

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</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
<b>I</b>	<b>Computergrafik</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>Interaktive 3D-Computergrafik</b>	<b>27</b>
3.1	Harte Echtzeit . . . . .	28
3.2	Weiche Echtzeit . . . . .	31
<b>4</b>	<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>5</b>	<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 . . . . .	48
5.3	Die OpenGL Kommando Syntax . . . . .	48
5.4	Ergänzende Literaturhinweise . . . . .	49
<b>6</b>	<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>7</b>	<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>8</b>	<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>9</b>	<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>10</b>	<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>11</b>	<b>Nebel und atmosphärische Effekte</b>	<b>151</b>
11.1	Anwendungen . . . . .	151
11.2	Nebel in OpenGL . . . . .	153
<b>12</b>	<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
12.2.1	Flat-Shading . . . . .	192
12.2.2	Smooth-/Gouraud-Shading . . . . .	193
12.2.3	Phong-Shading . . . . .	199

12.3	Programmierbare Shader . . . . .	200
12.3.1	Shading Programmiersprachen . . . . .	202
12.3.2	Realisierung eines Phong-Shaders in Cg . . . . .	204
<b>13</b>	<b>Texturen</b>	<b>215</b>
13.1	Foto-Texturen (Image Texturing) . . . . .	217
13.1.1	Spezifikation der Textur . . . . .	219
13.1.2	Textur-Filter . . . . .	228
13.1.3	Gauß-Pyramiden-Texturen (MipMaps) . . . . .	231
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	Morph LOD . . . . .	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>II Bildverarbeitung</b>		 <b>339</b>
<b>16 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	Zeilendrucker Ausgabe 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 ( <i>co-occurrence</i> -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	Median 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 . . . . .	613
27.5	Kantendichte . . . . .	615
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 <i>quad trees</i> . . . . .	687
<b>31</b>	<b>Segmentierung und numerische Klassifikation</b>	<b>696</b>
31.1	Grundlegende Problemstellung . . . . .	696
31.2	Klassifizierungsstrategien überwacht . . . . .	700
31.3	Klassifizierungsstrategien unüberwacht . . . . .	702
31.4	Überwachtes und unüberwachtes Lernen . . . . .	706

31.5	Der Minimum-Distance-Klassifikator . . . . .	706
31.6	Maximum-Likelihood-Klassifikator . . . . .	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 Kalman-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 Kalman-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 Kalman . . . . .	821
38.3.5 Gleichungen des Kalman-Filters . . . . .	822
38.3.6 Das erweiterte Kalman-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

39.4 Bildverarbeitungssysteme im Einsatz . . . . .	852
<b>Literatur zu Teil II</b>	<b>854</b>
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>858</b>