

Alfred Nischwitz  
Max Fischer  
Peter Haberäcker

# Computergrafik und Bildverarbeitung

**Alles für Studium und Praxis -  
Bildverarbeitungswerkzeuge,  
Beispiel-Software und interaktive  
Vorlesungen online verfügbar**

Mit 378 Abbildungen

2., verbesserte und erweiterte Auflage



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>Zusammenhang Computergrafik - Bildverarbeitung</b>	<b>6</b>
2.1 Bildverarbeitung auf programmierbarer Grafikhardware . . . . .	7
2.2 Simulation von kameragesteuerten Geräten. . . . .	10
2.3 Bilddatencodierung . . . . .	14
2.4 Bildbasiertes Rendering . . . . .	19
Computergrafik	25
<b>Interaktive 3D-Computergrafik</b>	<b>27</b>
3.1 Harte Echtzeit . . . . .	28
3.2 Weiche Echtzeit . . . . .	31
<b>Anwendungen interaktiver 3D-Computergrafik</b>	<b>32</b>
4.1 Ausbildungs-Simulation . . . . .	32
4.2 Entwicklungs-Simulation . . . . .	34
4.3 Unterhaltung . . . . .	36
4.4 Telepräsenz . . . . .	36
4.5 Daten-Visualisierung . . . . .	37
4.6 Augmented Reality . . . . .	38
4.7 Datenübertragung . . . . .	39
<b>Einführung in die 3D-Computergrafik mit OpenGL</b>	<b>41</b>
5.1 OpenGL Kurzbeschreibung . . . . .	43
5.2 Die OpenGL Rendering Pipeline. . . . .	45
5.2.1 Display Listen . . . . .	46
5.2.2 Vertex-Operationen . . . . .	46
5.2.3 Pixel-Operationen. . . . .	46
5.2.4 Textur-Speicher. . . . .	47
5.2.5 Rasterisierung . . . . .	47
5.2.6 Fragment-Operationen. . . . .	47

5.2.7	Bildspeicher	48j
5.3	Die OpenGL Kommando Syntax	48=
5.4	Ergänzende Literaturhinweise	49
<b>Geometrische Grundobjekte</b>		<b>51</b>
6.1	3D-Modellierungsmethoden	51
6.1.1	Planare Polygone	51
6.1.2	Gekrümmte Polygone	52
6.1.3	Volumendarstellung	53
6.1.4	Konstruktive Körpergeometrie	54
6.2	Geometrische Grundobjekte in OpenGL	54
6.2.1	Vertex-Definition in OpenGL	56
6.2.2	Grafik-Primitive in OpenGL	57
6.2.3	Programmierbeispiele	59
6.3	Tipps zur Verwendung der Grafik-Primitive	74
6.3.1	Rendering-Geschwindigkeit	74
6.3.2	Vertex Arrays	75
6.3.3	Konsistente Polygon-Orientierung	76
6.3.4	Koordinaten-Berechnungen offline	76
6.3.5	Oberflächen-Tessellierung	77
6.3.6	Lücken	77
6.3.7	Hinweise zum glBegin/glEnd-Paradigma	78
6.4	Modellierung komplexer 3D-Szenarien	79
<b>Koordinatensysteme und Transformationen</b>		<b>80</b>
7.1	Definition des Koordinatensystems	80
7.2	Transformationen im Überblick	81
7.3	Mathematische Grundlagen	83
7.3.1	Homogene Koordinaten	83
7.3.2	Transformations-Matrizen	84
7.4	Modell-Transformationen	86
7.4.1	Translation	86
7.4.2	Rotation	87
7.4.3	Skalierung	89
7.4.4	Reihenfolge der Transformationen	91
7.5	Augenpunkt-Transformationen	93
7.6	Projektions-Transformationen	94
7.6.1	Orthografische Projektion (Parallel-Projektion)	94
7.6.2	Perspektivische Projektion	95
7.6.3	Normierung	100
7.7	Viewport-Transformation	101
7.8	Matrizen-Stapel	103

	<b>Verdeckung</b>	<b>108</b>
	8.1 Der z-Buffer Algorithmus . . . . .	109
	8.2 Die Implementierung des z-Buffer Algorithmus . . . . .	112
	8.3 Einsatzmöglichkeiten des z-Buffer Algorithmus . . . . .	113
	8.3.1 Entfernen aller Vorderteile . . . . .	114
	8.3.2 Höhenkarten generieren . . . . .	114
	8.3.3 Volumenmessung . . . . .	116
	8.3.4 Oberflächenmessung . . . . .	117
	8.3.5 Entfernungsmessung . . . . .	118
	<b>Farbe, Transparenz und Farbmischung</b>	<b>119</b>
	9.1 Das Farbmodell in OpenGL . . . . .	119
	9.2 Modelle der Farbdarstellung . . . . .	122
	9.2.1 Der RGBA-Modus . . . . .	122
	9.2.2 Der Farb-Index-Modus . . . . .	122
	9.2.3 Wahl zwischen RGBA- und Farb-Index-Modus . . . . .	123
	9.2.4 Farbspezifikation im RGBA-Modus . . . . .	123
	9.2.5 Farbspezifikation im Farb-Index-Modus . . . . .	126
	9.3 Transparenz und Farbmischung . . . . .	127
	9.3.1 Farbmischung in OpenGL . . . . .	127
	9.3.2 Beispiele für Farbmischungen . . . . .	130
	9.3.3 Transparente Texturen . . . . .	136
	9.3.4 3D-Probleme bei der Farbmischung . . . . .	137
	<b>Anti-Aliasing</b>	<b>140</b>
	10.1 Aliasing-Effekte . . . . .	140
	10.2 Gegenmaßnahmen - Anti-Aliasing . . . . .	144
	10.2.1 Pre-Filterungs-Methode: Flächenabtastung . . . . .	144
	10.2.2 Post-Filterungs-Methoden . . . . .	146
<b>m</b>	<b>Nebel und atmosphärische Effekte</b>	<b>151</b>
	11.1 Anwendungen . . . . .	151
	11.2 Nebel in OpenGL . . . . .	153
	<b>Beleuchtung und Schattierung</b>	<b>159</b>
	12.1 Beleuchtungsmodelle . . . . .	160
	12.1.1 Physikalische Optik und Näherungen der Computergrafik . . . . .	160
	12.1.2 Lokale und globale Beleuchtungsmodelle . . . . .	169
	12.1.3 Das Standard-Beleuchtungsmodell in OpenGL . . . . .	171
	12.2 Schattierungsverfahren . . . . .	191
<b>it</b>	12.2.1 Flat-Shading . . . . .	192
<b>1</b>	12.2.2 Smooth-/Gouraud-Shading . . . . .	193
	12.2.3 Phong-Shading . . . . .	199

12.3	Programmierbare Shader. . . . .	2Ü
12.3.1	Shading Programmiersprachen . . . . .	
12.3.2	Realisierung eines Phong-Shaders in Cg . . . . .	
<b>13</b>	<b>Texturen</b>	<b>2Ü</b>
13.1	Foto-Texturen (Image Texturing). . . . .	<b>21</b>
13.1.1	Spezifikation der Textur. . . . .	<b>21</b>
13.1.2	Textur-Filter. . . . .	
13.1.3	Gauß-Pyramiden-Texturen (MipMaps). . . . .	<b>231<sup>a</sup></b>
13.1.4	Textur-Fortsetzungsmodus (Texture Wraps). . . . .	236
13.1.5	Mischung von Textur- und Beleuchtungsfarbe (Texture Environment)	239
13.1.6	Zuordnung von Texturkoordinaten. . . . .	242
13.1.7	Einschalten des Texture Mappings. . . . .	253
13.1.8	Textur-Objekte. . . . .	254
13.2	Mehrfach-Texturierung (Multitexturing). . . . .	256
13.3	Projektive Texturen (Projective Texture). . . . .	260
13.4	Umgebungs-Texturen (Environment Maps). . . . .	262
13.4.1	Sphärische Texturierung (Sphere Mapping). . . . .	263
13.4.2	Kubische Texturierung (Cube Mapping). . . . .	266
13.5	Relief-Texturierung (Bump Mapping). . . . .	270
13.6	Schatten-Texturierung (Shadow Mapping). . . . .	277
<b>14</b>	<b>Animationen</b>	<b>279</b>
14.1	Animation und Double Buffering. . . . .	279
14.2	Animationstechniken . . . . .	283
14.2.1	Bewegung eines starren Objektes - Pfadanimation. . . . .	284
14.2.2	Bewegung von Gelenken eines Objektes - Artikulation. . . . .	286
14.2.3	Verformung von Oberflächen - Morphing . . . . .	288
14.2.4	Bewegung von Objektgruppen: Schwärme und Partikelsysteme. . . . .	290
<b>15</b>	<b>Beschleunigungsverfahren</b>	<b>293</b>
15.1	Szenen Graphen. . . . .	296
15.2	Cull Algorithmen. . . . .	299
15.2.1	Viewing Frustum Culling . . . . .	301
15.2.2	Occlusion Culling . . . . .	303
15.2.3	Backface Culling . . . . .	307
15.2.4	Portal Culling . . . . .	308
15.2.5	Detail Culling . . . . .	309
15.3	Level Of Detail (LOD). . . . .	310
15.3.1	Switch LOD. . . . .	312
15.3.2	Fade LOD. . . . .	313
15.3.3	MorphLOD. . . . .	314

15.4	Billboards	315
15.5	Multiprozessorsysteme	319
15.6	Geschwindigkeits-Optimierung	324
15.6.1	Leistungsmessung	324
15.6.2	Optimierungsmaßnahmen	329
<b>Literatur zu Teil I</b>		<b>334</b>
<b>I II</b>	<b>Bildverarbeitung</b>	<b>339</b>
<b>16</b>	<b>Digitale Bilddaten</b>	<b>341</b>
16.1	Prinzipielle Vorgehensweise	341
16.1.1	Sensoren	341
16.1.2	Digitalisierung	342
16.1.3	Vorverarbeitung der Rohdaten	342
16.1.4	Berechnung von Merkmalen	342
16.1.5	Segmentierung des Bildes	343
16.1.6	Kompakte Speicherung der Segmente	343
16.1.7	Beschreibung der Segmente	343
16.1.8	Synthese von Objekten	343
16.1.9	Ableitung einer Reaktion	344
16.1.10	Schlussbemerkung zu Abschnitt 16.1	344
16.2	Unterabtastung und Quantisierung	344
16.3	Digitalisierung von Schwarz/Weiß-Bilddaten	348
16.4	Digitalisierung von Grautonbildern	352
16.5	Farbbilder	357
16.5.1	Farbe: Physikalische Aspekte	358
16.5.2	Farbe: Physiologische Aspekte	358
16.5.3	Das CIE-Farbdreieck	360
16.5.4	Das RGB-Farbmodell	363
16.5.5	Das CMY-Farbmodell	365
16.5.6	Das YIQ-Farbmodell	366
16.5.7	Das HSI-Farbmodell	366
16.5.8	Mathematisches Modell für Farbbilder	368
16.6	Multispektral- und mehrkanalige Bilder	370
16.7	Bildfolgen	373
16.8	Weitere mathematische Modelle für Bilder	375
16.8.1	Bilder als reelle Funktionen zweier reeller Variablen	375
16.8.2	Bilder als (diskrete) Funktionen zweier diskreter Variablen	376
16.8.3	Bilder als Zufallsprozesse	376

16.9	Bildliche Reproduktion von digitalisierten Bildern . . . . .	380
16.9.1	Geräte zur Bilddarstellung . . . . .	380
16.9.2	Ausdrucken der Grauwerte. . . . .	381
16.9.3	Ausgabe von logischen Bildern . . . . .	383
16.9.4	Zeilendruckerausgabe von Grauwertbildern. . . . .	384
16.9.5	Halbtonverfahren . . . . .	385
16.10	Datenreduktion und Datenkompression. . . . .	388
16.11	Charakterisierung digitalisierter Bilder. . . . .	389
16.11.1	Mittelwert und mittlere quadratische Abweichung . . . . .	389
16.11.2	Histogramme. . . . .	392
16.11.3	Entropie. . . . .	394
16.11.4	Grauwertematrix (co-occurrence-Matrix). . . . .	396
<b>17</b>	<b>Modifikation der Grauwerte</b>	<b>399</b>
17.1	Anwendungen. . . . .	399
17.2	Grundlagen der Grauwerttransformation. . . . .	400
17.3	Lineare Skalierung . . . . .	401
17.4	Äquidensiten ( <i>gray level slicing</i> ). . . . .	406
17.5	Erzeugen von Binärbildern. . . . .	412
17.6	Logarithmische und exponentielle Skalierung. . . . .	419
17.7	Ebenen der Grauwerte. . . . .	421
17.8	Grauwertskalierung mit Hochpassfilterung. . . . .	426
17.9	Kalibrierung der Grauwerte. . . . .	428
17.10	Berechnung einer neuen Grauwertmenge. . . . .	432
17.11	Rekonstruktion des höchstwertigen Bit . . . . .	434
17.12	Differenzbildung. . . . .	434
<b>18</b>	<b>Operationen im Ortsbereich</b>	<b>438</b>
18.1	Anwendungen. . . . .	440
18.2	Grundlagen: Filteroperationen im Ortsbereich. . . . .	440
18.3	Glätten der Grauwerte eines Bildes. . . . .	443
18.4	Differenzenoperatoren. . . . .	448
18.5	Elimination isolierter Bildpunkte. . . . .	453
18.6	Elimination gestörter Bildzeilen. . . . .	454
18.7	Bildakkumulation bei Bildfolgen. . . . .	456
<b>19</b>	<b>Mathematische Morphologie</b>	<b>457</b>
19.1	Anwendungen. . . . .	457
19.2	Grundlagen: Mathematische Morphologie. . . . .	457
19.3	Mediän Filter. . . . .	461
19.4	Dilatation und Erosion im Binärbild. . . . .	463
19.5	Morphologie im Grauwertbild. . . . .	465

<b>20 Kanten und Linien</b>	<b>469</b>
20.1 Anwendungen	469
20.2 Grundlegendes über Kanten und Linien	469
20.3 Einfache Verfahren zur Kantenextraktion	474
20.4 Parallele Kantenextraktion	475
20.5 Gradientenbetrag und Gradientenrichtung	480
20.6 Der Canny-Kantendetektor	486
20.7 Kanten und Linien mit morphologischen Operationen	490
20.7.1 Extraktion des Randes von Segmenten	490
20.7.2 Verarbeitung von Linien	492
20.8 Skelettierung mit morphologischen Operationen	492
20.9 Skelettierung mit der Euler'schen Charakteristik	499
20.10 Relaxation	502
20.11 Houghtransformation	506
20.12 Verallgemeinerte Houghtransformation	512
20.12.1 Parametrisierung der Referenzstruktur	512
20.12.2 Akkumulierende Abbildung der Merkmalspunkte	513
20.12.3 Auswertung des Akkumulators	513
20.13 Erweiterte Houghtransformation	514
20.13.1 Erweiterte Houghtransformation der Randpunkte	514
20.13.2 Erweiterung auf flächenhaft gegebene Segmente	519
20.14 Sequentielle Kantenextraktion, Linienverfolgung	521
20.15 Abschließende Bemerkungen zu Kanten und Linien	526
<b>21 Operationen im Frequenzbereich</b>	<b>527</b>
21.1 Anwendungen	527
21.2 Lineare Approximation	527
21.3 Trigonometrische Approximationsfunktionen	530
21.4 Diskrete zweidimensionale Fouriertransformation	532
21.5 Digitale Filterung im Ortsfrequenzbereich	534
21.6 Zusammenhang mit dem Ortsbereich	536
21.7 Logarithmische Filterung	542
21.8 Inverse und Wiener Filterung	542
21.9 Diskrete, zweidimensionale Cosinustransformation	543
<b>22 Modifikation der Ortskoordinaten</b>	<b>547</b>
22.1 Anwendungen	547
22.2 Grundlegende Problemstellung	547
22.3 Vergrößerung, Verkleinerung	548
22.4 Affine Abbildungen	551

22.5	Interpolation mit Polynomen . . . . .	552
22.5.1	Polynome . . . . .	552
22.5.2	Ausgleichsrechnung . . . . .	555
22.5.3	Beurteilung der Qualität . . . . .	556
22.5.4	Vermessung der Passpunkte . . . . .	559
22.6	Abschließende Bemerkungen . . . . .	560
<b>23</b>	<b>Szenenanalyse</b>	<b>561</b>
23.1	Einleitung, Beispiele, Merkmale . . . . .	561
<b>24</b>	<b>Merkmale: Grauwert und Farbe</b>	<b>567</b>
24.1	Anwendungen . . . . .	567
24.2	Merkmal: Grauwert . . . . .	568
24.3	Merkmal: Farbe . . . . .	570
24.4	Reduktion der Farben in einem Farbbild durch Vorquantisierung . . . . .	573
24.5	Indexbilder . . . . .	574
24.5.1	Die Farbhäufigkeitsverteilung eines Farbbildes . . . . .	576
24.5.2	Erstellen einer Farb-Look-Up-Tabelle . . . . .	578
24.5.3	Abbildung der Farben des Originalbildes in die Farbtabelle . . . . .	580
24.5.4	Segmentierung des Originalbildes . . . . .	581
24.5.5	Segmentierung des Originalbildes mit Dithering . . . . .	582
24.5.6	Unüberwachte Klassifikatoren zur Reduktion der Farben . . . . .	583
<b>25</b>	<b>Merkmale aus mehrkanaligen Bildern</b>	<b>585</b>
25.1	Anwendungen . . . . .	585
25.2	Summe, Differenz, Ratio . . . . .	585
25.3	Verknüpfung von Kanälen bei logischen Bildern . . . . .	589
25.4	Die Hauptkomponententransformation . . . . .	589
<b>26</b>	<b>Merkmale aus Bildfolgen</b>	<b>597</b>
26.1	Anwendungen . . . . .	597
26.2	Akkumulation und Differenz . . . . .	598
26.3	Merkmal: Bewegung . . . . .	600
26.4	Differentielle Ermittlung von Verschiebungsvektoren . . . . .	603
26.5	Blockmatching . . . . .	605
<b>27</b>	<b>Merkmale aus Umgebungen: Texturen</b>	<b>611</b>
27.1	Anwendungen . . . . .	611
27.2	Grundlagen zu Texturmerkmalen . . . . .	611
27.3	Streuung (Varianz) . . . . .	613

27.4	Gradient . . . . .	<b>613</b>
27.5	Kantendichte. . . . .	<b>615</b>
27.6	Autokorrelation. . . . .	618
27.7	Abschlussbemerkung zu den einfachen Texturmaßen. . . . .	618
<b>28</b>	<b>Gauß- und Laplace-Pyramiden</b>	<b>621</b>
28.1	Anwendungen . . . . .	621
28.2	Begriffe aus der Signaltheorie. . . . .	622
28.3	Motivation für Gauß- und Laplace-Pyramiden. . . . .	623
28.4	Der REDUCE-Operator. . . . .	624
28.5	Der EXPAND-Operator. . . . .	625
28.6	Rekonstruktion des Originalbildes. . . . .	629
28.7	Implementierung des REDUCE-Operators. . . . .	632
28.8	Implementierung des EXPAND-Operators. . . . .	635
28.9	Frequenzverhalten und Wahl des freien Parameters $a$ . . . . .	638
28.10	Anwendungsbeispiele zu den Laplace-Pyramiden . . . . .	642
28.10.1	Verwendung einzelner Schichten. . . . .	642
28.10.2	Mosaicing. . . . .	642
28.10.3	Multifokus. . . . .	645
28.10.4	Glättungsoperationen in Laplace-Pyramiden . . . . .	648
28.10.5	Texturen und Segmentierung . . . . .	648
<b>29</b>	<b>Scale Space Filtering</b>	<b>663</b>
29.1	Anwendungen . . . . .	663
29.2	Grundlagen: Fraktale Geometrie. . . . .	663
29.3	Implementierung des Scale Space Filtering. . . . .	669
29.3.1	Ermittlung der Größe der Grundtextur. . . . .	672
29.3.2	Ermittlung der Gauß-Filterkerne. . . . .	673
29.3.3	Berechnung der Oberflächen der Grauwertfunktion. . . . .	675
29.3.4	Berechnung des Skalenparameters. . . . .	675
29.3.5	Beispiele und Ergebnisse. . . . .	676
<b>30</b>	<b>Baumstrukturen</b>	<b>681</b>
30.1	Anwendungen. . . . .	681
30.2	Aufbau von Baumstrukturen . . . . .	681
30.3	Regionenorientierte Bildsegmentierung mit quad trees. . . . .	687
<b>31</b>	<b>Segmentierung und numerische Klassifikation</b>	<b>696</b>
31.1	Grundlegende Problemstellung . . . . .	696
<b>31.2</b>	<b>Klassifizierungsstrategien überwacht</b> . . . . .	<b>700</b>
31.3	Klassifizierungsstrategien unüberwacht . . . . .	702
31.4	Überwachtes und unüberwachtes Lernen. . . . .	706

31.5	<i>Der Minimum-Distance-Klassifikator.</i>	706
31.6	<i>Maximum-Likelihood-Klassifikator.</i>	714
31.7	Der Quader-Klassifikator.	719
31.8	Beurteilung der Ergebnisse.	722
31.9	Ergänzungen.	723
<b>32</b>	<b>Klassifizierung mit neuronalen Netzen</b>	<b>724</b>
32.1	Grundlagen: Künstliche neuronale Netze.	724
32.1.1	Prinzipieller Aufbau.	724
32.1.2	Adaline und Madaline.	725
32.1.3	Das Perceptron.	730
32.1.4	Backpropagation.	732
32.2	Neuronale Netze als Klassifikatoren.	735
32.2.1	Verarbeitung von Binärbildern.	736
32.2.2	Verarbeitung von mehrkanaligen Bildern.	742
<b>33</b>	<b>Segmentierung mit Fuzzy Logic</b>	<b>749</b>
33.1	Anwendungen.	749
33.2	Grundlagen: Fuzzy Logic.	749
33.2.1	Einführende Beispiele.	749
33.2.2	Definitionen und Erläuterungen.	751
33.3	Fuzzy Klassifikator.	758
<b>34</b>	<b>Run-Length-Coding</b>	<b>764</b>
34.1	Anwendungen.	764
34.2	Run-Length-Codierung.	766
34.2.1	Prinzipielle Problemstellung und Implementierung.	766
34.2.2	Vereinzelung von Segmenten.	769
34.2.3	Effiziente Vereinzelung mit Union-Find-Algorithmen.	773
<b>35</b>	<b>Einfache segmentbeschreibende Parameter</b>	<b>776</b>
35.1	Anwendungen.	776
35.2	Flächeninhalt.	777
35.3	Flächenschwerpunkt.	777
35.4	Umfang.	779
35.5	Kompaktheit.	779
35.6	Orientierung.	779
35.7	Fourier-Transformation der Randpunkte.	781
35.8	Chain-Codierung.	782
35.9	Momente.	784
35.10	Euler'sche Charakteristik.	790
35.11	Auswahl mit morphologischen Operationen.	791
35.12	Segmentbeschreibung mit Fuzzy Logic.	792

<b>36 Das Strahlenverfahren</b>	<b>793</b>
36.1 Anwendungen	793
36.2 Prinzipieller Ablauf des Strahlenverfahrens	794
36.3 Aufbau des Merkmalsvektors für ein Segment	795
36.4 Klassifizierungs- / Produktionsphase	800
36.5 Strahlenverfahren: Ein Beispiel	800
<b>37 Neuronale Netze und Segmentbeschreibung</b>	<b>804</b>
37.1 Anwendungen	804
37.2 Prinzipieller Ablauf	804
37.3 Trainingsdaten und Training	806
37.4 Die Produktions- (Recall-) Phase	807
37.5 Ein Beispiel: Unterscheidung von Schrauben	807
<b>38 Kaiman-Filter</b>	<b>811</b>
38.1 Grundidee	811
38.2 Anwendungen	812
38.2.1 Tracking	812
38.2.2 3D-Rekonstruktion aus Bildfolgen	817
38.2.3 Bilddatencodierung	818
38.3 Theorie des diskreten Kaiman-Filters	820
38.3.1 Das System	820
38.3.2 Die Messung	820
38.3.3 Die Schätzfehler-Gleichungen	820
38.3.4 Optimales Schätzfilter von Kaiman	821
38.3.5 Gleichungen des Kaiman-Filters	822
38.3.6 Das erweiterte Kaiman-Filter (EKF)	824
38.4 Konkrete Beispiele	825
38.4.1 Schätzung einer verrauschten Konstante	826
38.4.2 Schätzung einer Wurfparabel	829
38.4.3 Bildbasierte Navigation	832
<b>39 Zusammenfassen von Segmenten zu Objekten</b>	<b>840</b>
39.1 Bestandsaufnahme und Anwendungen	840
39.2 Einfache, heuristische Vorgehensweise	843
39.3 Strukturelle Verfahren	845
39.3.1 Die Mustererkennungskomponente	847
39.3.2 Die statische und dynamische Wissensbasis	848
39.3.3 Die Reaktionskomponente	849
39.3.4 Die Verwaltungskomponente	849
39.3.5 Die Interaktionskomponente	849
39.3.6 Die Dokumentationskomponente	850
39.3.7 Ein Beispiel	850