Inhalt

Vorwort zur neunten Auflage

1 Einführung
1.1 Was ist „Informatik“? ................................................................. 1
1.1.1 Technische Informatik ......................................................... 1
1.1.2 Praktische Informatik ......................................................... 2
1.1.3 Theoretische Informatik ..................................................... 2
1.1.4 Angewandte Informatik ..................................................... 3
1.2 Information und Daten ............................................................. 4
1.2.1 Bits ................................................................................. 5
1.2.2 Bitfolgen .......................................................................... 6
1.2.3 Hexziffern ........................................................................ 7
1.2.4 Bytes und Worte ................................................................. 8
1.2.5 Dateien ............................................................................. 8
1.2.6 Datei- und Speichergrößen ................................................. 9
1.2.7 Längen- und Zeiteinheiten ............................................... 10
1.3 Informationsdarstellung ........................................................... 11
1.3.1 Text ................................................................................. 11
1.3.2 ASCII-Code ....................................................................... 11
1.3.3 ASCII-Erweiterungen ....................................................... 12
1.3.4 Unicode, UCS und UTF-8 .................................................. 13
1.3.5 Zeichenketten ................................................................... 15
1.3.6 Logische Werte und logische Verknüpfungen ..................... 16
1.3.7 Programm ......................................................................... 16
1.3.8 Bilder und Musikstücke ..................................................... 17
1.4 Zahlendarstellungen ............................................................... 17
1.4.1 Binärdarstellung ................................................................. 18
1.4.2 Das Oktalsystem und das Hexadezimalsystem ..................... 18
1.4.3 Umwandlung in das Dezimalsystem ................................ 20
1.4.4 Umwandlung in das Binär-, Oktal- oder Hexadezimalsystem .. 20
1.4.5 Arithmetische Operationen ................................................. 22
1.4.6 Darstellung ganzer Zahlen ................................................. 23
1.4.7 Die Zweierkomplementdarstellung ................................... 24
<table>
<thead>
<tr>
<th>Inhalt</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>1.4.8 Standardformate ganzer Zahlen</td>
<td>27</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.9 Gleitpunktzahlen: Reelle Zahlen</td>
<td>28</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.10 Binäre Gleitkommmazahlen</td>
<td>30</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.11 Real-Zahlenbereiche in Programmiersprachen</td>
<td>33</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.12 Daten – Informationen</td>
<td>34</td>
</tr>
<tr>
<td>1.4.13 Informationsverarbeitung – Datenverarbeitung</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5 Hardware</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.1 PCs, Workstations, Mainframes, Super-Computer</td>
<td>35</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.2 Aufbau von Computersystemen</td>
<td>37</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.3 Der Rechner von außen</td>
<td>38</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.4 Das Innenleben</td>
<td>38</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.5 Motherboard, Controller und Busse</td>
<td>40</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.6 Ein konkretes Motherboard</td>
<td>42</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.7 Die Aufgabe der CPU</td>
<td>44</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.8 Programmausführung</td>
<td>45</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.9 Die Organisation des Hauptspeichers</td>
<td>46</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.10 Speichermedien</td>
<td>49</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.11 Magnetplatten</td>
<td>50</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.12 Festplattenlaufwerke</td>
<td>51</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.13 Optische Laufwerke</td>
<td>53</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.14 Flash-Speicher</td>
<td>55</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.15 Vergleich von Speichermedien</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.16 Bildschirme</td>
<td>56</td>
</tr>
<tr>
<td>1.5.17 Text- und Grafikmodus</td>
<td>57</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6 Von der Hardware zum Betriebssystem</td>
<td>58</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.1 Schnittstellen und Treiber</td>
<td>59</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.2 BIOS</td>
<td>61</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.3 Die Aufgaben des Betriebssystems</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.4 Prozess- und Speicherverwaltung</td>
<td>62</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.5 Dateiverwaltung</td>
<td>63</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.6 DOS, Windows und Linux</td>
<td>65</td>
</tr>
<tr>
<td>1.6.7 Bediensysteme</td>
<td>67</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7 Anwendungsprogramme</td>
<td>69</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.1 Textverarbeitung</td>
<td>69</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.2 Zeichen und Schriftarten</td>
<td>70</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.3 Formatierung</td>
<td>71</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.4 Desktop Publishing</td>
<td>72</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.5 Textbeschreibungssprachen</td>
<td>73</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.6 Tabellenkalkulation: spread sheets</td>
<td>77</td>
</tr>
<tr>
<td>1.7.7 Vom Fenster zur Welt zur zweiten Welt</td>
<td>79</td>
</tr>
<tr>
<td>2 Grundlagen der Programmierung</td>
<td>81</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1 Programmiersprachen</td>
<td>82</td>
</tr>
<tr>
<td>2.1.1 Vom Programm zur Maschine</td>
<td>82</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Inhalt

2.1.2 Virtuelle Maschinen ........................................ 83
2.1.3 Interpreter .............................................. 85
2.1.4 Programmieren und Testen ............................. 85
2.1.5 Programmierumgebungen ................................. 86
2.1.6 Pascal ...................................................... 87
2.1.7 Java ....................................................... 88

2.2 Spezifikationen, Algorithmen, Programme ............ 88
2.2.1 Spezifikationen ........................................... 89
2.2.2 Algorithmen .............................................. 91
2.2.3 Kontrollstrukturen ..................................... 94
2.2.4 Algorithmen als Lösung von Spezifikationen ....... 95
2.2.5 Terminierung ............................................. 96
2.2.6 Elementare Aktionen .................................... 97
2.2.7 Zuweisungen .............................................. 97
2.2.8 Vom Algorithmus zum Programm .................... 98
2.2.9 Ressourcen .............................................. 101

2.3 Daten und Datenstrukturen ................................ 102
2.3.1 Der Begriff der Datenstruktur ......................... 102
2.3.2 Boolesche Werte ......................................... 103
2.3.3 Zahlen .................................................. 105
2.3.4 Natürliche Zahlen ....................................... 105
2.3.5 Der Datentyp Integer .................................. 107
2.3.6 Rationale Zahlen ....................................... 109
2.3.7 Reelle Zahlen ........................................... 109
2.3.8 Mehrsortige Datenstrukturen ......................... 110
2.3.9 Zeichen ................................................ 112
2.3.10 Zusammengesetzte Datentypen – Strings .......... 114
2.3.11 Benutzerdefinierte Datenstrukturen .............. 115
2.3.12 Informationsverarbeitung und Datenverarbeitung .. 117

2.4 Speicher, Variablen und Ausdrücke ..................... 118
2.4.1 Deklarationen ........................................... 119
2.4.2 Initialisierung ........................................... 120
2.4.3 Kontexte ............................................... 120
2.4.4 Ausdrücke, Terme ...................................... 121
2.4.5 Auswertung von Ausdrücken ......................... 124
2.4.6 Funktionsdefinitionen .................................. 125
2.4.7 Typpfehler .............................................. 127
2.4.8 Seiteneffekte ............................................. 127

2.5 Der Kern imperativer Sprachen ......................... 128
2.5.1 Zuweisungen ........................................... 128
2.5.2 Kontrollstrukturen ..................................... 130
2.5.3 Drei Kontrollstrukturen genügen .................... 130
2.5.4 Die sequentielle Komposition ...................... 130
2.5.5 Die Alternativenanweisung ......................... 132
<table>
<thead>
<tr>
<th>Inhalt</th>
<th>Seite</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>2.5.6 Die while-Schleife</td>
<td>133</td>
</tr>
<tr>
<td>2.5.7 Unterprogramme</td>
<td>134</td>
</tr>
<tr>
<td>2.5.8 Lauffähige Programme</td>
<td>135</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6 Formale Beschreibung von Programmiersprachen</td>
<td>136</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6.1 Lexikalische Regeln</td>
<td>136</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6.2 Syntaktische Regeln</td>
<td>138</td>
</tr>
<tr>
<td>2.6.3 Semantische Regeln</td>
<td>140</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7 Erweiterung der Kernsprache</td>
<td>141</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.1 Bedingte Anweisung</td>
<td>141</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.2 Fallunterscheidung</td>
<td>143</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.3 do-Schleife</td>
<td>144</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.4 Allgemeinere Schleifenkonstrukte</td>
<td>145</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.5 Die for-Schleife</td>
<td>146</td>
</tr>
<tr>
<td>2.7.6 Arrays – indizierte Variablen</td>
<td>148</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8 Rekursive Funktionen und Prozeduren</td>
<td>149</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.1 Rekursive Programme</td>
<td>151</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.2 Die Türme von Hanoi</td>
<td>152</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.3 Spielstrategien als rekursive Prädikate – Backtracking</td>
<td>153</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.4 Wechselseitige Rekursion</td>
<td>154</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.5 Induktion – Rekursion</td>
<td>155</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.6 Allgemeine Rekursion</td>
<td>156</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.7 Endrekursion</td>
<td>157</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.8 Lineare Rekursion</td>
<td>158</td>
</tr>
<tr>
<td>2.8.9 Eine Programmtransformation</td>
<td>160</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9 Typen, Module, Klassen und Objekte</td>
<td>162</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.1 Strukturiertes Programmieren</td>
<td>163</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.2 Blockstrukturierung</td>
<td>164</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.3 Strukturierung der Daten</td>
<td>164</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.4 Objektorientierte Konstruktion neuer Datentypen</td>
<td>169</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.5 Modulares Programmieren</td>
<td>171</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.6 Schnittstellen – Interfaces</td>
<td>173</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.7 Objektorientiertes Programmieren</td>
<td>175</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.8 Vererbung</td>
<td>177</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.9 Summentypen in objektorientierten Sprachen</td>
<td>179</td>
</tr>
<tr>
<td>2.9.10 Datenkapselung</td>
<td>181</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10 Verifikation</td>
<td>183</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.1 Vermeidung von Fehlern</td>
<td>184</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.2 Zwischenbehauptungen</td>
<td>184</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.3 Partielle Korrektheit</td>
<td>185</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.4 Zerlegung durch Zwischenbehauptungen</td>
<td>186</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.5 Zuweisungsregel</td>
<td>188</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.6 Rückwärtsbeweise</td>
<td>189</td>
</tr>
<tr>
<td>2.10.7 if-else-Regel</td>
<td>191</td>
</tr>
</tbody>
</table>
Inhalt

2.10.8 Abschwächungsregel und einarmige Alternative ................. 191
2.10.9 Invarianten und while-Regel ................................... 192
2.10.10 Starke und schwache Invarianten ............................. 194
2.10.11 Programm-Verifizierer .......................................... 196
2.10.12 do-Schleife ...................................................... 198
2.10.13 Terminierung .................................................... 199
2.10.14 Beweis eines Programmschemas ............................... 200
2.11 Deklarative Sprachen .............................................. 201
2.11.1 Prolog .......................................................... 201
2.11.2 Erlang .......................................................... 206
2.12 Zusammenfassung .................................................... 210

3 Die Programmiersprache Java 211

3.1 Die lexikalischen Elemente von Java ............................... 213
3.1.1 Kommentare ..................................................... 213
3.1.2 Bezeichner ....................................................... 214
3.1.3 Schlüsselwörter .................................................. 215
3.1.4 Literale .......................................................... 215
3.2 Datentypen und Methoden ........................................... 217
3.2.1 Variablen ......................................................... 217
3.2.2 Referenz-Datentypen ............................................ 218
3.2.3 Arrays .......................................................... 219
3.2.4 Methoden ......................................................... 220
3.2.5 Klassen und Instanzen .......................................... 222
3.2.6 Objekte und Referenzen ........................................ 224
3.2.7 Objekt- und Klassenkomponenten ............................. 225
3.2.8 Attribute ........................................................ 226
3.2.9 Überladung ....................................................... 227
3.2.10 Konstruktoren .................................................. 228
3.2.11 Aufzählungstypen .............................................. 229
3.3 Ausführbare Java-Programme ....................................... 230
3.3.1 Java-Dateien – Übersetzungseinheiten ......................... 232
3.3.2 Programme ....................................................... 232
3.3.3 Packages ......................................................... 233
3.3.4 Standard-Packages ............................................. 235
3.4 Ausdrücke und Anweisungen ........................................ 236
3.4.1 Arithmetische Operationen ..................................... 236
3.4.2 Vergleichsoperationen ......................................... 237
3.4.3 Boolesche Operationen ........................................ 237
3.4.4 Bitweise Operationen .......................................... 238
3.4.5 Zuweisungsausdrücke .......................................... 238
3.4.6 Anweisungsausdrücke ......................................... 240
3.4.7 Sonstige Operationen .......................................... 240
<p>| 3.4.8 | Präzedenz der Operatoren | 241 |
| 3.4.9 | Einfache Anweisungen | 242 |
| 3.4.10 | Blöcke | 243 |
| 3.4.11 | Alternativ-Anweisungen | 243 |
| 3.4.12 | switch-Anweisung | 244 |
| 3.4.13 | Schleifen | 245 |
| 3.4.14 | Die for-Anweisung | 246 |
| 3.4.15 | break- und continue-Anweisungen | 247 |
| 3.5 | Klassen und Objekte | 248 |
| 3.5.1 | Vererbung | 250 |
| 3.5.2 | Späte Bindung (Late Binding) | 255 |
| 3.5.3 | Finale Komponenten | 255 |
| 3.5.4 | Zugriffsschutz von Feldern und Methoden | 256 |
| 3.5.5 | Attribute von Klassen | 256 |
| 3.5.6 | Abstrakte Klassen | 256 |
| 3.5.7 | Rekursiv definierte Klassen | 258 |
| 3.5.8 | Schnittstellen (Interfaces) | 260 |
| 3.5.9 | Wrapper-Klassen | 264 |
| 3.5.10 | Generische Klassen | 264 |
| 3.5.11 | Vererbung generischer Typen | 265 |
| 3.5.12 | Typschranken | 266 |
| 3.6 | Fehler und Ausnahmen | 267 |
| 3.6.1 | Exceptions in Java | 267 |
| 3.6.2 | Zusicherungen – Assertions | 270 |
| 3.7 | Dateien: Ein- und Ausgabe | 274 |
| 3.7.1 | Öffnen und Schließen von Dateien | 274 |
| 3.7.2 | Schreiben einer Datei | 275 |
| 3.7.3 | Lesen einer Datei | 276 |
| 3.7.4 | Dateidialog | 276 |
| 3.8 | Threads | 277 |
| 3.8.1 | Thread-Erzeugung | 277 |
| 3.8.2 | Kontrolle der Threads | 279 |
| 3.8.3 | Thread-Synchronisation | 280 |
| 3.8.4 | Deadlock | 282 |
| 3.9 | Grafische Benutzeroberflächen mit Java (AWT) | 283 |
| 3.9.1 | Ein erstes Fenster | 284 |
| 3.9.2 | Ereignisse | 284 |
| 3.9.3 | Adapterklassen und anonyme Klassen | 286 |
| 3.9.4 | Beispiel für eine Ereignisbehandlung | 287 |
| 3.9.5 | Buttons | 288 |
| 3.9.6 | Grafi kausgabe in Fenstern | 289 |
| 3.9.7 | Maus-Ereignisse | 290 |
| 3.9.8 | Paint | 294 |
| 3.9.9 | Weitere Bedienelemente von Programmen und Fenstern | 294 |</p>
<table>
<thead>
<tr>
<th>Chapter</th>
<th>Title</th>
<th>Pages</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>3.10</td>
<td>Ausblick: Java 7 und dann ...</td>
<td>295</td>
</tr>
<tr>
<td>3.10.1</td>
<td>Closures</td>
<td>295</td>
</tr>
<tr>
<td>3.10.2</td>
<td>Ausblick</td>
<td>299</td>
</tr>
<tr>
<td>4</td>
<td>Algorithmen und Datenstrukturen</td>
<td>303</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1</td>
<td>Suchalgorithmen</td>
<td>305</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.1</td>
<td>Lineare Suche</td>
<td>305</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.2</td>
<td>Exkurs: Runden, Logarithmen und Stellenzahl</td>
<td>307</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.3</td>
<td>Binäre Suche</td>
<td>308</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.4</td>
<td>Lineare Suche vs. binäre Suche</td>
<td>309</td>
</tr>
<tr>
<td>4.1.5</td>
<td>Komplexität von Algorithmen</td>
<td>310</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2</td>
<td>Einfache Sortierverfahren</td>
<td>313</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.1</td>
<td>Datensätze und Schlüssel</td>
<td>313</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.2</td>
<td>Invarianten und Assertions</td>
<td>316</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.3</td>
<td>BubbleSort</td>
<td>318</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.4</td>
<td>SelectionSort</td>
<td>320</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.5</td>
<td>InsertionSort</td>
<td>322</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.6</td>
<td>Laufzeitvergleiche der einfachen Sortieralgorithmen</td>
<td>324</td>
</tr>
<tr>
<td>4.2.7</td>
<td>ShellSort und CombSort</td>
<td>325</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3</td>
<td>Schnelle Sortieralgorithmen</td>
<td>326</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.1</td>
<td>Divide and Conquer – teile und herrsche</td>
<td>326</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.2</td>
<td>QuickSort</td>
<td>327</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.3</td>
<td>Die Partitionierung</td>
<td>328</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.4</td>
<td>Korrektheit von QuickSort</td>
<td>330</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.5</td>
<td>Komplexität von QuickSort</td>
<td>330</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.6</td>
<td>MergeSort</td>
<td>331</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.7</td>
<td>Stabilität und RadixSort</td>
<td>333</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.8</td>
<td>Optimalität von Sortieralgorithmen</td>
<td>334</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.9</td>
<td>Distribution Sort</td>
<td>335</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.10</td>
<td>Laufzeit der schnellen Sortieralgorithmen</td>
<td>338</td>
</tr>
<tr>
<td>4.3.11</td>
<td>Externe Sortieren</td>
<td>340</td>
</tr>
<tr>
<td>4.4</td>
<td>Abstrakte Datenstrukturen</td>
<td>341</td>
</tr>
<tr>
<td>4.4.1</td>
<td>Datenstruktur = Menge + Operationen</td>
<td>341</td>
</tr>
<tr>
<td>4.4.2</td>
<td>Die axiomatische Methode</td>
<td>342</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5</td>
<td>Stacks</td>
<td>343</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.1</td>
<td>Stackoperationen</td>
<td>343</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.2</td>
<td>Implementierung durch ein Array</td>
<td>345</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.3</td>
<td>Implementierung durch eine Liste</td>
<td>346</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.4</td>
<td>Auswertung von Postfix-Ausdrücken</td>
<td>347</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.5</td>
<td>Entrekursivierung</td>
<td>348</td>
</tr>
<tr>
<td>4.5.6</td>
<td>Stackpaare</td>
<td>349</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6</td>
<td>Queues, Puffer, Warteschlangen</td>
<td>350</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6.1</td>
<td>Implementierung durch ein „zirkuläres“ Array</td>
<td>351</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6.2</td>
<td>Implementierung durch eine zirkuläre Liste</td>
<td>352</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6.3</td>
<td>DeQues: Queues mit zwei gleichberechtigten Enden</td>
<td>353</td>
</tr>
<tr>
<td>4.6.4</td>
<td>Anwendung von Puffern</td>
<td>353</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>4.7</td>
<td>Container Datentypen</td>
<td>354</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.1</td>
<td>Listen</td>
<td>357</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.2</td>
<td>Einfach verkettete Listen</td>
<td>358</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.3</td>
<td>Listen als Verallgemeinerung von Stacks und Queues</td>
<td>363</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.4</td>
<td>Array-Listen</td>
<td>363</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.5</td>
<td>Doppelt verkettete Listen</td>
<td>364</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.6</td>
<td>Geordnete Listen und Skip-Listen</td>
<td>365</td>
</tr>
<tr>
<td>4.7.7</td>
<td>Adaptive Listen</td>
<td>366</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>4.8</td>
<td>Bäume</td>
<td>366</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.1</td>
<td>Beispiele von Bäumen</td>
<td>367</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.2</td>
<td>Binärbäume</td>
<td>368</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.3</td>
<td>Implementierung von Binärbäumen</td>
<td>369</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.4</td>
<td>Traversierungen</td>
<td>371</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.5</td>
<td>Kenngrößen von Binärbäumen</td>
<td>374</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.6</td>
<td>Binäre Suchbäume</td>
<td>375</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.7</td>
<td>Implementierung von binären Suchbäumen</td>
<td>376</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.8</td>
<td>Balancierte Bäume</td>
<td>382</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.9</td>
<td>AVL-Bäume</td>
<td>383</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.10</td>
<td>2-3-4-Bäume</td>
<td>385</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.11</td>
<td>B-Bäume</td>
<td>387</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.12</td>
<td>Vollständige Bäume</td>
<td>388</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.13</td>
<td>Heaps</td>
<td>389</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.14</td>
<td>HeapSort</td>
<td>392</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.15</td>
<td>Priority-Queues</td>
<td>393</td>
</tr>
<tr>
<td>4.8.16</td>
<td>Bäume mit variabler Anzahl von Teilbäumen</td>
<td>393</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>4.9</td>
<td>Graphen</td>
<td>394</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.1</td>
<td>Wege und Zusammenhang</td>
<td>396</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.2</td>
<td>Repräsentationen von Graphen</td>
<td>396</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.3</td>
<td>Traversierungen</td>
<td>399</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.4</td>
<td>Tiefensuche und Backtracking</td>
<td>399</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.5</td>
<td>Breitensuche</td>
<td>400</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.6</td>
<td>Transitive Hülle</td>
<td>401</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.7</td>
<td>Kürzeste Wege</td>
<td>402</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.8</td>
<td>Schwere Probleme für Handlungsreisende</td>
<td>405</td>
</tr>
<tr>
<td>4.9.9</td>
<td>Eine Implementierung des TSP</td>
<td>406</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td>4.10</td>
<td>Zeichenketten</td>
<td>410</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10.1</td>
<td>Array-Implementierung</td>
<td>410</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10.2</td>
<td>Nullterminierte Strings</td>
<td>410</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10.3</td>
<td>Stringoperationen</td>
<td>411</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10.4</td>
<td>Suchen in Zeichenketten</td>
<td>411</td>
</tr>
<tr>
<td>4.10.5</td>
<td>Der Boyer-Moore-Algorithmus</td>
<td>412</td>
</tr>
</tbody>
</table>
5 Rechnerarchitektur 415

5.1 Vom Transistor zum Chip ........................................ 415
  5.1.1 Chips .................................................................. 417
  5.1.2 Chipherstellung .................................................... 418
  5.1.3 Kleinste Chip-Strukturen ....................................... 419
  5.1.4 Chipfläche und Anzahl der Transistoren .................... 419
  5.1.5 Weitere Chip-Parameter ......................................... 420
  5.1.6 Speicherbausteine ............................................... 420
  5.1.7 Logikbausteine .................................................... 422
  5.1.8 Schaltungsentwurf ............................................... 423

5.2 Boolesche Algebra .................................................. 424
  5.2.1 Serien-parallele Schaltungen .................................. 424
  5.2.2 Serien-parallele Schaltglieder ................................. 425
  5.2.3 Schaltoperationen ............................................... 426
  5.2.4 Boolesche Terme ................................................ 426
  5.2.5 Schaltfunktionen ............................................... 427
  5.2.6 Gleichungen ..................................................... 427
  5.2.7 Dualität ......................................................... 428
  5.2.8 SP-Schaltungen sind monoton ............................... 429
  5.2.9 Negation ......................................................... 429
  5.2.10 Boolesche Terme .............................................. 430
  5.2.11 Dualitätsprinzip ............................................... 431
  5.2.12 Realisierung von Schaltfunktionen ......................... 431
  5.2.13 Konjunktive Normalform .................................... 432
  5.2.14 Algebraische Umwandlung in DNF oder KNF .......... 433
  5.2.15 Aussagenlogik ................................................. 434
  5.2.16 Mengenalgebra ................................................. 435

5.3 Digitale Logik ....................................................... 435
  5.3.1 Logikgatter ...................................................... 435
  5.3.2 Entwurf und Vereinfachung boolescher Schaltungen .... 437
  5.3.3 KV-Diagramme ................................................. 438
  5.3.4 Spezielle Schaltglieder ....................................... 440
  5.3.5 Gatter mit mehreren Ausgängen ............................ 441
  5.3.6 Codierer und Decodierer .................................... 442
  5.3.7 Addierer ........................................................ 443
  5.3.8 Logik-Gitter .................................................... 445
  5.3.9 Programmierbare Gitterbausteine .......................... 446

5.4 CMOS Schaltungen und VLSI Design ............................ 447
  5.4.1 Logikgatter in CMOS-Technik ................................ 448
  5.4.2 CMOS-Entwurf ................................................. 450
  5.4.3 Entwurf von CMOS Chips .................................... 451
  5.4.4 VLSI-Werkzeuge ............................................... 452
Inhalt

5.5  Sequentielle Logik ........................................... 454
  5.5.1 Gatterlaufzeiten ........................................ 454
  5.5.2 Rückgekoppelte Schaltungen ............................. 455
  5.5.3 Einfache Anwendungen von Flip-Flops .................. 457
  5.5.4 Technische Schwierigkeiten .............................. 458
  5.5.5 Synchron und asynchron Schaltungen .................... 459
  5.5.6 Getaktete Flip-Flops .................................... 460
  5.5.7 Zustandsautomaten ...................................... 461
  5.5.8 Entwurf sequentieller Schaltungen ....................... 462
  5.5.9 Eine Fußgängerampel ................................... 463
  5.5.10 Die Konstruktion der Hardwarekomponenten ............ 465
  5.5.11 Tristate Puffer ........................................ 465
  5.5.12 Speicherzellen ......................................... 466
  5.5.13 MOS-Implementierung von Speicherzellen ............... 467
  5.5.14 Register und adressierbarer Speicher ................... 469
  5.5.15 Die Arithmetisch-Logische Einheit ....................... 471

5.6  Von den Schaltgliedern zur CPU .............................. 476
  5.6.1 Busse ................................................... 477
  5.6.2 Mikrocodegesteuerte Operationen ......................... 478
  5.6.3 Der Zugang zum Hauptspeicher ............................ 480
  5.6.4 Der Mikrobefehlsspeicher – das ROM ...................... 483
  5.6.5 Sprünge ................................................ 483
  5.6.6 Berechnete Sprünge ..................................... 484
  5.6.7 Der Adreßrechner ....................................... 486
  5.6.8 Ein Mikroprogramm ..................................... 486
  5.6.9 Maschinenbefehle ....................................... 488
  5.6.10 Der Maschinenspracheinterpretierer ..................... 489
  5.6.11 Argumente .............................................. 491

5.7  Assemblerprogrammierung .................................... 491
  5.7.1 Maschinesprache und Assembler ........................ 492
  5.7.2 Register der 80x86-Familie .............................. 493
  5.7.3 Assemblerbefehle ....................................... 494
  5.7.4 Mehrzweckregister und Spezialregister .................. 495
  5.7.5 Flag-Register ......................................... 496
  5.7.6 Arithmetische Flags ................................... 497
  5.7.7 Größenvergleiche ...................................... 498
  5.7.8 Logische Operationen ................................... 500
  5.7.9 Sprünge ................................................ 501
  5.7.10 Struktur eines vollständigen Assemblerprogrammes ... 502
  5.7.11 Ein Beispielprogramm .................................. 503
  5.7.12 Testen von Assemblerprogrammen ....................... 505
  5.7.13 Speicheradressierung .................................. 506
  5.7.14 Operationen auf Speicherblöcken ....................... 507
  5.7.15 Multiplikation und Division ............................ 508
## 5.7.16 Shift-Operationen ........................................... 509
## 5.7.17 LOOP-Befehle ............................................. 510
## 5.7.18 Der Stack ................................................ 511
## 5.7.19 Einfache Unterprogramme ............................... 512
## 5.7.20 Parameterübergabe und Stack .......................... 514
## 5.7.21 Prozeduren und Funktionen ............................. 515
## 5.7.22 Makros .................................................. 516

## 5.8 RISC-Architekturen ......................................... 517
## 5.8.1 CISC .................................................... 517
## 5.8.2 Von CISC zu RISC ....................................... 518
## 5.8.3 RISC-Prozessoren ....................................... 519
## 5.8.4 Pipelining ............................................... 520
## 5.8.5 Superskalare Architekturen ............................. 521
## 5.8.6 Cache-Speicher ......................................... 522
## 5.8.7 Leistungsvergleiche ..................................... 522
## 5.8.8 Konkrete RISC-Architekturen ......................... 523

## 5.9 Architektur der Intel-PC-Mikroprozessorfamilie ....... 526
## 5.9.1 Datenstrukturen und Befehle des Pentium ........... 527
## 5.9.2 MMX- und SSE-Befehle .................................. 528
## 5.9.3 Adressierung ............................................ 529
## 5.9.4 Die Segmentierungseinheit ............................. 529
## 5.9.5 Adressübersetzung ...................................... 531
## 5.9.6 Betriebsarten des Pentium ............................. 531

## 6 Betriebssysteme .................................................. 537
## 6.1 Basis-Software ............................................ 538
## 6.2 Betriebsarten ............................................... 540
## 6.2.1 Teilhaberbetrieb ....................................... 540
## 6.2.2 Client-Server-Systeme ................................ 541
## 6.3 Verwaltung der Ressourcen ................................ 542
## 6.3.1 Dateisystem ............................................. 543
## 6.3.2 Dateioperationen ....................................... 544
## 6.3.3 Prozesse und Threads ................................... 545
## 6.3.4 Vom Programm zum Prozess ............................ 545
## 6.3.5 Prozessverwaltung ..................................... 546
## 6.3.6 Prozesskommunikation .................................. 549
## 6.3.7 Kritische Abschnitte – wechselseitiger Ausschluss .. 550
## 6.3.8 Semaphore und Monitore ................................ 552
## 6.3.9 Deadlocks .............................................. 553
## 6.3.10 Speicherverwaltung .................................... 554
## 6.3.11 Paging .................................................. 555
## 6.3.12 Page faults ............................................. 558
6.4 Das Betriebssystem UNIX .................................................. 559
  6.4.1 Linux ........................................................................... 559
  6.4.2 Das UNIX-Dateisystem ................................................ 560
  6.4.3 Dateinamen ................................................................. 561
  6.4.4 Dateirechte ................................................................. 561
  6.4.5 Namen und Pfade ....................................................... 563
  6.4.6 Special files ............................................................... 564
  6.4.7 Externe Dateisysteme ................................................ 564
  6.4.8 UNIX-Shells ............................................................... 564
  6.4.9 UNIX-Kommandos ...................................................... 565
  6.4.10 Optionen ................................................................. 566
  6.4.11 Datei-Muster ............................................................ 566
  6.4.12 Standard-Input/Standard-Output ................................. 567
  6.4.13 Dateibearbeitung ...................................................... 568
  6.4.14 Reguläre Ausdrücke ................................................ 569

6.5 UNIX-Prozesse ............................................................... 570
  6.5.1 Pipes .......................................................................... 570
  6.5.2 Sind Pipes notwendig? ................................................ 572
  6.5.3 Prozess-Steuerung ...................................................... 574
  6.5.4 Multitasking .............................................................. 576
  6.5.5 UNIX-Shell-Programmierung ....................................... 577
  6.5.6 Die C-Shell ............................................................... 578
  6.5.7 Kommando-Verknüpfungen ........................................ 578
  6.5.8 Variablen ..................................................................... 579
  6.5.9 Shell-Scripts ............................................................. 580
  6.5.10 Ausführung von Shell-Scripts ...................................... 581
  6.5.11 UNIX-Kommandos und Shell-Kommandos ...................... 581
  6.5.12 UNIX als Mehrbenutzersystem .................................... 582
  6.5.13 UNIX-Tools ............................................................. 583
  6.5.14 Editoren ................................................................. 583
  6.5.15 C und C++ ............................................................. 585
  6.5.16 Scanner- und Parsergeneratoren ................................. 586
  6.5.17 Projektbearbeitung ................................................... 587

6.6 X Window System ............................................................ 588
  6.6.1 Window-Manager und Terminal Emulator ....................... 589
  6.6.2 Grafische Oberflächen ................................................ 590

6.7 MS-DOS und MS-Windows .................................................. 591
  6.7.1 Dynamic Link Libraries .............................................. 592
  6.7.2 Object Linking and Embedding .................................... 592
  6.7.3 Windows NT, Windows 2000 ....................................... 593
  6.7.4 Windows XP ............................................................ 594
  6.7.5 Windows Vista und Windows 7 ..................................... 595

6.8 Alternative PC-Betriebssysteme .......................................... 596
7 Rechnernetze 599
7.1 Rechner-Verbindungen ........................................ 600
7.1.1 Signalübertragung .......................................... 600
7.1.2 Physikalische Verbindung ................................ 602
7.1.3 Synchronisation ............................................. 604
7.1.4 Bitcodierungen ............................................. 604
7.2 Datenübertragung mit Telefonleitungen .................... 606
7.2.1 ISDN ...................................................... 606
7.2.2 DSL, ADSL und T-DSL ..................................... 608
7.3 Protokolle und Netze ........................................... 609
7.3.1 Das OSI-Modell ........................................... 610
7.3.2 Netze ..................................................... 612
7.3.3 Netztopologien ............................................ 613
7.3.4 Netze von Netzen ......................................... 615
7.3.5 Zugriffserfahren ......................................... 618
7.3.6 Wettkampfverfahren: CSMA-CD .......................... 618
7.4 Netztechnologien .............................................. 620
7.4.1 Ethernet .................................................. 620
7.4.2 FDDI .................................................... 621
7.4.3 ATM ..................................................... 621
7.4.4 SONET/SDH ............................................. 623
7.5 Drahtlose Netze .............................................. 625
7.5.1 Bluetooth ................................................. 625
7.5.2 WLAN Standards ......................................... 626
7.5.3 Access Points ............................................. 627
8 Das Internet 631
8.0.1 Bildung von Standards im Internet ...................... 632
8.1 Die TCP/IP Protokolle ........................................ 634
8.1.1 Die Protokolle TCP und UDP ............................ 635
8.1.2 Das IP Protokoll ......................................... 637
8.2 IP-Adressen .................................................. 639
8.2.1 Adressklassen ........................................... 639
8.2.2 Adressübersetzung ....................................... 641
8.3 Das System der Domain-Namen .............................. 645
8.3.1 DNS-lookup in Java .................................... 647
8.3.2 Programmierung einer TCP-Verbindung ................ 649
8.4 Intranet, Firewall und virtuelle private Netzwerke ........ 653
8.5 Die Dienste im Internet ..................................... 655
8.5.1 E-Mail .................................................. 655
8.5.2 News .................................................... 659
8.5.3 FTP ..................................................... 660
8.5.4 Secure Shell .............................................. 661
8.5.5 Gopher .................................................. 661
8.6 Das World Wide Web .................................... 662
  8.6.1 HTTP .................................................. 664
  8.6.2 HTML .................................................. 665
  8.6.3 Die Struktur eines HTML-Dokumentes .......... 668
  8.6.4 Querverweise: Links ................................ 669
  8.6.5 Tabellen und Frames ................................ 670
  8.6.6 Formulare .......................................... 672
  8.6.7 Style Sheets ........................................ 673
  8.6.8 Weitere Möglichkeiten von HTML ............ 674
8.7 Web-Programmierung .................................. 674
  8.7.1 JavaScript ........................................... 674
  8.7.2 Applets .............................................. 677
  8.7.3 Die Struktur eines Applets ....................... 678
  8.7.4 Der Lebenszyklus eines Applets ............... 679
  8.7.5 Interaktionen ........................................ 679
  8.7.6 PHP .................................................. 681
  8.7.7 XML ................................................ 684
  8.7.8 DOM, Ajax und Web 2.0 ............................. 692
9 Theoretische Informatik und Compilerbau 695
  9.1 Analyse von Programmtexten ....................... 695
    9.1.1 Lexikalische Analyse .............................. 696
    9.1.2 Syntaxanalyse ..................................... 697
  9.2 Reguläre Sprachen .................................... 698
    9.2.1 Reguläre Ausdrücke ................................ 699
    9.2.2 Automaten und ihre Sprachen .................... 701
    9.2.3 Implementierung endlicher Automaten .......... 703
    9.2.4 $\varepsilon$-Transitionen und nichtdeterministische Automaten 704
    9.2.5 Automaten für reguläre Sprachen ............... 704
    9.2.6 Von nichtdeterministischen zu deterministischen Automaten . 705
    9.2.7 Anwendung: flex .................................... 706
  9.3 Kontextfreie Sprachen ................................. 707
    9.3.1 Kontextfreie Grammatiken ....................... 708
    9.3.2 Ableitungen ........................................ 709
    9.3.3 Stackautomaten (Kellerautomaten) ............ 710
    9.3.4 Stackautomaten für beliebige kontextfreie Sprachen .... 712
    9.3.5 Nichtdeterministische Algorithmen und Backtracking . 712
    9.3.6 Inhärent nichtdeterministische Sprachen .... 715
    9.3.7 Ableitungbaum, Syntaxbaum ...................... 715
    9.3.8 Abstrakte Syntaxbäume ........................... 716
9.4 Grundlagen des Compilerbaus
9.4.1 Parsen durch rekursiven Abstieg (recursive descent)
9.4.2 LL(1)-Grammatiken
9.4.3 Äquivalente Grammatiken
9.4.4 Top-down und bottom-up
9.4.5 Shift-Reduce Parser
9.4.6 Die Arbeitsweise von Shift-Reduce-Parsern
9.4.7 Bottom-up Parsing
9.4.8 Konflikte
9.4.9 Ein nichtdeterministischer Automat mit Stack
9.4.10 Übergang zum deterministischen Automaten
9.4.11 Präzedenz
9.4.12 LR(1) und LALR(1)
9.4.13 Parsergeneratoren
9.4.14 lex/flex & yacc/bison
9.4.15 Grammatische Aktionen
9.4.16 Fehlererkennung
9.4.17 Synthetisierte Werte
9.4.18 Symboltabellen
9.4.19 Codeoptimierung

9.5 Berechenbarkeit
9.5.1 Berechenbare Funktionen
9.5.2 Beispiele berechenbarer Funktionen
9.5.3 Diagonalisierung
9.5.4 Nicht berechenbare Funktionen
9.5.5 Algorithmenbegriff und Churchsche These
9.5.6 Turingmaschinen
9.5.7 Turing-Post Programme
9.5.8 Turing-berechenbare Funktionen
9.5.9 Registermaschinen
9.5.10 GOTO-Programme
9.5.11 While-Programme
9.5.12 For-Programme (Loop-Programme)
9.5.13 Effiziente Algorithmen als For-Programme
9.5.14 Elementare (primitive) Rekursion
9.5.15 Allgemeine Rekursion (µ-Rekursion)
9.5.16 Die Ackermannfunktion
9.5.17 Berechenbare Funktionen – Churchsche These
9.5.18 Gödelisierung
9.5.19 Aufzählbarkeit und Entscheidbarkeit
9.5.20 Unlösbare Aufgaben
9.5.21 Semantische Probleme sind unentscheidbar

9.6 Komplexitätstheorie
9.6.1 Rückführung auf ja/nein-Probleme
<table>
<thead>
<tr>
<th>XXII</th>
<th>Inhalt</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
<tr>
<td>9.6.2</td>
<td>Entscheidungsprobleme und Sprachen .................................. 766</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.3</td>
<td>Maschinenmodelle und Komplexitätsmaße ................................. 767</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.4</td>
<td>Sprachen und ihre Komplexität ........................................... 768</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.5</td>
<td>Effiziente parallele Lösungen ............................................ 768</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.6</td>
<td>Nichtdeterminismus .......................................................... 770</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.7</td>
<td>Die Klasse NP ................................................................. 771</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.8</td>
<td>Reduzierbarkeit ............................................................... 772</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.9</td>
<td>Der Satz von Cook ........................................................... 774</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.10</td>
<td>NP-Vollständigkeit ............................................................ 776</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.11</td>
<td>CLIQUE ist NP-vollständig .................................................... 776</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.12</td>
<td>Praktische Anwendung von SAT-Problemen ................................ 777</td>
</tr>
<tr>
<td>9.6.13</td>
<td>P = NP ? .............................................................................. 780</td>
</tr>
<tr>
<td>10.1</td>
<td>Datenbanken und Datenbanksysteme .......................................... 781</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2</td>
<td>Datenmodelle .......................................................................... 783</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.1</td>
<td>Entity/Relationship-Modell .................................................... 783</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.2</td>
<td>Das Relationale Datenbankmodell ............................................ 785</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.3</td>
<td>Relationen .............................................................................. 786</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.4</td>
<td>Die relationale Algebra .......................................................... 787</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.5</td>
<td>Erweiterungen des relationalen Datenmodells ............................. 788</td>
</tr>
<tr>
<td>10.2.6</td>
<td>Vom E/R-Datenmodell zu einem relationalen Modell ................... 788</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3</td>
<td>Die Anfragesprache SQL ........................................................... 789</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.1</td>
<td>Datendefinition ...................................................................... 789</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.2</td>
<td>Einfache Anfragen .................................................................. 791</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.3</td>
<td>Gruppierung und Aggregate ..................................................... 792</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.4</td>
<td>Verknüpfung verschiedener Relationen ....................................... 793</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.5</td>
<td>Einfügen, Ändern und Löschen von Datensätzen ........................... 793</td>
</tr>
<tr>
<td>10.3.6</td>
<td>Mehrbenutzerbetrieb ............................................................... 794</td>
</tr>
<tr>
<td>10.4</td>
<td>Anwendungsprogrammierung in Java .......................................... 796</td>
</tr>
<tr>
<td>10.4.1</td>
<td>Das SQL-Paket in Java ............................................................ 797</td>
</tr>
<tr>
<td>10.4.2</td>
<td>Aufbau einer Verbindung ......................................................... 798</td>
</tr>
<tr>
<td>10.4.3</td>
<td>Anfragen .............................................................................. 799</td>
</tr>
<tr>
<td>10.5</td>
<td>Zusammenfassung .................................................................... 800</td>
</tr>
<tr>
<td>11.1</td>
<td>Hardware .............................................................................. 801</td>
</tr>
<tr>
<td>11.1.1</td>
<td>Auflösungen .......................................................................... 801</td>
</tr>
<tr>
<td>11.1.2</td>
<td>Farben ................................................................................... 802</td>
</tr>
<tr>
<td>11.2</td>
<td>Rastergrafik und Vektorgrafik ................................................... 803</td>
</tr>
<tr>
<td>11.2.1</td>
<td>Umrechnung in Rastergrafik ...................................................... 804</td>
</tr>
<tr>
<td>11.2.2</td>
<td>Bresenham Algorithmus ............................................................ 805</td>
</tr>
<tr>
<td>11.2.3</td>
<td>Quadtrees und Octrees ............................................................ 806</td>
</tr>
</tbody>
</table>
11.3 Einfache Programmierbeispiele ........................................... 807
11.3.1 Mandelbrot- und Julia-Mengen ................................. 810
11.3.2 Turtle-Grafik ......................................................... 813
11.3.3 L-Systeme .............................................................. 814
11.3.4 Ausblick ............................................................... 818

11.4 3-D-Grafikprogrammierung ............................................. 818
11.4.1 Sichtbarkeit ....................................................... 819
11.4.2 Beleuchtungsmodelle ........................................... 820
11.4.3 Ray-Tracing ....................................................... 822
11.4.4 Photon-Mapping .................................................. 823
11.4.5 Die Radiosity Methode ........................................ 825
11.4.6 Ausblick ............................................................... 825

12 Softwareentwicklung .......................................................... 827
12.1 Herausforderungen an die Softwareentwicklung ............... 828
12.2 Softwareentwicklungsprozesse ........................................ 830
12.2.1 Wasserfallmodelle ............................................... 830
12.2.2 Nichtsequentielle Vorgehensmodelle ......................... 833
12.2.3 Modelle zur inkrementellen Softwareentwicklung .......... 834
12.3 Anforderungsanalyse .................................................... 837
12.4 Objektorientierte Softwareentwicklungsmethoden ............ 838
12.4.1 Prinzipien der Objektorientierung ............................ 839
12.4.2 Standardisierung der objektorientierten Modellierung .... 839
12.4.3 Die Modellierungssprache UML .................................. 840
12.5 Grundprinzipien des Softwareentwurfs ......................... 844
12.5.1 Strukturierte Programmierung .................................. 844
12.5.2 Schrittweise Verfeinerung und Top-Down-Entwurf .......... 844
12.5.3 Geheimnisprinzip, Datenabstraktion und Modularisierung 845
12.5.4 Softwarearchitektur .............................................. 846
12.5.5 Entwurfsmuster ..................................................... 847
12.5.6 Frameworks und Bibliotheken .................................. 847
12.6 Qualitätssicherung von Softwaresystemen .................... 848
12.6.1 Testen von Softwaresystemen .................................. 850
12.6.2 Qualitätsnormen und Zertifizierung ......................... 852
12.7 Projektmanagement ...................................................... 853
12.7.1 Projektinitialisierung und -planung .......................... 854
12.7.2 Projektsteuerung und -koordination ......................... 854
12.7.3 Projektabschluss und -bericht ................................ 855
12.8 Versionsverwaltung von Softwareprojekten ................. 855
12.9 Softwarewartung und -evolution .................................. 856
## Literatur

| A.1 | Einführende Bücher | 857 |
| A.2 | Lehrbücher der Informatik | 857 |
| A.3 | Programmieren in Java und anderen Sprachen | 858 |
| A.4 | Algorithmen und Datenstrukturen | 859 |
| A.5 | Rechnerarchitektur | 859 |
| A.6 | Betriebssysteme | 860 |
| A.7 | Rechnernetze | 861 |
| A.8 | Internet | 861 |
| A.9 | Theoretische Informatik und Compilerbau | 862 |
| A.10 | Datenbanken | 863 |
| A.11 | Grafikprogrammierung | 864 |
| A.12 | Software-Entwicklung | 864 |
| A.13 | Mathematischer Hintergrund | 866 |

### Stichwortverzeichnis

867