

# Informatik 2

Eine einführende Übersicht

Vierte Auflage

bearbeitet von F. L. Bauer und W. Dosch

Mit 135 Abbildungen, 4 Tabellen  
und zahlreichen Programmbeispielen

Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York

London Paris Tokyo

HongKong Barcelona

Budapest

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorbemerkung</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>5. Blockstruktur und dynamische Speicherverteilung</b> . . . . .	<b>3</b>
5.1 Blöcke und Speicherverteilung . . . . .	3
5.1.1 Blockstruktur . . . . .	5
5.1.2 Pulsierende Speicherverteilung . . . . .	8
5.1.3 Wortorganisierte Speicher . . . . .	11
5.1.4 Relative Adressierung . . . . .	12
5.1.5 Felder mit dynamisch errechneten Indexgrenzen . . . . .	13
5.1.6 Abschließende Bemerkungen . . . . .	16
5.2 Prozeduren und Blockstruktur . . . . .	17
5.2.1 Einbeziehung von Prozeduren in die Blockstruktur . . . . .	17
5.2.2 Ergänzung des Blockstrukturbaums durch Aufrufpfeile . . . . .	20
5.2.3 Dynamischer Blockstrukturbaum . . . . .	24
5.2.4 Statische und dynamische Verweisketten . . . . .	26
5.2.5 Dynamische Speicherverteilung im Falle des Vorkommens von Prozeduren . . . . .	27
<b>6. Hintergrundspeicher und Verkehr mit der Außenwelt, Datenstrukturen, Speicherorganisation</b> . . . . .	<b>29</b> i
6.1 Technische Charakteristika von Hintergrundspeichern und E/A-Geräten . . . . .	30]j
6.1.1 Speicher mit direktem Zugriff . . . . .	30.1
6.1.2 Speicher mit indirektem Zugriff . . . . .	31.1
6.1.3 Transport- und Übertragungseinheiten . . . . .	33]j
6.2 Funktionelle Beschreibung von Hintergrundspeichern und E/A-Geräten . . . . .	3S
6.2.1 Lochkarten und Lochkartenstöße, Lochstreifen / Nicht wiederverwendbare Medien . . . . .	

6.2.2	Magnetbandspeicher mit Blöcken wechselnden Umfangs / Wiederverwendbare Medien mit sequentiellm Zugriff auf Blöcke wechselnden Umfangs. . . . .	39
6.2.3	Magnetband- und Scheibenspeicher mit fester Blockeinteilung / Wiederverwendbare Medien mit sequentiellm Zugriff auf fest eingeteilte Blöcke, organisierte Speicher. . . . .	44
6.2.4	Magnetplattenspeicher / Wiederverwendbare Medien mit rotierendem Zugriff. . . . .	45
6.3	Einführung neuer Rechenstrukturen. . . . .	45
6.3.1	Teilstrukturen. . . . .	46
6.3.2	Operative Anreicherung. . . . .	48
6.3.3	Paar- und Tupelbildung. . . . .	51
6.3.4	Variantenbildung. . . . .	56
6.3.5	Rekursive Definition von Rechenstrukturen: Rekursive Datenstrukturen. . . . .	58
6.3.5.1	Stapel. . . . .	59
6.3.5.2	Beblätterte Binärbäume. . . . .	60
6.3.5.3	Bezeichnete Binärbäume. . . . .	61
6.3.5.4	Allgemeine beblätterte Bäume. . . . .	61
6.3.5.5	Algorithmen auf rekursiven Datenstrukturen. . . . .	63
6.3.6	Terme und Diagramme. . . . .	63
6.3.6.1	Aufbau und Auswertung von Termen. . . . .	64
6.3.6.2	Kantorovic-Bäume und Gabelbilder. . . . .	64
6.3.6.3	Terme und Schachteldiagramme. . . . .	68
6.3.6.4	Benutzung des Assoziativgesetzes. . . . .	69
6.4	Datenorganisation: Listen und Zeiger. . . . .	71
6.4.1	Listen. . . . .	71
6.4.1.1	Referenzen. . . . .	71
6.4.1.2	Unendliche Listen. . . . .	74
6.4.2	Organisierte Speicher. . . . .	78
6.4.2.1	Errechnete Variablenbezeichnungen. . . . .	78
6.4.2.2	Der Übergang von zusammengesetzten Objekten zu organisierten Speichern. . . . .	82
6.4.2.3	Gleichbesetzungs-Tabu, Seiteneffekte. . . . .	84
6.4.3	Zeiger. . . . .	84
6.4.3.1	Zeigergeflechte. . . . .	85
6.4.3.2	Deklaration einer Zeigersorte. . . . .	87
6.4.3.3	Schaffung von Variablen und Zeigern. . . . .	88
6.4.3.4	Gleichheit von Zeigern. . . . .	90
6.4.4	Geflechtbildende Variabelensätze. . . . .	90

6.5	Zeiger-Implementierungen organisierter Speicher	93
6.5.1	Implementierung von Stapeln	93
6.5.1.1	Stapel als Einweg-Listen	93
6.5.1.2	Verkettung zweier Einweg-Listen	94
6.5.1.3	Prozeduren des Moduls <i>KELLER</i>	96
6.5.2	Implementierung von Sequenzen	98
6.5.2.1	Sequenzen als lineare Zwei weg-Listen	99
6.5.2.2	Kopieren von linearen Zweiweg-Listen	102
6.5.2.3	Prozeduren mit Sequenz-Variablen	104
6.5.3	Implementierung von beblätterten Bäumen	104
6.5.3.1	Beblätterte Binärbäume als Listen mit Varianten Zeigern	104
6.5.3.2	Allgemeine beblätterte Bäume als Listen mit Varianten Zeigern	106
6.6	Implementierung organisierter Speicher mittels linearer Speicher	110
6.6.1	Gestreute Speicherung	110
6.6.2	Sequentielle Speicherung	110
<b>7.</b>	<b>Formale Sprachen</b>	<b>113</b>
7.1	Relationen und formale Systeme	113
7.1.1	Dyadische Relationen und gerichtete Graphen	114
7.1.1.1	Mengeneigenschaft der Relationen	115
7.1.1.2	Das Produkt zweier Relationen	116
7.1.1.3	Die konverse Relation	117
7.1.1.4	Maximale und größte, minimale und kleinste Elemente	118
7.1.1.5	Reflexivität	118
7.1.1.6	Transitivität	119
7.1.1.7	Hüllen	121
7.1.1.8	Äquivalenzklassen	123
7.1.2	Noethersche und konfluente Relationen	124
7.1.2.1	Wege	125
7.1.2.2	Noethersche Relationen und Graphen	125
7.1.2.3	Hüllen einer Noetherschen Relation	126
7.1.2.4	Irreduzible Elemente, terminierende Wege	127
7.1.2.5	Der nichtdeterministische Ersetzungsalgorithmus	127
7.1.2.6	Konfluente Relationen, eindeutige Normalformen	129
7.1.2.7	Church-Rosser-Eigenschaft	130
7.1.3	Formale Sprachen — allgemeine Begriffe	132
7.2	Formale Sprachen über Zeichenfolgen	133
7.2.1	Kompatible Ersetzungssysteme	133

7.2.2	Semi-Thue-Systeme . . . . .	135
7.2.3	Semi-Thue-Algorithmen . . . . .	138
7.2.4	Chomsky-Sprachen und -Grammatiken . . . . .	140
7.2.4.1	Kontext-sensitive Chomsky-Grammatiken . . . . .	141
7.2.4.2	Kontextfreie Chomsky-Grammatiken . . . . .	144
7.2.4.3	Reguläre Grammatiken . . . . .	150
7.2.4.4	Endliche Grammatiken . . . . .	154
7.2.5	Backus-Notation und erweiterte Backus-Notation . . . . .	155
7.2.5.1	Varianten . . . . .	155
7.2.5.2	Syntax-Diagramme . . . . .	156
7.2.5.3	Replikationsstern . . . . .	157
7.2.5.4	Verallgemeinerte Syntax-Diagramme . . . . .	158
7.2.5.5	Adjunktion und Elimination von Hilfszeichen . . . . .	160
7.2.6	Reguläre Ausdrücke . . . . .	162
7.2.7	Substitution von Grammatiken . . . . .	165
7.3	Strukturgraph und Strukturbaum eines Ersetzungswegs . . . . .	167
7.3.1	Bipartite Graphen . . . . .	167
7.3.2	Strukturgraphen und Strukturbäume . . . . .	167
7.3.3	Konstruktion des Strukturgraphen . . . . .	170
7.3.4	Eindeutigkeit . . . . .	171
7.3.5	Ein Eindeutigkeitskriterium . . . . .	174
7.3.6	Die Strukturgrammatik einer Grammatik . . . . .	176
7.4	Das Zerteilungsproblem . . . . .	177
7.4.1	Sackgassen . . . . .	178
7.4.1.1	Abschneiden von Sackgassen . . . . .	178
7.4.1.2	Kontext-sensitive Grammatiken mit konfluenter Ersetzungsrelation . . . . .	180
7.4.1.3	Sackgassen in regulären Grammatiken . . . . .	181
7.4.2	Sequentielle Zerteilungsverfahren für reguläre Grammatiken . . . . .	181
7.4.2.1	Zustands-Übergänge . . . . .	182
7.4.2.2	Der Äquivalenzsatz von KLEENE . . . . .	185
7.4.2.3	Endliche Automaten . . . . .	188
7.4.3	Sequentielle Zerteilungsverfahren für kontextfreie Grammatiken . . . . .	189
7.4.3.1	Kellerzustands-Übergänge . . . . .	189
7.4.3.2	Keller-Automaten . . . . .	191
7.4.3.3	LR(k)-Grammatiken . . . . .	193
7.4.4	Sequentielle zielbezogene Zerteilungsverfahren . . . . .	194
7.4.4.1	Konverse Zustandsübergänge . . . . .	195
7.4.4.2	LL(k)-Grammatiken . . . . .	196
7.4.5	Verfahren des rekursiven Abstiegs . . . . .	197

7.5 Berechenbarkeit und Entscheidbarkeit . . . . .	200
<b>8. Syntaktische und semantische Definition algorithmischer Sprachen . . . . .</b>	<b>205</b>
8.1 Syntax algorithmischer Sprachen . . . . .	206
8.1.1 Syntaktische Beschreibung zusammengesetzter Objekte . . . . .	210
8.1.2 Syntaktische Beschreibung von Kantorovic-Bäumen. . . . .	213
8.2 Operative Semantik . . . . .	214
8.2.1 Aufbau und Berechnung von Formeln. . . . .	215
8.2.2 Partielle Definiertheit . . . . .	218
8.2.3 Nicht-strikte Operationen. . . . .	219
8.2.4 Nichtdeterminismus. . . . .	221
8.2.5 Semantik der Parameterübergabe bei Rechenvorschriften . . . . .	221
8.2.6 Operative Semantik der Rekursion. . . . .	223
8.2.7 Reduktionsmaschinen. . . . .	226
8.3 Zustandssemantik . . . . .	226
8.3.1 Zustandskalkül nach MCCARTHY. . . . .	226
8.3.2 Zusicherungskalkül nach FLOYD, HOARE und DIJKSTRA . . . . .	229
8.3.2.1 Das Zuweisungsaxiom . . . . .	230
8.3.2.2 Das Zusammensetzungsaxiom. . . . .	232
8.3.2.3 Die Fallunterscheidungs-Axiome. . . . .	233
8.3.2.4 Das Wiederholungs-Axiom . . . . .	235
8.3.2.5 Allgemeine Regeln. . . . .	238
8.3.2.6 Verifikation von Programmen. . . . .	239
8.3.2.7 Sprünge und Schleifeninvarianten. . . . .	242
8.4 Mathematische Semantik . . . . .	242
8.4.1 Fixpunkttheorie. . . . .	244
8.4.1.1 Fixpunkttheorie der Rekursion. . . . .	244
8.4.1.2 Fixpunkttheorie im wp-Kalkül . . . . .	246
8.4.1.3 Rekursive Definition der Semantik einer algorithmischen Sprache. . . . .	246
8.4.2 Abstrakte (Daten-)Typen . . . . .	247
8.4.2.1 Der Signaturgraph. . . . .	248
8.4.2.2 Die Termalgebra eines abstrakten Typs. . . . .	250
8.4.2.3 Rechenstrukturen als endlich erzeugte Modelle eines abstrakten Typs. . . . .	252
8.4.2.4 Beispiele polymorpher Typen. . . . .	254
8.4.3 Abstrakte Typen und die Charakterisierung primitiver Rechenstrukturen . . . . .	257
8.4.4 Abstrakte Typen und die Charakterisierung der Syntax und Semantik von Programmiersprachen. . . . .	260

<b>Anhang C: Korrespondenzen und Funktionen</b> . . . . .	268
C.1 Spezielle Eigenschaften von Korrespondenzen . . . . .	268
C.1.1 Funktionen . . . . .	268
C.1.2 Abbildungen . . . . .	270
C.1.3 ‚Mehrdeutige‘ Funktionen . . . . .	270
C.1.4 Darstellungen von Korrespondenzen und Funktionen . . . . .	270
C.2 Diagramme für Korrespondenzen und Funktionen . . . . .	271
C.3 Mengenzugehörigkeit . . . . .	274
<b>Anhang D: Datenendgeräte</b> . . . . .	275
D.1 Anforderungen und Möglichkeiten . . . . .	275
D.2 Ausgabe . . . . .	276
D.2.1 Zeichendrucker . . . . .	276
D.2.2 Zeilendrucker . . . . .	277
D.2.3 Zeichengeräte . . . . .	279
D.2.4 Bildschirmgeräte . . . . .	280
D.2.5 Sprachausgabe . . . . .	281
D.3 Eingabe . . . . .	282
D.3.1 Tastaturen . . . . .	282
D.3.2 Positionseingabe am Bildschirm . . . . .	283
D.3.3 Markierungsleser . . . . .	284
D.3.4 Belegleser . . . . .	284
<b>Anhang E: Zur Geschichte der Informatik</b> . . . . .	288
E.1 Einleitung . . . . .	288
E.1.1 LEIBNIZ . . . . .	289
E.1.2 Die Wurzeln der Informatik . . . . .	290
E.2 Geschichte des Rechnens mit Ziffern und Symbolen . . . . .	291
E.2.1 Das Ziffernrechnen . . . . .	291
E.2.1.1 Mechanisierung des Rechnens . . . . .	291
E.2.1.2 Das Rechnen im Dualzahlssystem . . . . .	293
E.2.1.3 Gleitpunktrechnung . . . . .	294
E.2.2 Das Rechnen mit Symbolen . . . . .	294
E.2.2.1 Kryptologie . . . . .	295
E.2.2.2 „Künstliche Intelligenz“. . . . .	297
E.2.2.3 Das logische Rechnen . . . . .	299
E.3 Geschichte des Signalwesens . . . . .	300
E.3.1 Nachrichtenübertragung . . . . .	300
E.3.2 Das Prinzip der Binärcodierung . . . . .	301

E.3.3	Codierungs- und Informationstheorie, Prädiktionstheorie . . . . .	302
E.3.4	Regelung . . . . .	303
E.4	Automaten und Algorithmen. . . . .	303
E.4.1	Das Automatenprinzip. . . . .	304
E.4.2	Programmsteuerung . . . . .	304
E.4.3	Algorithmen . . . . .	305
E.4.4	Algorithmische Sprachen. . . . .	306
E.4.5	Rekursivität . . . . .	307
	<b>Ergänzende Literatur.</b> . . . . .	309
	<b>Namen- und Sachverzeichnis.</b> . . . . .	312
	Syntaxdiagramme für die im Buch verwendeten Varianten von ALGOL 68 und PASCAL. . . . .	327