



Henning Bässmann  
Philipp W. Besslich

# Bildverarbeitung Ad Oculos

Mit 150 Abbildungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Dr.-Ing. Henning Bässmann  
Prof. Dr.-Ing. Philipp W. Besslich

Universität Bremen, FB-1  
Institut für Theoretische Elektrotechnik  
und Digitale Systeme  
Arbeitsgruppe »Digitale Systeme«  
Kufsteiner Straße  
2800 Bremen 33

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme  
Bässmann, Henning:  
Bildverarbeitung ad oculos / H. Bässmann ; P.W. Besslich.

ISBN 978-3-540-54176-9      ISBN 978-3-662-42589-3 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-42589-3

NE: Besslich, Philipp:

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1991

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Satz: Reproduktionsfertige Vorlage der Autoren

68/3020 543210 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

# Vorwort

Seit Mitte der sechziger Jahre ist die digitale Bildverarbeitung Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Nicht zuletzt aufgrund der notwendigen Rechnerressourcen blieb sie zunächst ein ausgeprägtes Spezialistengebiet. Mit der enormen Weiterentwicklung der Rechnerleistungen wuchs auch das Interesse daran, den Computern das „Sehen“ zu lehren. Insbesondere in den letzten Jahren ist deshalb die Zahl wissenschaftlicher Arbeiten und Monografien zur Bildverarbeitung außerordentlich angestiegen. Parallel zu dieser Entwicklung hielt die digitale Bildverarbeitung Einzug in die industrielle Praxis: 1991 fand zum vierten Mal eine Fachmesse für industrielle Bildverarbeitung auf deutschem Boden statt. Trotzdem ist die digitale Bildverarbeitung nach wie vor eher Tummelplatz von Spezialisten. Entsprechend schwierig ist der Einstieg. Hier möchte das vorliegende Buch Hilfestellung geben, indem es Ihnen die Bildverarbeitung „vor Augen führt“ (*ad oculos*).

Das heutige Wissen über die digitale Bildverarbeitung ähnelt ein wenig dem Zustand der Alchemie vor dem 18ten Jahrhundert:

- Das Gebiet der digitalen Bildverarbeitung ist schwer einzugrenzen. Einige Autoren zählen bereits die Beschäftigung mit Lichtschranken dazu.
- Es existiert kein theoretisches Gebäude (vergleichbar z.B. den Maxwellschen Gleichungen in der Elektrotechnik), aus dem heraus neue Verfahren deduziert werden könnten.
- Zur Entwicklung guter Verfahren bedarf es eher handwerklicher Fähigkeiten: Man muß ein „Gefühl“ für die Handwerkzeuge und ihre Einsatzfähigkeit entwickeln. Als Beispiel sei hier der sog. Median-Operator genannt. Er arbeitet in einigen Einsatzfeldern der Rauschunterdrückung wesentlich besser als klassische Filterverfahren, ist allerdings formal nicht greifbar, da der Kern des Operators ein Sortieralgorithmus ist.
- Die Terminologie ist uneinheitlich. Viele Verfahren erhalten immer wieder neue Namen, obwohl sie sich oftmals nur marginal von bereits bestehenden Verfahren unterscheiden.

## VI

- Ein „klassisches“ Lehrbuch der Bildverarbeitung existiert nicht, und um es gleich vorweg zu nehmen: Das vorliegende Buch ist bewußt nicht als Lehrbuch im klassischen Sinne konzipiert.

Aufgabe der wissenschaftlichen Forschung ist es, diesen „alchemistischen“ Zustand in einen „chemischen“ zu überführen, also neues Wissen zu *schaffen*. Aufgabe der Lehre (und mithin Anliegen des vorliegenden Buches) ist es, den aktuellen Stand des Wissens zu *vermitteln*. Dabei beachten wir zwei Fakten:

- Insbesondere in Deutschland beobachtet man immer wieder die Tendenz, das *Vermitteln* von Wissen zu sehr mit dem *Schaffen* desselben zu verquicken. Lernen ist allerdings eher ein induktiver Vorgang, während der wissenschaftlichen Arbeit eher ein deduktives Vorgehen zugrunde liegt. So gesehen erhebt das vorliegende Buch den Anspruch, völlig *unwissenschaftlich* zu sein.
- Die Art der Vermittlung muß dem Zustand und dem Charakter des jeweiligen Stoffes angepaßt sein. Das Buch ist aus Unterrichtsmaterialien zu einer Einführungsvorlesung hervorgegangen. So konnten wir Erfahrungen aus den Lehrveranstaltungen bei der Abfassung berücksichtigen und auf öfter begangene Irrtümer besonders hinweisen.

Dieses Buch beschreibt eine Reihe grundlegender Werkzeuge der digitalen Bildverarbeitung, jedoch ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Das didaktische Konzept spiegelt sich bereits in der Aufteilung des Buches wider. Hier stehen in sich abgeschlossene Kapitel gleichberechtigt nebeneinander. Die einzelnen Kapitel beziehen sich nur ausnahmsweise aufeinander und können größtenteils isoliert verstanden werden. Abgesehen vom ersten, einführenden Kapitel geht jedes weitere Kapitel nach folgender Strategie vor:

- Es beginnt mit einem *Überblick* für diejenigen Leser, die schnell ein erstes Verständnis gewinnen wollen.
- Darauf folgt eine Vertiefung des Stoffes anhand von *Beispielen*. Hier wird die Arbeitsweise der im Überblick vorgestellten Verfahren an ausgesuchten Grauwertbildern demonstriert.
- Die nun folgende Beschreibung der *Realisierung* der Verfahren auf einem Rechner soll zur eigenen Beschäftigung mit dem Stoff animieren. Erst das gewährleistet ein wirkliches Verständnis und ist ein erster Schritt zur Beherrschung des Handwerks.
- Der jeweils letzte Abschnitt (*Ergänzungen*) dient primär Hinweisen zur weiteren Arbeit (Literatur, mathematisches Handwerkszeug, etc.).

Der dritte Punkt, nämlich die Beschreibung der Verfahrensrealisierung bedarf noch eines besonderen Hinweises. Im Mittelpunkt stehen hier C-Prozeduren, die es erlauben, die Funktion des jeweils zugrundeliegenden Verfahrens bis in die Details hinein nachzuvollziehen. Sie dienen außerdem der immens wichtigen Vermittlung der Tatsache, daß Computer völlig anders „sehen“ als Menschen und deshalb einige Probleme besser, viele andere aber leider wesentlich schlechter lösen.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die dargestellten Prozeduren maschinenunabhängig und primär auf die Zwecke der Wissensvermittlung zugeschnitten sind. Sie können zwar als Kern einer Anwendung dienen, müssen allerdings gut „verpackt“ werden. Das ist insbesondere notwendig, um ausreichende Robustheit gegen „unsaubere“ Daten jeglicher Art zu gewährleisten.

Diese Notwendigkeit spiegelt auch die passend zum Buch erhältliche Software AdOculus wider (Informationen zum Bezug von AdOculus finden Sie am Ende des Buches). Sie bietet die Möglichkeit, sämtliche beschriebene Verfahren unter der Standardoberfläche Microsoft Windows 3.0 durchzuführen und verwendet hierzu die im vorliegenden Buch beschriebenen Prozeduren. Der Quellcode derselben stellt allerdings höchstens ein Zehntel des Quellcodes des Gesamtsystems dar.

Die Mindestanforderungen für den Betrieb von AdOculus sind ein Personal-Computer PC-AT der mit einer Platte, 1 MB Arbeitsspeicher, einer VGA-Karte, einer Maus und Windows 3.0 ausgerüstet ist. Für praktische Anwendungen seien ein AT386, eine schnelle Platte, 4 MB Speicher, ein mathematischer Co-Prozessor, eine erweiterte VGA-Karte (256 Farben bei hoher Auflösung), eine Maus, Windows 3.0 und natürlich Windows-Treiber für die Grafik-Karte empfohlen. Diese Anforderungen sind zwar nicht gerade niedrig, für eine über didaktische Zwecke hinausgehende Beschäftigung mit der Bildverarbeitung aber unumgänglich.

Zum Digitalisieren von Bildern benötigen Sie unabhängig von AdOculus Zusatzhardware wie z.B. Frame-Grabber oder Scanner.

Mit dem vorliegenden Buch haben wir uns u.a. Praxisrelevanz zum Ziel gesetzt. In diesem Zusammenhang ist es außerordentlich wichtig, dem Lernenden die großen Unterschiede zwischen den prinzipiellen Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung und den „rauen“ Randbedingungen der industriellen Bildverarbeitung vor Augen zu führen. Zu diesem Zweck sind im Anhang fünf Beispiele aus der industriellen Praxis beschrieben. Für die Überlassung dieser Beispiele sind wir den im *Bremer Arbeitskreis Bildverarbeitung* (BAB) zusammengeschlossenen Firmen DST Deutsche Systemtechnik GmbH, Innovationstechnik Gesellschaft für Automation m.b.H., Krupp Atlas Elektronik GmbH, STN Systemtechnik Nord / MSG Marine- und Sondertechnik GmbH sowie Optis Optische Systemtechnik GmbH & Co. KG zu besonderem Dank verpflichtet.

## VIII

Die Firma DBS Digitale Bildverarbeitung und Systementwicklung GmbH ist mit unserem Institut partnerschaftlich verbunden: Sie realisierte AdOculus. Für die außergewöhnlich produktive Zusammenarbeit danken wir den Kollegen von DBS.

Die Entstehung des Buches wurde befruchtet durch Diskussionen mit wissenschaftlichen Mitarbeitern und Diplomanden unseres Instituts. Besonderer Dank gebührt Christian Backeberg für seine Beiträge zur Bereichssegmentierung, Wolfgang Bothmer für seine Arbeiten zur morphologischen Bildverarbeitung und Bereichssegmentierung sowie Siegfried Meyer für seine Unterstützung im Bereich der Mustererkennung.

Sämtliche Zeichnungen wurden von Christine Stinner angefertigt. Ihr gebührt ein besonderer Dank.

Dem Springer-Verlag danken wir für das Eingehen auf unsere zum Teil unkonventionellen Wünsche.

Bremen, im Juni 1991

H. Bässmann      Ph. W. Besslich

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Grundaufbau eines Bildverarbeitungssystems . . . . .	2
1.2	Digitale Bilder . . . . .	6
1.3	Rahmen-Prozedur . . . . .	9
1.4	Hinweise zu den Beispielprozeduren . . . . .	11
	Literatur zu Kapitel 1 . . . . .	11
<b>2</b>	<b>Punktoperationen</b>	<b>13</b>
2.1	Überblick . . . . .	13
2.2	Beispiele für Punktoperationen . . . . .	13
2.3	Realisierung von Punktoperationen . . . . .	16
2.4	Ergänzungen zu Punktoperationen . . . . .	17
	Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	18
<b>3</b>	<b>Lokale Operatoren</b>	<b>19</b>
3.1	Überblick . . . . .	19
3.1.1	Lineare Operatoren . . . . .	21
3.1.2	Nichtlineare Operatoren . . . . .	23
3.2	Beispiele lokaler Operatoren . . . . .	25
3.2.1	Lineare Operatoren . . . . .	25
3.2.2	Nichtlineare Operatoren . . . . .	25



3.3	Realisierung lokaler Operatoren . . . . .	28
3.3.1	Lineare Operatoren . . . . .	28
3.3.2	Nichtlineare Operatoren . . . . .	28
3.4	Ergänzungen zu lokalen Operatoren . . . . .	30
	Literatur zu Kapitel 3 . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Globale Operatoren</b>	<b>32</b>
4.1	Überblick . . . . .	32
4.2	Beispiel globaler Operatoren . . . . .	33
4.3	Realisierung globaler Operatoren . . . . .	37
4.4	Ergänzungen zu globalen Operatoren . . . . .	37
	Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	39
<b>5</b>	<b>Bereichssegmentierung</b>	<b>40</b>
5.1	Überblick . . . . .	40
5.1.1	Schwellwertoperationen . . . . .	41
5.1.2	Zusammenhangsanalyse . . . . .	42
5.1.3	Merkmalsextraktion . . . . .	42
5.2	Beispiele zur Bereichssegmentierung . . . . .	44
5.2.1	Schwellwertoperationen . . . . .	44
5.2.2	Zusammenhangsanalyse . . . . .	46
5.2.3	Merkmalsextraktion . . . . .	46
5.3	Realisierung der Bereichssegmentierung . . . . .	47
5.3.1	Schwellwertoperationen . . . . .	47
5.3.2	Zusammenhangsanalyse . . . . .	56
5.3.3	Merkmalsextraktion . . . . .	63

5.4	Ergänzungen zur Bereichssegmentierung . . . . .	67
5.4.1	Schwellwertoperationen . . . . .	67
5.4.2	Zusammenhangsanalyse . . . . .	68
5.4.3	Merkmalsextraktion . . . . .	69
	Literatur zu Kapitel 5 . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Kontursegmentierung</b>	<b>71</b>
6.1	Überblick . . . . .	71
6.1.1	Konturpunktdetektion . . . . .	71
6.1.2	Konturverdünnung . . . . .	74
6.1.3	Konturpunktverkettung . . . . .	76
6.1.4	Konturapproximation . . . . .	77
6.2	Beispiele zur Kontursegmentierung . . . . .	77
6.2.1	Konturpunktdetektion . . . . .	77
6.2.2	Konturverdünnung . . . . .	77
6.2.3	Konturpunktverkettung . . . . .	80
6.2.4	Konturapproximation . . . . .	80
6.3	Realisierung der Kontursegmentierung . . . . .	80
6.3.1	Konturpunktdetektion . . . . .	80
6.3.2	Konturverdünnung . . . . .	83
6.3.3	Konturpunktverkettung . . . . .	88
6.3.4	Konturapproximation . . . . .	90
6.4	Ergänzungen zur Kontursegmentierung . . . . .	93
6.4.1	Konturpunktdetektion . . . . .	93
6.4.2	Konturaufbesserung . . . . .	95
6.4.3	Konturpunktverkettung . . . . .	97
6.4.4	Konturapproximation . . . . .	98
6.4.5	Andere Konturverfahren . . . . .	98
	Literatur zu Kapitel 6 . . . . .	99

<b>7 Hough-Transformation</b>	<b>101</b>
7.1 Überblick . . . . .	101
7.2 Beispiele zur Hough-Transformation . . . . .	106
7.3 Realisierung der Hough-Transformation . . . . .	109
7.4 Ergänzungen zur Hough-Transformation . . . . .	118
Literatur zu Kapitel 7 . . . . .	121
<b>8 Morphologische Bildverarbeitung</b>	<b>122</b>
8.1 Überblick . . . . .	122
8.1.1 Binäre morphologische Verfahren . . . . .	122
8.1.2 Morphologische Verarbeitung von Grauwertbildern . . . . .	127
8.2 Beispiele zur morphologischen Bildverarbeitung . . . . .	131
8.2.1 Binäre morphologische Verfahren . . . . .	131
8.2.2 Morphologische Verarbeitung von Grauwertbildern . . . . .	131
8.3 Realisierung morphologischer Verfahren . . . . .	134
8.3.1 Binäre morphologische Verfahren . . . . .	134
8.3.2 Morphologische Verarbeitung von Grauwertbildern . . . . .	134
8.4 Ergänzungen zur morphologischen Bildverarbeitung . . . . .	137
8.4.1 Binäre morphologische Verfahren . . . . .	137
8.4.2 Morphologische Verarbeitung von Grauwertbildern . . . . .	140
Literatur zu Kapitel 8 . . . . .	142
<b>9 Texturanalyse</b>	<b>143</b>
9.1 Überblick . . . . .	143
9.2 Beispiele zur Texturanalyse . . . . .	147
9.3 Realisierung der Texturanalyse . . . . .	150
9.4 Ergänzungen zur Texturanalyse . . . . .	155
Literatur zu Kapitel 9 . . . . .	156

<b>10 Mustererkennung</b>	<b>157</b>
10.1 Überblick . . . . .	157
10.2 Beispiele zur Mustererkennung . . . . .	162
10.3 Realisierung der Mustererkennung . . . . .	166
10.4 Ergänzungen zur Mustererkennung . . . . .	171
Literatur zu Kapitel 10 . . . . .	182
<b>11 Bildfolgenverarbeitung</b>	<b>183</b>
11.1 Überblick . . . . .	183
11.2 Beispiele zur Bildfolgenverarbeitung . . . . .	187
11.3 Realisierung der Bildfolgenverarbeitung . . . . .	187
11.4 Ergänzungen zur Bildfolgenverarbeitung . . . . .	195
Literatur zu Kapitel 11 . . . . .	198

## **Anhang**

<b>A Beispiele aus der industriellen Bildverarbeitung</b>	<b>200</b>
A.1 Positionierung von Glasfasern . . . . .	200
A.1.1 Problemstellung . . . . .	200
A.1.2 Randbedingungen . . . . .	201
A.1.3 Problemlösung . . . . .	201
A.2 Abgleich von Tintenstrahldruckern . . . . .	207
A.2.1 Problemstellung . . . . .	207
A.2.2 Randbedingungen . . . . .	208
A.2.3 Problemlösung . . . . .	209
A.3 Vollständigkeitskontrolle im Karosseriebau . . . . .	213
A.3.1 Problemstellung . . . . .	213
A.3.2 Randbedingungen . . . . .	213
A.3.3 Problemlösung . . . . .	215

A.4	Lagenversatzmessungen an Multilayer-Platinen . . . . .	218
A.4.1	Problemstellung . . . . .	219
A.4.2	Randbedingungen . . . . .	219
A.4.3	Problemlösung . . . . .	219
A.5	Vermessung von Fahrzeugen . . . . .	223
A.5.1	Problemstellung . . . . .	223
A.5.2	Randbedingungen . . . . .	224
A.5.3	Problemlösung . . . . .	224
<b>B</b>	<b>Prozeduren zur allgemeinen Verwendung</b>	<b>228</b>
B.1	Definitionen . . . . .	228
B.2	Speicherverwaltung . . . . .	229
B.3	Die Prozeduren <b>MaxAbs</b> und <b>MinAbs</b> . . . . .	230
B.4	Diskreter Arcus-Tangens . . . . .	230
B.5	Generierung eines digitalen Geradenstücks . . . . .	232
B.6	FFT-Prozedur . . . . .	233
<b>C</b>	<b>Variationsrechnung</b>	<b>235</b>
Literatur zu Anhang C	. . . . .	241
<b>D</b>	<b>Regeln zur Integration</b>	<b>242</b>
<b>E</b>	<b>Taylor-Entwicklung/Totales Differential</b>	<b>243</b>
<b>F</b>	<b>Gauß-Seidel-Iterationsverfahren</b>	<b>245</b>
Literatur zu Anhang F	. . . . .	246
<b>G</b>	<b>Mehrdimensionale Gauß-Funktion</b>	<b>247</b>
Literatur zu Anhang G	. . . . .	247
	<b>Sachregister</b>	<b>248</b>