

Inhaltsverzeichnis

Webseite, Hinweise, Errata

ix

1	Einführung	1
1.1	Was ist eigentlich Informatik?	1
1.2	Zur Geschichte der Informatik	3
1.2.1	Frühe Zähl- und Rechensysteme	3
1.2.2	Die Entwicklung von Rechenmaschinen	4
1.2.3	Die Computer-Generationen	7
1.3	Prinzipieller Aufbau von Computern	12
1.3.1	Zentraleinheit und Busstruktur	12
1.3.2	Systemkomponenten	15
1.4	Zahlensysteme und binäre Arithmetik	17
1.4.1	Darstellung von Zahlen	17
1.4.2	Umwandlung von Zahlen in verschiedene Darstellungssysteme	18
1.4.3	Binäre Arithmetik	24
1.4.4	Gleitkommazahlen	30
	Literatur	35
2	Nachricht und Information	37
2.1	Abgrenzung der Begriffe Nachricht und Information	37
2.2	Biologische Aspekte	39
2.2.1	Sinnesorgane	39
2.2.2	Datenverarbeitung im Gehirn	39
2.2.3	Der genetische Code	40
2.3	Diskretisierung von Nachrichten	43
2.3.1	Abtastung	43
2.3.2	Quantisierung	45
2.4	Wahrscheinlichkeit und Kombinatorik	47
2.4.1	Die relative Häufigkeit	47
2.4.2	Die mathematische Wahrscheinlichkeit	47
2.4.3	Totale Wahrscheinlichkeit und Bayes-Formel	49
2.4.4	Statistische Kenngrößen	54
2.4.5	Fakultät und Binomialkoeffizienten	55
2.4.6	Kombinatorik	56
2.5	Information und Wahrscheinlichkeit	60
2.5.1	Der Informationsgehalt einer Nachricht	60
2.5.2	Die Entropie einer Nachricht	62
2.5.3	Zusammenhang mit der physikalischen Entropie	64
	Literatur	68

3	Codierung	69
3.1	Grundbegriffe	69
3.1.1	Mittlere Wortlänge und Code-Redundanz	70
3.1.2	Beispiele für Codes	71
3.2	Quellencodierung und Datenkompression	75
3.2.1	Codebäume	76
3.2.2	Der Huffman-Algorithmus	77
3.2.3	Der Fano-Algorithmus	81
3.2.4	Arithmetische Codierung	82
3.2.5	Laufängen-Codierung	85
3.2.6	Differenz-Codierung	86
3.2.7	Der LZW-Algorithmus	90
3.2.8	Datenreduktion durch unitäre Transformationen (JPEG)	94
3.3	Codesicherung und Kanalcodierung	102
3.3.1	Hamming-Distanz	102
3.3.2	m-aus-n-Codes	105
3.3.3	Codes mit Paritätsbits	105
3.3.4	Fehlertolerante Gray-Codes	109
3.3.5	Definition linearer Codes	111
3.3.6	Lineare Hamming-Codes	114
3.3.7	Zyklische Codes und Code-Polynome	119
3.3.8	CRC-Codes	121
3.3.9	Sicherung nicht-binärer Codes	124
3.3.10	Reed-Solomon Codes	128
	Literatur	135
4	Verschlüsselung	137
4.1	Klassische Verfahren	139
4.1.1	Der Cäsar-Code	140
4.1.2	Vigenère-Codes	141
4.1.3	Affine Substitutions-Chiffren und Enigma	143
4.2	Moderne symmetrische Verfahren	151
4.2.1	Der Data Encryption Standard (DES)	151
4.2.2	Der Advanced Encryption Standard (AES)	152
4.2.3	One-Time-Pads und Stromchiffren	155
4.3	Moderne asymmetrische Verfahren	157
4.3.1	Diffie-Hellman Schlüsselaustausch	157
4.3.2	Der RSA-Algorithmus	161
4.3.3	Digitale Unterschrift	167
4.3.4	Elliptische-Kurven-Kryptographie	168
4.4	Kryptographische Hashfunktionen	173
4.5	Sicherheitsniveau und Empfehlungen	178
4.6	Quantencomputer und Kryptographie	179
4.6.1	Was ist ein Quantencomputer?	179
4.6.2	Auswirkungen auf kryptographische Verfahren	180
	Literatur	182

5	Computerhardware und Maschinensprache	185
5.1	Digitale Grundsaltungen	185
5.1.1	Stromkreise	185
5.1.2	Dioden, Transistoren und integrierte Schaltkreise	187
5.1.3	Logische Gatter	190
5.2	Boolesche Algebra und Schaltfunktionen	193
5.2.1	Aussagenlogik	193
5.2.2	Der boolesche Verband	195
5.2.3	Das boolesche Normalform-Theorem	197
5.2.4	Vereinfachen boolescher Ausdrücke	198
5.3	Schaltnetze und Schaltwerke	201
5.3.1	Schaltnetze	201
5.3.2	Spezielle Schaltnetze	202
5.3.3	Schaltwerke	205
5.4	Die Funktion einer CPU am Beispiel des M68000	210
5.4.1	Die Anschlüsse der CPU M68000	210
5.4.2	Der innere Aufbau der CPU M68000	215
5.4.3	Befehlsformate und Befehlsausführung	220
5.4.4	Adressierungsarten	223
5.5	Maschinensprache und Assembler	229
5.5.1	Einführung	229
5.5.2	Der Befehlssatz des M68000	230
5.5.3	Programmbeispiele	239
	Literatur	242
6	Rechnerarchitektur	243
6.1	Überblick	243
6.2	Was ist eine Rechnerarchitektur?	245
6.2.1	Physikalische Umsetzung – Silizium und Wafer	245
6.2.2	Digitale Schaltungen – Transistoren	247
6.2.3	Gatter, Schaltnetze und Schaltwerke – Boolesche Logik	247
6.2.4	Mikroarchitektur und Mikroprogramme	247
6.2.5	Befehlssatz-Architektur	248
6.2.6	Hardware-Struktur außerhalb der CPU	249
6.2.7	Exkurs: Quantencomputer	249
6.3	Die von-Neumann-Architektur	250
6.3.1	Komponenten eines von-Neumann-Rechners	250
6.3.2	Operationsprinzip	252
6.4	Die Harvard-Architektur	254
6.5	Der typische Desktop-PC und Laptop	254
6.6	Befehlssatz	257
6.6.1	Mikroprogramme und CISC	257
6.6.2	Reduced Instruction Set Computer: RISC	258
6.6.3	Abwärtskompatibilität	259
6.7	Klassifikation nach Flynn	259

6.8	Parallelität innerhalb einer Befehlssequenz	261
6.8.1	Fließbandverarbeitung – Optimierte Befehlsausführung	261
6.8.2	Superskalare Mikroprozessoren	263
6.8.3	VLIW – Very Long Instruction Word	264
6.9	Parallelität in Daten nutzen: Vektorprozessoren	264
6.10	Parallele Ausführung mehrerer Befehlssequenzen	265
6.10.1	Simultanes Multi-Threading innerhalb einer CPU	267
6.10.2	Multi-Core-CPU	267
6.10.3	Multiprozessor-Systeme	268
6.10.4	Multicomputer-Systeme	269
6.11	Speicherhierarchie	269
6.11.1	Speichertechnologien: Register, Cache und Hauptspeicher	269
6.11.2	Caching	271
6.11.3	Memory Management Unit und virtueller Speicher	273
6.11.4	Festplatten	274
6.11.5	Flash-Speicher und Solid State Disks	275
6.12	Ein- und Ausgabe: Interrupts und DMA	276
6.13	Verbindungsstrukturen	278
6.13.1	Gemeinsamer Bus	278
6.13.2	Zugriffsprotokolle für Busse und gemeinsame Speicher	280
6.13.3	Punkt-Zu-Punkt Verbindungen: PCI-Express und SATA	281
6.13.4	Weitere Verbindungsstrukturen	282
6.13.5	Allgemeine topologische Verbindungsstrukturen	283
6.14	Mikrocontroller und Spezialprozessoren	284
	Literatur	286

7 Rechnernetze 289

7.1	Was ist ein Rechnernetz?	289
7.2	Das OSI-Schichtenmodell der Datenkommunikation	291
7.3	Bitübertragungsschicht	295
7.3.1	Kupfer, Glasfaser und der freie Raum	295
7.3.2	Leitungscodierung	296
7.3.3	Modulation, Multiplexing und Multiple Access	297
7.3.4	Netztopologien	302
7.4	Technologien der Sicherungsschicht	303
7.4.1	Netze im Nahbereich: PAN und WPAN	303
7.4.2	Lokale Netze: LAN und WLAN	305
7.4.3	Vorgriff: Leitungs- und Paketvermittlung	310
7.4.4	Zugang zum Internet: DSL, Kabel, FTTH und 5G	311
7.4.5	Die Behandlung von Übertragungsfehlern	319
7.5	Netzwerk- und Transportschicht: TCP/IP und das Internet	320
7.5.1	Überblick über das Internet	320
7.5.2	IP: Internet Protocol	322
7.5.3	IPv6	326
7.5.4	ICMP: Internet Control Message Protocol	329
7.5.5	TCP: Transmission Control Protocol	330

7.5.6	TLS und SSL: Transport Level Security	330
7.5.7	UDP: User Datagram Protocol	331
7.6	Anwendungsschicht: Von DNS bis HTTP und URIs	332
7.6.1	DNS: Domain Name System	332
7.6.2	E-Mail	332
7.6.3	FTP: File Transfer Protocol	333
7.6.4	SSH: secure shell und TELNET: teletype network	333
7.6.5	HTTP und HTTPS: Hypertext Transfer Protocol	334
7.6.6	URI: Uniform Resource Identifier	335
	Literatur	337
8	Betriebssysteme	339
8.1	Überblick	339
8.1.1	Aufgaben	341
8.1.2	Betriebsarten	342
8.2	Betriebssystem-Architekturen	343
8.3	Aufgaben eines Betriebssystems im Detail	347
8.3.1	Prozessverwaltung	347
8.3.2	Synchronisation	351
8.3.3	Interprozess-Kommunikation	353
8.3.4	Speicherverwaltung und virtueller Speicher	355
8.3.5	Geräteverwaltung und -treiber	357
8.3.6	Dateiverwaltung	358
8.4	Benutzerschnittstelle: Shell, GUI und NUI	360
8.4.1	Kommandozeilen-Interpreter am Beispiel UNIX	361
8.4.2	Besonderheiten am Beispiel der UNIX-Shell	362
8.4.3	Grafische Benutzerschnittstelle	365
8.4.4	Natürliche Benutzerschnittstelle (NUI)	366
8.5	Beispiele für Betriebssysteme	367
8.5.1	Microsoft-Windows	367
8.5.2	UNIX, LINUX und Android	368
8.6	Betriebssystem-Virtualisierung	370
8.6.1	Anwendungsbereiche	371
8.6.2	Hypervisoren	371
8.6.3	Virtuelle Maschinen	373
8.6.4	Grundlegende Aktivitäten der Virtualisierung	374
8.7	Container am Beispiel Docker	374
8.7.1	Images und Container	375
8.7.2	Betriebsmittel: Netzwerk und Verzeichnisse	376
8.7.3	Eigene Images erzeugen	376
8.7.4	Docker auf Windows und Linux	377
	Literatur	378
9	Höhere Programmiersprachen und C	379
9.1	Zur Struktur höherer Programmiersprachen	379
9.1.1	Ebenen des Informationsbegriffs in Programmiersprachen	384

9.1.2	Systeme und Strukturen	386
9.2	Methoden der Syntaxbeschreibung	389
9.2.1	Die Backus-Naur Form	389
9.2.2	Syntaxgraphen	393
9.2.3	Eine einfache Sprache als Beispiel: C-	393
9.3	Einführung in die Programmiersprache C	398
9.3.1	Der Aufbau von C-Programmen	398
9.3.2	Einfache Datentypen	402
9.3.3	Strukturierte Standard-Datentypen	407
9.3.4	Operatoren und Ausdrücke	410
9.3.5	Anweisungen	413
9.3.6	Funktionen	417
9.3.7	Ein- und Ausgabefunktionen	421
9.3.8	Verarbeitung von Zeichenketten	423
9.3.9	Das Zeigerkonzept in C	424
	Literatur	433
10	Objektorientierte Programmiersprachen und Java	435
10.1	Entstehung objektorientierter Sprachen	435
10.2	Einführung in die Programmiersprache Java	438
10.2.1	Grundlegender Aufbau eines Java-Programms	440
10.2.2	Syntax ähnlich wie in C	442
10.2.3	Datentypen und Variablen: Statische Typisierung	443
10.3	Klassen und Objekte	448
10.3.1	Attribute und Methoden	449
10.3.2	Statische Attribute und Methoden	450
10.3.3	Pakete (Packages)	452
10.3.4	Kapselung und Geheimnisprinzip	453
10.3.5	Vererbung und Polymorphie	455
10.4	Fortgeschrittene Java-Themen	459
10.4.1	Generische Klassen, Behälter und Algorithmen	459
10.4.2	Ausnahmen und Fehlerbehandlung	462
10.4.3	Annotationen und Reflection	464
10.4.4	Testgetriebene Entwicklung mit Java	465
10.4.5	Threads, Streams und parallele Verarbeitung	466
10.4.6	Lambda-Ausdrücke und funktionale Programmierung	470
10.4.7	Das Java-Ökosystem	471
	Literatur	473
11	Automatentheorie und formale Sprachen	475
11.1	Grundbegriffe der Automatentheorie	475
11.1.1	Endliche Automaten	475
11.1.2	Darstellung von Automaten	478
11.1.3	Die akzeptierte Sprache von Automaten	480
11.1.4	Kellerautomaten	486
11.1.5	Turing-Maschinen	490

11.2	Einführung in die Theorie der formalen Sprachen	497
11.2.1	Definition von formalen Sprachen	497
11.2.2	Die Chomsky-Hierarchie	498
11.2.3	Reguläre Ausdrücke	505
11.2.4	Das Pumping-Lemma	507
11.2.5	Die Analyse von Wörtern	510
11.2.6	Compiler	514
	Literatur	519
12	Algorithmen – Berechenbarkeit und Komplexität	521
12.1	Berechenbarkeit	523
12.1.1	Entscheidungsproblem und Church-Turing These	523
12.1.2	Das Halteproblem	526
12.1.3	Satz von Rice und weitere unentscheidbare Probleme	528
12.1.4	LOOP-, WHILE- und GOTO-Berechenbarkeit	530
12.1.5	Primitiv rekursive und μ -rekursive Funktionen	532
12.2	Komplexität	537
12.2.1	Die Ordnung der Komplexität: $\mathcal{O}$ -Notation	538
12.2.2	Analyse von Algorithmen	542
12.2.3	Die Komplexitätsklassen P und NP	546
12.2.4	NP-vollständige Probleme	547
12.2.5	Weitere Komplexitätsklassen	552
12.2.6	Quantencomputer: Probabilistische Komplexitätsklassen	554
12.3	Probabilistische Algorithmen	555
12.3.1	Pseudo-Zufallszahlen	555
12.3.2	Monte-Carlo-Methoden	560
12.3.3	Probabilistischer Primzahltest	563
12.4	Rekursion	566
12.4.1	Definition und einführende Beispiele	566
12.4.2	Rekursive Programmierung und Iteration	568
12.4.3	Backtracking	571
	Literatur	573
13	Suchen und Sortieren	577
13.1	Einfache Suchverfahren	577
13.1.1	Sequentielle Suche	577
13.1.2	Binäre Suche	578
13.1.3	Interpolationssuche	579
13.1.4	Radix-Suche	581
13.2	Suchen von Mustern in Zeichenketten	582
13.2.1	Musterabgleich durch sequentielles Vergleichen	582
13.2.2	Musterabgleich durch Automaten	583
13.2.3	Die Verfahren von Boyer-Moore und Knuth-Morris-Pratt	584
13.2.4	Ähnlichkeit von Mustern und Levenshtein-Distanz	586
13.3	Gestreute Speicherung (Hashing)	588
13.3.1	Hashfunktionen	588

13.3.2	Kollisionsbehandlung	590
13.3.3	Komplexitätsberechnung	595
13.4	Direkte Sortierverfahren	597
13.4.1	Vorbemerkungen	597
13.4.2	Sortieren durch direktes Einfügen (Insertion Sort)	600
13.4.3	Sortieren durch direktes Auswählen (Selection Sort)	602
13.4.4	Sortieren durch direktes Austauschen (Bubblesort)	604
13.5	Höhere Sortierverfahren	607
13.5.1	Shellsort	607
13.5.2	Quicksort	608
13.5.3	Vergleich der Sortierverfahren	612
13.6	Sortieren externer Dateien	614
13.6.1	Grundprinzipien des sequentiellen Datenzugriffs	614
13.6.2	Sequentielle Speicherorganisation	617
13.6.3	Direktes Mischen (Direct Merge, Mergesort)	621
13.6.4	Natürliches Mischen (Natural Merge)	624
13.6.5	n-Band-Mischen	626
	Literatur	629
14	Datenstrukturen, Bäume und Graphen	631
14.1	Sequentielle Datenstrukturen	632
14.1.1	Lineare Listen	632
14.1.2	Stapel, Schlangen und Ringpuffer	636
14.2	Binärbäume	639
14.2.1	Speichern und Durchsuchen von Binärbäumen	641
14.2.2	Binäre Suchbäume	646
14.2.3	Ausgleichen von Bäumen und AVL-Bäume	653
14.2.4	Heaps und Heapsort	657
14.3	Vielwegbäume	664
14.3.1	Rückführung auf Binärbäume	664
14.3.2	Definition von (a, b) -Bäumen und B-Bäumen	665
14.3.3	Operationen auf B-Bäumen	668
14.4	Graphen	676
14.4.1	Definitionen und einführende Beispiele	676
14.4.2	Speicherung von Graphen	680
14.4.3	Suchen, Einfügen und Löschen von Knoten und Kanten	685
14.4.4	Durchsuchen von Graphen	688
14.4.5	Halbordnung und topologisches Sortieren	701
14.4.6	Minimal spannende Bäume	702
14.4.7	Union-Find Algorithmen	704
	Literatur	711
15	Software-Engineering	713
15.1	Überblick	713
15.1.1	Was ist Software?	713
15.1.2	Was bedeutet Engineering?	714

15.1.3	Warum ist Software-Engineering schwierig?	715
15.2	Tätigkeiten im Software-Lebenszyklus	716
15.2.1	Anforderungsanalyse und Spezifikation	716
15.2.2	Architekturentwurf	718
15.2.3	Implementierung	718
15.2.4	Test und Integration	718
15.2.5	Inbetriebnahme	719
15.2.6	Wartung und Weiterentwicklung	719
15.3	Querschnittsdisziplinen	719
15.3.1	Projektmanagement	719
15.3.2	Qualitätsmanagement	721
15.3.3	Konfigurationsmanagement	722
15.4	Vorgehensmodelle	723
15.4.1	Basismodelle	724
15.4.2	V-Modell XT als plangetriebenes Vorgehensmodell	726
15.4.3	Scrum als agiles Produktmanagement-Framework	728
15.4.4	Praktiken der moderenen Software-Entwicklung und DevOps	730
15.5	Modelle im Software-Engineering	731
15.5.1	Vom Problem zur Lösung	731
15.5.2	Die Unified Modeling Language	732
15.5.3	Ausgewählte Diagramme der UML im Detail	734
15.6	Hilfsmittel für den Entwurf von Algorithmen	742
15.6.1	Pseudocode	742
15.6.2	Flussdiagramme	742
15.6.3	Struktogramme nach Nassi-Shneiderman	743
15.6.4	Entscheidungstabellen	746
	Literatur	749

16 Datenbanken 751

16.1	Einführung und Definition	751
16.2	Daten und ihre Modellierung	752
16.3	Zugriffsmuster auf gespeicherte Daten	754
16.4	Datenbanktechnologien Geschichte und Überblick	756
16.5	Relationale Datenbankmanagement-Systeme	759
16.5.1	Relationen	759
16.5.2	Schlüssel	760
16.5.3	Beziehungen (Relationships)	761
16.6	Relationale Algebra	762
16.7	Die Datenbanksprache SQL	766
16.7.1	SQL als deklarative Sprache	766
16.7.2	Definition des Datenbankschemas	767
16.7.3	Einfügen, Ändern und Löschen von Daten	768
16.7.4	Suchen mit SELECT	769
16.7.5	Programmiersprachen und SQL	770
16.8	Transaktionen, OLTP und ACID	771
16.9	OLAP, Data Warehousing und Data-Mining	772

16.10	Semi-Strukturierte Daten mit XML	776
16.10.1	Der Aufbau von XML-Dokumenten	777
16.10.2	Wohlgeformtheit und Validität	777
16.10.3	XML-Schema	778
16.10.4	XPath	779
16.10.5	XSL: Extended Style Sheet Language	780
Literatur		783
17	Anwendungsprogrammierung im Internet	785
17.1	Client-Server-Systeme	785
17.2	Grundlegende Technologien	786
17.2.1	HTML	786
17.2.2	DOM: Document Object Model	792
17.2.3	CSS: Cascading Style Sheets	793
17.3	Webanwendungen	797
17.3.1	HTML Formulare	797
17.3.2	Auswertung von Formularen	799
17.4	JavaScript	801
17.4.1	Grundlegende Eigenschaften	801
17.4.2	Funktionen	804
17.4.3	Objekte und Prototypen	806
17.4.4	Klassen seit ES6	809
17.4.5	JSON: JavaScript Object Notation	809
17.4.6	JavaScript und DOM	810
17.4.7	Ereignisgesteuerte Programmierung mit JavaScript	812
17.4.8	AJAX: Asynchronous JavaScript And XML	813
Literatur		814
18	Maschinelles Lernen: Deep Learning mit neuronalen Netzen	815
18.1	Klassifikation und Regression	816
18.2	Neuronale Netze	818
18.2.1	Das Perzeptron-Neuronenmodell	818
18.2.2	Aktivierungsfunktionen	819
18.2.3	Mehrschichtperzeptron	823
18.3	Bilderkennung: Neuronale Faltungsnetze (CNN)	829
18.4	Verarbeitung natürlicher Sprache – Vorverarbeitung: Vom Text zum Vektor	837
18.4.1	Tokenisierung	838
18.4.2	Word2vec	839
18.5	Verarbeitung natürlicher Sprache: Transformer	841
18.5.1	Überblick	842
18.5.2	Positionscodierung	845
18.5.3	Decodierer-Ausgabe: Lineare Schicht & Softmax	846
18.5.4	Aufmerksamkeitsmechanismen	848
18.5.5	Addition, Normierung, Abkürzungen	852
18.5.6	GPT & Co.	853
18.6	Normalisierung und Regularisierung	854

18.7 Bewertung von Klassifikatoren	858
18.8 Ausblick	861
Literatur	863
Index	867
Die Autoren	893