingmaschine als Grundlage des praxisbrauchbaren Universalrechners ....	125
4.3.1 Wie die Turingmaschine rechnet, obwohl sie es nicht kann .....	125
4.3.2 Turingmaschinen, die rechnen können .....	130
4.3.3 Brauchbare Operationen .....	138
4.3.4 Der Übergang zum Einadreß-Universalrechner .....	140
4.3.5 Von der Turingmaschine zum Universalrechner .....	148
4.4 Vom Funktionszuordner zum Universalrechner .....	152
4.4.1 Der Funktionszuordner als alternative Modellvorstellung .....	152
4.4.2 Abschnittsweise Zuordnung .....	154
4.4.3 Wählbare Operationen .....	154
4.4.4 Gemeinsame Speicher – die Registermaschine .....	156
4.4.5 Die Universalmaschine .....	159
4.5 Turingmaschine und Funktionszuordner .....	160
<b>5. Einfachmaschinen</b> .....	<b>163</b>
5.1 Grundlagen .....	163
5.1.1 Entwicklungsziele .....	163
5.1.2 Wortlänge und Verarbeitungsbreite .....	164
5.1.3 Das Rechenwerk (die ALU) .....	165
5.1.4 Register in der Architektur, Register in der Schaltung .....	167
5.2 Einfache Einadreßmaschinen .....	169
5.2.1 Eine fiktive Einadreßmaschine .....	169
5.2.2 Die Befehlsformate der Einadreßmaschinen .....	170
5.2.3 Binäre und analytische Codierung .....	172
5.2.4 Befehlsabläufe .....	173
5.2.5 Die Einadreßmaschine mit Akkumulator .....	178
5.2.6 Akkumulator oder Arbeitsregister? .....	180
5.3 Stackmaschinen .....	181
5.3.1 Der Stack .....	181
5.3.2 Operationsbefehle .....	182
5.3.3 Die umgekehrte polnische Notation (RPN) .....	183
5.3.4 Stacks in der Rechnerarchitektur .....	186
5.3.5 Stacks implementieren .....	187
5.3.6 Einfache und komplexe Stackmaschinen .....	189
5.4 Die Einfachmaschine wird praxisbrauchbar .....	195
5.4.1 Adreßrechnung .....	195
5.4.2 Befehlsadressierung .....	209

---

5.4.3 Adreßverlängerung .....	210
5.4.4 Bankadressierung .....	213
5.4.5 Zugriffstabellen .....	222
5.4.6 Adreßverlängerung durch Erweiterung der Maschinenarchitektur .....	225
5.4.7 Adreßverlängerung außerhalb der Maschinenarchitektur .....	229
5.4.8 Unterprogramme .....	232
5.4.9 Unterbrechungen (Interrupts) .....	243
5.4.10 Ein- und Ausgabe .....	252
5.4.11 Weiterentwickelte Akkumulatormaschinen .....	257
<b>6. Architekturbeispiele .....</b>	<b>263</b>
6.1 Maschinen aus Princeton .....	263
6.2 TX0 .....	268
6.3 CDC 160 .....	271
6.4 PDP-8 .....	275
6.5 Data General Nova .....	281
6.6 CDC 1700 .....	287
6.7 Mikroprogrammsteuerwerke und Mikrobefehle .....	293
6.7.1 Mikroprogrammsteuerwerke .....	293
6.7.2 Die Mikrobefehlsformate der Beispiele .....	297
6.7.3 Microdata Micro 800 .....	299
6.7.4 IBM 360/25 .....	305
6.7.5 Burroughs B1700 .....	309
6.7.6 International Meta Systems MAX 2 .....	319
<b>7. Neue Einfachmaschinen .....</b>	<b>329</b>
7.1 Zeitgemäße Wirkprinzipien .....	329
7.1.1 Datenstrukturen .....	330
7.1.2 Befehlswirkungen .....	331
7.1.3 Adressierung und Adreßrechnung .....	332
7.2 Einfachmaschinen systematisch entwickeln .....	351
7.2.1 Mit der Turingmaschine beginnen .....	352
7.2.2 Ressourcenvektormaschinen .....	353
7.2.3 Ressourcenvektormaschinen bauen .....	358
7.2.4 Lange und kurze Befehle .....	364
7.3 Einfache Ressourcenvektormaschinen .....	373
7.3.1 Grundsätze der Architekturgestaltung .....	373
7.3.2 Informationsstrukturen .....	379
7.3.3 Der Ressourcenvektor .....	382
7.3.4 Praxisverbesserungen .....	385
7.3.5 Befehlsformate und Befehlswirkungen .....	386

7.4 Maschinen mit kurzen und langen Befehlen .....	400
7.4.1 Ganz kurze Befehle .....	400
7.4.2 Kurze und lange Befehle .....	405
7.4.3 Ganz lange Befehle .....	406
7.4.4 Kurze Befehle besser ausnutzen .....	407
7.4.5 Kurze Adressen besser ausnutzen .....	410
7.5 Maschinenbefehle und Mikrobefehle .....	412
7.5.1 Mikrobefehle in der Anwendungsprogrammierung .....	412
7.5.2 Mikrobefehle und RISC-Befehle .....	413
7.5.3 Vom Mikroprogrammsteuerwerk zum Universalrechner .....	414
7.5.4 Mikrobefehle als Maschinenbefehle .....	422
<b>Anhang 1 Das C/Unix-Stackmodell .....</b>	<b>431</b>
<b>Anhang 2 Das x86-Registermodell .....</b>	<b>436</b>
<b>Anhang 3 Das Codierungsvermögen einfacher Befehlsformate .....</b>	<b>437</b>
<b>Anhang 4 Befehlswirkungen .....</b>	<b>440</b>
4.1 Operationsbefehle mit zwei Operanden .....	440
4.2 Operationsbefehle mit einem Operanden .....	441
4.3 Verschieben und Rotieren im A-Register.....	441
4.4 Verschieben und Rotieren in A und MQ (64 Bits).....	441
4.5 Verschieben und Rotieren in A, AUX und MQ (96 Bits) .....	442
4.6 Verschieben und Rotieren des Operanden .....	442
4.7 Bitbefehle mit zwei Operanden .....	443
4.8 Bitbefehle mit einem Operanden.....	444
4.9 Spezielle Bitbefehle.....	445
4.10 Transportbefehle.....	446
4.11 Registerrechenbefehle .....	446
4.12 Verzweigen, Unterprogrammruf, Rückkehr.....	447
4.13 Steuerbefehle (Auswahl) .....	448
4.14 E-A-Befehle.....	449
4.15 16-Bit-Befehle mit 6-Bit-Operationscode (Kurzbefehle).....	449
4.16 Der Stackmechanismus .....	450
<b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>	<b>453</b>
<b>Index.....</b>	<b>465</b>