

Verfahren zur Farbanpassung für Electronic Publishing-Systeme

Von dem Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik

der Universität Hannover

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

genehmigte

Dissertation

von

Dipl.-Ing. Wolfgang Wölker

geb. am 7. Juli 1957, in Herford

1999

Referent: Prof. Dr.-Ing. C.-E. Liedtke
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. K. Jobmann
Tag der Promotion: 18.01.1999

Kurzfassung

Zukünftige Publikationssysteme benötigen leistungsstarke Verfahren zur Farbbildbearbeitung, um den hohen Durchsatz insbesondere der elektronischen Medien bewältigen zu können.

Dieser Beitrag beschreibt ein System für die automatisierte Farbmanipulation von Einzelbildern. Die derzeit vorwiegend manuell ausgeführten Aktionen werden durch hochsprachliche Vorgaben ersetzt, die vom System interpretiert und ausgeführt werden. Basierend auf einem hier vorgeschlagenen Grundwortschatz zur Farbmanipulation sind Modifikationen und Erweiterungen des Wortschatzes durch neue abstrakte Begriffe möglich. Die Kombination mehrerer bekannter Begriffe zu einem neuen abstrakten Begriff führt dabei zu funktionserweiternden, komplexen Aktionen. Darüber hinaus prägen diese Ergänzungen den individuellen Wortschatz des jeweiligen Anwenders. Durch die hochsprachliche Schnittstelle findet eine Entkopplung der Benutzervorgaben von der technischen Umsetzung statt. Die farbverarbeitenden Methoden lassen sich so im Hinblick auf die verwendeten Farbmodelle optimieren. Statt der bisher üblichen medien- und gerätetechnisch bedingten Farbmodelle kann nun z.B. das visuell adaptierte CIE(1976)-L*a*b*-Modell genutzt werden. Die damit möglichen farbverarbeitenden Methoden erlauben umfangreiche und wirksame Eingriffe in die Farbdarstellung des Bildes.

Zielsetzung des Verfahrens ist es, unter Verwendung der vorgeschlagenen Benutzerschnittstelle, die teilweise wenig anschauliche Parametrisierung bestimmter Farbmodelle, durch einen hochsprachlichen Zugang zu ersetzen, der den Anwender bei der Farbbearbeitung unterstützt und den Experten entlastet.

Ebenfalls in dieser Arbeit beschrieben sind Bildverarbeitungsmodule zur Farbkorrektur, Farbneutralisation und Farbsegmentierung, mit denen die Voraussetzungen für eine effiziente Durchführung der Farbmanipulation geschaffen werden können. Die mit der Einführung dieser Verarbeitungsschritte gleichzeitig erfolgte funktionale Trennung schafft eine eindeutig Farbdarstellung innerhalb der Verarbeitungsphase.

Schlagwörter

- Wissensbasierte Farbbildbearbeitung
- Farbmanagement
- Electronic Publishing

Abstract

Electronic publishing systems of the near future have a need for improved methods for color management, handling and processing to keep pace with the increasing demand for color images driven by the electronic publishing industry.

This thesis describes a computer-controlled system for automated color adjustment and color manipulation of images. At the moment current practice for this task is the manual method. The described system replaces the manual part of adjusting color curves for each color with language based instructions, which are automatically interpreted and executed by the computer. A small and compact set of high-level language expressions describing color space manipulations is introduced as a 'color language'. To increase its flexibility and power it is possible to expand and modify this language by adding new abstract terms thus extending the vocabulary of the language. Two or more terms can be combined to a new abstract term representing a new complex functionality. These extensions allow to meet a wide range of user needs. One obvious advantage of this technique is that color model and processing parameters are matched by individual language terms. This creates the opportunity to optimise the color algorithms in use and to allow the application of visually adapted color models, such as CIE(1976)-L*a*b*, instead of simple RGB or CMYK models. Algorithms covered by this technology include a wide range of color manipulations thus improving the possibilities for modifications and representation of color in images.

The design goal for the system presented in this thesis was to provide support for the 'normal user' as well as for the 'color expert' to efficiently handle color manipulations. This is done by introducing a new friendly human interface which links direct access to color parameters and color curves to color algorithms through a high-level expandable 'color language'.

Additionally modules for color management and color segmentation are described. They are needed to cover basic algorithms in image processing and to arrive at color adjustments for a balanced color representation of the image. The introduction of these modules allows at the same time to define a color processing workflow with a clearly defined color representation at each step.

Keywords

- knowledgebased color imageprocessing
- color management
- electronic publishing

Vorwort

Die vorliegende Dissertation, angesiedelt im Bereich der Farbbildverarbeitung, entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung der Universität Hannover.

Herrn Prof. Dr.-Ing. C.-E. Liedtke danke ich für die Betreuung der Arbeit und den wissenschaftlichen Freiraum bei der Ausrichtung der Themen. Ihm, sowie dem Institutsleiter Herrn Prof. Dr.-Ing. H. G. Musmann und Herrn Prof. Dr.-Ing. P. Pirsch gebührt mein Dank besonders für die krisensichere Bereitstellung der stets hervorragenden Arbeitsbedingungen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Jobmann danke ich für sein Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Korreferates.

Einen nicht zu unterschätzenden Punkt bei der Erstellung einer Dissertation stellt das unmittelbare Umfeld dar. Allen Kolleginnen und Kollegen, die mit ihren Diskussionen, kritischen Anmerkungen, Fragen und Antworten und vor allem mit ständiger hoher Hilfsbereitschaft zum Gelingen beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle meinen Dank ausdrücken. Hierzu gehören insbesondere auch die Studenten, deren Studien- und Diplomarbeiten ich während der Zeit betreuen durfte.

Hannover, im Jan. 1999

Wolfgang Wölker

Anmerkung zum Layout

Aus drucktechnischen Gründen konnte die Farbbild-Ausgabe der Print-Version nur im einseitigen Druck erfolgen. Um trotzdem die Abbildungen an den vorgesehenen Textstellen zu belassen, sind hierdurch diverse Leerseiten bedingt. Nur um identische Seitenangaben bei der elektronischen Version zu ermöglichen, finden sich diese Leerseiten auch in der elektronischen PDF-Version wieder.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung, Motivation und Zielsetzung	3
1.2	Abgrenzung der Aufgabe	5
1.3	Aufbau der Arbeit	6
2	Farbe	9
2.1	Normfarbsystem: CIE(1931) XYZ	10
2.2	Farbordnungssysteme	13
2.3	Farbmodelle	14
2.3.1	RGB-Modell	15
2.3.2	CMY(K)-Modell	18
2.3.3	YUV-Modell	20
2.3.4	YIQ-Modell	21
2.3.5	HSX-Modelle	22
2.3.6	CIE(1976) L*a*b* und CIE(1976) L*u*v*	24
2.3.7	CIE(1976) HCL-Modelle	31
2.3.8	CIE(1964) U*V*W*	31
2.3.9	Spezielle Farbmodelle	32
2.4	Gegenüberstellung der Farbrepräsentationsformen	32
3	Anforderungsprofil des Farbbearbeitungssystems	35
3.1	Architektur für ein Konzept zur Farbbildbearbeitung	35

3.2	Globale Systemarchitektur	40
3.3	Stand der Technik	42
3.4	Lösungsansätze und Strategien	48
4	Ein System zur Farbmanipulation	53
4.1	Beschreibungsformen der Farbmanipulation	54
4.1.1	Farbmanipulation über Gradationskurven	54
4.1.2	Farbmanipulation über Auswahltabellen	58
4.1.3	Farbmanipulation über hochsprachliche Anweisungen in Gegenüberstellung zu anderen Zugangsformen	59
4.2	Systemarchitektur Farbmanipulation	62
4.3	Definition eines Grundwortschatzes zur Farbmanipulation	64
4.4	Operatoren zur Farbmanipulation	68
4.4.1	Tonwertabhängige Operatoren	68
4.4.2	Farbtonabhängige Operatoren	73
4.5	Wissensverarbeitung	76
4.5.1	Wissensrepräsentation	77
4.5.2	Hochsprachliche Schnittstelle - Interpretation	79
4.5.3	Modifikation	85
4.5.4	Parametrisierung	87
4.6	Realisierung	90
5	Module zur Farbkorrektur, Farbneutralisation und Segmentierung	91
5.1	Farbkorrektur	92
5.1.1	Problemstellung	92
5.1.2	Ein Verfahren zur medienunabhängigen Bilderfassung	92
5.2	Farbneutralisation	95
5.2.1	Problemstellung	95

5.2.2	Ein Verfahren zur Farbneutralisation	96
5.3	Segmentierung	100
5.3.1	Problemstellung	100
5.3.2	Segmentierung durch 3D-Analyse des CIELAB	101
6	Ergebnisse und Diskussion	105
6.1	Allgemeine Betrachtungen	105
6.2	Ergebnisse der Farbmanipulation	105
6.3	Ergebnisse der Zusatzmodule	115
6.3.1	Farbkorrektur	115
6.3.2	Farbneutralisation	119
6.3.3	Segmentierung	123
7	Zusammenfassung	127

Abkürzungsverzeichnis

CIE	Commission Internationale de l'Eclairage
CIE(1976) HCL	Farbmodell siehe Abschnitt 2.3.7 Seite 31
CIELAB	CIE(1976) $L^*a^*b^*$
CIELUV	CIE(1976) $L^*u^*v^*$
CIE(1964) $U^*V^*W^*$	Farbmodell siehe Abschnitt 2.3.8 Seite 31
CMY(K)	Farbmodell Cyan/Magenta/Gelb (Schwarz)
DTP	Desktop Publishing
ΔE_{ab}^*	Farbabstand (CIELAB)
ΔE_{94}^*	Farbabstand Formel von 1994 (CIELAB)
ΔE_{uv}^*	Farbabstand (CIELUV)
EBV	Elektronische Bildverarbeitung
FOGRA	Forschungsgesellschaft Druck e.V. (http://www.fogra.org)
HSX	Farbmodelle: HSI, HSV, HSL
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICC	International Color Consortium (http://www.color.org)
λ	Wellenlänge (des Lichtes in nm)
NCS	Farbordnungssystem: Natural Color System
OSA	Optical Society of America
RGB	Farbmodell Rot/Grün/Blau
UCS	Uniform Chromaticity Scale

WWW	World Wide Web
$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$	Normspektralwerte
XYZ	Normfarbsystem: CIE(1931) XYZ
YIQ	Farbmodell siehe Abschnitt 2.3.4 Seite 21
YUV	Farbmodell siehe Abschnitt 2.3.3 Seite 20

1 Einleitung

Neue elektronische Publikationssysteme zeigen einen deutlichen Trend zur materialfreien, elektronischen Erstellung und Produktion auf. Zukünftige Online-Dienste erweitern Angebot und Volumen und erlauben neben der Information auch Kommunikation und Transaktion. Electronic commerce prägt nach militärischer und wissenschaftlicher Ausrichtung die zukünftige dritte Nutzungsphase des Internet. Bildpublikationen in elektronischen Medien setzen dabei die Verwendung von Farbbildern voraus. Ebenfalls gehen die klassischen Printmedien verstärkt dazu über, Farbbilder statt der bisher verwendeten Grauwertbilder einzusetzen. Die derzeit vorhandenen Ressourcen zur Farbbildbearbeitung (Reprostudios, Druckvorstufe etc.) sind aus Kosten-, Zeit- und Verfügbarkeitsgründen hingegen nicht in der Lage, diesen ständig steigenden Bedarf abzudecken.

Farbe erhöht den Informationsgehalt eines Bildes. Neben der oft genutzten Funktion der Farbe als Signal z.B. bei Warnhinweisen (Rot bedeutet Gefahr, erhöhte Aufmerksamkeit. Beispiele: Feuerwehr, Warnschilder, Ampeln) kann Farbe auch zur Kontrasterhöhung dienen. Der Betrachter kann einem Bild mehr Information entnehmen, wenn zusätzlich zur geometrischen Beschreibung des dargestellten Objektes auch eine Aussage zu dessen Farbe gemacht werden kann. Eine Benennung der Grundfarbe eines Objektes anhand eines Grauwertbildes ist nur eingeschränkt möglich, sofern der Betrachter über Hintergrundwissen verfügt (z.B. Das Stopp-Schild ist rot; der Rasen ist grün). Ein Aussage zur Farbe eines unbekanntes Objektes ist anhand eines Grauwertbildes nicht möglich.

Schließlich kann über die Farbgebung eines Bildes auch eine bestimmte *Stimmung* beim Betrachter ausgelöst werden. Diese Eigenschaft wird z.B. oft für Werbezwecke genutzt. Das Objekt wird *in einem guten Licht* dargestellt. Wenn die gewünschten Beleuchtungsbedingungen bei der Bildaufnahme nicht realisierbar, sind entsprechende Nacharbeiten in der Reproduktion erforderlich.

Die Farbe ist, wie diese Ausführungen zeigen, ein wichtiges Instrument der bildbasierten Kommunikation.

Da die hohen Produktionskosten eines farbigen Printmediums bei der elektronischen Publikation entfallen, beschränkt sich der Aufwand im wesentlichen auf die Aufbereitung der Farbbilddaten. Im Rahmen elektronischer multimedialer

Publikationssysteme wird die Verwendung der Farbe in Bildern demzufolge als selbstverständliche Eigenschaft gesehen. Bei gleichem Qualitätsanspruch ist der Bearbeitungsaufwand zur Erstellung der Farbbilder derzeit nahezu ähnlich aufwendig wie bei den klassischen Printmedien.

Um den zukünftigen Anforderungen besser entsprechen zu können, sind Verfahren zur Farbbildbearbeitung gefordert, die neue, problemorientierte und effiziente Methoden zur Bildaufbereitung und -gestaltung bieten. Während die für Printmedien optimierte, klassische Druckvorstufe auf vergleichsweise wenige hochqualifizierte Mitarbeiter zurückgreift, ist der hohe Durchsatz im Bereich der Online-Publikationen nur mit einem deutlich erweiterten Personenkreis zu bewältigen. Zu einem erheblichen Teil wird die Aufbereitung der Publikationen zukünftig von den Autoren selbst vorgenommen werden müssen. Damit dieses nicht zu einem Qualitätsverlust führt, sind neue, leistungsfähige und automatisierte Methoden zu entwickeln, die den Experten entlasten und den unerfahrenen Anwender auf das Wissen des Experten zugreifen lassen. Insbesondere die individuelle Farbanpassung eines Bildes stellt bei diesem Verarbeitungsprozeß besondere Anforderungen, da die oft verbal formulierten Farbänderungswünsche schnell, effizient und reproduzierbar umzusetzen sind.

Bei Printmedien wurde in der Vergangenheit die Einbindung eines Farbbildes nur in vergleichsweise geringer Anzahl vorgenommen, da Aufwands- und Kostengründe eine Farbproduktion nur im begrenzten Maße zuließ. Zukünftige Anforderungen setzen hier neue Randbedingungen, sofern die Printmedien nicht gegenüber den neuen elektronischen Medien zurückfallen wollen. Trotz der für die Farbpublikation dominanten Druckkosten lassen sich durch eine bessere Farbbildaufbereitung Kosten einsparen. Die in dieser Arbeit für die elektronische Publikation untersuchten Methoden können somit auch bei klassischen Printmedien gewinnbringend eingesetzt werden.

Die vorliegende Arbeit stellt ein Konzept zur Bearbeitung der Farbe in Bildern vor, mit dem das Medium Farbe den Bearbeitern in einer nutzerorientierten Form zugänglich gemacht wird.

1.1 Problemstellung, Motivation und Zielsetzung

Farbe¹ in der Eigenschaft als Sinnesempfindung des Menschen entzieht sich einer direkten physikalischen Beschreibung. Als Folge davon wurden viele, zum Teil aufwendige Farbordnungssysteme und Farbmodelle entwickelt, die mittels physikalischer Parameter gute physikalische Beschreibungen erlauben, für den Menschen jedoch nicht unmittelbar umzusetzen sind. Einige Farbmodelle, wie z.B. das normierte und zur Farbbearbeitung vorgeschlagene CIE(1976)-L*a*b* Farbmodell, gehen stärker auf die visuellen Eigenschaften des Menschen ein, weisen jedoch eine vergleichsweise abstrakte Parametrisierung auf. Die Parameter dieses Farbmodells lassen sich für den Menschen nur unzureichend der entsprechenden Sinneswahrnehmung zuordnen, obwohl die Metrik des Farbmodells auf das visuelle System des Menschen abgestimmt wurde. Dieses Problem behindert den breiten Einsatz solcher Farbmodelle. Anstatt die visuell angepassten Modelle zu nutzen, kommen Farbmodelle, die vorrangig technischen Randbedingungen entsprechen (RGB, CMYK), zum Einsatz.

Entsprechend schwierig gestalten sich die Möglichkeiten der bewußten Veränderung von Farbwerten. Der Mensch ist gezwungen, sich der physikalisch motivierten Beschreibung eines Bildbearbeitungssystems anzupassen, indem durch eine Modifikation der farbbeschreibenden Parameter versucht wird, die gewünschte Farbveränderung herbeizuführen. Soll jedoch ein Feinabgleich der Farbdaten vorgenommen werden, um bestimmte Stimmungen mit dem Bild auszudrücken, sind mit den derzeit verfügbaren Techniken nur geschulte Farb-Spezialisten zu dieser Tätigkeit in der Lage.

Die zentrale Aufgabe besteht in einer Farbtransformation der Bilddaten innerhalb eines Farbmodells. Die Parameter beschreiben Art und Größe der jeweiligen Änderung. Historisch wurde dies im Rahmen der Reprofotografie mit speziellen Farbfiltern und Masken durch fotooptische Prozesse versucht. Mit dem späteren Einsatz von Trommelscannern und Belichtern konnten bestimmte Farbveränderungen dann mit einer Vielzahl von Potentiometern eingestellt werden. Erst die elektronische Bildverarbeitung erlaubte, die Bilder über einem Monitor auszugeben und Farbveränderungen durch Variation sogenannter Gradationskurven vorzunehmen. Den Stand der Technik stellt die manuelle Änderung der Gradationskurven dar. Eine Gradations-Funktion beschreibt für jeweils eine der Grundfarben Rot, Grün, Blau bzw. Cyan, Magenta, Gelb, Schwarz die Zuordnung der vorliegenden Farbintensitäten auf die gewünschten Werte. Eine vollständige

¹ Das Wort „Farbe“ wird im Rahmen dieser Arbeit ausschließlich in der Eigenschaft als Sinnesempfindung des Menschen verwendet. Die im allgemeinen Sprachgebrauch ebenfalls übliche Verwendung des Wortes für einen Farbstoff (Pigment, Druckfarbe etc.) oder zur Bezeichnung der Oberflächentextur eines Objektes kommen hier nicht zur Anwendung.

Farbanpassung eines Bildes erfolgt durch die Festlegung der Gradationskurve einer jeden Farbe entsprechend der gewünschten Farbveränderung. Diese abstrakte, den technischen Randbedingungen genügende Vorgehensweise erfordert ein hohes Maß an Erfahrung vom Ausführenden.

Leider widerspricht dieses Verfahren einer komfortablen, benutzergerechten Schnittstelle. Die Wünsche des Anwenders liegen oft in verbaler Form vor. D.h. die beabsichtigte Farbveränderung wird mit hochsprachlichen Begriffen beschrieben, deren Bedeutungen teilweise sogar vom Anwender definiert werden. Hierbei sind kontextabhängig auch Kunstbegriffe wie z.B. *freundlicher* durchaus üblich. Andererseits lassen sich Forderungen wie *Goldtöne verstärken* nicht unmittelbar auf den im System verwendeten Farbraum übertragen, so daß zunächst unklar ist, welche Parameter dazu verändert werden müssen.

Die aktuellen graphisch orientierten Methoden zur direkten Manipulation der Gradationskurven bieten dem Benutzer typischerweise den systemintern verwendeten Farbraum an. Der Anwender muß Farbbezüge, die nicht unmittelbar durch den Systemfarbraum repräsentiert sind, selbst erstellen und entsprechend umsetzen. Beispielsweise ist in einem RGB-System eine Anhebung des Cyan-Anteils durch geeignetes Reduzieren des Rot-Anteils einzustellen.

Eine begrenzte Anzahl unterschiedlicher Aktionen kann möglicherweise in Form von Menüs bereitgestellt werden. Die extrem hohe Anzahl der denkbaren Farbmanipulationen läßt sich so jedoch nicht verwalten. Die Benutzerschnittstelle würde sehr schnell unübersichtlich und unbedienbar. Weiterhin sind Erweiterungen nur bedingt möglich. Es erfolgt lediglich eine Umsetzung von vordefinierten Aktionen. Eine Interpretation der Benutzervorgaben findet nicht statt.

Darüber hinaus ist die Übermittlung der Farbinformation mit einem hohen Qualitätsanspruch verbunden. Globale Farbabweichungen werden vom Menschen auch ohne spezielle Ausbildung leicht erkannt, wobei die Art des Farbfehlers oft recht einfach hochsprachlich beschrieben werden kann (z.B. *Grünstich*, *blasse Farben* usw.). Insbesondere für Anwendungen im Bereich des Tele-Shopping, respektive der Warenangebote in elektronischen Medien oder im Printbereich, sind sogar farbverbindliche Aussagen notwendig, um damit Geschäftsabläufe tätigen zu können.

Während es im Bereich der digitalen Bildverarbeitung inzwischen zahlreiche Verfahren zur Erkennung, Veränderung und geometrischen Manipulation von Bildobjekten gibt, kann eine entsprechende Entwicklung der farbmanipulierenden Verfahren nicht beobachtet werden. Geometrische Manipulationen können vergleichsweise einfach durch Zeichnungen oder interaktiv im Bild mit Zeigeinstrumenten beschrieben werden. Für die Interaktion zur Farbveränderung fehlt ein derart einfach zu bedienendes Instrument.

Die zuvor geschilderten Probleme fordern eine neue Interaktionsmöglichkeit, die eine komfortable Umsetzung der hochsprachlichen Vorgaben des Anwenders in die entsprechenden physikalischen Parameter erlaubt. Zielsetzung dabei ist es, ein ebenso einfach zu bedienendes System aufzubauen, wie diese bereits für geometrische Manipulationen zur Verfügung stehen.

Hierzu ist als Basis ein neu zu definierender Grundwortschatz notwendig, der alle grundlegenden Funktionen der möglichen und sinnvollen Farbtransformationen beschreibt. Weiterhin wird das Wissen benötigt, diesen Wortschatz zu interpretieren und in Abhängigkeit des Kontextes in entsprechende technische Parameter umzusetzen. Ebenfalls muß es möglich sein, individuelle Erweiterungen der Wortschatzes zuzulassen. Hierdurch können geschlossene Benutzergruppen eigene Farbbeschreibungen einbringen, was der praktischen Anforderung gut entsprechen würde. Zudem lassen sich die so gewonnenen Beschreibungen austauschen, wodurch auch andere Gruppen reproduzierbar über das individuelle Farbvokabular auf bestimmte Farbmanipulationen zugreifen können.

1.2 Abgrenzung der Aufgabe

Das Thema Farbe beschäftigt mehrere wissenschaftliche Disziplinen, die jede für sich eine eigene Darstellung und Beschreibungsform der Sinnesempfindung Farbe vorgenommen haben (siehe auch Kapitel 2).

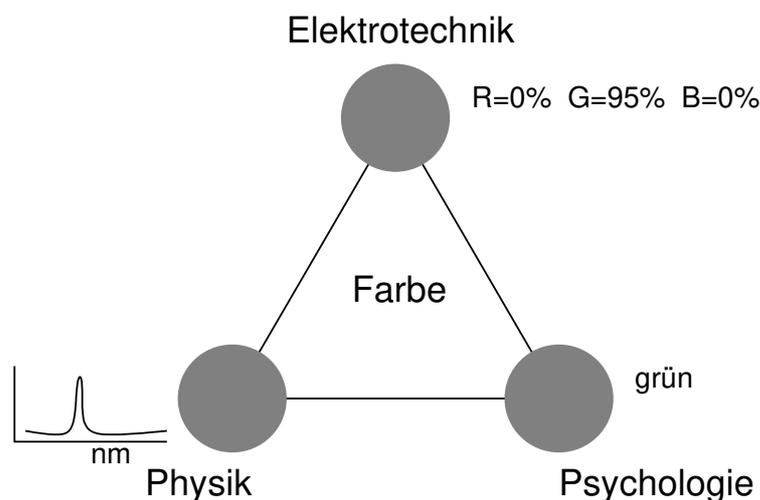


Abb. 1.1: Beispiel für unterschiedliche Beschreibungsformen der Farbe

Abb. 1.1 zeigt die unterschiedlichen Beschreibungsformen am Beispiel der Psychologie, Physik und Elektrotechnik. Während die Psychologie zu eigenständigen, oft auf Vergleichen beruhenden Begriffen neigt (*Rosenrot, Grasgrün*), bedient sich die Physik einer Spektralanalyse des Lichtes. Die in der Elektrotechnik übliche Darstellungsform ist physikalisch motiviert, allerdings wird durch die Einführung der Farbmodelle eine trichromatische Beschreibung vorgenommen, die eine einfachere Handhabung der Signale erlaubt.

Auch diese Arbeit hat durch die Verwendung der ingenieurwissenschaftlichen Methoden ihren eindeutigen Bezug zur Elektrotechnik und Informationsverarbeitung. Allerdings wird der Versuch unternommen, die innerhalb der Realisierung verwendete Repräsentationsform der Farbe durch Farbmodelle mit einer hochsprachlichen Benutzerschnittstelle zu versehen. Das Ziel dieses Vorgehens besteht darin, andere, aus Sicht der Elektrotechnik neue Zugangsformen zum Medium Farbe anbieten zu können, um die isolierte Darstellungsform zu anderen wissenschaftlichen Disziplinen zu öffnen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 stellt zunächst die Grundlagen der in dieser Arbeit verwendeten Farbmodelle vor.

Kapitel 3 geht auf die bereits genannte Problemstellung ein. Zunächst wird dazu der Stand der Technik wiedergegeben, bevor Lösungsansätze und Strategien aufgezeigt werden, um die Aufgabe aber auch angrenzende Probleme zu lösen. Das Konzept zur Farbbildbearbeitung verdeutlicht die an dieser Stelle hergeleitete Systemarchitektur. Mit den in diesem Kapitel wiedergegebenen Anforderungen definieren sich die Ziele einer nutzergerechten Farbanpassung.

Das zentrale Verfahren zur Farbmanipulation stellt *Kapitel 4* detailliert vor. Nach einer Übersicht gebräuchlicher Beschreibungsformen werden hochsprachliche Anweisungen als neue Zugangsform zum Medium Farbe eingeführt und den bekannten Verfahren gegenübergestellt. Die Basis für das weitere Vorgehen stellt der Grundwortschatz zur Beschreibung der Farbmanipulationen dar, dessen Entwicklungsschritte aufgezeigt werden.

Farbverarbeitende Operatoren, die im Rahmen der Arbeit ausgearbeitet und untersucht wurden, stellen einen wesentlichen Teil des System zur Farbmanipulation dar. Die Methoden erlauben die gewünschte Farbumsetzung der aus den hochsprachlichen Anweisungen abgeleiteten Parameter.

Schließlich bildet ein wissensbasiertes System den Kern des Verfahrens zur Um-

setzung hochsprachlicher Anweisungen in physikalisch interpretierbare Parameter. Die Formen der Wissensrepräsentation sowie die Abbildung des Grundwortschatzes auf die Realisierung des Systems sind ausführlich dargestellt. Ergänzend werden Erweiterungsmöglichkeiten zur Gestaltung eines individuellen, für die jeweilige Nutzergruppe typischen Farbwortschatzes aufgezeigt und die Einbringung abstrakter Begriffe erläutert.

Eine nicht unmittelbar die Farbmanipulation betreffende, aber für eine Gesamtlösung zur Farbanpassung unverzichtbare Zusatzfunktionalität zeigt *Kapitel 5*. Neben Verfahren zur Farbkorrektur und Farbneutralisation, die die Voraussetzungen einer Farbdarstellung im neutralen Referenzfarbraum schaffen, stellt das Kapitel auch ein farbbezogenes Segmentierungsverfahren vor. Dieses erlaubt die Maskierung farbähnlicher Bereiche im Bild, auch wenn die einzelnen Bildelemente nicht topologisch zusammenhängend im Bild erscheinen. Neben einer damit möglichen im Farbumfang begrenzten Bearbeitung, kann das Verfahren u.U. auch zur Freistellung einzelner Objekte des Bildes unterstützend eingesetzt werden.

Die im Rahmen der Untersuchungen erzielten Ergebnisse aller Module sind gemeinsam im *Kapitel 6* dargestellt. Anhand konkreter Anwendungsbeispiele aus der Praxis wird die Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen Verfahrens zur Diskussion gestellt. Mit der Zusammenfassung in *Kapitel 7* erfolgt ein bewertender Überblick aller Komponenten in Form einer Gesamtdarstellung.

2 Farbe

Farbe ist eine Sinnesempfindung des visuellen Systems eines Menschen und keine physikalische Eigenschaft eines Materials. In dieser Eigenschaft der subjektiven Empfindung des Menschen ist die Farbe ein Thema mit stark interdisziplinärem Charakter. Psychologie und Physiologie zeigen die oft sehr individuell geprägte Form der subjektiven Sinnesempfindung auf, während die Physik versucht objektive Maßstäbe durch physikalisch interpretierbare Eigenschaften des Lichtes einzuführen.

Für die Sinnesempfindung des visuellen Systems sind hingegen keine Meßgeräte verfügbar. Gemessen werden können lediglich physikalische Größen wie z.B. das Spektrum des Lichtes. Dementsprechend sind visuelle Tests erforderlich, die eine Verbindung zwischen der subjektiven Sinnesempfindung und den physikalisch interpretierbaren Messungen herstellen, welche bereits um 1929 von Guild und Wright durchgeführt wurden.

Eine Ordnung der Farben, z.B. mit dem Ziel, Vergleiche von Farben ausführen zu können oder aber Farben zu beschreiben bzw. zu messen, waren und sind das Thema vieler Arbeiten zur Erstellung einer Farbmatrik. Erste Quellen finden sich bereits bei Sir Isaac Newton (1643-1727), aber auch J. W. v. Goethe (1749-1832), H. Grassmann (1809-1877) und H. v. Helmholtz (1821-1897) haben mit ihren Arbeiten frühe, wichtige Beiträge geleistet. Eine chronologische Darstellung der Entwicklung der Farbmatrik wurde 1981 von M. Richter [Ric84] erstellt.

Dieses Kapitel erläutert zunächst das Normfarbsystem, sowie Farbordnungssysteme und Farbmodelle. Die Darstellung beschränkt sich dabei auf die im Rahmen der Arbeit betrachteten Farbmodelle, um die Auswahl der weiterhin genutzten Farbbeschreibungen zu verdeutlichen. Auf eine Darstellung der physikalischen Grundlagen sowie des visuellen Systems des Menschen mit einer Betrachtung der physischen, psychophysikalischen und physiologischen Eigenschaften, wird an dieser Stelle verzichtet. Wie letztlich der Mensch die Strahlungsenergie in eine Wahrnehmung umsetzt, ist bis heute noch nicht vollständig geklärt. In der Literatur sind zu diesen Themen ausführliche Abhandlungen in [Hur81, Wys82, Mol83, Hub89, Keu96, Fai98] zu finden.

2.1 Normfarbsystem: CIE(1931) XYZ

Um Farbe physikalisch eindeutig beschreiben zu können, ist eine Farbmeterik erforderlich, die als Farbstandard in der Lage ist, alle Farben eindeutig zu beschreiben. Ein solcher Standard wurde durch die Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) 1931 geschaffen und als Normfarbsystem vorgestellt (siehe auch [DIN79]).

Hierzu wurden zunächst drei Primärvalenzen festgelegt ($R = 700,0 \text{ nm}$; $G = 546,1 \text{ nm}$; $B = 435,8 \text{ nm}$). Durch Mischung konnten dann für das gesamte sichtbare Spektrum (380 nm - 720 nm) die erforderlichen Anteile der Primärvalenzen bestimmt werden, um einen dem Spektralreiz einer Wellenlänge entsprechenden Eindruck der Mischfarbe zu erhalten. Leider ist diese Aufgabe nur lösbar, wenn hierzu negative Anteile der Primärvalenzen zugelassen werden. Dieser physikalisch unbefriedigende Fall konnte gelöst werden, indem drei neue, mathematisch notwendige, „virtuelle“ Primärvalenzen mit den Bezeichnungen X, Y und Z definiert wurden, die einen Farbraum beschreiben, der alle Farben beinhaltet. Hingegen existiert nun keine physikalische Realisierung der Primärvalenzen XYZ mehr, was auf die damit mögliche Beschreibung jedoch keinen Einfluß hat. Das geometrische Modell zeigt Abb. 2.1.

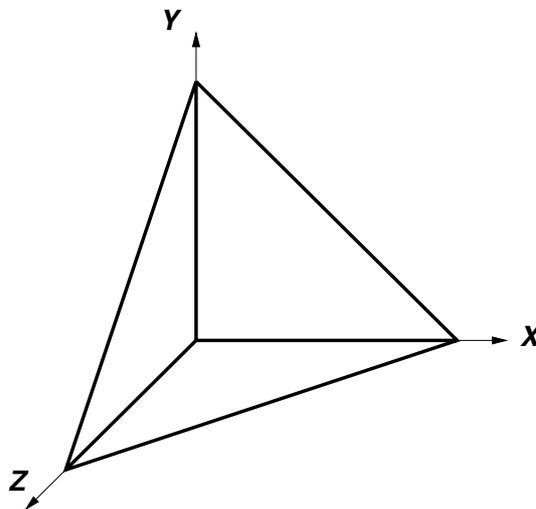


Abb. 2.1: Geometrische Darstellung des CIE-Normfarbraum mit den virtuellen Primärvalenzen X,Y,Z. Nullpunkt sowie X, Y und Z Primärvalenzen liegen außerhalb des visuell wahrnehmbaren Farbbereiches, womit der resultierende Farbraum den visuell vom Menschen wahrnehmbaren Farbraum vollständig umschließt. Entsprechend kann jede Farbe aus positiven XYZ-Anteilen gemischt werden.

Diese neue Festlegung erlaubt nun eine vollständige Darstellung aller vom menschlichen Auge erfassbaren Farben, mit ausschließlich positiven Anteilen der Primärvalenzen. Wird nun mit den virtuellen Primärvalenzen eine Nachmischung der Spektralwerte ausgeführt, entsteht die in Abb. 2.2 gezeigten Normspektralwerte.

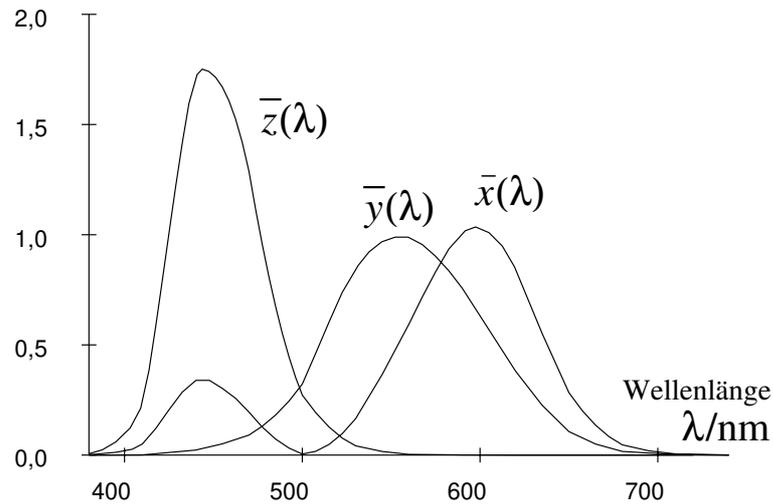


Abb. 2.2: Normspektralwerte $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, Normierung $\bar{y}_{max}(\lambda) = 1$ (aus [KRi96])

Da die Empfindlichkeitskurven der drei Farbrezeptoren im menschlichen Auge individuell leicht differieren, wurde von der CIE ein sogenannter Normalbeobachter definiert, um eine objektive Erfassung und Bewertung zu ermöglichen [Ric81].

Leider sind virtuelle Primärvalenzen nicht sehr anschaulich, darüber hinaus sind Farbton und Sättigung weitgehend unabhängig von der Helligkeit. Zur einfacheren, zweidimensionalen Darstellung der Farbart des dreidimensionalen Farbraums kann folgende Vereinfachung erfolgen. Mit

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (2.1)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (2.2)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (2.3)$$

für die gilt

$$x + y + z = 1 \quad (2.4)$$

ist eine zweidimensionale Darstellung der Farbart möglich, da z.B. der Wert z mit

$$z = 1 - x - y \quad (2.5)$$

aus x und y errechnet werden kann. Die resultierende zweidimensionale Darstellung zeigt Abb. 2.3.

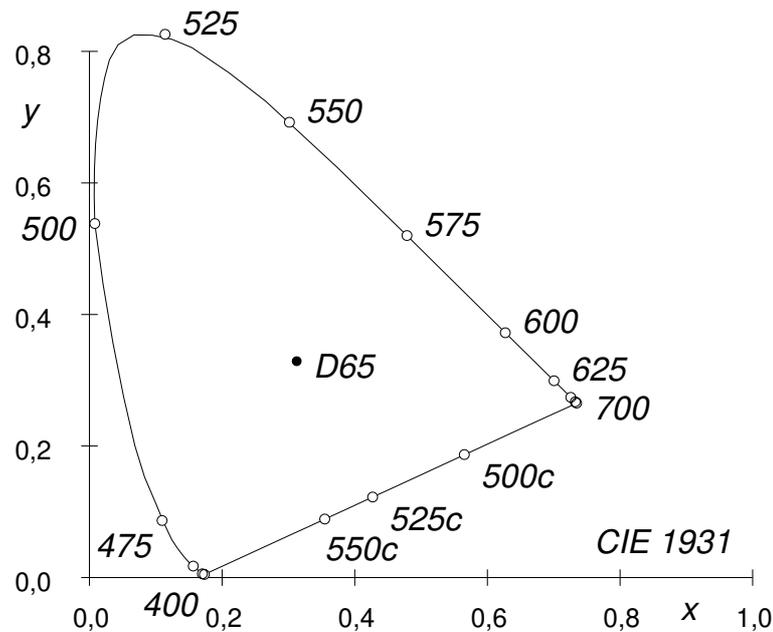


Abb. 2.3: CIE-Normfarbtafel(x,y) 2°-Beobachter
(aus [KRi96]) siehe auch Farbdarstellung 2.10 Seite 29

Bei $x = 1, y = 0$ und $x = 0, y = 1$ liegen die virtuellen Farben, die den Primärvalenzen entsprechen. Die Spektralfarben (400-700 nm) befinden sich auf dem Rand der Fläche. Alle Farben sind innerhalb der Fläche repräsentiert, womit die offene Seite der Fläche mit einer Geraden, der sogenannten Purpurgeraden abgeschlossen werden kann. Der Weißpunkt befindet sich an der Stelle $x = y = z = \frac{1}{3}$ entsprechend einer Farbsättigung von 0. Entlang einer Geraden vom Weißpunkt zur Spektrallinie steigt die Sättigung und erreicht den Maximalwert an der Spektrallinie. Die virtuellen Primärvalenzen sind somit sogenannte übersättigte Farben. Allerdings ist zur eindeutigen Definition einer Farbe weiterhin auch der Helligkeitsbeiwert (Y) erforderlich. Die zweidimensionale Abbildung erlaubt hingegen eine sehr anschauliche Darstellung.

Die konvexe Form des Farbfläche läßt weiterhin erkennen, daß mit drei physikalisch realisierbaren Primärvalenzen keine vollständige Abdeckung der Farbfläche möglich ist. Da durch Mischen der gewählten Primärvalenzen jedoch nur

Farben innerhalb des aus den Primärvalenzen gebildeten Dreiecks erzeugt werden können, entsprechen die Restflächen den nicht erreichbaren Farben. Dieses verdeutlicht nochmals die Notwendigkeit der virtuellen Primärvalenzen für die Definition der Normvalenzen.

Mit der Festlegung des CIE-Normfarbraums ist eine quantitative Beschreibung der Farbe möglich geworden. Weiterhin können durch entsprechende Transformationsvorschriften andere Farbmodelle einen eindeutigen Bezug zum Normfarbsystem herstellen.

Für die Anwendung in einem farbbildverarbeitenden System ist eine einfachere Einbeziehung der Helligkeit, sowie eine anschauliche Parametrisierung erforderlich. Zudem bereitet die Diskrepanz zwischen Farbabstand im Normfarbsystem und visuell empfundener Farbdifferenz Probleme, die mit darauf abgestimmten Darstellungen vermieden werden können.

2.2 Farbordnungssysteme

Albert H. Munsell erstellte 1905 ein Farbordnungssystem (Munsell Color System, Munsell Book of Color), das heute noch benutzt wird. Munsell war Künstler und das von ihm erstellte System basierte dementsprechend auf der menschlichen Wahrnehmung.

Weitere Beispiele für Farbordnungssysteme sind

- DIN Farbenkarte
Deutsche Norm DIN 6164, ab 1953
- OSA Color System
OSA: Optical Society of America, Journal Opt. Soc. America, 1978
- Natural Color System (NCS)
Schwedische Norm SS 01 91 00, 1972
- Coloroid-System
Farbmuster erhältlich seit 1986

Farbordnungssysteme bestehen aus einer Sammlung von empfindungsmäßig gleichabständigen Farbmustern. Verfügbare Systeme enthalten bis zu 1700 Farbmuster. Als empfindungsgemäße Größen dienen üblicherweise Farbton, Sättigung und Helligkeit. Nicht alle Farbordnungssysteme lassen sich in CIE-Koordinaten umrechnen, teilweise sind hierfür Tabellen erforderlich.

Farbordnungssysteme dienen aufgrund der verfügbaren Farbmuster und dem damit möglichen visuellen Farbvergleich, in erster Linie als Ersatz für eine Farbmessung. Neben den genannten Systemen existieren ähnlich aufgebaute Alternativen wie z.B. das RAL-Design-System. Diese stellen im engeren Sinne jedoch keine Farbordnungssysteme dar, da keine Gleichabständigkeit der Farbmuster vorliegt.

Eine ausführliche Darstellung der Farbordnungssysteme ist in [Schl93] und [Wys82] zu finden. Für die rechnerinterne Bildbearbeitung sind Farbordnungssysteme nur bedingt geeignet, weshalb auf eine weitergehende Betrachtung an dieser Stelle verzichtet werden kann.

2.3 Farbmodelle

Farbmodelle existieren in hoher Anzahl. Oft für sehr spezielle Zwecke entwickelt, bleibt die Forderung nach einer universellen, allen Anforderungen entsprechenden Lösung bisher offen. Neben der Beachtung rein technischer Randbedingungen, wie sie z.B. beim RGB- und CMY-Modell im Vordergrund stehen, liegt der Nutzen sogenannter wahrnehmungsmäßig gleichabständiger Modelle (z.B. CIE-LAB) vorwiegend in einer Abbildung der physikalischen Meßgrößen in eine Parametrisierung, die der vom Menschen empfundenen Wahrnehmung entspricht. Empfundene Farbunterschiede (Farbdifferenzen) sollen dabei durch korrespondierende Abstände im Modell repräsentiert werden.

Benötigt wird ein Farbmodell, in dem Farbdifferenzen der visuellen Sinnesempfindung des Menschen entsprechen. Judd [Jud70] beschreibt dieses als einen idealen Farbraum. Ein idealer Farbraum wird durch ein dreidimensionales Modell dargestellt, in dem jeder Punkt eine Farbe repräsentiert, und der Abstand zwischen zwei Punkten (Euklidische Distanz) proportional zu dem vom Menschen visuell wahrgenommenen Farbunterschied zwischen den beiden entsprechenden Farben ist.

Die im folgenden aufgeführten Farbmodelle stellen keine vollständige Übersicht dar. An dieser Stelle werden nur die in der Arbeit untersuchten Farbmodelle vorgestellt und so die Auswahl der weiterhin verwendeten Modelle begründet. Übersichten zu Farbmodellen sind beispielsweise in [Ric81, Wys82, Schw87, Fai98] enthalten. Ein Vergleich verschiedener Modelle ist u.a. in [Schw87, Hil97] zu finden.

2.3.1 RGB-Modell

Die Farbdarstellung mit den Primärvalenzen Rot, Grün und Blau wird in vielen technischen Systemen insbesondere bei Ein- und Ausgabegeräten (Scanner, Monitor etc.) angewendet. Entsprechend ist der Bekanntheitsgrad dieses Modells sehr hoch. Die Modellparameter können unmittelbar, zumindest qualitativ vom Nutzer umgesetzt werden, auch wenn die Distanzmaße des Modells nicht mit vom visuellen System des Menschen wahrgenommenen Farbabständen harmonieren. Die Bildinformationen wandeln drei separate Bildsensoren, wobei jedem Sensor ein Spektralbereich (Rot, Grün, Blau) des Bildes zugeführt wird. Die spektrale Begrenzung erfolgt durch ein im optischen Strahlengang des Sensors angebrachtes Filter [Lan78].

Entsprechend sind auch Scanner, digitale Fotokameras oder Kameras der Fernsehtechnik ausgestattet. Die Lichtteilung zur Versorgung der Sensoren mit identischen Bildern sowie die spektrale Begrenzung realisieren z.B. dichromatische Spiegel.

In der digitalen Fotografie wird hingegen insbesondere bei mobilen Kameras häufig nur ein CCD-Sensorflächenelement verwendet, dessen Oberfläche mit einem sogenannten Mosaikfiltern versehen ist.

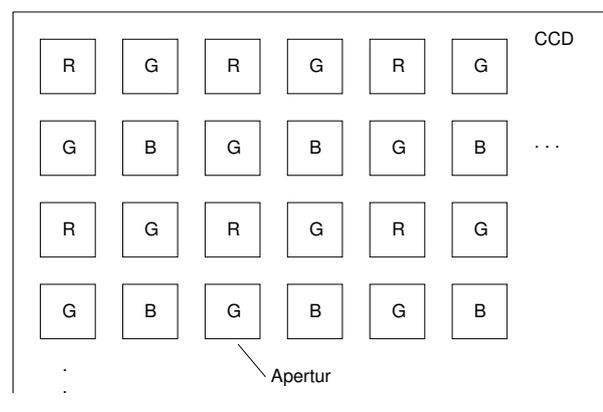


Abb. 2.4: RGB-Mosaikfilter einer 1-Chip Kamera (Ausschnitt)

Die Grün-Filter sind gegenüber Blau und Rot in doppelter Anzahl vorhanden. Einer Apertur wird nur jeweils ein Spektralbereich zugeführt. Benachbarte Aperturen erfassen unterschiedliche Spektralbereiche (R,G,B)

Abb. 2.4 zeigt ein Beispiel für die Ausführung eines solchen Filters. Mit Rücksicht auf die dominante Bedeutung der Grün-Komponente für das Luminanzsignal sind die Grün-Aperturen in doppelter Anzahl vertreten. Die vollständige

Farbinformation eines Bildelementes wird für die fehlenden Farben durch Interpolation aus benachbarten Bildelementen errechnet. Die Szene wird mit einem Objektiv auf das CCD abgebildet. Eine Apertur erfaßt jeweils die rot, grün oder blau gefilterte Bildinformation eines eng begrenzten Bildbereiches. Da die Apertur die Helligkeitsstruktur dieses Bildbereiches nicht auflösen kann, wird dessen Mittelwert erfaßt und durch eine elektrische Größe repräsentiert. In einer Kamera mit drei Sensorelementen (ein Sensorelement pro Spektralbereich) ergeben sich damit drei getrennte Bildinformationen für jede Apertur. In vektorieller Schreibweise stellt dieses die Bildinformation eines Bildelementes (picture element; pel) dar.

Die fehlenden Spektralinformationen eines Bildelementes bei Verwendung eines gemeinsamen CCD-Flächenelementes für alle Spektralbereiche entsprechend Abb. 2.4 werden durch Interpolation benachbarter Elemente berechnet. Nicht zuletzt aufgrund der begrenzten Auflösung der Sensorelemente, stellen solche Lösungen aus Sicht der Farbverarbeitung einen Kompromiß dar, da hierdurch weitere Aliasing-Probleme entstehen. Zudem verbleiben aufgrund konstruktionsbedingter Leitungswege auf der Sensorfläche zwischen den Aperturen lichtunempfindliche Flächen.

Elektronische Bildwiedergabesysteme arbeiten nahezu ausschließlich mit RGB-Farben. Die Bildröhren in Fernsehgeräten und Farbmonitoren erzeugen sehr dicht benachbarte RGB-Farbtripel, die schon bei geringem Betrachtungsabstand nicht mehr vom Auge aufgelöst werden können und daher als gemeinsames Farbsignal empfangen werden [Ric81]. Die Farbwahrnehmung entspricht bei dieser Darstellungsform einer additiven Mischung der verwendeten Grundfarben Rot, Grün und Blau. Ähnliche RGB-Farbtripel werden z.B. von LCD-basierten Systemen (Overhead-Panel, Projektoren, Notebook-Displays usw.) erzeugt [Wil89].

Das RGB-Farbmodell bietet sich in diesem Umfeld aus technischen Gründen an. Für die Bilderfassung (Kameras) und Bildausgabe über Projektoren stehen geeignete Filter zur Verfügung. Monitore sind mit Phosphoren ausgestattet, die den Grundfarben entsprechen. Die gesamte Verarbeitungskette kann im RGB-Modell erfolgen.

Die mathematische Darstellung des RGB-Modells erfolgt üblicherweise in kartesischen Koordinaten, wobei die einzelnen Komponenten orthogonal zueinander angeordnet sind (siehe Abb.2.5).

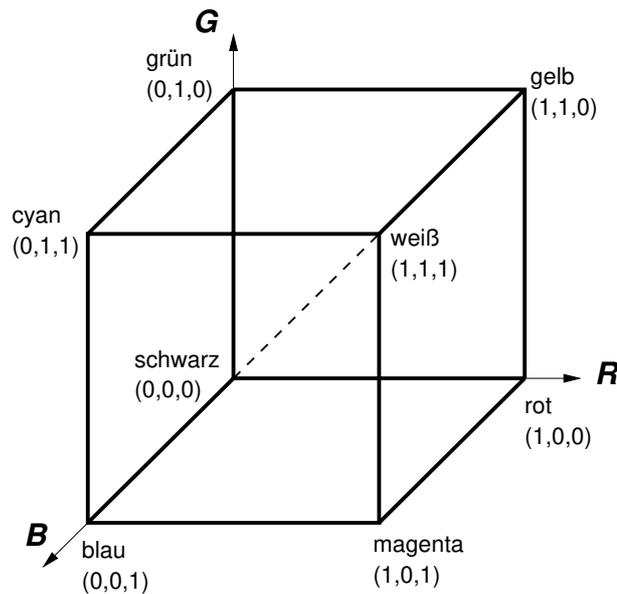


Abb. 2.5: Das RGB-Farbmodell.

Darstellung der Farbvalenzen mit den Komponenten Rot, Grün und Blau (r,g,b). Die Unbuntgerade verläuft von Schwarz $(0,0,0)$ zu Weiß $(1,1,1)$

Das RGB-Farbmodell entspricht damit einem Würfel im kartesischen Koordinatensystem. Im Ursprung befindet sich die Farbe *schwarz*; diametral dazu die Farbe *weiß*. Die Raumdiagonale zwischen diesen Punkten entspricht der Unbuntgeraden, d.h. die sogenannten unbunten Farben (Grauwerte) sind auf dieser Geraden zu finden. Alle Punkte dieser Achse unterscheiden sich lediglich durch ihre Helligkeit. Für jeden Grauwert sind die Beträge der zugehörigen Farbkomponenten identisch ($R = G = B$).

Die Umrechnung zwischen RGB-Modell und Normfarbsystem ergibt sich nach [Ric81] wie folgt:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +2,7689 & +1,7518 & +1,1302 \\ +1,0000 & +4,5907 & +0,0601 \\ 0 & +0,0565 & +5,5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,4185 & -0,1587 & -0,0828 \\ -0,0912 & +0,2524 & +0,0157 \\ +0,0009 & -0,0026 & +0,1786 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Werden die Gewichte für X und Z so skaliert, daß der Bereich der transformierten Werte identisch mit den Originaldaten ist, ergeben sich die Umrechnungen nach

[OKS80] und [Reh94] zu:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,618 & +0,177 & +0,205 \\ +0,299 & +0,587 & +0,114 \\ 0 & +0,056 & +0,944 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +1,876 & -0,533 & -0,343 \\ -0,567 & +1,998 & -0,031 \\ +0,057 & -0,119 & +1,061 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Ein Problem des RGB-Modells stellt der in der elektronischen Bildverarbeitung fehlende absolute Bezug dar. Lediglich im TV-Bereich sind Filter und Phosphore festgelegt. Allerdings unterscheiden sich der in Europa übliche EBU-Standard (EBU: European Broadcasting Union) und der in amerikanischen Staaten angewendete NTSC-Standard (NTSC: National Television Systems Committee) voneinander [Schl93, Lan78]. Für Anwendungen im Bereich electronic publishing sind keine Standardisierungen für das RGB-Modell verbreitet.

2.3.2 CMY(K)-Modell

Während für die elektronische Erfassung und Ausgabe vorwiegend das RGB-Farbmodell zur Anwendung kommt, sind Printmedien nahezu ausnahmslos über das CMY(K)-Farbmodell realisiert. Die Namensgebung dieses Modells beruht ebenfalls auf den verwendeten Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb (Yellow). Das zugehörige Modell ist in Abb.2.6 dargestellt.

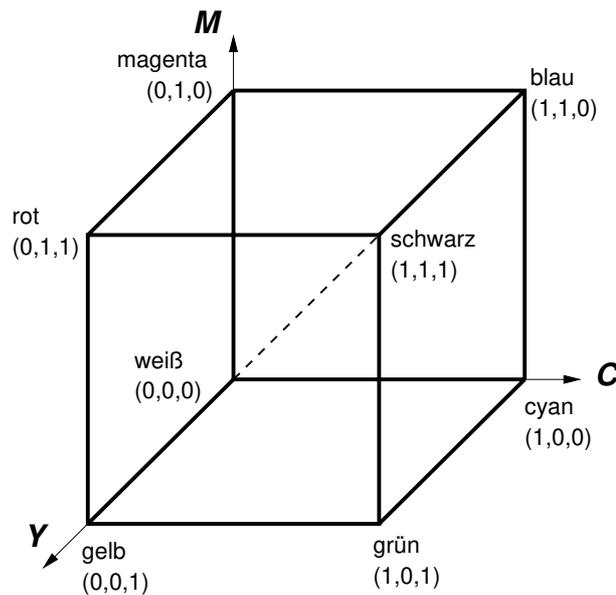


Abb. 2.6: Das CMY-Farbmodell.

Darstellung der Farbvalenzen mit den Komponenten Cyan, Magenta und Gelb (Yellow).

Da Druckfarben keine selbstleuchtenden Farbquellen darstellen, sondern aus dem Fremdlicht reflektierte Farbanteile dem Betrachter sichtbar werden, erfolgt die Farbmischung entsprechend der sogenannten subtraktiven Farbmischung. Cyan, Magenta und Gelb sind die Komplementärfarben zu Rot, Grün und Blau. Eine triviale Umrechnung kann entsprechend

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

bzw.

$$\begin{pmatrix} C \\ M \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

erfolgen.

In der Praxis haben diese Umrechnungen jedoch keine große Bedeutung, da der Druckprozeß deutlich aufwendigere Anpassungen erforderlich macht. Lösungsansätze zur farbvalenzmetrischen Beschreibung subtraktiv arbeitender Verfahren sind in [Hue79] aufgeführt.

Die Farbe *Schwarz* würde im CMY-Modell durch Bedrucken einer Fläche mit 100% Cyan, 100% Magenta und 100% Gelb entstehen. Ein derartig starker Farbbelag kann im Druckprozeß aus technischen Gründen nicht verarbeitet werden, da Trockenzeiten zu lang und Papierbelastung zu hoch wären.

Zur Lösung des Problems wird eine vierte, schwarze Druckfarbe eingeführt. Entsprechend der optischen Wirkung, wird diese Druckfarbe als *Tiefe* bezeichnet und mit der Kennung K (Key) versehen. Da identische Anteile der Druckfarben CMY Grautöne erzeugen, können diese Gleichanteile gegen einen nahezu identischen Anteil der Druckfarbe Schwarz ausgetauscht werden, was die Probleme bei hohen Druckdichten reduziert und darüber hinaus auch die Druckkosten durch geringeren Materialverbrauch mindert. Der Schwarzanteil eines Bildes wird somit nicht wie die CMY oder RGB Anteile im Scan-Prozeß erfaßt, sondern im Austausch zu CMY Anteilen errechnet [Schl93]. In der Praxis gehen empirische, aus dem Druckprozeß gewonnene Erfahrungen in hohem Maße in die Bestimmung der Druckparameter ein.

Im Bereich des electronic publishing haben CMY bzw. CMYK Farbmodelle nur eine geringe Bedeutung. Der Einsatzbereich umfaßt vorwiegend die Printmedien sowie damit verbundene Prozeßstufen (klassische Druckvorstufe, EBV).

2.3.3 YUV-Modell

Vorwiegend im Bereich der Fernsehtechnik werden das YUV- und das nachfolgend beschriebene YIQ-Modell eingesetzt. Für Anwendungsgebiete des electronic publishing kann eine Transformation der Farbdaten aus oder in diese Farbmodelle für den Datenaustausch mit TV-Einrichtungen notwendig sein. Eine Verarbeitung innerhalb dieser Modelle findet ähnlich wie im zuvor dargestellten CMY-Modell üblicherweise nicht statt.

Die mit RGB-Videokameras erfaßten Farbbilder werden zur Übertragung innerhalb des PAL-Farbfernsehensystems im YUV-Farbmodell dargestellt. Der Y-Anteil repräsentiert dabei die Helligkeitsinformation (Luminanz), während U und V die Farbinformation (Chrominanz) darstellen. Diese Aufteilung erlaubt neben einer effizienten Codierung die Kompatibilität zu dem parallel betriebenen sogenannten Schwarzweiß-Fernsehen, das lediglich die Luminanzinformation auswertet und darstellt.

Darüber hinaus ist es möglich, die ursprünglich allein für das Luminanzsignal verfügbare Bandbreite für die PAL-Übertragung zu quasi gleichen Teilen zwischen Luminanz und Chrominanz aufzuteilen.

Die Umrechnungen ergeben sich nach [Zas83] und [Ern91] zu

$$Y = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot B \quad (2.12)$$

$$U = 0,493 (B - Y) \quad (2.13)$$

$$V = 0,877 (R - Y) \quad (2.14)$$

Die Signale U und V werden aus übertragungstechnischen Gründen amplitudenbegrenzt, um Übermodulation zu vermeiden. Für die Darstellung des Farbbildes muß das PAL YUV-Signal empfangsseitig zunächst wieder in ein RGB-Signal gewandelt werden. Eine ausführliche Darstellung der Anwendung des YUV-Farbmodells ist in [Lan78] zu finden.

2.3.4 YIQ-Modell

Entsprechend der Verwendung des YUV-Farbmodells zur Übertragung der Farbbildinformation im PAL-Farbfernsehsystem, wird das YIQ-Farbmodell bei dem NTSC-Farbfernsehsystem (National Television Standards Committee) verwendet. Auch hier entspricht Y dem Luminanzsignal, während I und Q die Farbinformation beschreiben.

Die Umrechnung ergibt sich nach [Fol90] entsprechend

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,299 & +0,587 & +0,114 \\ +0,596 & -0,275 & -0,321 \\ +0,212 & -0,528 & +0,311 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.15)$$

Werden die Gewichte für I und Q wieder wie bei Gleichung (2.8) so skaliert, daß der Bereich der transformierten Werte identisch mit den Originaldaten ist, ergeben sich die Umrechnungen wie folgt (vergl. [OKS80]).

$$\begin{pmatrix} Y \\ I \\ Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +0,299 & +0,587 & +0,114 \\ +0,500 & -0,230 & -0,270 \\ +0,202 & -0,500 & +0,298 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (2.16)$$

Die YIQ- und YUV-Farbmodelle werden nahezu ausschließlich in der Farbfernsehtechnik verwendet. Amplitudenbegrenzung und ggf. Unterabtastung der Chrominanzanteile ermöglichen die gewünschte Datenreduktion unter Verlust

der Auflösung der Farbinformation. Ein subjektiver Ausgleich hierfür wird durch das überlagert dargestellte Luminanzsignal erreicht.

2.3.5 HSX-Modelle

Die Darstellung der Farbdaten in den bisher genannten Farbmodellen folgt in erster Linie technischen Randbedingungen. Die Struktur der HSX-Modelle¹ orientiert sich stärker an der Farbwahrnehmung des Menschen, der weniger in der Lage ist, eine Farbe durch die Anteile von drei vorgegebenen Grundfarben zu beschreiben, als durch Attribute wie Helligkeit, Sättigung und Buntton (Farbton²). In dieser Arbeit wurden das HSI-, das HSV- und das HSL-Farbmodell untersucht.

Gemeinsame Merkmale dieser Farbmodelle sind:

- Die Darstellung der drei Komponenten erfolgt in Zylinderkoordinaten.
- Die Helligkeit (Lightness, Intensity, Value) wird auf die Z-Achse des zylindrischen Koordinatensystems abgebildet.
- Der Buntton (Hue) entspricht dem Winkel zu einem definierten Bezugsbuntton (Rot).
- Die Sättigung entspricht dem Radius (Abstand von der z-Achse).

Abb. 2.7 deutet den Aufbau der HSX-Modelle an. HSX Farbmodelle kommen vorwiegend innerhalb technischer, bildverarbeitender Systeme zur Anwendung. Gründe dafür finden sich in der intuitiven Beschreibungsform, die der Entwicklung bildverarbeitender Operatoren entgegenkommt, sowie in der Verfügbarkeit vergleichsweise einfacher und daher schneller Transformationen. Die rein systeminterne Verwendung der Farbmodelle ist durch das Fehlen HSX-tauglicher Ein- und Ausgabegeräte begründet.

¹ Die Bezeichnung **HSX-Modell** wird als ein Sammelbegriff der Farbmodelle mit Helligkeits-, Sättigungs- und Farbtondarstellung verwendet

² DIN 5033 [DIN79] ersetzt nach [Ric81] den Begriff *Farbton* durch den Begriff *Buntton*. In der Literatur werden beide Begriffe parallel genutzt.

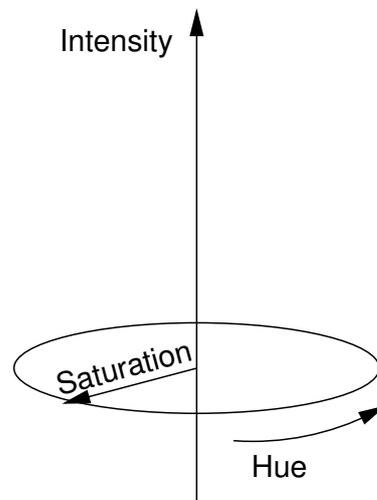


Abb. 2.7: Das HSX-Farbmodell

Umrechnungen für das gebräuchliche **HSI-Modell** (Hue, Saturation, Intensity) werden z.B. in [Ken76, Smi78, OKS80, Fre88, Led90, Wel91] angegeben. Eine Herleitung ist in [And94] zu finden.

Das **HSV-Modell** (Hue, Saturation, Value) ist ebenfalls in [Smi78] sowie in [Lev88, Lev93] und [Reh94] dargestellt. [Fol90] beschreibt die Konvertierungen zwischen RGB- und HSV-Modellen mit Pseudocode-Beispielen.

Ein **HSL-Modell** (Hue, Saturation, Lightness, auch HLS-Modell) wird unter der Bezeichnung *Double-hexcone model* in [Lev88, Lev93, Fol90] aufgeführt. [Fol90] bietet wiederum die Konvertierungsroutinen HSL/RGB als Pseudocode an.

Für HSX-Modelle ist keine Standardisierung verbreitet. Ähnlichkeiten in der Namensgebung verursachen Probleme beim Datenaustausch bzw. bei der notwendigen Umrechnung in die für Ein- und Ausgabe benötigten Farbmodelle. Darüber hinaus sind beim Einsatz dieser Modelle folgende Problempunkte zu beachten:

- Obwohl die Modelle der Wahrnehmung des Menschen nachempfunden sind, entsprechen die Parameter nicht der Farbwahrnehmung in Bezug auf Farbabstände und Distanzmaße.
- Für unbunte Farben (Sättigung = 0) ist der Winkel (hue) nicht definiert.
- Kleine Schwankungen der Sättigung bei geringer Sättigung (nahe der Unbuntgeraden) verursachen starke Winkelsprünge.

- Je nach verwendetem Farbmodell treten Singularitäten auf, die besonders behandelt werden müssen.

Auf eine Wiedergabe der Umrechnungsgleichungen wird an dieser Stelle verzichtet, da HSX-Modelle in der vorliegenden Arbeit nicht eingesetzt werden (siehe auch 2.4). In der Literatur sind weitere Angaben z.B. in [Smi78, OKS80, Fre88, Fol90, Lev93, And94, Reh94, Fai98] zu finden.

2.3.6 CIE(1976) $L^*a^*b^*$ und CIE(1976) $L^*u^*v^*$

Die bisher aufgeführten Farbmodelle folgen technischen Randbedingungen (RGB, CMY, YUV, YIQ) oder zumindest qualitativ der Farbwahrnehmung des Menschen (HSX). Eine empfindungsgemäß gleichabständige Darstellung ist in keinem der bisher aufgeführten Farbmodelle realisiert. Auch das von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) standardisierte Normfarbsystem wird diesem Anspruch nicht gerecht. Betrachtet man den Farbabstand der XYZ-Werte eines Farbenpaares im Munsell Farbordnungssystem, so können sich für ein anderes Farbenpaar mit identischem Abstand, aber anderer Position im Munsell Farbordnungssystem, sehr unterschiedliche numerische Maße ergeben.

Dieses Problem wurde experimentell untersucht und von MacAdam dargestellt [MAd42] (vgl. auch [Wys82]). Ausgehend von einer Bezugsfarbe wurde die maximale Farbdifferenz bestimmt, bis zu der ein Betrachter keinen visuell feststellbaren Unterschied angeben kann. In einem empfindungsgemäß gleichabständigem Farbdreieck sollten alle Farben mit gleichem visuellen Farbabstand zu einer Bezugsfarbe auch einen geometrisch gleichen Abstand aufweisen. D.h. der Farbort einer Bezugsfarbe wird von einem Kreis umschlossen, auf dem die Farben mit gleichem Farbabstand zur Bezugsfarbe liegen. Die Untersuchungen von MacAdam ergaben im CIE-Farbdreieck jedoch Ellipsen unterschiedlicher Größe für den beschriebenen Fall. Abb. 2.8 zeigt 25 untersuchte Bereiche, in denen bezogen auf eine zentrale Bezugsfarbe keine unterscheidbaren Farben liegen. Die unterschiedliche Größe und Lage der Ellipsen verdeutlicht das Problem der empfindungsgemäßen Gleichabständigkeit im CIE-Farbdreieck.

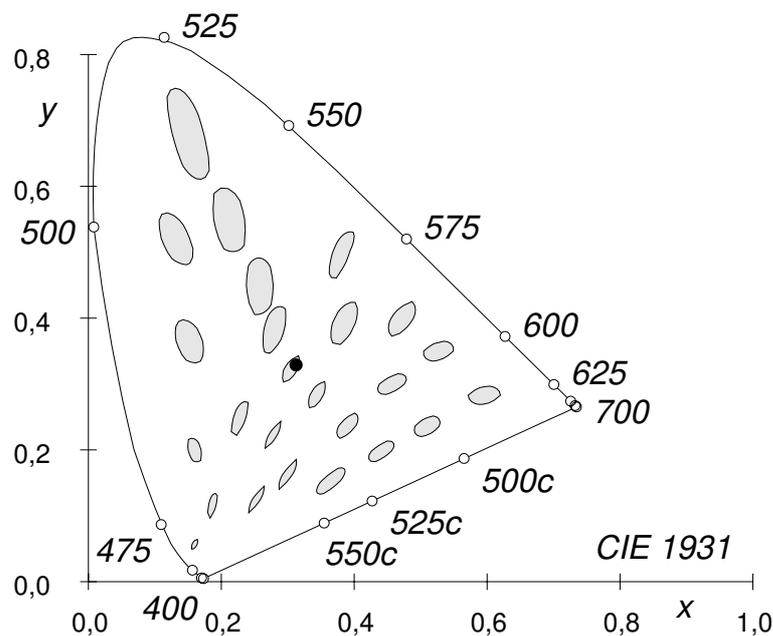


Abb. 2.8: Farbtafel nach MacAdam (1942). Innerhalb der (20fach vergrößert) dargestellten Ellipsen kann das visuelle System des Menschen die enthaltene Farben nicht unterscheiden. Die Farben werden empfindungsmäßig als identisch wahrgenommen. Größe und Form der Ellipsen macht deutlich, daß der wahrgenommene Farbabstand in diesem Farbmodell vom Farbort abhängt und Farbdistanzangaben damit unmöglich sind. (aus [KRi96])

Um nun zu einem gleichabständigem Farbmodell zu gelangen, kann man das CIE-xy-Farbdreieck so verzerren, daß aus den Ellipsen Kreise werden. Die Wandlung der XYZ-Werte führt so zu einem CIE-UCS-Diagramm (Uniform Chromaticity Scale). Allerdings gestaltet sich die Prüfung der visuellen Gleichabständigkeit recht aufwendig, da hierzu nur das menschliche Auge herangezogen werden kann. Darüber hinaus fordert eine gute Gleichabständigkeit sehr aufwendige, rechenintensive Algorithmen. Für extreme Genauigkeitsanforderungen kann sogar keine Formel zur Umsetzung angegeben werden, so daß auf umfangreiche Tabellen zurückgegriffen werden muß. In diesem Fall entartet die Beschreibung zu einem Farbordnungssystem ähnlich Munsell, das jedoch die gewünschte Messung einer Farbdifferenz nicht mehr zuläßt. Weiterhin erlaubt ein CIE-UCS-Diagramm nur die gleichabständige Darstellung von Farbarten. Eine Farbabstandsbeurteilung unter Einbeziehung der Helligkeit ist damit nicht möglich.

Das hohe Interesse an einer Farbabstandsbeschreibung führte zu einer Vielzahl von Transformationsvorschlägen. Um den damit verbundenen Kompatibilitätsproblemen zu entgegnen, veröffentlichte die CIE 1976 zwei Transformationemp-

fehlungen:

- CIE(1976)L*u*v* (Kurzform CIELUV)
- CIE(1976)L*a*b* (Kurzform CIELAB)

die aus einer Transformation des CIE-UCS-Dreiecks abgeleitet wurde (CIELUV), bzw. auf der Gegenfarbentheorie von Hering beruhen (CIELAB). Beide Farbmodelle sind als Bezugssysteme zur Durchführung von Farbabstandsmessungen in der DIN 5033 gewählt [DIN79].

Die Transformationen für CIELAB lauten nach [Wys82]

für $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n > 0, 008856$

$$L^* = 116 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{Y}{Y_n}\right)} - 16 \quad (2.17)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[\sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} - \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} \right] \quad (2.18)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} \right] \quad (2.19)$$

und für $X/X_n, Y/Y_n, Z/Z_n \leq 0, 008856$

$$L^* = 903,3 \cdot \frac{Y}{Y_n}, \quad \frac{Y}{Y_n} \leq 0, 008856 \quad (2.20)$$

$$a^* = 500 \cdot \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \quad (2.21)$$

$$b^* = 200 \cdot \left[f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right] \quad (2.22)$$

mit

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{X}{X_n}} & , \frac{X}{X_n} > 0, 008856 \\ 7,787 \frac{X}{X_n} + \frac{16}{116} & , \frac{X}{X_n} \leq 0, 008856 \end{cases} \quad (2.23)$$

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} & , \frac{Y}{Y_n} > 0, 008856 \\ 7,787 \frac{Y}{Y_n} + \frac{16}{116} & , \frac{Y}{Y_n} \leq 0, 008856 \end{cases} \quad (2.24)$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \begin{cases} \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_n}} & , \frac{Z}{Z_n} > 0, 008856 \\ 7,787 \frac{Z}{Z_n} + \frac{16}{116} & , \frac{Z}{Z_n} \leq 0, 008856 \end{cases} \quad (2.25)$$

wobei X_n, Y_n, Z_n die Koordinaten der beleuchtenden Lichtart (Bezugsweiß) darstellen. Der Farbabstand ΔE_{ab}^* entspricht dem Euklidischen Abständen zu:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2.26)$$

Entsprechend lautet für CIELUV die Transformation:

$$L^* = \begin{cases} 116 \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_n}} - 16 & , \frac{Y}{Y_n} > 0,008856 \\ 903,3 \frac{Y}{Y_n} & , \frac{Y}{Y_n} \leq 0,008856 \end{cases} \quad (2.27)$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n) \quad (2.28)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n) \quad (2.29)$$

mit

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad (2.30)$$

$$u'_n = \frac{4X_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \quad (2.31)$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} \quad (2.32)$$

$$v'_n = \frac{9Y_n}{X_n + 15Y_n + 3Z_n} \quad (2.33)$$

Der Farbabstand ΔE_{uv}^* entspricht ebenfalls dem Euklidischen Abstand zu:

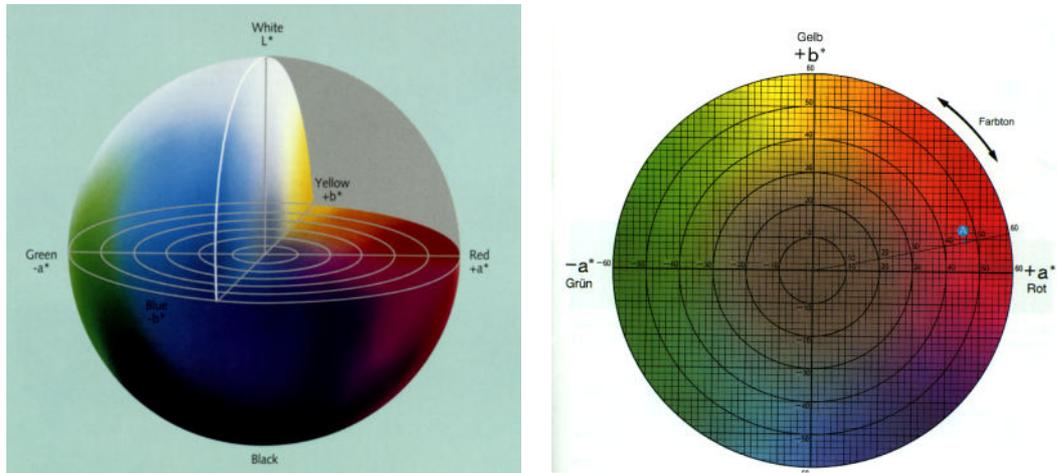
$$\Delta E_{uv}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2} \quad (2.34)$$

Während RGB- und CMY-Modelle in der Regel als gerätebezogene Farbräume genutzt werden, stellen CIELAB und CIELUV ähnlich dem CIE-XYZ-Modell eine üblicherweise geräteunabhängige Farbbeschreibung dar. CIELAB und CIELUV weisen keine definierten Begrenzungsflächen auf. Ein geometrisches Modell kann daher nicht angegeben werden; die in Abb. 2.9 gezeigte Form ist willkürlich gewählt. Wird z.B. ein RGB-Würfel im CIELAB dargestellt, treten aufgrund der wahrnehmungsangepaßten Gleichabständigkeit des CIELAB komplexe Verformungen auf (vergl. hierzu [Hil97]). Für eine übersichtliche grafische Darstellung des CIELAB, wird in dieser Arbeit eine einfache geometrische Form mit normierten Achsenbezeichnungen verwendet.

Auch CIELAB und CIELUV stellen einen Kompromiß zwischen Rechenaufwand für die Transformation und Gleichabständigkeit dar, was allein dadurch deutlich wird, daß man sich nicht auf eine Formel einigen konnte. Trotzdem bilden

diese Empfehlungen einen Fortschritt im Hinblick auf die notwendige Zusammenführung der Vielzahl von Transformationen. Mit der inzwischen hohen Anzahl von Nutzern ist auch die Kritik an der Gleichabständigkeit erkennbar (siehe auch [Oht77, Poi81]). Zumindest die Farbabstandsformel wurde daher 1994 von der CIE durch die als ΔE_{94}^* Formel ersetzt [CIE93, CIE95, Hil97]. Fairchild faßt einige Problempunkte des CIELAB ausführlich in [Fai98] zusammen.

Entsprechend der Kritik hat es viele Bemühungen gegeben, die Transformationen zu erweitern. Z.T. mangels der hierfür notwendigen experimentellen Untersuchungen konnte sich jedoch bisher keine allgemeingültige neue Beschreibung etablieren. Aktuelle Arbeiten der CIE hingegen, versuchen ein neues Modell zu entwickeln, das die Kritikpunkte aufgreift. In einer Publikation vom April 1998 [Fai98a] wird das neue CIECAM97s vorgestellt (siehe auch Abschnitt 2.3.9).



(a) Modell des CIELAB

(b) a^*b^* -Ebene des CIELAB (Farbkreis)

Abb. 2.9: Darstellung des CIELAB-Modells

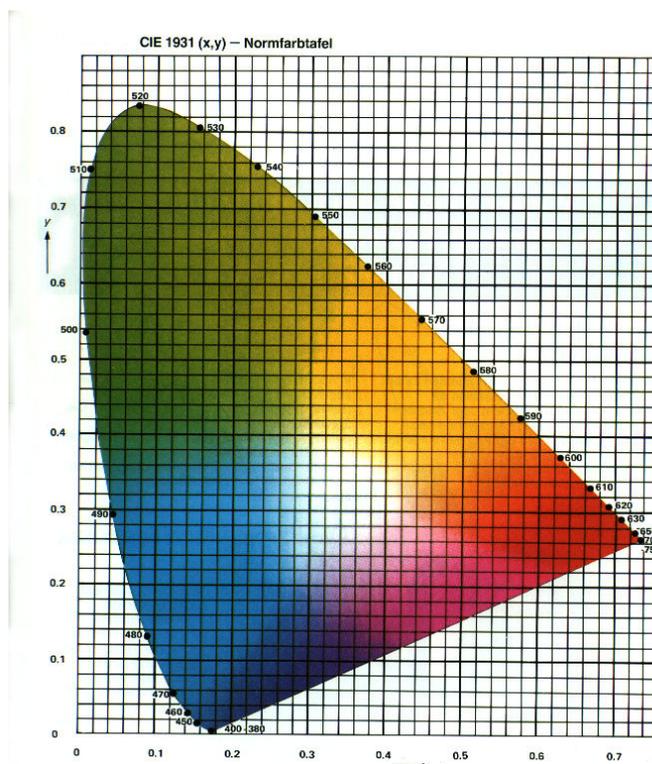


Abb. 2.10: Normfarbtafel(x,y) siehe auch Abb. 2.3 Seite 12

2.3.7 CIE(1976) HCL-Modelle

Das CIE(1976) HCL-Modell überführt die zuvor aufgeführte kartesische Darstellung in Zylinderkoordinaten mit den Bezeichnungen Hue, Chroma und Lightness (HCL). Diese, der menschlichen Vorstellung nähere Parametrisierung wurde bereits in ähnlicher Form für die HSX-Modelle realisiert. Da die HCL-Modelle allerdings aus CIELAB und CIELUV hervorgehen, liegt auch hier eine wahrnehmungsnahe Gleichabständigkeit vor. Damit kann auch diese Beschreibungsform für Farbabstandsbestimmungen etc. eingesetzt werden. Allerdings gestalten sich die Farbabstandsformel aufgrund der Zylinderkoordinaten etwas aufwendiger.

Die Transformationen erfolgen nach [Poi81, Wys82, Schw87]:

$$L_{ab}^* = L_{ab}^* \quad (2.35)$$

$$H_{ab}^* = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (2.36)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2.37)$$

und

$$L_{uv}^* = L_{uv}^* \quad (2.38)$$

$$H_{uv}^* = \arctan \frac{v^*}{u^*} \quad (2.39)$$

$$C_{uv}^* = \sqrt{(u^*)^2 + (v^*)^2} \quad (2.40)$$

Der Winkel 0 (Hue) verläuft per Definition auf der +a* Achse. Einige der bereits in Abschnitt 2.3.5 geschilderten Probleme treten auch für diese Beschreibungsform auf.

2.3.8 CIE(1964) U*V*W*

CIE(1964) U*V*W* könnte vereinfacht als dreidimensionale Erweiterung des CIE-1960-UCS-Diagramms gesehen werden. Da das Farbdreieck nur die gleichabständige Darstellung von Farbarten gestattet, muß für eine Farbabstandsbeurteilung die Helligkeit einbezogen werden. Das 1963 von Wyszecki vorgeschlagene Farbmodell wurde 1964 von der CIE standardisiert. Die Bedeutung ist insbesondere durch CIELUV (s. Abschnitt 2.3.6) inzwischen mehr historisch zu sehen. Auf die in [Wys82] angegebenen Transformationen wird an dieser Stelle verzichtet.

2.3.9 Spezielle Farbmodelle

Neben den standardisierten bzw. stark verbreiteten Farbmodellen sind, wie bereits erwähnt, viele weitere Modelle für teilweise sehr spezielle Anforderungen entwickelt worden (siehe z.B. [Sto96]). Eine vollständige Auflistung der in der Literatur aufgeführten Farbmodelle ist kaum möglich. Stellvertretend seien hier nur die Arbeiten von Ohta und Pomierski erwähnt.

Das von Ohta, Kanade und Sakai bereits 1980 entwickelte und in [OKS80] vorgestellte Farbmodell verfolgt die Zielsetzung einer effizienten Segmentierung von Farbbildern. Mit einer vergleichsweise einfachen und daher wenig rechenintensiven Transformation wird versucht, das dreidimensionale RGB-Modell für die Durchführung der Bildverarbeitungsaufgabe auf einen zweidimensionalen Fall zu reduzieren. Das resultierende Farbmodell eignet sich weniger für elektronische Farbbilddarstellungen.

Pomierski stellt in [Pom95] ein neurophysiologisch motiviertes Farbmodell vor. Die als Elementarfarbraum bezeichnete Beschreibungsform erlaubt insbesondere eine sehr gute und effiziente Farbneutralisation (dort als Farbumstimmung bezeichnet). Eine ausführliche Darstellung mit Ergebnissen ist in [Pom96] enthalten.

Eine Weiterentwicklung hinsichtlich eines CIE-Vorschlags für ein einheitliches, wahrnehmungsangepasstes, gleichabständiges Farbmodell findet momentan statt. TC1-34 publizierte im April 1998 *The CIE 1997 Interim Colour Appearance Model (Simple Version)*, *CIECAM97s*, mit der Zielsetzung, Schwachpunkte der existierenden Modelle abzubauen und einen einheitlichen Vorschlag machen zu können (siehe dazu [Fai98] und [Fai98a]).

2.4 Gegenüberstellung der Farbrepräsentationsformen

Bei der Vielzahl der allein hier vorgestellten Farbmodelle wird erkennbar, daß abhängig von den jeweiligen Randbedingungen eine Auswahl getroffen werden muß. Die große Anzahl der unterschiedlichen Realisierungen macht aber auch deutlich, daß es vermutlich keine optimale Lösung gibt. Für ein Verfahren zur Farbanpassung im Einsatzbereich des electronic publishing können stark vereinfacht folgende Randbedingungen aufgezeigt werden:

- Die Farbanpassungen verfolgen das Ziel, Farbbilder derart aufzubereiten, daß beim Betrachter der beabsichtigte Gesamteindruck optimiert wird. Die

Beurteilung erfolgt somit durch das visuelle System des Menschen.

- Die Verfahrensschritte müssen hinsichtlich eines möglichst optimalen Zugangs zur Farbe ausgerichtet sein.
- Qualität und Parametrisierung der Werkzeuge werden ebenfalls über das visuelle System des Menschen abgeglichen und beurteilt.
- Eine technische Anbindung an übliche Applikationen zur Farbbildbearbeitung muß möglich sein.

Im Rahmen einer Studie [And94] zur Farbmodell-Auswahl wurden daher Konverter für die zuvor beschriebenen Farbmodelle (mit Ausnahme des Modells von Pomierski und des neuen CIECAM97s) implementiert und die damit transformierten Farbbilddaten zu Testzwecken einem Bildverarbeitungsverfahren zugeführt. Hierzu dienten zwei in einer weiteren Arbeit [Die93] realisierte Segmentierungsverfahren auf der Basis des Region Growing.

HSX-Modelle, speziell das HSV-Modell, erwiesen sich dabei als geeignete Farbmodelle. Die Testergebnisse machen hingegen deutlich, daß insbesondere wahrnehmungsangepaßte Farbmodelle unter den genannten Randbedingungen besonders vorteilhaft eingesetzt werden können. Der Vorsprung des CIELAB wird bei kritischem Bildmaterial offensichtlich. Da die Segmentierungsverfahren numerisch identische Distanzmaße für das gesamte Farbmodell verwenden, kann mit wahrnehmungsangepaßten Farbmodellen ein auch visuell identisch erscheinender Schwellwert für alle Farbbereiche realisiert werden.

Als Fazit wird die weitere Ausrichtung der Arbeit zunächst auf CIELAB konzentriert, da für diese Beschreibungsform zudem eine hohe Kompatibilität zu bekannten Bildverarbeitungsapplikationen vorliegt. Es besteht trotzdem der Wunsch, bei der Gestaltung der Verfahren eine möglichst hohe Unabhängigkeit vom verwendeten Farbmodell zu erreichen, um individuellen Anforderungen oder neuen Entwicklungen (z.B. CIECAM97s) nachkommen zu können. Eine Abhängigkeit der Verfahren von einem bestimmten Farbmodell muß somit vermieden werden.

3 Anforderungsprofil des Farbbearbeitungssystems

Dieses Kapitel beschreibt die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Farbbearbeitungsmodule. Aus der Zusammenführung der einzelnen Funktionen wird die Systemarchitektur hergeleitet. Ein Vergleich mit dem Stand der Technik zeigt die mit dieser Architektur mögliche Weiterentwicklung, bevor ein abschließendes Teilkapitel die Lösungsansätze und Strategien des vorgeschlagenen Konzeptes darstellt.

3.1 Architektur für ein Konzept zur Farbbildbearbeitung

Voraussetzung für die Verarbeitung der Farbinformation in Bildern ist die korrekte, unverfälschte Erfassung, Wandlung und Speicherung der Farbdaten. Dabei sind diverse geräte- und medienspezifische Anforderungen zu beachten und zu lösen. Eine *Farbkorrektur* dient zur Vermeidung medien- und gerätespezifischer Farbfehler. Jedes technische Gerät bildet die Farbinformation auf einen gerätespezifischen Farbraum¹ ab. Die in der Verarbeitungskette vorhandenen Systeme nutzen dabei unterschiedliche Farbräume. Auch bei identischem Farbmodell kann der Umfang der darstellbaren Farbwerte unterschiedlich ausfallen. Daher muß die Farbkorrektur eine Umsetzung und ggf. zusätzlich sogar eine Begrenzung auf den geräte- und medienspezifischen Farbraum vornehmen. Dieser Vorgang besteht aus einer Transformation der Farbdaten eines bestimmten Gerätes zu einem geräteneutralen Farbraum, der hier als *Referenzfarbraum* bezeichnet wird. Eine optimale Farbkorrektur nutzt dabei den geräteeigenen Farbraum innerhalb der technischen Möglichkeiten vollständig aus.

¹ Der Begriff Farbraum bezeichnet in dieser Arbeit die Menge aller Farben, die, innerhalb eines beliebig gewählten Farbmodells, von einem bestimmten farbverarbeitenden System reproduziert werden können.

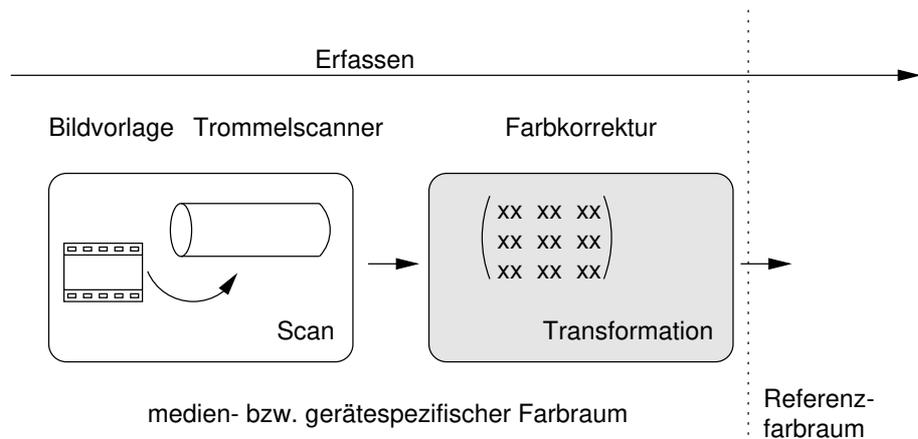


Abb. 3.1: Scan-Vorgang mit anschließender Farbkorrektur zur Beseitigung von gerätebedingten Farbfehlern durch Transformation in einen geräteneutralen Referenzfarbraum

Darüber hinaus bilden Verarbeitungstoleranzen und Handhabungsfehler weitere Problempunkte. Durch chargenbedingte Abweichungen im chemischen Prozeß der Filmentwicklung oder durch Fotolampen mit stark abweichender Farbtemperatur, kann schon das Eingangsbildmaterial (Bildvorlage) Farbfehler in Bezug auf die Originalszene aufweisen. Mit einem in dieser Arbeit als *Farbneutralisation* bezeichneten Verarbeitungsschritt wird dafür gesorgt, daß das elektronische Abbild der Vorlage frei von globalen Farbabweichungen² ist.

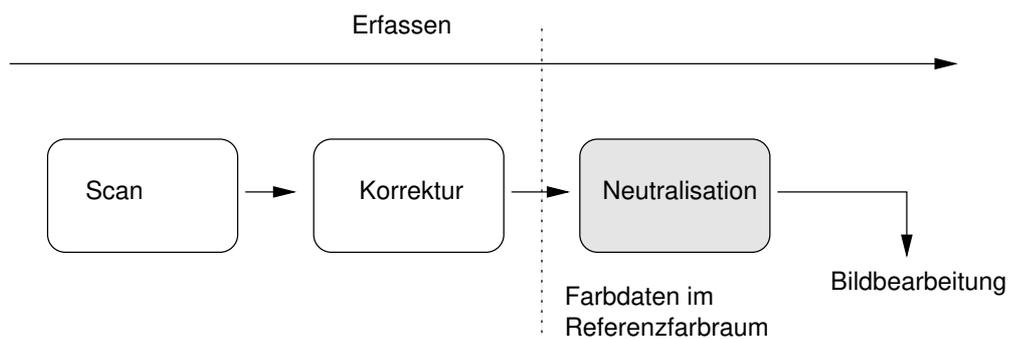


Abb. 3.2: Die nachfolgende Farbneutralisation beseitigt eine in der Bildvorlage evtl. vorhandene globale Farbabweichung (Farbstich). Die Farbdaten liegen anschließend in einer geräteunabhängigen und neutralisierten Form im Referenzfarbraum vor.

² Globale Farbabweichungen werden auch als Farbneigung oder Farbstich bezeichnet. (color bias oder color cast)

Schließlich entfällt der wesentliche Teil der Farbaufbereitung und Farbverarbeitung auf den Verfahrensschritt eigene Farbänderungswünsche einzubringen. Oft entspricht die Bildvorlage nur unvollkommen den eigenen Wünschen einer optimalen Farbgebung. Ebenfalls kann u.U. durch aufnahmetechnische Randbedingungen die Farbgestaltung nicht den gesetzten Anforderungen entsprechen. Somit entsteht die Notwendigkeit die globale Farbdarstellung des Bildes zu verändern, um die Aussage und Wirkung die mit dem Bild erfolgen soll, zu unterstreichen. Der entsprechende Verarbeitungsschritt wird als *Farbmanipulation* bezeichnet. Die Realisierung kann als eine Farbtransformation betrachtet werden, deren Parameter durch die Änderungswünsche des Bildbearbeiters vorgegeben werden. Abweichend von der Facsimile-Reproduktion werden hier bewußt Änderungen der Farbgebung vorgenommen, um das zu bearbeitende Bild seinem Verwendungszweck anzupassen.

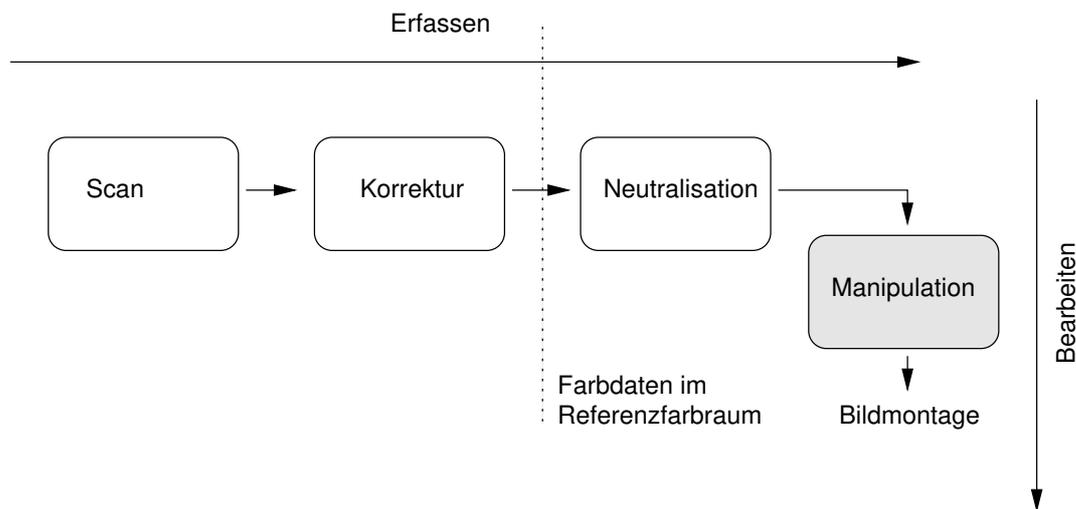


Abb. 3.3: Ausgehend von einer farbneutralen Form des Bildes können die gewünschten Farbänderungen und Anpassungen mit der Farbmanipulation umgesetzt werden. Die farbtechnische Aufbereitung der Bilddaten ist damit abgeschlossen, so daß nun weitere Verarbeitungsschritte wie z.B. die Bildmontage oder die Bildausgabe folgen können.

Die farbtechnische Verarbeitung der Bilddaten ist damit abgeschlossen. Nachfolgende Bildverarbeitungsschritte betreffen vorwiegend geometrische Veränderungen der Bildinhalte (Bildmontage). Erst zur Datenausgabe erfolgt eine dem Ausgabegerät und Medium entsprechende farbtechnische Umsetzung (Farbkorrektur) der Daten in Form einer Vorverzerrung der Farbbilddaten aus dem Referenzfarbraum.

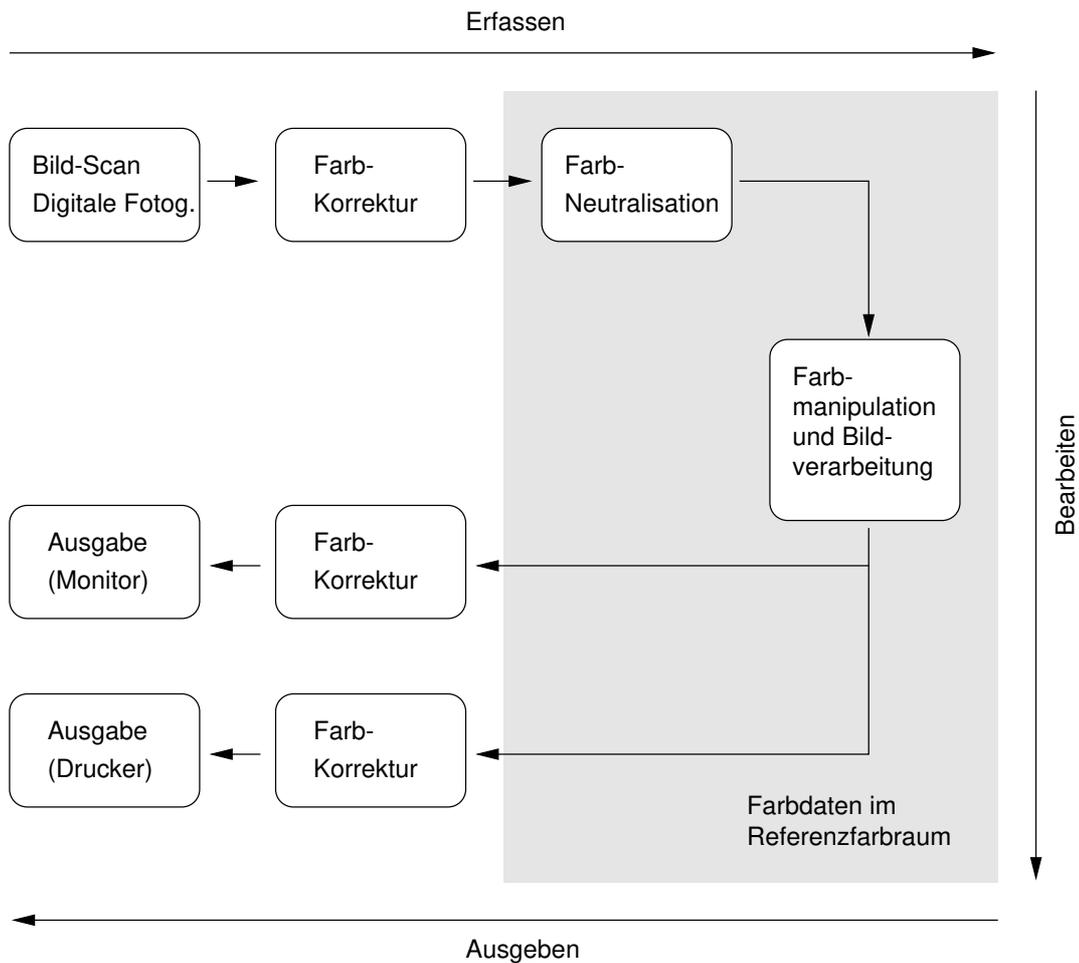


Abb. 3.4: Die komplette Verarbeitungskette von der Erfassung des Farbbildes bis zur Ausgabe. Während der gesamten Bildbearbeitungsphase befinden sich die Bilddaten im Referenzfarbraum. Erst zum Zeitpunkt der Ausgabe erfolgt eine dem Medium (Monitor bzw. Druck) entsprechende Farbumsetzung. Die Korrektur der Farbwerte für das Ausgabegerät erfolgt in Form einer gerätespezifischen Vorverzerrung.

Abb. 3.4 zeigt die komplette zur Farbbearbeitung vorgeschlagene Architektur. Die gesamte manuelle Verarbeitung des Bildes findet dabei im Referenzfarbraum statt. Der Zugriff auf die Farbdarstellung erfolgt unabhängig vom Farbraum des Ausgabemediums. Ebenfalls erlaubt die geteilte, gerätebezogene Farbkorrektur, parallel mehrere Ausgabeeinheiten zu versorgen.

Farbmanipulation und Farbneutralisation sind dabei zwei voneinander gelöste, separate Bearbeitungsschritte. Damit ist es jetzt möglich, die gewünschte Farbmanipulation unabhängig von der sonst ebenfalls zu berücksichtigenden Neu-

tralisation vorzunehmen. Dem Bildbearbeiter liegen nun verfärbungsfreie Quelldaten vor, was eine unabhängige und zielsichere Bearbeitung ermöglicht. Die zusätzliche Farbkorrektur stellt sicher, daß eine system- und geräteunabhängige Bearbeitung und Darstellung während der manuellen Verarbeitung vorliegt. Darüber hinaus erfolgt eine medienneutrale, parallele Ausgabe über unterschiedliche Geräte, ohne individuelle Farbanpassungen für das jeweilige Ausgabegerät während der Verarbeitung beachten zu müssen.

Neben den neuen Methoden zur automatischen Farbneutralisation bildet die besondere Realisierung der Farbmanipulation den Schwerpunkt des in dieser Arbeit vorgestellten Systems zur Farbbearbeitung.

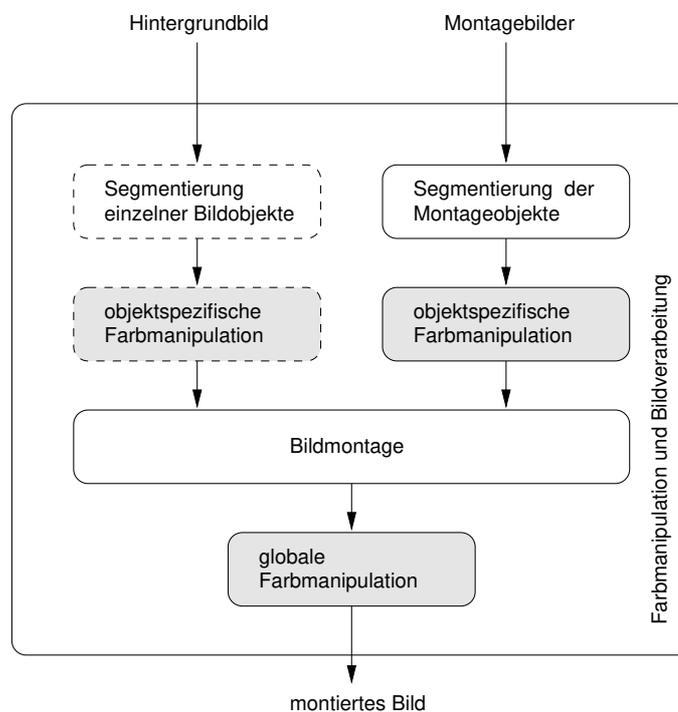


Abb. 3.5: Der Block Farbmanipulation und Bildverarbeitung

Neben einem Hintergrundbild werden u.U. mehrere Bildobjekte aus anderen Bildvorlagen segmentiert und nach erfolgter Farbanpassung in das Zielbild eingebracht. Die Farbmanipulation muß somit an mehreren Stellen im Verarbeitungspfad angewendet werden.

Abb. 3.5 löst den Block Farbmanipulation und Bildbearbeitung weiter auf. Hierdurch werden weitere wesentliche Module elektronischen Bildverarbeitung sichtbar. Die Farbmanipulation wird danach an mehreren Stellen im Verarbeitungspfad eingesetzt. Eine globale Übersicht dazu zeigt der nächste Abschnitt.

3.2 Globale Systemarchitektur

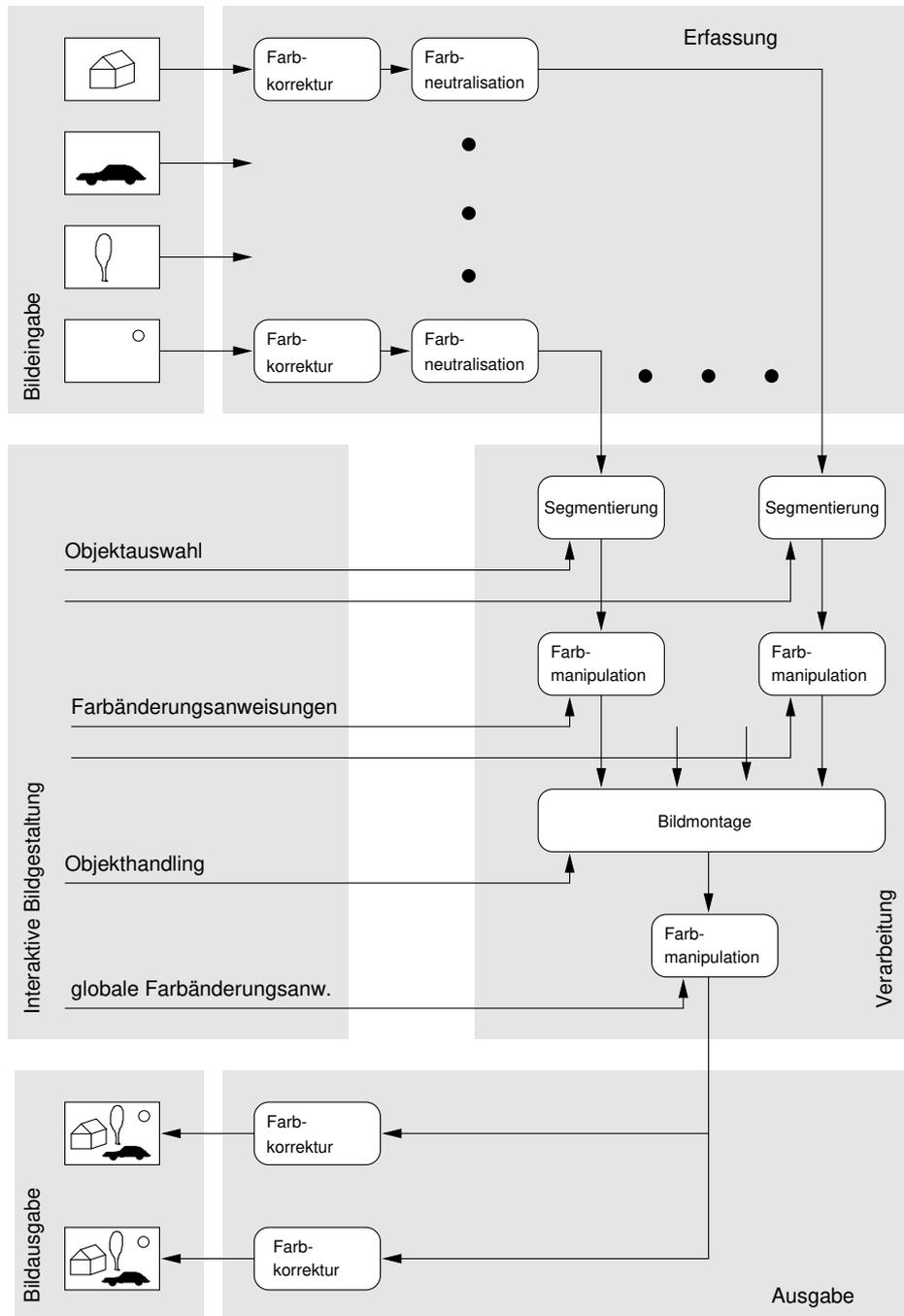


Abb. 3.6: Globale Systemarchitektur und Datenfluß unter Berücksichtigung einer Bildmontage. Die interaktive Farbmanipulation ist Teil des Bearbeitungspfades, während Farbkorrektur und Farbneutralisation automatisch ablaufen und daher der Bilderfassung zugeordnet werden können.

Während zunächst die Systemarchitektur der Farbgestaltung aufgezeigt wurde, soll nun die globale, für den gesamten Bildverarbeitungsprozeß typische Architektur dargestellt werden. Diese beinhaltet die Bildmontage (Zusammenführung eines Zielbildes aus mehreren Objekten diverser Bilder auf einem Hintergrundbild) und die daraus entstehenden Anforderungen an die Farbverarbeitung. Die Bildmontage selbst ist dabei nicht Gegenstand dieser Arbeit. Lediglich das vorgestellte Segmentierungsverfahren kann, neben seiner Eignung zur Maskierung spezifischer Farbbereiche im Bild, auch zur Trennung einzelner Objekte oder Objektteile nutzbringend eingesetzt werden.

Abb. 3.6 zeigt die globale Systemarchitektur einschließlich Datenfluß und Bildmontage. Der Datenfluß ist unterteilt in die Bereiche:

- Erfassen

- Verarbeiten

- Ausgeben

Erfassung und Ausgabe erfolgt dabei ohne interaktive Eingriffe des Anwenders, woraus sich entsprechende Forderungen an die Verfahren zur Farbkorrektur und Farbneutralisation ableiten lassen. Hier sind somit automatische Lösungen notwendig, um den Nutzer nicht mit vermeidbaren Entscheidungsprozessen oder interaktiven Reaktionen zu belasten.

Selbstverständlich können die Farbänderungswünsche des Anwenders nicht automatisch verarbeitet werden. Die Farbmanipulation ist somit Teil der interaktiven Bildgestaltung. In Abb. 3.6 ist darüber hinaus dargestellt, daß nach erfolgter Bildmontage u.U. noch eine weitere auf das vollständige Bild angewendete Farbmanipulation erfolgen kann, da bestimmte Einstellungen nur dort bewertet werden können.

Ferner ist die parallele Anwendung der Farbmanipulation bei der Verarbeitung der einzelnen Bildobjekte zu erkennen. Diese parallele Verarbeitungsform stellt die hohen Anforderungen an die Reproduzierbarkeit der Farbmanipulationsprozesses. Eine an einem Bildobjekt durchgeführte Farbmanipulation muß u.U. an mehreren Objekten erfolgen. Um eine möglichst einheitliche Bildgestaltung zu erhalten, kann eine wiederholte Anwendung der Farbänderung notwendig sein.

3.3 Stand der Technik

Farbkorrektur

Bedingt durch die vielen Problemquellen im Verarbeitungspfad und fehlenden Standards bzw. Normierungen sind in der klassischen EBV der Druckvorstufe diverse geschlossene Lösungen einzelner Hersteller entstanden. Auch aktuell eingesetzte Systeme verlangen häufig festgelegte, produktinterne Verarbeitungsketten und bieten nur wenige, oft ineffiziente Schnittstellen zum offenen Datenaustausch und zur externen Weiterverarbeitung an. Der Anwender ist in dem Fall gezwungen, alle Komponenten der an der Erfassung, Verarbeitung und Ausgabe beteiligten Geräte bei einem Hersteller zu erwerben. Nur so kann er sicherstellen, daß eine farbverbindliche Handhabung und Reproduktion der Bilddaten möglich ist. Zudem erfolgt die Bearbeitung der Bilddaten ausschließlich in einem vom Ausgabegerät vorgegebenen Farbraum.

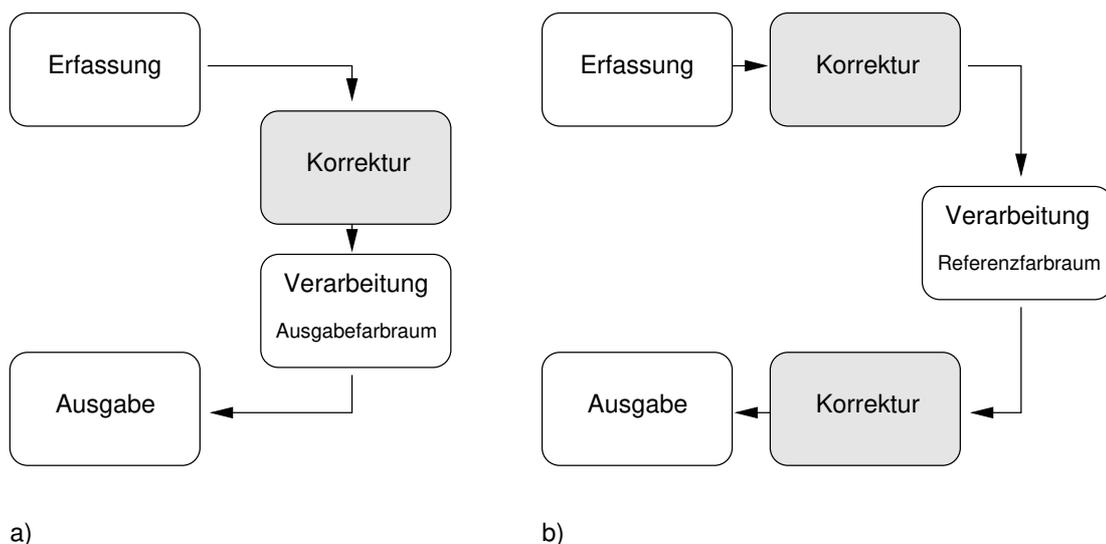


Abb. 3.7: Aufteilung der Farbkorrektur in medienspezifische Module. Die Teilung ermöglicht die Bearbeitung der Bilder im geräteneutralen Referenzfarbraum.
 a) gemeinsame Farbkorrektur im Bearbeitungspfad für Ein- und Ausgabegeräte. Manuelle Bildbearbeitung im Farbraum des Ausgabemediums.
 b) getrennte Farbkorrektur während der Bilderfassung und Bildausgabe. Manuelle Bildbearbeitung im Referenzfarbraum.

Abb. 3.7 zeigt die Aufteilung der Farbkorrektur für den Ein- und Ausgabekanal. Die Farbkorrektur erfolgt im zuvor beschriebenen Fall entsprechend a), wobei die

Farbkorrektur gemeinsam für Ein- und Ausgabegeräte erfolgt. Neuere Konzepte entsprechend Fall b) hingegen erlauben es, die Bearbeitung unabhängig vom Medium vorzusehen. Ebenfalls muß die Bildbearbeitung nicht für jedes weitere Ausgabemedium wiederholt werden. Dieses ist eine Voraussetzung für die effiziente Bearbeitung großer Datenmengen von Farbbildern, wie sie insbesondere bei elektronischen Publikationen auftreten.

Bedingt durch die zunehmend leistungsfähigeren Mikrorechner kann ein ständig wachsender Teil der Bilder bereits auf kleinen Rechnersystemen bearbeitet werden. Insbesondere die bei elektronischen Publikationen üblichen kleineren Bildformate lassen sich problemlos auf PC-Systemen (Personal Computer) verarbeiten. Derartige DTP-Systeme (Desktop-Publishing) lösen die starke Herstellerbindung der EBV-Systeme auf, indem offene Standards für einen herstellerunabhängigen Datenaustausch verwendet werden. Unter dem Begriff *Color Management System* sind sowohl Einzellösungen bestimmter Anbieter wie auch herstellerübergreifende Lösungen durch Kooperation mehrerer Firmen entstanden. 1993 gründeten acht Firmen auf eine Initiative der FOGRA (Forschungsgesellschaft Druck e.V.) hin, gemeinsam das *International Color Consortium* (ICC) mit dem Ziel, die dringend notwendige Standardisierung voranzutreiben. Die starke Marktposition der Gründungsmitglieder

- Adobe Systems Incorporated
- Agfa
- Apple Computer
- Eastman Kodak Company
- FOGRA (ehrenamtlich)
- Microsoft Corporation
- Silicon Graphics Inc.
- Sun Microsystems
- Taligent, Inc.

führte dazu, daß heute ca. 40 Firmen dem ICC beigetreten sind und deren Ziele unterstützen. Darunter befinden sich u.a. die im Publishing Bereich aktiven Firmen wie z.B. Barco, Canon, Dainippon Screen, DuPont, Gretag-Macbeth, Pantone, Scitex Corporation und X-Rite.

Das Ziel, ein rein technisch begründete Lösung auszuarbeiten, kann in derart großen Gemeinschaften oft nur mit bestimmten Kompromissen erreicht werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Mitglieder des Kreises jeweils eigene kommerzielle Interessen verfolgen. Im Falle des ICC führte dies dazu, daß die zur Farbkorrektur eines Gerätes gespeicherten Informationen zwar umfassend und detailliert ausgeführt sein können, die Anforderungen an den minimal vorgeschriebenen Parametersatz jedoch vergleichsweise gering sind. Im oft realisierten Fall minimaler Parametrisierung erreicht das System jedoch nur eine relativ grobe Farbkorrektur.

Alle Informationen zur Beschreibung der Farbeigenschaften eines Gerätes werden in einer Datei, dem *ICC-Profile* abgelegt [ICC97]. Die Bereitstellung eines ICC-Profiles vom Gerätehersteller sagt entsprechend der möglichen Minimalparametrisierung zunächst wenig über die erreichbare Qualität der Farbkorrektur aus. Darüber hinaus erlaubt das ICC-Profile nur eine etwas eingeschränkte Beschreibung nichtlinearer Effekte. Hingegen vorteilhaft gegenüber vielen anderen Lösungsvorschlägen zur Farbkorrektur ist die offene Spezifikation des ICC Profiles. Entsprechende Meßmittel vorausgesetzt, können die ICC-Parameter individuell bestimmt und in ein optimal abgestimmtes ICC-Profile umgesetzt werden. Bei der Scanner-Kalibrierung können zudem die Meßmittel entfallen, da lediglich eine kalibrierte Farbtabelle erfaßt werden muß, um die Abweichungen des Gerätes von den Soll-Vorgaben zu ermitteln.

ICC basierte Color Management Systeme stellen heute durch die hohe Verbreitung einen Industriestandard dar, womit eine deutlich verbesserte Austauschbarkeit der Farbdaten gegenüber vielen proprietären Lösungen gewährleistet ist [Has, Haf97, Agf97, Lin97]. Nichtlinearitäten in farbverarbeitenden Systemen werden auf der Basis von ICC jedoch nur in begrenztem Umfang abgedeckt.

Farbneutralisation

Enthält eine Bildvorlage einen wahrnehmbaren Farbstich, so ist eine Farbneutralisation erforderlich. Übliche EBV-Systeme verwenden zur Bilderfassung Trommelscanner, die im bedienten Betrieb eingesetzt werden. Im Rahmen der Arbeitsvorbereitung werden die zu erfassenden Vorlagen zunächst einzeln manuell vermessen. Die so ermittelten Korrekturparameter begleiten die Bildvorlage zum anschließenden Scanvorgang, bei dem die möglichst voll bestückte Trommel in einem Vorgang verarbeitet wird.

Die Bestimmung der Farbkorrekturparameter zur Farbneutralisation erfolgt dabei weitgehend manuell, üblicherweise gemeinsam mit zusätzlich notwendigen Änderungen zur Farbwiedergabe. Derart kostenintensive Lösungen lassen sich

im Bereich elektronischer Publikationen hingegen kaum realisieren. Moderne Scanner-Applikationen enthalten neue Verfahren, die einen zunehmenden Automatisierungsgrad aufweisen. Die automatische Arbeitsweise ist notwendig, um z.B. eine Offline-Verarbeitung im unüberwachten Scannerbetrieb zu ermöglichen. Insbesondere neuere DTP-Systeme versprechen eine deutliche Reduzierung des Bedienungsaufwandes. Leider sind nur wenige Hersteller der teilweise als *AI-Scanner* (Artificial Intelligence) bezeichneten Geräte bereit, die eingesetzten Verfahren zu veröffentlichen. Die Grundfunktion besteht in der Regel in einer Hauptachsenbestimmung der Farbverteilung im Farbraum. Weicht diese Achse von der farbneutralen Achse des Farbmodells ab, wird eine Farbneigung vermutet und die Farbinformation der Bildpunkte derart transformiert, daß die neue resultierende Hauptachse mit der farbneutralen Achse übereinstimmt.

Eine biologisch motivierte Farbumstimmung, u.a. für industrielle Anwendungen, wurde von Pomierski und Groß vorgestellt [Pom95]. Hier werden die Farbdaten in einen zu diesem Zwecke entwickelten physiologischen Farbraum transformiert, um anschließend die durch eine Hauptachsenverschiebung angezeigte Farbneigung zu kompensieren. Alphen und Lourens beschreiben eine Erstellung und Rotation des Histogramms dritter Ordnung zur Farbumstimmung [Alp91]. Ein Verfahren auf der Basis der Histogramm-Equalisierung jedes RGB-Kanals wird von Guo vorgeschlagen [Guo91], das jedoch von neun manuell vorgegebenen Parametern kontrolliert wird, die eine automatische Anwendung erschweren.

Im Publishing Bereich sind hingegen einige spezielle Randbedingungen zu beachten. So müssen beispielsweise neutral weiße Bildelemente auch nach der Bearbeitung neutral-weiß wiedergegeben werden. Eine geringe Verfärbung hat in diesen Bildbereichen auch bei sonst erfolgreicher Farbneutralisation des Bildes störende Auswirkungen. Eine global, auf alle Farbwerte gleichermaßen wirkende Hauptachsentransformation kann diese Bedingung in der Regel nicht erfüllen. Die manuelle Bestimmung der Farbneutralisationsparameter sieht daher auch eine getrennte Bestimmung, Bewertung und Korrektur der Farbabweichung in hellen (weißen), dunklen (schwarzen) und mittleren Helligkeitsbereichen vor, was zu einer helligkeitsabhängigen Neutralisation führt. Diese ist bisher in den automatisierten Scanner Applikationen nicht vollständig realisiert.

Farbmanipulation

Eng verbunden mit der Farbneutralisation ist die Farbmanipulation, da die verwendeten Methoden zur Farbbearbeitung voneinander abhängig sind. Erfolgt die Farbneutralisation manuell, so kann als Zielvorgabe unmittelbar die gewünschte endgültige, globale Farbdarstellung des Bildes realisiert werden. Der

Zwischenschritt einer neutralen Darstellung wird bei manueller Bearbeitung implizit verarbeitet.

Automatisierte Verfahren zur Farbmanipulation sind hingegen nur ansatzweise in der Anwendung zu finden. Die oft verbal geäußerten Anweisungen zur Änderung der Farbdarstellung des Bildes werden üblicherweise manuell umgesetzt. Mangels der Verfügbarkeit automatisierter Verfahren zur Farbmanipulation stellt die zuvor beschriebene automatische Farbneutralisation auch nur einen vergleichsweise geringen Gewinn dar, da das Bildmaterial ohnehin manuell bearbeitet werden muß.

Die Umsetzung der hochsprachlichen Vorgaben zur Farbveränderung erfolgt typischerweise durch die manuelle Veränderung von Gradationskurven. Hierzu ist ein hoher Erfahrungsschatz der Ausführenden erforderlich, da eine nichttriviale Umsetzung der Farbempfindung auf die jeweilige Intensitätsabstufung der im Reproduktionsprozeß verwendeten Grundfarben durchgeführt werden muß. Die Vielzahl der dabei möglichen und notwendigen Gradationskurvensätze läßt es nur sehr begrenzt zu, das Wissen zur Durchführung der Aufgabe zu speichern und für zukünftige Bearbeitungen zur Verfügung zu stellen.

Die neuen Anforderungen im Bereich der elektronischen Publikation erfordern besonders in diesem Bereich eine automatisierte Lösung, die eine kostengünstigere Bearbeitung des Bildmaterials ermöglicht. Die aufwendigen für Printmedien entwickelten Verfahren können diesen Anforderungen nicht entsprechen. Weiterhin ist es notwendig das zur Bearbeitung eingebrachte Wissen im System aufzunehmen und zu speichern, damit ähnliche Aufgaben anschließend von anderen Anwendern effizient genutzt werden können. Darüber hinaus sind automatische Verfahren zur Farbneutralisation erst mit der Verfügbarkeit automatisierter Verfahren zur Farbmanipulation sinnvoll einsetzbar.

Eine ausführliche Darstellung dieses Themenbereiches erfolgt im nächsten Kapitel.

Farbsegmentierung

Sofern die Farbveränderungen nur Teilbereiche des Bildes betreffen sollen, ist eine Maskierung zur Trennung der zu bearbeitenden und verbleibenden Bereiche notwendig. Dieses wird durch eine *Farbsegmentierung* der betreffenden Bildobjekte erreicht. Eine derartige Funktion ist im späteren Verarbeitungsprozeß auch für die Bildmontage notwendig, sofern einzelne Bildelemente aus verschiedenen Vorlagen in einem Zielbild zusammenzufügen sind. Hierzu muß das Objekt zunächst vom Hintergrund getrennt werden, weshalb diese Segmentierungsaufgabe im Fachjargon als *Freistellen* bezeichnet wird.

Sowohl für die Farbveränderung wie auch für die Bildmontage ist ein bildpunktgenaues Segmentieren erforderlich. Gelingt nur eine grobe, ungenaue Segmentierung, ist eine manuelle, aufwendige Nachbearbeitung der Randbereiche unerlässlich. Für die komplexe Aufgabe der bildpunktgenauen Segmentierung stehen nur wenige unterstützende Verfahren zur Verfügung. Insbesondere neue, farbverarbeitende Algorithmen haben deutliche Gewinne gegenüber konventionellen Verfahren erzielt. Trotzdem werden die bekannten Lösungen oft nicht als zufriedenstellend betrachtet. Daher ist die manuell durchgeführte Segmentierung durch stark vergrößerte Darstellung und Umfahren des Objektes mit einem Zeigeinstrument (Maus, Grafiktablett) eine aufwendige, aber oft praktizierte Arbeitsweise.

Entsprechend der verwendeten Algorithmen und der Zielrichtung lassen sich die verfügbaren Segmentierungsmethoden in

- Clusterbasierte

- Regionenbasierte

- Texturbasierte

Verfahren unterteilen. Während ein sehr leistungsstarkes Verfahren zur Segmentierung auf der Basis des Region Growing in [Pri93, Reh94, Pri97] dargestellt ist, findet man Untersuchungen der texturbasierten Methoden z.B. in [Mes89]. Regionen- und texturbasierte Verfahren leisten wertvolle Unterstützung bei der Segmentierung von Bildelementen insbesondere für eine spätere Bildmontage. Die Modifikation der Farben von Hintergrund und Teilobjekten stellt hingegen sehr spezielle Anforderungen, die in vielen Fällen andere Lösungsansätze erforderlich machen.

Für den Fall, daß einfarbige, in viele Teilregionen zersplittete Objekte zu segmentieren sind, können Verfahren mit einer Bildpunktklassifikation vorteilhaft angewendet werden. Soll z.B. in einer Landschaftsaufnahme der Himmel segmentiert werden, obwohl ein Baum im Vordergrund den Hintergrund in viele Teilregionen auf trennt, sind derartige Ansätze anwendbar. Ähnliche Probleme ergeben sich z.B. bei der Trennung von Haaren und Hintergrund in Portraitaufnahmen. Manuelle Verfahren scheiden hier aus bzw. führen zu einer stark vereinfachten Segmentierung, da die Durchführung andernfalls zu zeitaufwendig und damit zu kostenintensiv wäre.

3.4 Lösungsansätze und Strategien

Zukünftige elektronische Publikations- und Bildbearbeitungssysteme lösen den Verarbeitungspfad aus dem klassischen monolithischen System einer herstellerebenen Lösung heraus. Eine modular gestaltete Kette eng umgrenzter Bearbeitungsschritte erlaubt es, Hardware und Software unterschiedlicher Hersteller in einem individuell ausgerichteten Bildverarbeitungssystem zu integrieren, wobei die Verantwortung für das Ergebnis der Farbproduktion vom Systemhersteller auf den Anwender übergeht. Damit dieser Schritt erfolgreich und ohne Qualitätsverlust durchgeführt werden kann, sind einerseits Standardisierungen der Modul-Schnittstellen notwendig, um die Farbinformation verlustfrei und definiert übergeben zu können, andererseits muß der Funktionsumfang der einzelnen Module aufeinander abgestimmt werden, damit ein Austausch technisch möglich ist.

Es erscheint in diesem Zusammenhang vorteilhaft, auch die Bearbeitungsschritte der Farbverarbeitung zu splitten und zu modularisieren. Erst die Trennung bestimmter, bisher implizit durchgeführter Aktionen erlaubt es, diese Funktionseinheiten automatisch oder zumindest automatisiert auszuführen und damit zu optimieren.

Im Hinblick auf den Schwerpunkt und die Zielsetzung dieser Arbeit, ein funktional unabhängiges Verfahren zur Farbmanipulation zu entwickeln, wird der bereits dargestellte Aufteilung in die Funktionseinheiten

- Farbkorrektur
- Farbneutralisation
- Farbmanipulation

eine besondere Beachtung beigemessen. Durch die Isolation der Farbmanipulation werden so auf einfache Weise geeignete Voraussetzungen zur unabhängigen Verarbeitung geschaffen.

Im Gegensatz zur klassischen, integrierten Vorgehensweise, bei der die Farbmanipulation auch evtl. vorhandene globale Farbabweichungen berücksichtigen mußte, kann nun der Arbeitsablauf klarer und deutlich effizienter gestaltet werden. Ebenfalls wird es dadurch möglich, Verarbeitungsprozesse der Farbmanipulation zu speichern und wiederholt anzuwenden, sowie funktionale Erweiterungen durch Kombination von bekannten, gespeicherten Teilprozessen zu ermöglichen.

Im folgenden werden die Strategien und Lösungsansätze der einzelnen Teilaufgaben kurz vorgestellt.

Farbkorrektur

Die Farbkorrektur hat die Aufgabe, gerätespezifische Farbabweichungen auszugleichen. Zur Bestimmung der individuellen Abweichungen wird eine kalibrierte Farbvorlage erfaßt bzw. ausgegeben und der dabei entstehende Fehler durch Differenzbildung bzw. Messung bestimmt. Die Beschreibung des Fehler erfolgt bei vielen Realisierungen nur in analytischer Form, wobei oft nur eine näherungsweise, modellbasierte Lösung erreicht wird. Aktuelle Rechnersysteme ermöglichen hingegen die Speicherung und schnelle Verarbeitung größerer Datenmengen, was eine parametrische Beschreibung erlaubt. Um auch die insbesondere in Ausgabesystemen oft auftretenden nichtlinearen Effekte besser beschreiben und effizienter korrigieren zu können, sind parametrische Beschreibungen hierbei vorzuziehen.

Brües zeigt in [Bru93] ein herstellernerutrales Standardisierungskonzept zur Prozeß- und Qualitätskontrolle, das die Voraussetzungen schafft, die Komponenten unterschiedlicher Hersteller aufeinander abzugleichen. Hierdurch und durch die nachfolgenden Arbeiten des ICC [ICC] sowie dessen inzwischen erfolgte Verbreitung sind die grundlegenden Voraussetzungen zur modularen, herstellerunabhängigen Lösung für einen farbverbindlichen Datenaustausch nun auch in der Praxis geschaffen.

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Verfahren besteht die Absicht sowohl Bildaufnahme- wie Bildausgabegeräte mit zum Teil hohem nichtlinearen Anteil in der Farbdarstellung, korrigieren zu können. Der Algorithmus beruht auf einer parametrischen Beschreibung des Farbfehlers in Form einer dreidimensionalen Lookup Table, die in vergleichsweise hoher Auflösung den gesamten Farbraum abdeckt. Der Algorithmus wird hier mit dem Ziel vorgestellt, die Arbeiten an Colormanagement-Systemen weiter zu motivieren. Sofern technisch verfügbar sei in der Anwendung daher auf standardisierte Verfahren des ICC verwiesen.

Farbneutralisation

Die der Farbkorrektur folgende Farbneutralisation hat das Ziel der automatischen Erkennung und Kompensation individueller, globaler Farbneigungen (Farbstich).

Vergleicht man derzeit verwendete Algorithmen mit der Vorgehensweise eines

Scanner Operators beim Erfassen und Neutralisieren einer Bildvorlage, so werden z.T. deutliche Unterschiede erkennbar. Während automatische Verfahren vorwiegend über Farbhistogrammauswertungen oder Analysen der Farbverteilung die Abweichung der Hauptachse von der neutralen Achse bestimmen, messen Scanner-Bediener gezielt bestimmte Farbwerte im Bild aus und gewinnen daraus die zur Farbneutralisation erforderlichen Informationen.

Zur Neutralisation verschieben automatische Verfahren zumeist gemeinsam alle Farbwerte, mit dem Ziel die Abweichung der Verteilungshauptachse von der sogenannten Unbuntachse zu minimieren. Die manuelle Vorgehensweise hingegen berücksichtigt jeden zuvor erfaßten Meßpunkt individuell. Die Ergebnisse fallen daher z.T. recht unterschiedlich aus. Sofern die Bildvorlage z.B. nur kleine weiße Bereiche aufweist, können automatische Histogrammauswertungen diesen Bildteilen keine ausreichende Bedeutung beimessen, wodurch die globale Farbneutralisation eine Verfärbung der weißen Bildbereiche nach sich zieht. Leider sind sogenannte Unbuntbereiche jedoch besonders kritisch. Auch ungeschulte Betrachter erfassen derartige Fehler schnell und zuverlässig, wodurch sie besonders störend wirken.

Zur Lösung dieses Problems wurde in dem hier vorgestellten Algorithmus versucht, die Arbeitsweise eines Scanner Operators nachzuempfinden. Mit drei Meßpunkten bzw. Ersatzmessungen werden ähnlich der manuellen Messung weiße, schwarze und neutrale Bildbereiche ausgewertet. Jeder Helligkeitsbereich kann anschließend individuell neutralisiert werden. Gegenüber der globalen Hauptachsentransformation kann so eine luminanzabhängige Farbneutralisation realisiert werden. Die Zielsetzung besteht darin, den Anforderungen und Belangen der elektronischen Publikation besser entsprechen zu können, indem auch kleine Unbuntbereiche farbneutral dargestellt werden.

Darüber hinaus ist die Trennung von Farbneutralisation und Farbmanipulation eine wesentliche Voraussetzung zur Isolation und damit zur unabhängigen Durchführung der nachfolgenden Farbmanipulation.

Farbmanipulation

Die Farbmanipulation ist geprägt durch individuelle Wünsche des Anwenders bei der Optimierung der globalen Farbgebung eines Bildes. Automatische Lösungen sind daher kaum realisierbar; eine Automatisierung hingegen sehr wünschenswert, um die Durchführung der derzeit vollkommen manuell gelösten Aufgabe zu erleichtern.

Es sind verschiedene Ansätze bekannt, mit denen versucht wird, die aufwendige Aufgabe der Gradationskurvenmanipulation durch eine leichter zu bedienenden

de Steuerung zu ersetzen. Hierzu werden bestimmte Beispiele von Gradationskurvensätzen einer Bedeutung zugewiesen, die anschließend dem Anwender in Form einer Auswahltabelle angeboten wird. Leider läßt die Vielfalt möglicher Modifikationen eine umfassende Auflistung nicht zu. Die erforderliche hochsprachliche Differenzierung sowie die Grenzen einer geeigneten Darstellungform zur Auswahl sind weitere Probleme bei der Realisierung steuerungsbasierter Lösungen. Leichte Verbesserungen ließen sich durch parametrisierte Methoden erreichen, jedoch schränkt die dann notwendige feste Struktur die Möglichkeiten ungewollt ein.

Trotzdem ist die hochsprachliche Vorgabe der Änderungswünsche eine geeignete Form zur Gestaltung der Benutzerschnittstelle. *Das zu lösende Problem besteht darin, eine geeignete Umsetzung der hochsprachlichen Beschreibung der Sinnesempfindung Farbe, in technisch anwendbare Parameter zur Farbtransformation zu erreichen.*

Da die verwendeten Begriffe mit steigender Komplexität jedoch sehr individuell geprägt sind, muß das System in der Lage sein diesbezüglich flexibel reagieren zu können. Weiterhin sollten neue Begriffe auf bekannten Operationen aufsetzen können, so daß komplexe Funktionen mit individuellen Bezeichnungen versehen, auf bekannten, bereits definierten Methoden aufsetzen können. Im Gegenzug ist zu untersuchen, ob ein minimaler, allgemein anwendbarer Grundwortschatz gefunden werden kann, der als Basis oder Kern zum Aufbau individuell geprägter Methodensammlungen dient.

Letztlich ist eine interessante Frage darin zu sehen, mit welchen Systemen derartige Problemstellungen umgesetzt werden können. Insbesondere die Verfahren und Systeme der Künstlichen Intelligenz müssen auf ihre Verwendbarkeit hin geprüft werden.

Zielsetzung ist es ein automatisiertes Verfahren zur Farbmanipulation vorzustellen, das sich durch folgende Merkmale auszeichnet:

- Bedienerfreundliches Benutzer-Interface mit hochsprachlicher Schnittstelle
- Individuelle Erweiterbarkeit und Gestaltung der Methoden
- Bereitstellung eines allgemein anwendbaren Grundwortschatzes zur Farbmanipulation
- Eignung zur Nutzung visuell angepaßter Farbmodelle
- Optimierung auf die Belange der elektronischen Publikation
- Nutzung geeigneter Verfahren zur Speicherung, Erweiterung und Austausch des Wissens zur Farbmanipulation

Segmentierung

Ein wesentlicher Bestandteil notwendiger Hilfsfunktionen zur Farbmanipulationen stellt die Segmentierung dar. Sofern nur Teilregionen des Bildes bearbeitet werden sollen, ist eine bildpunktgenaue Maskierung dieser Bereiche notwendig. Bedingt durch die dabei erforderliche hohe Genauigkeit muß häufig manuell nachbearbeitet werden. Entsprechend wird auf lokal begrenzte Farbmanipulationen in vielen Fällen verzichtet.

Da die Zielsetzung der Farbmanipulation in der Veränderung bestimmter Farbwerte besteht, liegt es nahe, zur Segmentierung ebenfalls auf den Farbeigenschaften des Bild aufzubauen. Ein farbtaugliches Segmentierungsverfahren kann einfacher die farblich relevanten Bildpunkte erfassen und so die bei ungenauer Segmentierung auftretenden Farbsäume vermeiden.

Gegenüber einer Vielzahl unterschiedlicher Segmentierungsverfahren mit einer ähnlich großen Anzahl spezieller Anwendungsbereiche, läßt sich für die hier vorliegenden Randbedingungen keine bildspezifische Spezialisierung aufzeigen. Das verwendete Bildmaterial läßt grundsätzlich keine allgemeine Aussage zum Bildinhalt zu.

Eine Möglichkeit den Farbbezug für die Segmentierung zu nutzen, besteht in der Nutzung der Farbverteilung im Farbraum. Ein bestimmter Farbbereich im Bild hat ein zugehöriges Cluster im dreidimensionalen Farbhistogramm zur Folge. Zur Segmentierung der betreffenden Farbbereiche müssen deren Cluster zunächst gefunden werden, um anschließend die entsprechenden Bildpunkte für die Segmentierung markieren zu können. Ein Vorteil des hier vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, daß alle Bildbereiche, denen dieses Farbcluster zugeordnet werden kann, segmentiert werden, unabhängig ob im Bild eine topologische Verbindung zwischen diesen Bereichen besteht oder nicht.

4 Ein System zur Farbmanipulation

Die Manipulation der Farbe eines Bildes zur Optimierung der Farbdarstellung hinsichtlich des Verwendungszwecks ist keinesfalls erst als Folge elektronischer Publikationen oder der elektronischen Verarbeitung zu sehen. Seit Beginn der Farbdrucktechnik stellt diese Aufgabe ein breites Arbeitsfeld der Reprofotografie dar, das in der Vergangenheit mit fotooptischen Prozessen unter Verwendung spezieller Farbfilter und Masken bearbeitet wurde. Mit dem späteren Einsatz elektronischer Trommelscanner und Belichter konnten bestimmte Farbveränderungen mit einer Vielzahl von Parametern über Potentiometer eingestellt werden. Die folgende und heute übliche elektronische Bildverarbeitung (EBV) erlaubte es, Farbveränderungen durch Variation von Gradationskurven der Grundfarben (CMYK) vorzunehmen, wobei die Kurven zu diesem Zwecke auf einem Monitor visualisiert werden.

Die verwendeten Arbeitsabläufe und -methoden passen sich jedoch vorrangig den technischen Voraussetzungen an und nehmen nur wenig Rücksicht auf die visuell begründeten Beschreibungsformen des Menschen. Als Folge davon bleibt die gezielte Farbtransformation eines Bildes einer Expertengruppe vorbehalten, die durch entsprechendes Training in der Lage ist, Farbänderungswünsche mit Hilfe technischer Parameter umzusetzen.

Obwohl es im Bereich der digitalen Bildverarbeitung zahlreiche Verfahren zur Erkennung, Bearbeitung sowie zur geometrischen Manipulation von Bildobjekten gibt, werden Farbmodifikationen mit vergleichsweise primitiven Methoden durchgeführt. Stand der Technik zur digitalen Farbmanipulation ist die manuelle Vorgabe der bereits erwähnten Gradationskurven, die die Umsetzung für jeweils eine Farbkomponente festlegen.

Im Gegensatz dazu kann der Mensch recht einfach seine Farbmanipulationswünsche verbal formulieren. Beispiele wie *mehr grün* oder *in hellen Bildbereichen weniger orange* aber auch abstrakte Begriffe wie *Abendstimmung*, *sonniger* oder *freundlicher*, zeigen deutlich die Diskrepanz zwischen intuitiv-verbaler und physikalischer Beschreibung.

Sowohl bestimmte Farbmodelle wie z.B. CIELAB auf das visuelle System des Menschen abgestimmt sind, verhindert die gewählte abstrakte Parametrisierung

einen intuitiven, direkten Zugang für den Menschen. Daher werden diese Farbmodelle bis heute kaum, beziehungsweise nur hinter anderen Darstellungsformen versteckt, in den Anwendungen genutzt. Die abstrakte Parametrisierung behindert eine hohe Verbreitung der visuell begründeten Farbmodelle und bevorzugt technisch bedingte Darstellungsformen wie z.B. RGB bzw. CMYK.

Probleme dieser Art fordern ein neues Konzept, mit dem es möglich ist, eine komfortable Umsetzung der verbalen, hochsprachlichen Vorgaben in die entsprechenden physikalischen Parameter auszuführen, um den Zugang zum Medium Farbe für den Menschen unabhängig vom gewählten Farbmodell zu verbessern.

4.1 Beschreibungsformen der Farbmanipulation

Es sind mehrere Formen denkbar, wie ein Benutzer einem Farbmanipulationssystem seine Änderungswünsche mitteilen kann. Dieser Abschnitt stellt bekannte Interaktionsmöglichkeiten vor und entwickelt daraus einen neuen Vorschlag, der damit zur Diskussion steht.

4.1.1 Farbmanipulation über Gradationskurven

Die technische Realisierung der Farbmanipulation in Sinne einer Farbtransformation erfolgt aus Effizienzgründen mit einer Lookup-Tabelle. Diese Tabelle hält für jeden Eingangswert im Wertebereich eines Farbsignals einen zugeordneten Ausgangswert (Sollwert) bereit. Für die oft genutzten trichromatischen Modelle sind dementsprechend drei Tabellen erforderlich, die die Umsetzung für jeweils einen Kanal beschreiben. Da in vielen Farbwertbeschreibungen die einzelnen Kanäle mit jeweils 8 Bit verarbeitet werden, ergeben sich 256 Quantisierungsstufen pro Kanal, die auch von der jeweiligen Lookup-Tabelle abgedeckt werden müssen.

Während zur mathematischen Beschreibung der Transformationsvorschrift üblicherweise Matrizen herangezogen werden, sind zur manuellen Manipulation grafische Darstellungen in vielen Anwendungsprogrammen realisiert. Die in Abb. 4.1 manuell modifizierten Gradationskurven zeigen Beispiele einiger typischer Funktionen und beschreiben die zugehörige Auswirkung im Bild.

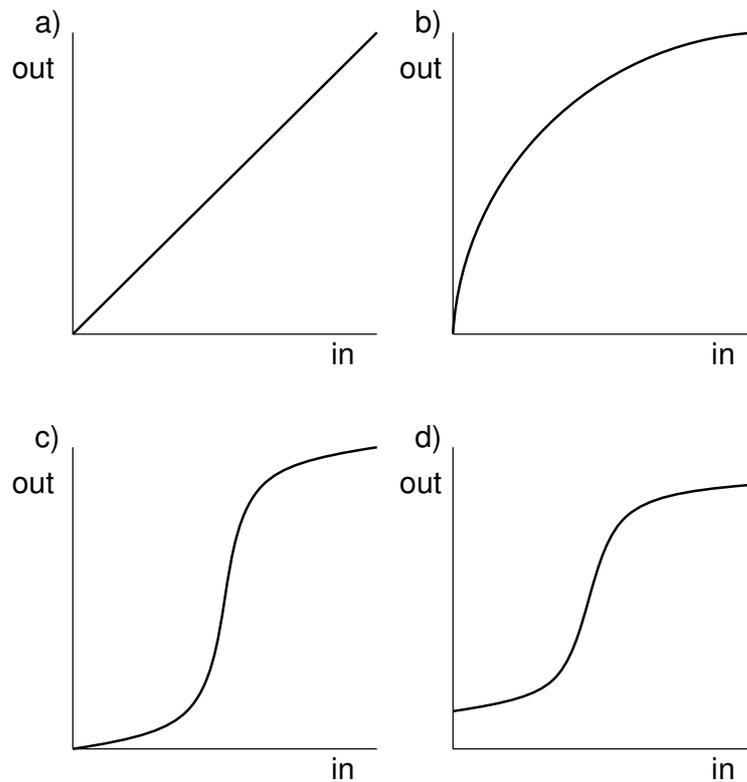


Abb. 4.1: Typische Modifikationen der Gradationskurven. Die Abbildung des Eingangswertes (*in*) auf den Ausgangswert (*out*) erfolgt entsprechend der durch den Kurvenverlauf festgelegten Zuordnung.

a) keine Änderung

b) Gammakorrektur bzw. Anhebung der Helligkeit

c) Kontrastanhebung im mittleren Helligkeitsbereich

d) wie c) mit zusätzlicher Begrenzung des Wertebereiches (Kontrastumfang)

Diese Modifikationen, hier als Beispiel für ein Grauwertbild beschrieben, müssen im Falle eines Farbbildes für jede Farbkomponente vorgenommen werden.

Von a) abweichende Kurvenverläufe verändern die Farbdarstellung des Bildes. Abhängig vom gewählten Farbmodell ergeben sich jedoch stark unterschiedliche Auswirkungen der zugehörigen visuellen Merkmale. Bei einem Graustufenbild mit der allgemein üblichen Zuordnung des Wertes 0 für Schwarz (keine Helligkeit) und 255 für Weiß (maximale Helligkeit) bewirkt ein vertikales Anheben großer Teile der Kurve entsprechend Abb. 4.1 b), eine Anhebung der Helligkeit in den zugehörigen Bereichen, da den Luminanzwerten des Bildes jeweils größere Werte zugeordnet werden.

Entsprechend beschreibt der Kontrast ein Maß für den globalen im Bild ent-

haltenen Helligkeitsumfang. Das Histogramm eines kontrastschwachen Bildes (Abb.4.2a)) zeigt eine typischerweise im mittleren Helligkeitsbereich konzentrierte wenig ausgedehnte Verteilung (s. Abb. 4.3 a)). Mit einer Gradationskurve entsprechend Abb. 4.2 c) kann dieser Bereich entsprechend vergrößert werden, was im Bild als Kontrastanhebung wahrgenommen wird (Abb.4.2b)).

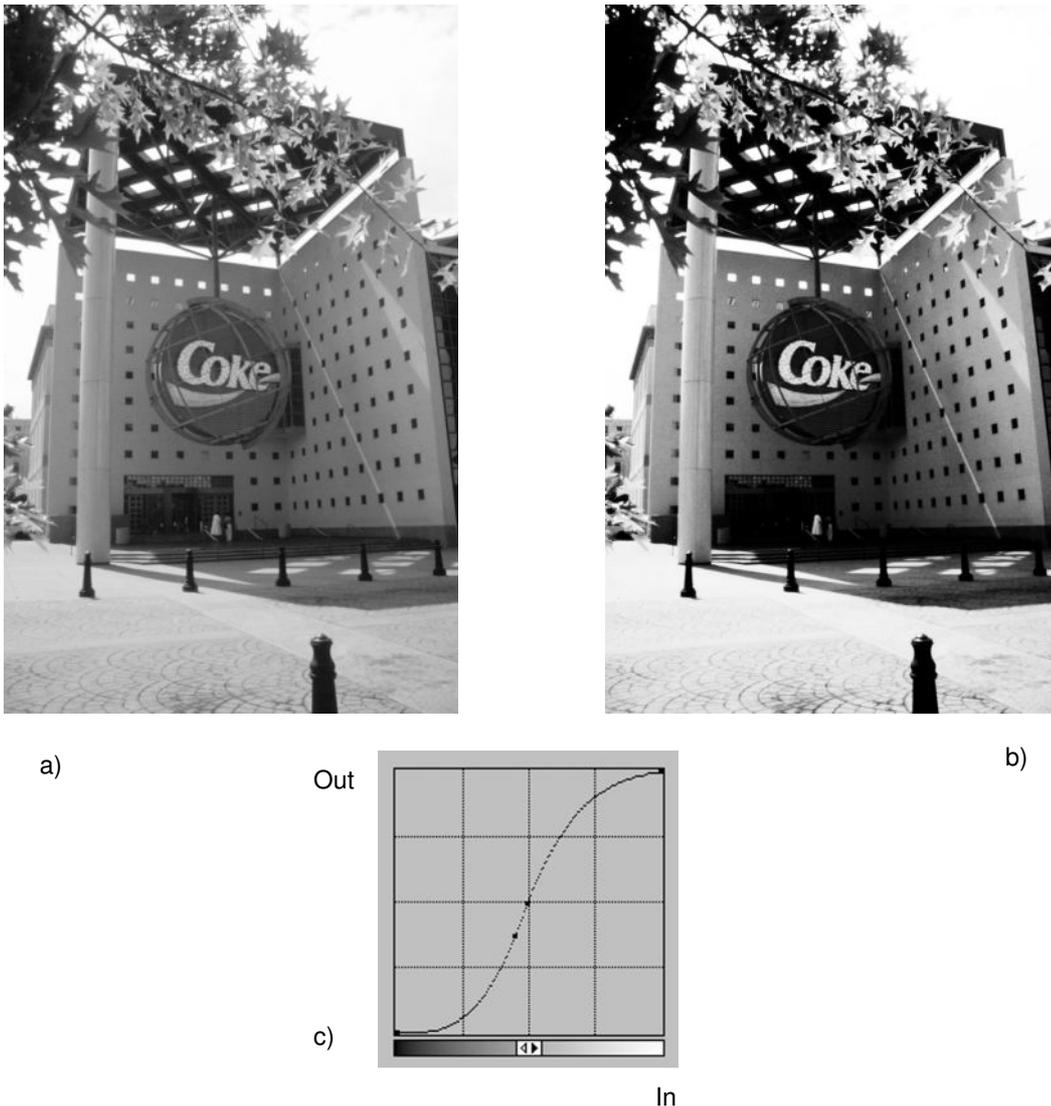


Abb. 4.2: Darstellung der Kontrastanhebung am Beispiel eines Grauwertbildes.

a) Originalbild mit geringem Kontrast

b) Verarbeitetes Bild mit angehobenem Kontrast

c) Verwendete Gradationsfunktion

Insbesondere im mittleren Helligkeitsbereich des Bildes wird der Kontrast angehoben.

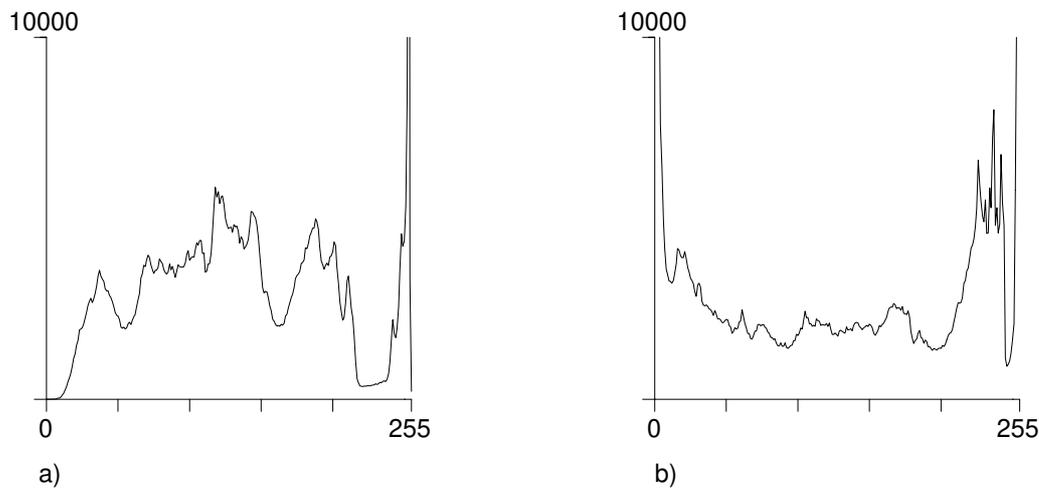


Abb. 4.3: Grauwert- Histogramm des Bildes Abb. 4.2

a) Originalbild mit geringem Kontrast

b) Verarbeitetes Bild mit angehobenem Kontrast

Die Luminanzverteilung umfaßt bei Bildern mit hohem Kontrast einen weiteren Bereich im Histogramm.

Die hier anhand eines Graustufensignals beschriebenen Effekte lassen sich entsprechend auch für bestimmte Farbmodelle nutzen, sofern die Einstellungen für jeden verwendeten Modellparameter erfolgen. Die Anhebung einer Farbkomponente entspricht einer Verstärkung der zugehörigen Grundfarbe; eine Absenkung der Komponente entspricht einer Verstärkung der Komplementärfarbe. Darüber hinaus erfordern die nicht unmittelbar umzusetzenden Mischfarben kombinierte Veränderungen von 2 oder gar 3 Kurven, was sich entsprechend aufwendig gestaltet und daher die zuvor geschilderten Probleme bereitet.

Noch aufwendiger ergibt sich der Vorgang bei Verwendung vom CIELAB. Während die Modifikation der L^* -Komponente weitgehend der zuvor beschriebenen Änderung eines Grauwertbildes entspricht, wobei hier allerdings unmittelbar die vom Menschen empfundene Bildhelligkeit umgesetzt wird, sind mit der a^* und b^* Komponente völlig neue Veränderungen möglich.

Der Buntton wird durch das a^*/b^* Verhältnis bestimmt, während der Betrag die Sättigung darstellt. Entsprechend werden die roten Farben durch ein Anheben der positiven a^* Werte und die gelben Farben durch ein Anheben der positiven b^* Werte verstärkt. Die Reaktion für negative Anteile von a^* und b^* wirkt sich hingegen auf grüne und blaue Farben aus. Abb. 4.4 verdeutlicht die Komplexität der hier durchführbaren Farbveränderungen grafisch.

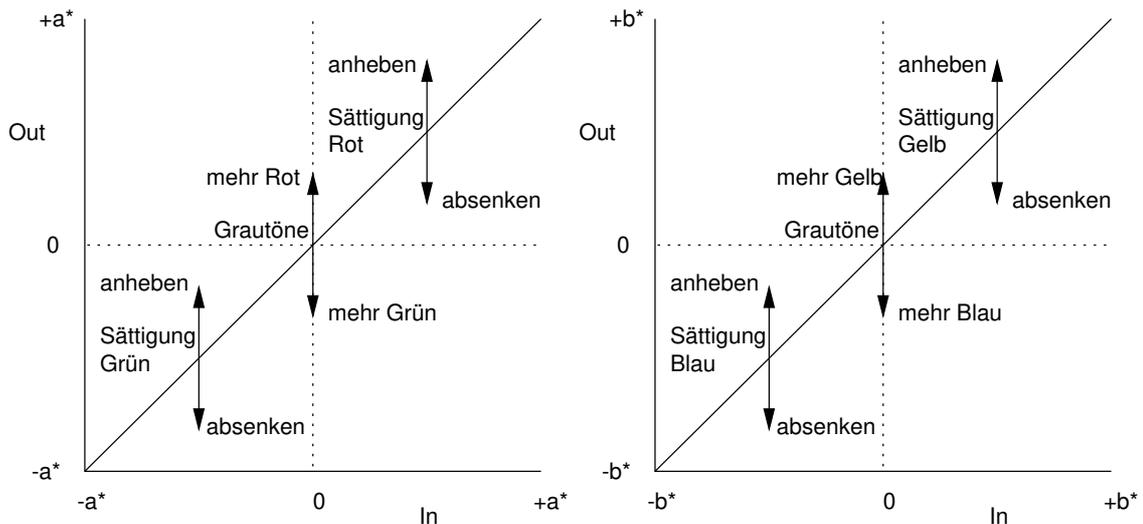


Abb. 4.4: Die Gradation der a^* und b^* Werte verdeutlicht den komplexen funktionalen Zusammenhang. Im Fall von a^* wird abhängig vom Vorzeichen die Sättigung für Rot ($+a^*$) bzw. für Grün ($-a^*$) verändert, während Änderungen im Bereich um Null graue Bildbereiche rötlicher bzw. grünlicher erscheinen lassen. b^* wirkt hingegen auf die Farben Gelb und Blau. Mischfarben müssen durch abgestimmte gleichzeitige Änderung beider Kurven eingestellt werden. Eine gezielte Farbänderung durch manuelle Vorgabe der a^* und b^* Gradationskurven gestaltet sich daher äußerst schwierig.

4.1.2 Farbmanipulation über Auswahltabellen

Eine begrenzte Anzahl bestimmter Farbmanipulationen, realisiert durch Gruppen von Gradationskurven, kann möglicherweise in Form von Auswahltabellen bereitgestellt werden. Dieses stellt eine einfache Möglichkeit dar, um das notwendige Expertenwissen zur Durchführung der Farbmanipulation vorab einzubringen und dem Anwender in tabellarischer Form zur Auswahl darzustellen.

Vorteilhaft sind hierbei die sehr einfache Realisierungsmöglichkeit und der in Grenzen einfache Zugriff auf die bereitgestellten Manipulationsmöglichkeiten. Zudem entspricht eine tabellarische Darstellung der in Programmpaketen üblichen Methode, allgemeine Bildverarbeitungsoperatoren bereitzustellen.

Gemessen an der Komplexität der Farbmanipulation überwiegen jedoch die Nachteile bei dieser Form der Darstellung.

- Die extrem hohe Anzahl der technisch möglichen Farbmanipulationen lässt sich in dieser Form nicht sinnvoll abbilden. Die Tabelle würde sehr schnell

extrem umfangreich, unübersichtlich und damit unbedienbar. Es steht nur eine begrenzte Auswahl vordefinierter Aktionen zur Verfügung.

- Eine Auswahltablette behindert individuelle Erweiterungen.
- Die Vorgaben und Begriffe sind festgelegt, wobei die hochsprachlichen Bezeichnungen den individuellen Anforderungen der Nutzer kaum entsprechen können.
- Modifikationen sind nur bedingt möglich, da die Tabelle zunächst keinen Einblick in die Realisierung erlaubt.
- Eine Interpretation der Benutzervorgaben findet nicht statt.

Entsprechende tabellarische Zugriffsmöglichkeiten lassen sich daher lediglich für bestimmte, oft triviale Realisierungen vorsehen. Für professionelle Zwecke scheidet diese Darstellungsform aus.

4.1.3 Farbmanipulation über hochsprachliche Anweisungen in Gegenüberstellung zu anderen Zugangsformen

Anstelle der engen tabellarischen Struktur ist eine Benutzerschnittstelle gefordert, die einerseits auf die verbalen Formulierungswünsche der Anwender Rücksicht nimmt, ohne andererseits durch feste Vorgaben freie Formulierungen auszugrenzen. Neben der technischen Realisierungsmöglichkeit ist die Darstellungsform für den Menschen von zentraler Bedeutung. Nur wenn es gelingt, die Farbanpassungswünsche des Nutzers unmittelbar, reproduzierbar und in einer der menschlichen Kommunikation gerechten Art umzusetzen, kann ein Gewinn gegenüber bekannten Verfahren erzielt werden. Ein weiterer Vorteil kann darin bestehen, Expertenwissen zu akquirieren, um es anschließend einer größeren Zahl von Anwendern zur Verfügung stellen zu können. Von den zuvor aufgezeigten Gestaltungsmöglichkeiten der Benutzerschnittstelle eines Farbmanipulationssystems stellt die hochsprachliche Anweisung einen neuen und dabei den vermutlich leichtesten Zugang für den Menschen zum Medium Farbe dar. Der Schulungsaufwand ist aufgrund der für den Anwender gewohnten Kommunikationsform geringer als bei anderen Zugangsformen. Darüber hinaus erlaubt die verbale Beschreibung in der Regel eine effiziente, leistungsfähige Kommandoübermittlung.

Gegenüber der Farbmanipulation mit Gradationskurven entfällt bei der hochsprachlichen Beschreibung die Notwendigkeit eigene Anpassungswünsche manuell in Parametervorgaben umzusetzen und anzuwenden. Erfahrungen aus

dem Druckvorstufenbereich machen deutlich, daß diese Form des Zugangs zur Farbbearbeitung nur trainierten Experten möglich ist, die durch ständige praktische Anwendung ihr Wissen erhalten und ausbauen. Trotzdem bestehen hier große Probleme im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Ausführung, sowie des Abgleichs der Arbeitsergebnisse zwischen mehreren Bearbeitern.

Tabellarisch organisierte Darstellungen genießen den Vorteil einer vergleichsweise einfachen technischen Realisierung in Form einer Steuerung. Insbesondere die Reproduzierbarkeit kann sehr leicht sichergestellt werden. Nachteilig wirkt sich hingegen der geringe Funktionsumfang aus. Die Forderung nach einer übersichtlichen Darstellung beschränkt die Vielfalt, da ein umfassendes Funktionsangebot Probleme bei der Realisierung der Benutzerschnittstelle aufwirft. Die Funktionsdarstellung der möglichen Farbmanipulationsformen kann kaum durch ausreichend eindeutige, orthogonale Begriffe repräsentiert werden. Obwohl ein individueller Anwender eine beachtliche Vielfalt an Farbänderungen hochsprachlich beschreiben kann, sind die gewählten Begriffe nur schwer mit Darstellungen anderer Anwender in Einklang zu bringen. Die Beschreibungsformen der Farbänderungswünsche zeigen ausgeprägte individuelle Eigenschaften, was einer Globalisierung und einer einheitlichen Darstellung entgegensteht. Vorteilhaft hingegen lassen sich Steuerungen mit tabellarischem Zugriff einsetzen, wenn nur ein sehr begrenzter Funktionsumfang für einfache, elementare Funktionen abzubilden ist.

Allgemein sprachverstehende Systeme berühren aufgrund ihrer Komplexität mehrere wissenschaftliche Disziplinen. Systeme zum automatischen Verstehen gesprochener Sprache sind umfassend in [Sag90, Kum92] untersucht und dargestellt. Gegenüber einer vergleichsweise einfachen Spracherkennung, bei der zunächst lediglich die korrekte schriftliche Wiedergabe des gesprochenen Wortes im Vordergrund steht, haben Verfahren zum automatischen Verstehen gesprochener Sprache das Ziel, aus dem Gesprochenen das Gemeinte zu erschließen.

Erfolgreiche Anwendungen dieser Systeme setzen in der Regel jedoch eindeutige, unmißverständliche Zielvorgaben voraus. Die aufgeführten Einsatzbereiche, wie z.B. eine Zug-Fahrplanauskunft, lassen eine klare Bewertung der vom System gelieferten Ergebnisse zu und bieten daher eine geeignete Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit des Systems unter Beweis zu stellen.

Deutlich aufwendiger hingegen gestaltet sich ein derartiges System, wenn die Zielvorgabe einer zusätzlichen Interpretation bedarf. Die bereits erwähnte individuelle Wortwahl bei der hochsprachlichen Beschreibung von komplexen Farbmanipulationen fordert bereits im Fall der normalen zwischenmenschlichen Kommunikation oft zusätzliche Erläuterungen. Nicht selten muß die farbbeschreibende Kommunikation, z.B. zwischen Auftraggeber, Agentur und Publisher, anfangs

durch Farbtabelle, Bildbeispiele und Diskussionen unterstützt werden, damit das gewünschte Ziel erreicht werden kann. Erst mit der Zeit bildet sich ein eigener, in dieser Gruppe akzeptierter Wortschatz aus, der zur weiteren Farbkommunikation angewendet werden kann. Entsprechend schwieriger gestaltet sich die Aufgabe einer automatischen Auswertung.

Eine Beobachtung der Kommunikation innerhalb der Arbeitsgruppen läßt sich durch folgende Punkte zusammenfassen:

- Es existiert kein eindeutiger, umfassender (komplexer), global gültiger Wortschatz zur Farbbearbeitung.
- Es existieren wenige, sehr einfache, farbbezogene Anweisungen zur Farbbearbeitung, die allgemein akzeptiert sind und zumindest trendgerecht umgesetzt werden können (Bsp: *Blau heller*).
- Abstrakte, umschreibende Anweisungen können erst nach intensiver Abstimmung der Kommunikationspartner eindeutig verwendet werden. (Bsp. *sonniger, freundlicher*)
- Der komplexe, erweiterte Wortschatz wird mit der Zeit innerhalb einer geschlossenen Arbeitsgruppe aufgebaut.
- Geschlossene Arbeitsgruppen nutzen einen lokal gültigen Wortschatz.

Diese Punkte legen einige Folgerungen nahe:

- Die Vorgabe eines umfangreichen, komplexen Farb-Wortschatzes sollte vermieden werden.
- Wenige einfache Begriffe können eindeutig verwendet werden.
- Ein leistungsfähiger, komplexer Wortschatz muß vom Anwender selbst definiert werden können.
- Die Möglichkeit zum individuellen Ausbau des Wortschatzes ist notwendig.
- Dem individuellen Charakter der Wahl der Begriffe muß entsprochen werden.

Hieraus kann folgende Vorgehensweise für eine mögliche Realisierung abgeleitet werden:

- Es ist zu prüfen, ob ein begrenzter Basis-Wortschatz (Grundwortschatz) gefunden werden kann, dessen Begriffe als bekannt vorausgesetzt werden können bzw. leicht vermittelbar sind.
- Trotz des geringen Umfangs des Grundwortschatzes muß eine vollständige Beschreibung der benötigten Farbmanipulationen möglich sein.
- Es sind Verfahren vorzusehen, die eine individuelle Erweiterungsmöglichkeiten des Wortschatzes zulassen, indem eine aus bekannten Begriffen erstellte Anweisung neue ggf. komplexere Begriffe definiert.
- Das durch die individuellen Erweiterungen aufgenommene Wissen zur Farbverarbeitung muß einer Arbeitsgruppe oder einem Projekt zugeordnet werden können, damit separierbar und austauschbar sein, um z.B. verschiedenen Arbeitsgruppen den Zugang zu einem System zu ermöglichen.

Ein derartig vom Anwender aufgebauter Wortschatz, dessen Begriffe einer unmittelbaren Umsetzung zugeordnet sind, bietet die Voraussetzung für eine nutzergerechte Umsetzung der hochsprachlich formulierten Anweisungen, wobei die Notwendigkeit einer Interpretation entfällt.

Gegenüber dem automatischen Verstehen gesprochener Anweisungen, stellt der vorgegebene und erweiterte Wortschatz zunächst eine Einschränkung dar. Diesem Nachteil steht allerdings ein deutlicher Gewinn an Eindeutigkeit trotz der vorhandenen, unscharfen Zielvorgaben entgegen. Die in der Kommunikation zur Farbe erkennbaren Mängel lassen wenig Aussicht auf Erfolg für die automatische Verarbeitung vermuten. Der Einsatz eines individuell erstellten und dabei definierten Wortschatzes kann genau diesem Schwachpunkt entgegentreten. Separierbarkeit und Austauschbarkeit des Wortschatzes reduzieren die zuvor genannte Einschränkung auf ein Minimum und ermöglichen eine unmißverständliche und effiziente Kommunikation.

Der Einsatz einer vorgeschalteten Spracherkennung im Sinne einer speech-to-text Umsetzung ist hiervon unberührt. Selbstverständlich können derartige Module zur Verbesserung des Bedienerkomforts eingesetzt werden, um den Aufwand der Tastatureingaben zu minimieren.

4.2 Systemarchitektur Farbmanipulation

Während eine menügesteuerte Farbbearbeitung eine relativ direkte Ansteuerung der bildverarbeitenden Operatoren gestattet, sind für ein System mit hochsprachlicher Schnittstelle zusätzliche Funktionsgruppen notwendig.

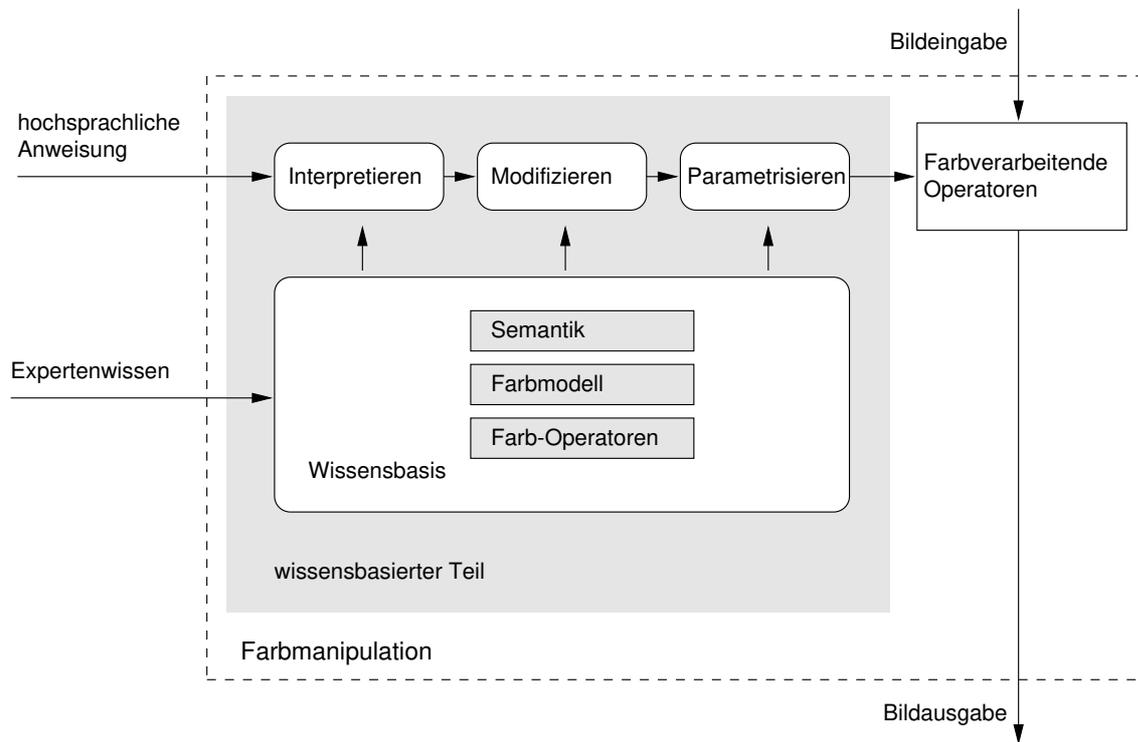


Abb. 4.5: Systemarchitektur der Farbmanipulation
 Die farbverarbeitenden Operatoren sind Teil des Bearbeitungspfades.

Die Anweisungen eines Nutzers setzt das in Abb. 4.5 dargestellte System in eine geeignete Parametrisierung um, mit der die Bildverarbeitungsoperatoren die gewünschte Farbänderung ausführen. Dazu ist es erforderlich, die hochsprachlichen Anweisungen im System zu verstehen. Obwohl kein allgemein sprachverstehendes System realisiert wurde, benötigt auch der vorliegende Anwendungsfall Wissen zur Semantik der Worte sowie Wissen zur grammatischen Bedeutung. Z.B. müssen kombinierte Vorgaben in Einzelziele getrennt werden. Das Wissen zu den aktuell angewendeten Farbmodellen dient in einer anschließenden Modifikationsphase dazu, diese Einzelziele auf das verwendete Farbmodell abzustimmen. In einem letzten Schritt erfolgt die Umsetzung der Ergebnisse in für das Farbmodell spezifische Parameter, mit denen die Operatoren der Bildverarbeitung versorgt werden. Die Wissensbasis mit dem Wissen zu Semantik, Farbmodell und Farb-Operatoren stellt eine vom System separierbare Einheit dar [Pup91].

Ein wesentlicher Vorteil dieser der für wissensbasierte Systeme kennzeichnenden Trennung zwischen Steuerung, Operatoren und Wissen über Farbmodelle und

Farbmodifikationen, besteht in der hohen Unabhängigkeit der Lösung von einem spezifischen Farbmodell. Bereits in Abschnitt 2.4 wurde hervorgehoben, daß für die beabsichtigte Anwendung keine eindeutige Empfehlung für ein bestimmtes Farbmodell existiert, bzw. neue Entwicklungen eine Anpassung erforderlich machen können. Die vorgeschlagene Systemarchitektur mit separierbarer Wissensbasis erlaubt die gewünschte weitgehend farbmodell-unabhängige Lösung. Die in einer Studie ausgeführte Realisierung des Systems [Knu95] wurde zur Überprüfung daher für RGB- und CIELAB-Daten ausgelegt. Die im bildverarbeitenden Teil erforderlichen Anpassungen, beispielsweise hinsichtlich der jeweiligen Datenformate, konnten vergleichsweise einfach erfolgen.

4.3 Definition eines Grundwortschatzes zur Farbmanipulation

Eine Modifikation der Komponenten des CIELAB mittels Gradationskurven gestaltet sich als nahezu unmöglich, da mit einem Parameter gleichzeitig mehrere Farben beeinflusst werden. Beispielsweise verändern positive a^* Werte den Rotanteil, während negative Anteile die Farbe Grün beeinflussen. Für b^* gelten diese Aussagen entsprechend zu den Farben Blau und Gelb. Analysiert man die a^* - b^* Ebene gemäß ihrer Wirkung auf die zuvor genannten Farben, lassen sich die in Abb. 4.6 genannten Bezeichnungen definieren.

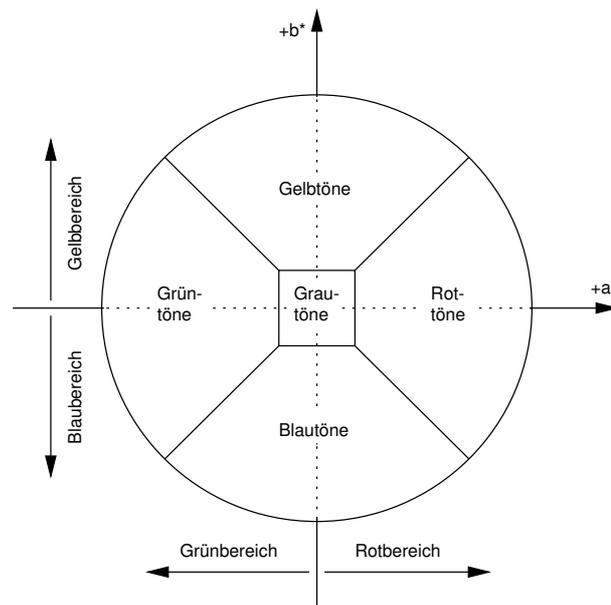


Abb. 4.6: Bezeichnungen und Begriffe zur hochsprachlichen Beschreibung der CIELAB Farbebene. Die Begriffe erfassen die gesamte Ebene, wobei eine Unterscheidung in Farbtöne und Farbbereich, einen Sektor bzw. eine Halbebene abgrenzt. (vgl. hierzu Abb. 2.9)

Die Begriffe ermöglichen einen Zugriff auf die gesamte Farbebene und damit auf alle darstellbaren Farben. Hieraus ist nun ein Grundwortschatz abzuleiten, der die Beschreibung aller relevanten Farbmanipulationen erlaubt. Es besteht zunächst nicht die Absicht eine Vollständigkeit in Bezug auf die mögliche individuelle Vielfalt der Beschreibungsformen mit diesem Vorschlag abzudecken, sondern wenige unmißverständliche Beschreibungsformen zu finden, die die Farbfläche vollständig erreichen. Der Grundwortschatz stellt eine Basis bereit, auf der im Anschluß weitere, nahezu beliebige, benutzerspezifische Bezeichnungen vereinbart werden können.

Dieses bildet die Grundlage, durch Kombination vorhandener und zusätzlich definierter Begriffe, neue, komplexere Anweisungen zu ergänzen. Der Farbmanipulationsumfang ist uneingeschränkt abbildbar, da jeder Punkt der a^*-b^* Ebene ausgewählt werden kann.

Entsprechend Abb. 4.6 erfolgt eine *farbtonabhängige* Einteilung in die Begriffe *Grautöne*, *Rottöne*, *Grüntöne*, *Gelbtöne* und *Blautöne*, sowie deren umfassendere Beschreibungsformen *Rotbereich*, *Grünbereich*, *Gelbbereich* und *Blaubereich*. Farbtöne und Farbbereiche unterscheiden sich dabei im Öffnungswinkel des vom Ursprung ausgehenden Sektors der CIELAB-Ebene. Während ein *Farbbereich* durch die 180 Grad Öffnung eine ganze Halbebene beschreibt und so jeden Punkt mit

einem Anteil > 0 der Farbe umfaßt, bezeichnet der Begriff *Farbtöne* einen reduzierten 90 Grad Sektor.

Zur *tonwertabhängigen* Beschreibung erfolgt die Bestimmung in Abhängigkeit von der Helligkeit. Die Bezeichnung für dunkle, mittlere und helle Bereiche übernehmen die in der Druckvorstufe üblichen Begriffe *Tiefen*, *Mitten* und *Lichter*. Als Merkmale für Veränderungen im Tonwertbereich dienen *Kontrast*, *Helligkeit* und *Farbe*, während der *Farbton* bezüglich *Sättigung*, *Helligkeit* und *Farbe* modifiziert werden kann. Zur quantitativen Beschreibung werden die Begriffe *mehr*, *weniger* sowie *etwas*, *viel* und *wesentlich* eingesetzt.

Einen Sonderfall stellt das *Kolorieren* dar, da hierzu das Bild zunächst in ein Grauwertbild und anschließend in Abhängigkeit von der Helligkeit mit einem globalen Farbton ausgestattet wird.

Tonwertabhängige Farbmanipulation			
Tiefen	etwas	mehr	Helligkeit
Mitten	-	(kolorieren)	Rot, Grün,...
Lichter	viel	weniger	Kontrast
	wesentlich		

Farbtonabhängige Farbmanipulation			
Rottöne			
Gelbtöne	etwas		Helligkeit
Grüntöne		mehr	
Blautöne	-		
Grautöne			Rot, Grün,...
Rotbereich	viel		
Gelbbereich		weniger	
Grünbereich	wesentlich		Sättigung
Blaubereich			

Tabelle 4.1: Grundwortschatz für die tonwert- und farbtonabhängige Farbmanipulation

Die Tab. 4.1 zeigt die für die Formulierung der Farbmanipulation notwendigen Begriffe. Die Menge dieser Begriffe bildet einen Wortschatz der die Basis für eine individuell ausbaubare Begrifflichkeit darstellt. Der Anwender kann, ausgehend vom Grundwortschatz, Erweiterungen durch Definition neuer abstrakter Begriffe vornehmen. Synonyme ersetzen für den individuellen Anwender ungewohnte Wörter (Bsp. *Schatten* ersetzt bzw. ergänzt den Begriff *Tiefen*); Zusammenfassungen erweitern die Ausdrucksmöglichkeiten und Flexibilität (Bsp. *heller* für *mehr*

Helligkeit). Sogar spezielle Kunstbegriffe wie *freundlicher* oder *sonniger* lassen sich so aufnehmen.

Der Wortschatz spiegelt zu einem bestimmten Teil das im System enthaltene Farbwissen wieder. Ein Ausbau des Wortschatzes geht so mit einer Wissenserweiterung einher. Die Akquisition von Expertenwissen erfolgt hierbei indem eine Erweiterung des Wortschatzes stattfindet.

Die Komplexität der möglichen Farbmanipulationen soll anhand des folgenden Beispiels angedeutet werden. Der Grundwortschatz ermöglicht durch Kombination der vorgesehenen Begriffe insgesamt neun Abstufungen entsprechend Tab. 4.2.

Abstufungen	
wesentlich	mehr
viel	mehr
	mehr
etwas	mehr
(neutral)	
etwas	weniger
	weniger
viel	weniger
wesentlich	weniger

Tabelle 4.2: Hochsprachliche Abstufungen der möglichen Manipulationen

Bezogen auf den neutralen Wert sind somit vier verstärkende und vier abschwächende Parametrisierungen vorhanden, die den Verlauf der Gradationskurve anheben bzw. absenken. Die dem jeweiligen Begriff zugeordnete prozentuale Änderung kann individuell gewählt werden. Gegenüber einer gleichverteilten Skala, empfiehlt es sich, die Werte am Neutralpunkt etwas dichter zu platzieren und nur die Extremwerte (*wesentlich*) besonders hervorzuheben. In der Anwendung wurde mit den Werten 1%, 3%, 5% und 10% gearbeitet. Die Unterteilung des Aktionsbereiches in drei Bereiche (*Tiefen, Mitten, Lichten*) bedeutet, daß sich $9^3 = 729$ verschiedene Manipulationsformen des jeweiligen Werteverlaufes ergeben. Die Vielzahl der unterschiedlichen Farbänderungen läßt sich somit in hochsprachlicher Form äußerst kompakt mit wenigen Begriffen ausdrücken und beschreiben.

4.4 Operatoren zur Farbmanipulation

Der in Abschnitt 4.3 definierte Grundwortschatz benötigt zur operativen Umsetzung die zugehörigen bildverarbeitenden Methoden. Entsprechend der hochsprachlichen Beschreibung sind die Algorithmen zu spezifizieren und zu entwickeln. Dabei muß jede mit dem Grundwortschatz beschreibbare Form der Farbmanipulation, durch eine bildverarbeitende parametrisierbare Methode repräsentiert werden. Die in Tab. 4.1 aufgezeigte Unterscheidung zwischen tonwertabhängigen und farbtonabhängigen Operatoren findet sich auch hier wieder.

4.4.1 Tonwertabhängige Operatoren

Tonwertabhängige Helligkeitsmanipulation

Wie aus Tabelle 4.1 ersichtlich, sind unter den tonwertabhängigen Aktionen Helligkeits- bzw. Kontraständerungen zu verstehen. Im CIELAB wirken diese Veränderung lediglich auf den L^* -Wert, was eine gegenüber anderen Farbmodellen deutlich vereinfachte Realisierung ermöglicht. Für die Modifikation der Helligkeit entsprechend der Aktionsbereiche *Tiefen*, *Mitten* und *Lichter* werden drei diskrete Helligkeitswerte festgelegt. Der an das visuelle System des Menschen angepaßte Helligkeitsverlauf des L^* -Wertes erlaubt eine einfache äquidistante Positionierung der Aktionsbereiche an Randpunkten und Mittelwert von L^* . In Abb. 4.7 ist die Zuordnung der Aktionsbereiche *Tiefen*, *Mitten*, *Lichter* zu sehen.

Damit sind die Aktionsbereiche, mögliche Parametrisierungen und resultierende Funktionen festgelegt. Abb 4.7 faßt dieses in einer Grafik zusammen.

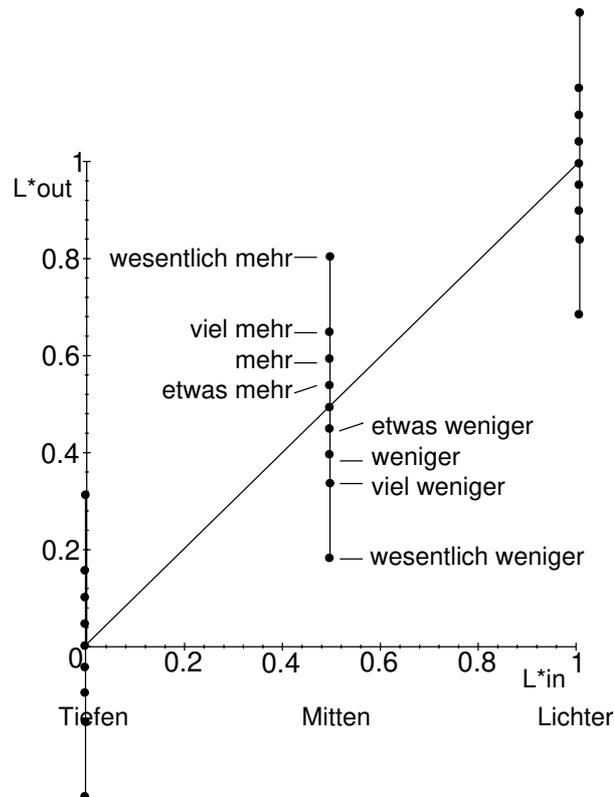


Abb. 4.7: Die tonwertabhängige Helligkeitsmanipulation erfolgt durch Vorgabe der gewünschten Helligkeitsänderung für jeden Aktionsbereich (Tiefen, Mitten, Lichter). Entsprechend kann die Funktion manipuliert werden. Eine Anhebung der Kurve erhöht die Helligkeit, eine Absenkung reduziert die Helligkeit des Bildes. Die Parametrisierung erfolgt entsprechend der durch Tab 4.2 festgelegten Einteilungen.

Mit diesen 9 diskreten Stützwerten pro Aktionsbereich ergeben sich $9^3 = 729$ verschiedene Manipulationsformen der Bildhelligkeit aus nur 9 Begriffen im Grundwortschatz zur Helligkeitsmodifikation. Zwei Beispiele dazu sind in Abb. 4.8 wiedergegeben.

Die mathematische Repräsentation der Kurven erfolgt durch Polynome 2. Grades entsprechend

$$L_{out} = A \cdot L_{in}^2 + B \cdot L_{in} + C \quad (4.1)$$

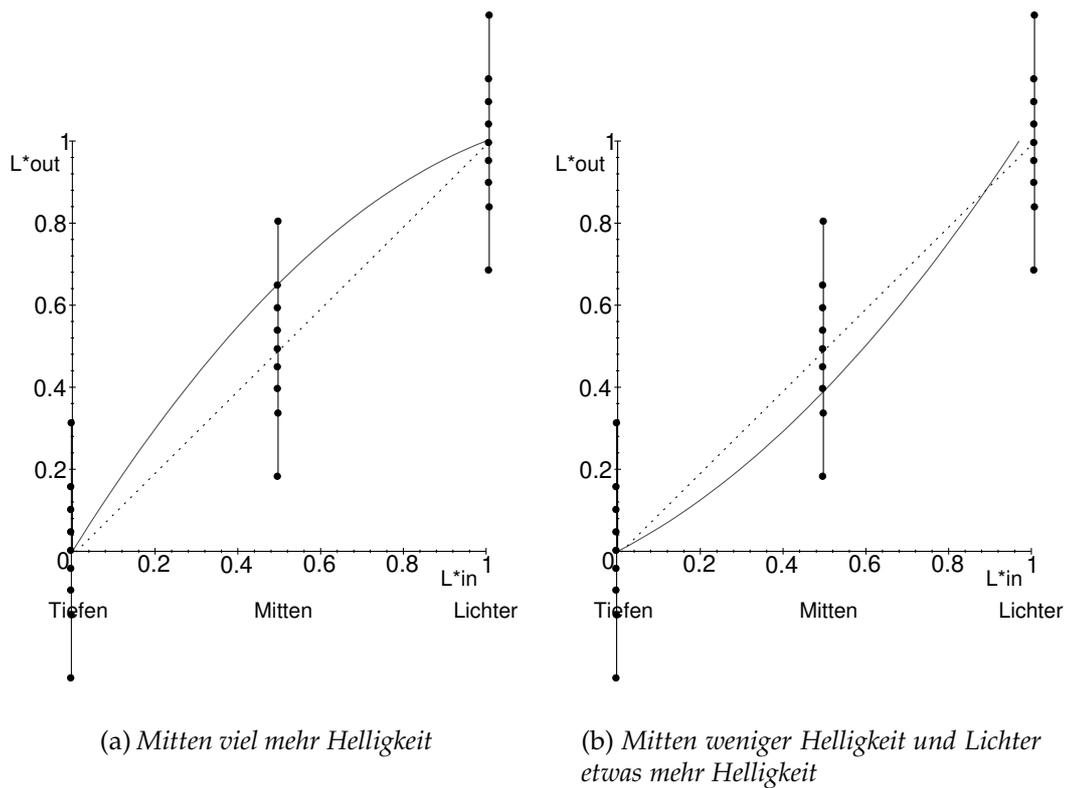


Abb. 4.8: Beispiele zur tonwertabhängigen Helligkeitsmanipulation. Im Beispiel (b) wird durch die Anhebung im Bereich Lichter der Wertebereich verlassen. Entsprechend wird hier eine Begrenzung auf den Maximalwert durchgeführt.

Tonwertabhängige Kontrastmanipulation

Die ebenfalls in der tonwertabhängigen Farbmanipulation vorgesehene Anpassung des Bildkontrastes erfordert eine Veränderung der Steigung in den jeweiligen Aktionsbereichen. Mit neun diskreten Steigungswerten für die Umsetzung der hochsprachlichen Vorgaben kann diese Kontrastmanipulation vorgenommen werden. Grafisch läßt sich dieses wie folgt darstellen:

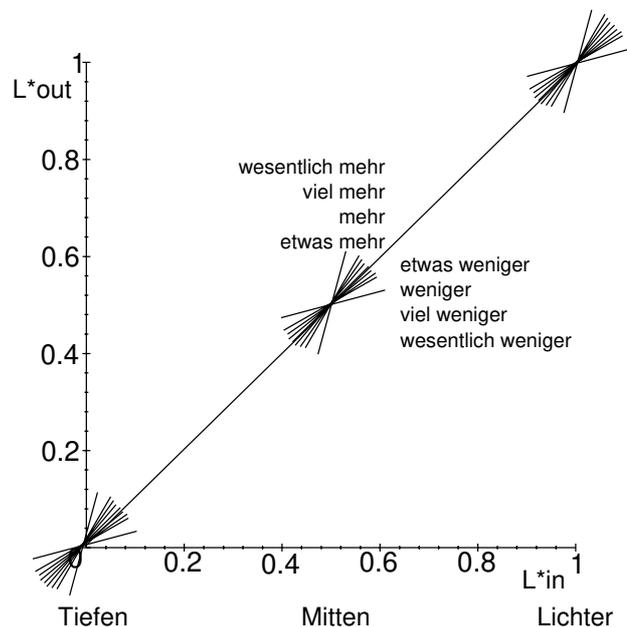


Abb. 4.9: Die tonwertabhängige Kontrastmanipulation erfolgt durch Vorgabe der gewünschten Kontraständerung für jeden Aktionsbereich (Tiefen, Mitten, Lichter). Entsprechend kann die Steigung an diesen Punkten der Funktion vorgegeben werden. Die Steigung 1 läßt den Kontrast unverändert. Höhere Werte verstärken, niedrigere Werte flachen den Kontrast ab. Sinngemäß zu Abb. 4.7 werden auch hier die Begriffe aus Tab. 4.2 verwendet.

Der Neutralwert entspricht der Steigung 1. Größere Werte erhöhen den Bildkontrast im jeweiligen Aktionsbereich; Werte kleiner 1 flachen den Kontrast ab. Abb. 4.7 zeigt ein Beispiel zu den auch hier vorhandenen 729 Möglichkeiten

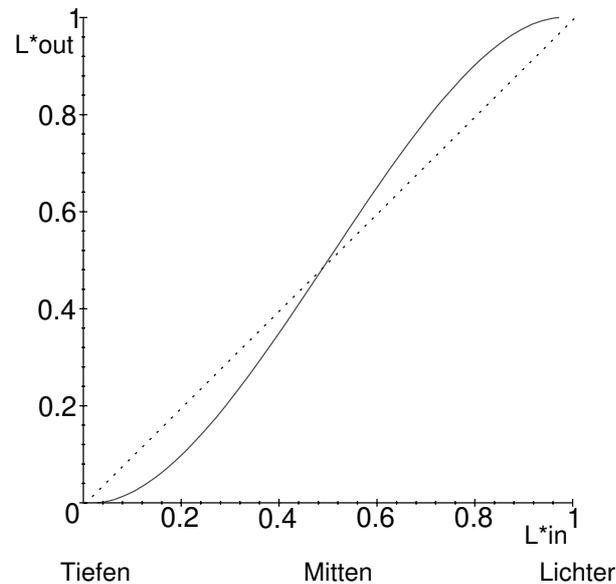


Abb. 4.10: Ein Beispiel zur tonwertabhängigen Kontrastmanipulation. Die Funktion zur Realisierung der Anweisung: *Mitten mehr Kontrast*

Die mathematische Beschreibung dieser Kurven erfordert Polynome 5. Grades entsprechend

$$L_{out} = A \cdot L_{in}^5 + B \cdot L_{in}^4 + C \cdot L_{in}^3 + D \cdot L_{in}^2 + E \cdot L_{in} + F \quad (4.2)$$

Mit diesem Polynom lassen sich die Operatoren zur tonwertabhängigen Manipulation der Bildhelligkeit und des Bildkontrastes in nahezu beliebigen Abstufungen bereitstellen. Mit wenigen Begriffen des Grundwortschatzes sind damit eine sehr hohe Anzahl tonwertabhängiger Helligkeits- und Kontrastmanipulationen beschrieben.

Tonwertabhängige Farbmanipulation

Die tonwertabhängige Farbmanipulation hingegen erfordert weitere Maßnahmen. Damit sich auch Anforderungen der Form: *Tiefen mehr Rot* oder *Mitten viel mehr Grün* umsetzen lassen, ist neben der Gradation des L^* -Wertes auch der a^* und b^* Wert anzupassen. a_{out}^* ergibt sich damit in Abhängigkeit von a_{in}^* und L^* bzw. b_{out}^* in Abhängigkeit von b_{in}^* und L^* . Abb. 4.11 zeigt die notwendigen Aktionspunkte.

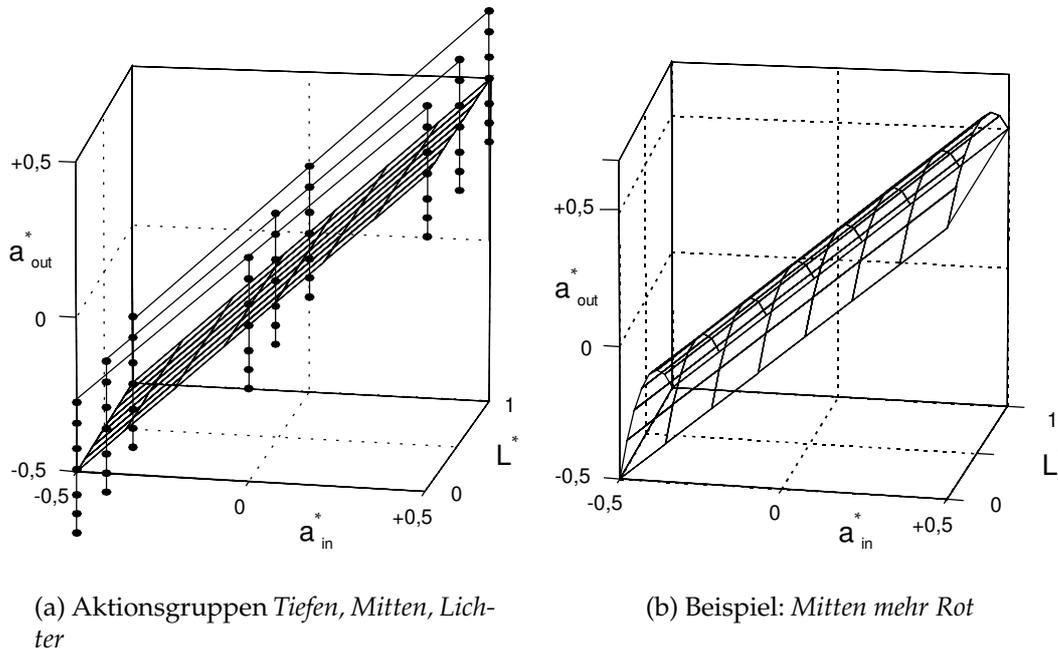


Abb. 4.11: Tonwertabhängige Farbmanipulation

Jeweils drei der neun Aktionspunkte werden in diesem Fall zu einer Gruppe zusammengefaßt und gemeinsam verändert. Dem Begriff *Lichten* sind die drei Aktionspunkte $L^* = 1$ zugeordnet, während $L^* = 0,5$ dem Begriff *Mitten* entspricht und über *Tiefen* die drei Aktionspunkte bei $L^* = 0$ gemeinsam angesprochen werden. Bedingt durch die Gruppierung von jeweils drei Stützpunkten, lassen sich die Funktionsgleichungen vereinfacht mit

$$a_{out} = A \cdot L^2 + B \cdot L + C + a_{in} \quad (4.3)$$

und

$$b_{out} = A \cdot L^2 + B \cdot L + C + b_{in} \quad (4.4)$$

festlegen. Auch hier sind $9^3 = 729$ verschiedene Manipulationsformen möglich. Ein Beispiel dazu zeigt Abb. 4.11 b).

4.4.2 Farbtonabhängige Operatoren

Die farbtöneabhängige Anpassung der Bilddaten erfolgt über den Zusammenhang der jeweiligen Farbart und eines visuellen Merkmals. Statt eines tonwertabhängigen Merkmals (*Tiefen, Mitten, Lichten*) tritt nun eine Farbart (*Rottöne,*

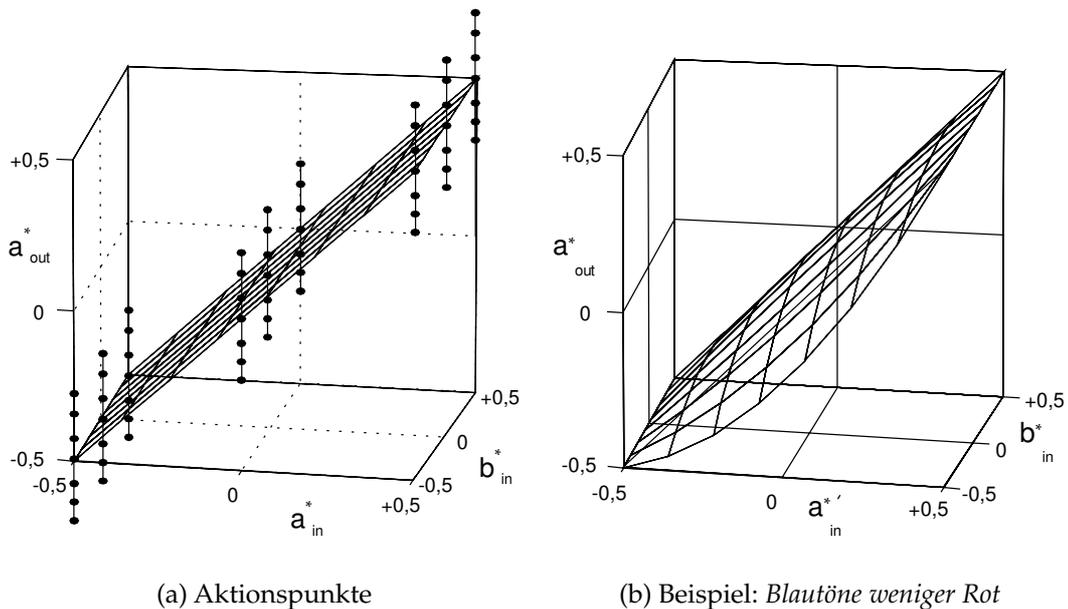


Abb. 4.12: Farbtonabhängige Farbmanipulation

Gelbtöne, ..., Rotbereich, ...) an diese Stelle. Neben der farbtonabhängigen Farbmanipulation kann auch eine farbtonabhängige Helligkeitsmanipulation durchgeführt werden.

Farbtonabhängige Farbmanipulation

Die Grundfunktion für die farbtonabhängige Farbmanipulation ist in Abb 4.12 a) dargestellt.

Entsprechend der in Abschnitt 4.3 definierten Begriffe werden neun Aktionspunkte in der Ebene festgelegt, die eine geeignete Modifikation der Farbtöne und Farbbereiche erlauben. Die Funktionsgleichungen lauten für a^*

$$a_{out} = A \cdot a_{in}^2 b_{in}^2 + B \cdot a_{in}^2 b_{in} + C \cdot a_{in} b_{in}^2 + D \cdot a_{in} b_{in} + E \cdot a_{in}^2 + F \cdot b_{in}^2 + G \cdot a_{in} + H \cdot b_{in} + I \quad (4.5)$$

und

$$b_{out} = A \cdot a_{in}^2 b_{in}^2 + B \cdot a_{in}^2 b_{in} + C \cdot a_{in} b_{in}^2 + D \cdot a_{in} b_{in} + E \cdot a_{in}^2 + F \cdot b_{in}^2 + G \cdot a_{in} + H \cdot b_{in} + I \quad (4.6)$$

für b^* . Ein Beispiele zeigt Abb 4.12 b) dargestellt.

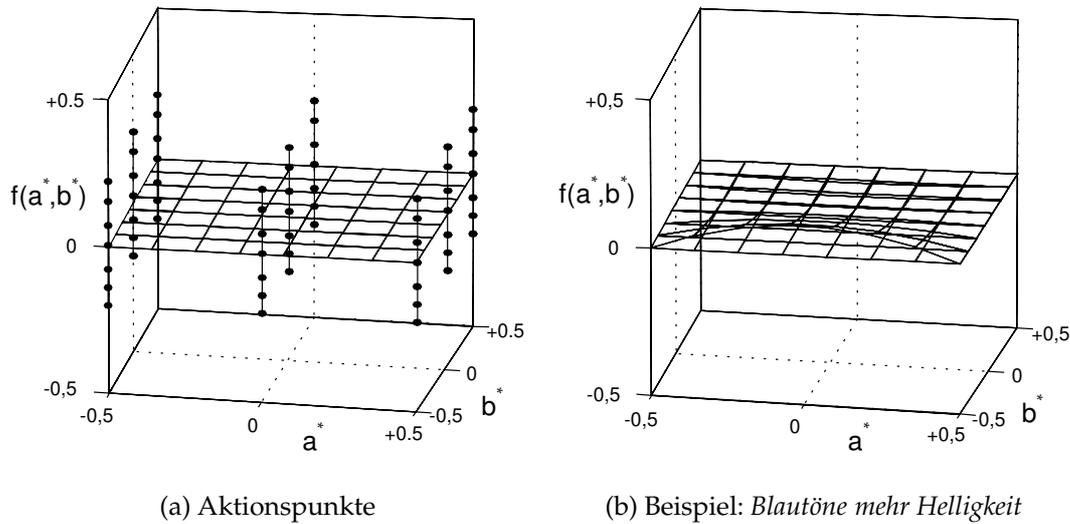


Abb. 4.13: Farbtonabhängige Helligkeitsmanipulation

Farbtonabhängige Helligkeitsmanipulation

Die farbtonabhängige Helligkeitsmanipulation (Bsp.: *Rottöne mehr Helligkeit*) führt eine Modifikation der Helligkeit für bestimmte Werte von a^* und b^* aus. Der funktionale Zusammenhang

$$L_{out} = f(L_{in}, a, b) \quad (4.7)$$

läßt sich leider nicht mehr mit einer dreidimensionalen Grafik darstellen. Es bietet sich hingegen eine spezielle Darstellungsform an, da die Modifikation der Helligkeit tonwertunabhängig erfolgt. Indem der zugeführte Helligkeitswert isoliert wird, ergibt sich der neue Helligkeitswert L_{out}^* nach

$$L_{out} = f(a, b) + L_{in} \quad (4.8)$$

durch Addition eines L^* -Eingangswertes mit $f(a, b)$. Der Zusammenhang kann damit wie folgt dargestellt werden

$$L_{out} = A \cdot a^2 b^2 + B \cdot a^2 b + C \cdot a b^2 + D \cdot a b + E \cdot a^2 + F \cdot b^2 + G \cdot a + H \cdot b + I + L_{in} \quad (4.9)$$

Grundfunktion und ein Beispiel sind in Abb. 4.13 gezeigt.

4.5 Wissensverarbeitung

Die in Abb. 4.5 gezeigte Systemarchitektur zur Farbmanipulation beinhaltet ein wissensbasiertes System als wesentliches Modul zur Interpretation und Umsetzung der hochsprachlichen Anweisungen in geeignete, dem jeweiligen Farbmodell angepaßte Parameter, zur Ansteuerung der farbbildverarbeitenden Operatoren. Unter einem wissensbasierten System wird in dieser Arbeit ein Programm verstanden, dessen Aufbau eine klare Trennung zwischen der Steuerungskomponente und dem Wissen zur Problemlösung gestattet. Dadurch kann beispielsweise ein Austausch des Wissens zur Anpassung an neue Problemstellungen erfolgen (siehe auch [Sag85, Lie89, Pup91, Alt92]). Konventionelle Programme, die selbstverständlich ebenfalls über Wissen zur Problemlösung verfügen, lassen hingegen diese Trennung nicht zu, da deren Wissen ein Bestandteil des Programmlaufes bzw. des Algorithmus ist. Wissen und Steuerung sind dort untrennbar gekoppelt. Die Programmsteuerung enthält implizites Wissen. Ein Austausch des Wissens erfordert bei konventionellen Programmen eine Neuprogrammierung. Beiden Realisierungen, wissensbasierten Systemen wie auch konventionellen Programmen, werden identische Daten zur Verarbeitung zugeführt.

Die Wissensbasis des vorgeschlagenen Systems zur Farbmanipulation enthält neben dem Wissen zur Semantik auch alle erforderlichen Wissenskomponenten des vorliegenden Farbmodells und der Farb-Operatoren. Ein wesentliches Vorteil der Verwendung eines wissensbasierten Systems gegenüber einer konventionellen Lösung besteht in der flexiblen Anpassung des Systems an ein neues Farbmodell oder eine individuelle Farbterminologie, durch den vergleichsweise einfachen Austausch der Wissensbasis. Zudem gestaltet sich die Wissensakquisition deutlich einfacher als bei konventionellen Programmen, da zur Erweiterung der separaten Wissensbasis keine Programmierfähigkeit erforderlich ist, sondern die problembezogene Darstellung des Wissens in der jeweiligen Repräsentationsform ergänzt wird.

Eine diesbezüglich völlig freie Gestaltung der Wissensbasis kann hingegen durch Widersprüche, Doppeldeutigkeiten und Überschneidungen in der Wissensdarstellung Probleme verursachen, die besondere Strategien zur Konfliktlösung erforderlich machen. Zielsetzung der vorliegenden Realisierung war es daher, mit einer geeigneten Wissenrepräsentation, einer vereinfachten Darstellungsform und einer Beschränkung auf einen überschaubaren Umfang derartige Probleme gering zu halten, bzw. ganz zu vermeiden. Insbesondere der nachfolgend beschriebenen Wahl der Wissensrepräsentation kommt dabei eine hohe Bedeutung zu.

4.5.1 Wissensrepräsentation

Die Trennung zwischen Wissen und Problemlösungsstrategien bedingt eine Systemarchitektur, wie sie bereits in Abb. 4.5 dargestellt wurde. Eine weitere wichtige Entscheidung betrifft die Wahl einer dem Problem angepaßten Form der Wissensrepräsentation. Eine Übersicht zu einigen Repräsentationsformen ist in [Sha92] enthalten. Für die Systemgestaltung wurden zwei verbreitete unterschiedliche Formen, die semantischen Netze sowie die regelbasierten Systeme auf ihre Eignung hin überprüft.

Semantische Netze ermöglichen eine übersichtliche, hierarchische Strukturierung der Wissensinhalte, da diese zudem grafisch aufbereitet dargestellt werden können. In der Literatur sind neben vielen anderen Anwendungsbereichen auch Beispiele im Bereich der Bildverarbeitung und insbesondere der Sprachanalyse zu finden [Nie87, Pau92, Kum93, Lie97].

Regelbasierte Systeme stellen eine häufig anzutreffende Form der Wissensrepräsentation sogenannter Expertensysteme dar. Das Wissen ist hierbei durch eine Menge von Regeln dargestellt, die jede für sich eine bestimmte Aktion beinhaltet, die bei einer ebenfalls in der Regel beschriebenen Situation auszuführen ist. Ein solcher Regelsatz in der Form

- Regel 1: Wenn Situation A vorliegt, dann Aktion X ausführen.
- Regel 2: Wenn Situation B vorliegt, dann Aktion Y ausführen.
- Regel 3: Wenn Situation C vorliegt, dann Aktion Z ausführen.
- usw.

bildet zusammen mit einem Regelinterpreter den Kern des Systems, der dem Kontrollfluß anweisungsbasierter, konventioneller Programme entspricht. Die Wissenserweiterung gestaltet sich vergleichsweise einfach, da lediglich neue Regeln zum bestehenden Regelsatz hinzugefügt werden müssen. Bei konventionellen Programmen hingegen muß dazu der Kontrollfluß verändert und angepaßt werden, was eine Änderung der Software erforderlich macht. Semantische Netze lassen eine Wissenserweiterung durch die Einbindung neuer Netzelemente zu.

Da fast jeder Experte auf Anhieb einige Regeln aus seinem Fachbereich nennen kann und durch die Verknüpfung schon relativ weniger Regeln oft eine erstaunliche Leistungsfähigkeit erreicht wird, ist der regelbasierte Programmierstil für Expertensysteme sehr populär geworden. [Pup91]

Natürlich hat auch diese Erweiterungsmöglichkeit Grenzen, die insbesondere dann auftreten, wenn die Menge der Regeln nicht mehr insgesamt überblickt

werden kann und widersprüchliche oder gar falsche Regeln aufgenommen werden. Bezogen auf den vorliegenden Anwendungsfall läßt der bereits dargestellte, sehr kompakte Grundwortschatz (siehe Tabelle 4.1) vermuten, daß derartige Probleme vermieden werden können, bzw. gering ausfallen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Menge der Regeln thematisch zu unterteilen und Kontexte zu bilden, was bei großen Systemen eine verbesserte Übersichtlichkeit schafft.

Im Rahmen der Voruntersuchungen war es für eine Wissensrepräsentation mit semantischen Netzen nicht gelungen, eine vergleichbar einfache Erweiterungsmöglichkeit zu erreichen. Obwohl semantische Netze bei der Sprachanalyse ein vorteilhaftes Verhalten zeigen [Kum92], gelang die Erweiterung auf Farbmodelle und Farboperatoren nur mit deutlich höherem Aufwand. Begünstigt wird dies insbesondere durch die Beschränkung des Wortschatzes und die einfache Semantik der hochsprachlichen Schnittstelle. Ein allgemein sprachverstehendes System fordert hingegen andere Voraussetzungen (siehe [Sag90, Kum92]), die im vorliegenden Fall nur begrenzt zutreffen. Innerhalb des hier vorgestellten Verfahrens zur Farbmanipulation steht die leichte und benutzerfreundliche Erweiterung des Farbwissens im Vordergrund.

Die intuitive Erweiterungsmöglichkeit regelbasierter Systeme kann für das Farbwissen anschaulich realisiert und weitgehend universell ausgelegt werden. Die für den Anwender nicht unmittelbar erkennbaren und zuzuordnenden Beziehungen der Farben zueinander bedeuten für den Aufbau eines semantischen Netzes einen deutlich höheren Pflegeaufwand. Die Zuordnung einer neuen Wissenskomponente (einer neuen Regel) zu einem Themenbereich kann bei regelbasierten Systemen durch Kontexte erreicht werden. Gegenüber einer exakten Beschreibung der Abhängigkeiten und Aktionen zu im Netz benachbarten Komponenten, kann die thematische Eingliederung in Regelgruppen vom Anwender wesentlich leichter ausgeführt werden.

Hinsichtlich der mit dem System zu bearbeitenden Aufgaben, wie die Analyse hochsprachlicher Eingaben, die anschauliche Darstellung des erforderlichen Farbwissens und die Konfigurationsfunktion der farbverarbeitenden Operatoren sind vorteilhafte Realisierungsmöglichkeiten auf der Basis regelbasierter Systeme zu erwarten. Die für Regeln typische, problemorientierte natürliche Formulierungsmethode erhöht die Lesbarkeit für den Anwender und bietet gute Voraussetzungen für eine hohe Effizienz der Wissensakquisition (siehe auch [Pup91]).

Die nachfolgende Beschreibung vermittelt einen Eindruck der zur Wissensakquisition notwendigen Aktionen. Entsprechend der Systemarchitektur in Abb. 4.5 wird die hochsprachliche Anweisung mit den Funktionsblöcken *Interpretation*, *Modifikation* und *Parametrisierung* schließlich in numerischer Form den farbbildverarbeitenden Operatoren zugeführt. Die Funktionsblöcke werden im folgen-

den beschrieben.

4.5.2 Hochsprachliche Schnittstelle - Interpretation

Die hochsprachlichen Vorgaben des Anwenders entsprechen im einfachsten Fall dem in Abschnitt 4.3 vorgestellten Grundwortschatz. Üblich sind jedoch Anweisungen aus einem vom Anwender erweiterten Wortschatz mit nahezu beliebigen Formulierungen. Bezüglich des Satzbaus bestehen nur wenige Einschränkungen, hingegen wird ein kooperatives Verhalten des Anwenders vorausgesetzt. D.h. die Vorgaben müssen sinnvoll und umsetzbar sein. Eine diesbezügliche Überprüfung findet nicht statt. Die Interpretation überführt die Nutzervorgaben in eine eindeutige interne Darstellung.

Beginnend mit einer semantischen und syntaktischen Analyse der Eingaben sind die evtl. kombinierten Formulierungen zunächst in Einzelziele zu trennen. Dazu erfolgt eine Erfassung der eingegebenen Wörter, deren Zugehörigkeit zum Systemwortschatz anschließend überprüft wird.

- Beispiel: *Lichter etwas heller*

wird Wort für Wort mit dem in Tabellenform gespeicherten Wortschatz entsprechen Tabelle 4.3 verglichen.

Die in der Tabelle bereits dargestellten individuellen Erweiterungen sind in der Form *abstrakter Begriffe* enthalten. Abstrakte Begriffe können mehrere Ausdrücke des bereits bekannten Wortschatzes enthalten und unter einem neuen Begriff zusammenfassen. Mit dem Beispiel *heller* wird eine Synonym für *mehr Helligkeit* eingebunden. Abstrakte Begriffe sind in einer separaten Tabelle mit den zugehörigen Umschreibungen gespeichert. Eine besondere Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Erweiterungsmöglichkeiten und Flexibilität der hochsprachlichen Schnittstelle wird erreicht, indem abstrakte Begriffe wiederum zuvor definierte abstrakte Begriffe enthalten dürfen. Dieses erlaubt große Freiheiten bei der Definition eines individuellen Wortschatzes bzw. individueller Begriffe.

Die Rückführung auf den Grundwortschatz erfolgt vom System, indem jeder abstrakte Begriff durch seine Umschreibung ersetzt wird. Dieser Vorgang wird ggf. solange wiederholt, bis ausschließlich im Grundwortschatz enthaltene Wörter vorliegen. Das Beispiel *Lichter etwas heller* wird überführt in die Anweisung

- *Lichter etwas mehr Helligkeit*

das nun ausschließlich Wörter des Grundwortschatzes und keine abstrakten Begriffe mehr enthält.

Wortschatz	
BEGRIFFE	SEMANTIK
Tiefen	Tonwertbereich
Mitten	Tonwertbereich
Lichter	Tonwertbereich
Rottöne	Farbton
Grüntöne	Farbton
:	:
etwas	Quantisierung
viel	Quantisierung
wesentlich	Quantisierung
mehr	Trend
weniger	Trend
kolorieren	Trend
Helligkeit	visuelles Merkmal
Kontrast	visuelles Merkmal
Farbe	visuelles Merkmal
Rot	Farbe
Grün	Farbe
:	:
heller	abstrakter Begriff
dunkler	abstrakter Begriff

Tabelle 4.3: Vollständiger erweiterter Wortschatz (Beispiel)

Wie in Tabelle 4.3 zu erkennen, ist jedes Wort entsprechend der Semantik einer bestimmten Klasse zugeordnet. Für das genannte Beispiel gilt folgende Zuordnung:

Tonwertbereich	Lichter
Quantisierung	etwas
Trend	mehr
Visuelles Merkmal	Helligkeit

was zugleich ein Beispiel für ein Einzelziel darstellt. Die Instanzen der Klassen *Tonwertbereich*, *Quantisierung*, *Trend* und *Visuelles Merkmal* bilden gemeinsam ein vollständiges Einzelziel. Ist eine Klasse nicht besetzt, wird die Eingabe als unzulässig abgewiesen. Lediglich die explizite Angabe einer Quantisierung ist nicht

zwingend erforderlich (siehe Grundwortschatz). Hier wird ggf. der dann zutreffende Normalwert durch den automatisch eingefügten internen Begriff *default* vorgenommen. (Für eine nutzergerechte Lösung fordert das System unzulässig fehlende Begriffe durch Nachfrage an.)

An dieser Stelle sind vom Benutzer eingegebene Anweisungen nach Begriffen isoliert und entsprechend ihrer Semantik analysiert. Die nun anschließende Satzanalyse dient der Trennung kombinierter Anweisungen, mit der Zielsetzung alle enthaltenen Einzelziele herauszuarbeiten.

Eine Anweisung der Art *Tiefen und Mitten etwas weniger Grün und wesentlich weniger Gelb* enthält vier zu isolierende Einzelziele. Möglich wird dieses durch das Wort *und*, das mit in den Wortschatz aufgenommen wird und innerhalb der hochsprachlichen Anweisungen, Trennstellen der Satzanalyse vorgibt. Angewendet auf das Beispiel liegen nach der Trennung drei Satzfragmente vor:

1. *Tiefen*
2. *Mitten etwas weniger Grün*
3. *wesentlich weniger Gelb*

die im folgenden Schritt in die Einzelziele überführt werden müssen. Da im Beispiel das erste *und* semantisch identische Begriffe (*Tiefen* und *Mitten*) trennt, während das zweite *und* Teilsätze verbindet, kann eine Rekonstruktion erfolgen, indem aus dem jeweiligen anderen Satzfragment die fehlenden Anteile gewonnen werden. Als Ergebnis liegen die vier Einzelziele vor,

1. *Tiefen etwas weniger Grün*
2. *Mitten etwas weniger Grün*
3. *Tiefen wesentlich weniger Gelb*
4. *Mitten wesentlich weniger Gelb*

womit die Satzanalyse abgeschlossen ist. Begrenzungen hinsichtlich der Verwendung des Wortes *und* bestehen nicht. Durch abstrakte Begriffe quasi versteckt, entstehen in der Anwendung u.U. auch lange Sätze mit vielen Fragmenten. Für die weitere Verarbeitung können die Einzelziele 1 und 2 sowie 3 und 4 vereinfachend zusammengefaßt werden. Es ergibt dann:

- *Tiefen Mitten etwas weniger Grün*

- *Tiefen Mitten wesentlich weniger Gelb*

was auch recht einfach durch Entfernen des Wortes *und* erreicht werden kann, sofern sich dieses zwischen identischen Begriffen befindet.

Damit das regelbasierte System in der Lage ist, identische und nicht identische Begriffe zu unterscheiden, sowie Teilsätze zu erkennen, sind einige systeminterne Maßnahmen erforderlich. Die Identifikation identischer Begriffe stellt eine weitere Tabelle sicher, die jeden Begriff des Grundwortschatzes genau einer Wortklasse zuordnet. Identische Begriffe sind dabei derselben Wortklasse zugeordnet. Es sind lediglich vier Wortklassen erforderlich (siehe Tabelle 4.4). Es sei angemerkt, daß diese Wortklassen nur für Begriffe des Grundwortschatzes notwendig sind. Bedeutung und Beachtung ist für die vom Benutzer definierten neuen abstrakten Begriffe nicht erforderlich, da diese auf den Grundwortschatz zurückgeführt werden.

Wortklassen	
BEGRIFFE	WORTKLASSE
Tiefen	Bereich
Mitten	Bereich
Lichter	Bereich
Rottöne	Bereich
Grüntöne	Bereich
:	:
etwas	Quantisierung
viel	Quantisierung
wesentlich	Quantisierung
mehr	Trend
weniger	Trend
kolorieren	Trend
Helligkeit	Merkmal
Kontrast	Merkmal
Farbe	Merkmal
Rot	Merkmal
Grün	Merkmal
:	:

Tabelle 4.4: Wortklassen der Begriffe des Grundwortschatzes

Mit einfachen Regeln kann nun überprüft werden, ob sich das Wort *und* zwischen zwei identischen Begriffen einer Wortklasse befindet. Andernfalls trennt es zwei Teilsätze. Jeder Teilsatz wird anschließend in einer Klasse *Teileingabe* als

Instanz gespeichert und nach Haupt- und Nebensatz unterschieden. Nebensätze sogar zwischen den Wortklassen *Bereich* und *Merkmal*. Folgende Regeln stellen das hierzu notwendige Wissen dar:

REGEL Hauptsatz

wenn

es eine Instanz der Klasse Teileingabe gibt
es eine Instanz der Wortklasse Bereich gibt
es eine Instanz der Wortklasse Merkmal gibt
die Wortklasse Bereich ein Element der Teileingabe ist
die Wortklasse Merkmal ein Element der Teileingabe ist

dann

ist die Teileingabe ein Hauptsatz

Sowie für die Nebensätze:

REGEL Wortklasse-Bereich-Nebensatz

wenn

es eine Instanz der Klasse Teileingabe gibt
es eine Instanz der Wortklasse Bereich gibt
die Teileingabe kein Hauptsatz ist
die Wortklasse Bereich ein Element der Teileingabe ist

dann

ist die Teileingabe ein Wortklasse-Bereich-Nebensatz

REGEL Wortklasse-Merkmal-Nebensatz

wenn

es eine Instanz der Klasse Teileingabe gibt
es eine Instanz der Wortklasse Merkmal gibt
die Teileingabe kein Hauptsatz ist
die Wortklasse Merkmal ein Element der Teileingabe ist

dann

ist die Teileingabe ein Wortklasse-Merkmal-Nebensatz

Nach Anwendung der Regeln ist für die Teilsätze bekannt, ob es sich um Haupt- oder Nebensätze handelt und zu welchem Satztyp die Nebensätze gehören. Bezogen auf das Beispiel wäre die Teileingabe *Tiefen Mitten etwas weniger Grün* der

Hauptsatz und die Teileingabe *wesentlich weniger Gelb* ein Wortklasse-Merkmal-Nebensatz. Da Nebensätze keine vollständigen Einzelziele darstellen, müssen abhängig von der fehlenden Information, diese Informationen aus dem benachbarten Hauptsatz entnommen werden. Die Unterscheidung in zwei Klassen von Nebensätzen erleichtert dabei die Bestimmung der fehlenden Information. Die Vervollständigung der Nebensätze kann mit drei weiteren Regeln erreicht werden. Die Einzelziele sind anschließend vollständig isoliert.

Mit der Bereitstellung der vollständigen Einzelziele sind die Voraussetzungen für die folgenden Bearbeitungsschritte Modifikation und Parametrisierung geschaffen. Die Übergabe der Ergebnisse der Interpretation erfolgt in einem regelbasierten System zweckmäßigerweise in Form von Klassen. Eine Unterteilung in tonwert- und farbtonabhängige Klassen scheint mit Rücksicht auf die Zielsetzung des Verfahrens zweckmäßig. Ein Beispiel für eine Klasseneinteilung zeigt Tabelle 4.5.

Tonwert-Klassen			
Tonwert-Helligkeit	Tonwert-Kontrast	Tonwert-Farbe	Werte
lfd-Nr:	lfd-Nr:	lfd-Nr:	0...
Tonwertbereich:	Tonwertbereich:	Farbname:	Rot, Gelb, Grün...
Trend:	Trend:	Tonwertbereich:	Tiefen, Mitten, Lichter
Quantisierung:	Quantisierung:	Trend:	mehr, weniger
		Quantisierung:	etwas, default, viel, wesentlich
		Winkel:	0...

Farbton-Klassen			
Farbton-Helligkeit		Farbton-Farbe	Werte
lfd-Nr:		lfd-Nr:	0...
Farbton :		Farbname:	Rot, Gelb, Grün...
Trend:		Farbton:	Rottöne, Rotbereich...
Quantisierung:		Trend:	mehr, weniger
		Quantisierung:	etwas, default, viel, wesentlich
		Winkel:	0...

Tabelle 4.5: Tonwert- und Farbton-Klassen zur Ergebnisübergabe an die Modifikation

4.5.3 Modifikation

Eine zentrale Aufgabe der Modifikation besteht in der Anpassung der Einzelziele an das verwendete Farbmodell. Das Wissen wird wie zuvor in Form von Regeln und Tabellen gespeichert. Entsprechend erfolgt die Wissensakquisition ebenfalls durch Erweiterung des Regelsatzes sowie der Tabellen. Im Unterschied zu den zuvor beschriebenen Tabellen- und Regelsätzen der hochsprachlichen Schnittstelle sind Eingriffe durch den Farbexperten an dieser Stelle im geringen Ausmaß notwendig. Während der Sprachumfang des Systems und damit der individuelle Wortschatz mit dem Wissen der hochsprachlichen Schnittstelle abgedeckt ist, enthält das Wissen der Modifikation vorwiegend das Wissen des verwendeten Farbmodells.

Um die Abhängigkeiten unterschiedlicher Farbmodelle untersuchen zu können, wurden in der Studie [Knu95] RGB- und CIELAB-Darstellungen untersucht. Die folgende Beschreibung beschränkt sich auf die interessantere CIELAB Anwendung, die zudem gegenüber den RGB-Anwendungen zusätzliche Möglichkeiten eröffnet.

Beispielsweise kann die Gegenfarbentheorie des CIELAB auch zur Farbbeschreibung genutzt werden. Die Farbenpaare Rot-Grün $(+a, -a)$ und Gelb-Blau $(+b, -b)$ beschreiben die vollständige CIELAB Farbebene (vgl. Abb. 2.9). Da eine Reduzierung des Rotanteils nach der Gegenfarbentheorie einer Anhebung des Grünanteils entspricht, lassen sich die Farbbeschreibungen mit nur zwei Bezugsfarben ausdrücken. Es sind damit zwei weitere Regeln zur Umsetzung notwendig:

REGEL Gegenfarbe-Verstärkung

wenn

es eine Instanz der Klasse Tonwert-Farbe gibt
diese ein Einzelziel zur Verstärkung einer Gegenfarbe repräsentiert

dann

ist dieses Einzelziel durch ein Einzelziel zur Verringerung der zugehörigen Farbe zu ersetzen

REGEL Gegenfarbe-Verringerung

wenn

es eine Instanz der Klasse Tonwert-Farbe gibt
diese ein Einzelziel zur Verringerung einer Gegenfarbe repräsentiert

dann

ist dieses Einzelziel durch ein Einzelziel zur Verstärkung der zugehörigen Farbe zu ersetzen

Die Zuordnung Farbe-Gegenfarbe kann durch entsprechende Einträge der Semantik in der Wortschatz-Tabelle 4.3 erfolgen. Die Bezeichnung *Farbe* ersetzt bei den Gegenfarben Grün und Blau dazu der Begriff *Gegenfarbe*. Als Farbe sind in diesem Beispiel die Farben der $+a$ und der $+b$ Achse (Rot und Gelb) gewählt.

Das System wäre nicht sonderlich leistungsstark, wenn alle Farbänderungswünsche auf die Farben Rot, Gelb und Grün, Blau beschränkt wären. Die freie Definition quasi eigener Farbbegriffe erfolgt für das System über einen den HSX-Modellen ähnlichen, aber auch für CIELAB üblichen [Wys82], auf die $+a$ -Achse bezogenen Farbwinkel. Die Zuordnung nimmt wiederum eine Tabelle vor, die einem vom Anwender vorgegebenen Farbbegriff, den der Farbwahl entsprechenden Winkel zuordnet. Der Anwender kann damit jeder Farbe (jedem Winkel) einen eigenen, frei gewählten Begriff zuordnen. Neben den oft genutzten Grundfarben wie Cyan, Magenta usw. sind auch sehr individuell empfundene Farben wie Orange, Pink, Türkis vom Anwender frei bestimmbar. Da die Tabelle keine Einschränkungen vorgibt, ist es auch möglich, einem Farbwinkel mehrere unterschiedliche Begriffe zuzuordnen. Ebenfalls können in der Anwendung sehr hilfreiche Bezugsfarben mit beliebigen Begriffen belegt werden. Damit sind hochsprachliche Farbdefinitionen möglich um beispielsweise die Farbe eines Firmenlogos mit *Firmenname*-blau direkt ansprechen zu können. Insbesondere kann mit dieser Wissensrepräsentation die in geschlossenen Anwenderkreisen gern verwendete vergleichende Farbbeschreibung (*Grasgrün, Himmelblau, Feuerrot, Signalgelb* usw.) technisch umgesetzt werden. Die Methode schafft einen Bezug zwischen hochsprachlicher individueller Bezeichnung und technischer Parametrisierung.

Systemintern werden diese als Mischfarben bezeichneten Instanzen durch eine weitere Regel in zwei Instanzen der Farben Rot und Gelb aufgeteilt, wobei die zusätzliche Winkelinformation ermöglicht, den zu bewertenden Anteil der Farbe festzulegen. Entsprechend muß die Winkelinformation bei der nachfolgenden Parametrisierung beachtet werden.

Damit Anforderungen der Art *Rottöne mehr Rot* umgesetzt werden können sind ähnliche Regeln vorhanden, die den Farbort in radialer Richtung verändern. Ent-

sprechend der im Grundwortschatz vorgesehenen Begriffe *Farb-töne* bzw. *Farb-bereich* ist diese Auswirkung auf einen Sektor begrenzt oder für eine Halbebene wirksam.

Ein weiteres Beispiel möglicher Farbmanipulationen zeigt der Begriff *Kolorieren* auf. Mit klassischen Bearbeitungsmethoden muß das Farbbild dazu zunächst in ein Grauwertbild überführt werden, bevor in einem nachfolgenden Verarbeitungsschritt eine luminanzabhängige Farbgebung erfolgt. Das vorliegende System ersetzt die Farbinformation der a^*b^* -Ebene lediglich durch ein a^*b^* -Wertepaar, wozu nur ein Arbeitsschritt notwendig ist.

Selbstverständlich ist es möglich weitere spezielle Farbmodifikationen in den Regelsatz aufzunehmen. Allerdings erfordert diese Aufgabe eine u.U. aufwendigere Erweiterung der Regelsätze, als die bisher zur Wissensakquisition durchgeführte Erweiterung der Tabellen. Trotzdem kann die Applikation mit zusätzlichen Regeln einfacher erweitert werden als z.B. durch eine Ergänzung der Software.

4.5.4 Parametrisierung

Die Einzelziele liegen nun in einer dem jeweiligen Farbmodell angepaßten Form vor. In einem letzten Schritt der Wissensverarbeitung ist die den hochsprachlichen Formulierungen entsprechende Parametrisierung vorzunehmen, bevor die so erzeugten numerischen Werte den farbverarbeitenden Operatoren übergeben werden. Dieses Modul stellt damit die Schnittstelle zwischen hochsprachlicher und numerischer Bedeutung eines Begriffes dar. Neben der quantitativen Bedeutung muß dabei auch der hochsprachlich formulierte Aktionspunkt bzw. Aktionsbereich numerisch zugeordnet werden.

Den Ausgangspunkt dazu bildet die in Abb. 4.6 dargestellte Farbebene, die auch den in Tabelle 4.1 definierten Grundwortschatz motiviert hat. Die Verbindung zwischen Farbebene und Aktionsbereichen stellen die in Abb. 4.11 bereits gezeigten Aktionspunkte dar. Diese Aktionspunkte erhalten entsprechend ihrer Bedeutung einen Namen. In der Studie [Knu95] wurde dazu ein kombinierter Name vergeben, der einerseits das visuelle Merkmal und andererseits Tonwertbereich bzw. Farbton widerspiegelt. Beispielsweise lauten die Namen für die tonwertabhängige Kontrastmanipulation zuständigen Aktionspunkte:

- *Kontrast-Tiefen*
- *Kontrast-Mitten*
- *Kontrast-Lichter*

Der Darstellung der korrespondierenden Funktion (vergl. Abb. 4.9 Seite 71) läßt sich entnehmen, daß der Neutralwert in den Aktionspunkten 1 beträgt. Diese Initialisierungswerte werden zusammen mit den Begriffen in einer Tabelle abgelegt, wodurch eine Verbindung zwischen hochsprachlicher und numerischer Zuordnung erreicht ist.

Für die tonwertabhängige Helligkeitsmanipulation entsprechend Abschnitt 4.4.1 (vergl. Abb. 4.7 Seite 69) lauten die Begriffe und Initialwerte:

- *Helligkeit-Tiefen* : 0,0
- *Helligkeit-Mitten* : 0,5
- *Helligkeit-Lichter* : 1,0

Die tonwertabhängige Farbmanipulation (Bsp.: *Tiefen mehr Rot*) kann Begriffen der Art *Rot-Tiefen* oder *Gelb-Mitten* zugeordnet werden. Für die farbtonabhängige Farbmanipulation und die farbtonabhängige Helligkeitsmanipulation lassen sich Begriffe der Art *Grün-Grüntöne* für *Grüntöne mehr Grün* oder *Helligkeit-Blautöne* für *Blautöne mehr Helligkeit* festlegen und entsprechende Initialwerte zuweisen.

Mit zwei weiteren Tabellen (siehe Tab. 4.6) erfolgt die Zuordnung der Quantisierungen. D.h. eine numerische Angabe zu den Begriffen *etwas*, *viel* und *wesentlich*. Auch die mathematische Repräsentation von *mehr* und *weniger* kann hier erfolgen. Die Tabellen enthalten dazu vorgeschlagene Werte.

Mit den bisher vorgestellten Tabellen liegen die Begriffe und numerische Repräsentation der Aktionspunkte fest. Ebenfalls sind die quantisierenden Beschreibungen numerisch zugeordnet. Die verbleibende Aufgabe besteht nun in einer Umsetzung der vorliegenden Einzelziele in mathematische Ausdrücke bzw. deren Auswirkung auf die neutralen Initialwerte. Als Eingangswerte stehen dazu die aufbereiteten Tonwert- und Farbton-Klassen entsprechend Tabelle 4.5 bereit. Die Umsetzung koordiniert ein Regelwerk, das entsprechend der Operatoren zur Farbmanipulation (vgl. 4.4) und der Tonwert- und Farbton-Klassen in die Kontexte

- *Tonwert-Farbe*
- *Tonwert-Helligkeit*
- *Tonwert-Kontrast*
- *Farbton-Farbe*
- *Farbton-Helligkeit*

Quantisierung Stützpunkt	
Begriff	Wert
mehr	+
weniger	-
etwas	0,01
<i>default</i>	0,03
viel	0,05
wesentlich	0,10

Quantisierung Steigung	
Begriff	Wert
mehr	+
weniger	-
etwas	0,05
<i>default</i>	0,10
viel	0,15
wesentlich	0,30

Tabelle 4.6: Quantisierungsstufen für Stützpunkte und Steigung

und ggf. *Grauwertbild* (Kolorieren) unterteilt werden kann. Stellvertretend für das Regelwerk soll an dieser Stelle die Regel zur Tonwert-Helligkeit wiedergegeben werden.

REGEL Tonwert-Helligkeit

wenn

es eine Instanz der Klasse Tonwert-Helligkeit gibt

dann

- sind Trend und Quantisierung durch die zugehörigen Werte der Tabelle Quantisierung-Stützpunkt zu ersetzen
- ist der Wert des Stützpunktes *Helligkeit-Tonwertbereich* mittels $Helligkeit-Tonwertbereich(neu) = Helligkeit-Tonwertbereich(alt) \cdot Trend \cdot Quantisierung$ zu bestimmen

Weitere Regeln ergeben sich entsprechend der in Abschnitt 4.4 aufgezeigten mathematischen Vorschriften.

Nachdem alle Einzelziele mit diesen Regeln abgearbeitet sind, liegt ein Parametersatz vor, der den farbbildverarbeitenden Operatoren übergeben werden kann.

4.6 Realisierung

Mit einer in der Studie [Knu95] durchgeführten Realisierung des Systems konnten einige Untersuchungen und Tests zur Überprüfung der Aussagen durchgeführt werden. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt. Um die wissenschaftliche Fragestellung beantworten zu können, wurde eine prototypartige Implementierung auf der Basis von KnowledgeWorks, einer Entwicklungsumgebung für Expertensysteme, vorgenommen. Alle Module des wissensbasierten Systems sind daher mit der Programmiersprache COMMON LISP implementiert, während die farbbildverarbeitenden Operatoren aus Effizienzgründen in C++ erstellt wurden.

Die zur Problemlösung notwendige Regelbasis konnte mit ca. 80 Regeln sehr kompakt ausgeführt werden. Trotz der Eignung semantischer Netze zur Realisierung sprachverstehender Systeme, zeigt die regelbasierte Lösung das gewünschte Verhalten, was u.U. jedoch durch die erwähnten Beschränkungen begünstigt wird. Vorteilhaft fällt dagegen die beobachtete bessere Eignung zur Darstellung des Farbwissens und der Anforderungen zur Erweiterbarkeit auf.

Um das Laufzeitverhalten für den Testbetrieb zu verbessern, wurde der farbbildverarbeitende Teil mit einer effizienten C++ Realisierung ausgeführt. Da das Farbwissen im System vorgehalten wird, reduziert sich die Funktion der Operatoren vorwiegend auf reine numerische Tabellenzugriffe. Berechnungen fallen in diesem Teil nicht mehr an. Hierdurch wird gleichzeitig eine hohe Unabhängigkeit vom verwendeten Farbmodell erreicht. Um diese Unabhängigkeit sowohl für die Operatoren wie auch für das wissensbasierte System zu überprüfen, wurde die Implementierung für RGB und CIELAB ausgelegt und getestet.

Für eine produktorientierte Realisierung sind einige zusätzliche Maßnahmen vorzusehen. Beispielsweise ist eine sorgfältige Überprüfung der hochsprachlichen Vorgaben notwendig. Während das implementierte System lediglich fehlende Eingaben anfordert, sind für den praktischen Einsatz deutlich aufwendigere Tests erforderlich. Ebenfalls läßt ein Produkt nicht die Einbindung eines Entwicklungssystems zu. Hier sind eigenständige Programme besser geeignet, deren Realisierung mit den Ergebnissen des Prototyps optimiert werden kann. Trotzdem konnten bereits mit dem vorliegenden Prototyp bereits ausreichend schnelle Systemreaktionen nachgewiesen werden. Eine Überarbeitung aus Sicht der Laufzeitanforderungen wäre damit nicht erforderlich.

5 Module zur Farbkorrektur, Farbneutralisation und Segmentierung

Wie in Kapitel 3 bereits aufgezeigt erfordert das System zur Farbanpassung einige weitere Module, welche die Voraussetzungen schaffen, die Möglichkeiten der Farbgestaltung vollständig auszuschöpfen.

Um eine effiziente Realisierung der Farbanpassung zu gestatten, sind im Rahmen dieser Arbeit auch diese angrenzenden Bildverarbeitungsaufgaben untersucht und als eigenständige Module entwickelt und realisiert worden. Die hier vorgestellten Funktionsgruppen unterstützen die Aufgabenfelder:

- *Farbkorrektur*
Medienunabhängige Bilderfassung und Bildausgabe durch eine gerätespezifische Farbraumtransformation
- *Farbneutralisation*
Farbneutrale Bilderfassung individueller Vorlagen (Bilder), durch luminanzabhängige Analyse der Farbverschiebung und Reduktion
- *Segmentierung*
Maskierung farbähnlicher Bildbereiche zur isolierten, lokal begrenzten Farbanpassung bzw. Objektgewinnung für die Bildmontage, durch dreidimensionale Cluster-Analyse des Farbraumhistogramms

Dieses Kapitel stellt zunächst die globale Systemarchitektur und den damit verbundenen Datenfluß vor, um die Einsatzfelder der Module aufzuzeigen. Anschließend folgt die Beschreibung der einzelnen Funktionsgruppen.

Die Realisierungen wurden vorrangig unter dem Gesichtspunkt der für die Untersuchungen notwendigen Funktionalität vorgenommen. Der modulare Charakter gestattet den Austausch einzelner Komponenten, da keine gegenseitigen Abhängigkeiten bestehen. Eine Optimierung der Software hinsichtlich einer Produktorientierung fand nicht statt, trotzdem sind alle vorgeschlagenen Verfahren konzeptionell für den laufzeitoptimierten Einsatz ausgelegt und auch z.T. in der industriellen Anwendung.

5.1 Farbkorrektur

5.1.1 Problemstellung

Für elektronische Publikationen ist eine farbgetreue Erfassung und Darstellung der Bildinformation unabdingbare Voraussetzung für die Weiterverarbeitung der Bildinformation. Das Ziel der medienunabhängigen Bilderfassung besteht in der Korrektur gerätespezifischer Farbfehler. Mit der Korrektur wird sichergestellt, daß unabhängig vom verwendeten Erfassungs- oder Ausgabemedium die Farbinformation im Rahmen der technischen Möglichkeiten erhalten bleibt. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte und untersuchte Verfahren dient zur Abbildung gerätespezifischer Farbinformation auf einen neutralen Referenzfarbraum, wodurch die Farbbilddaten in diesem Referenzfarbraum gespeichert und verarbeitet werden können [Woe93]. Der mit einer gerätespezifischen Korrektur verbundene erhöhte Rechenbedarf wird durch eine von der Korrekturphase entkoppelte Berechnung der Korrekturinformation innerhalb der Anwendung wesentlich verringert.

Der Algorithmus wird an dieser Stelle vorgestellt, um die Notwendigkeit einer Farbkorrektur zu unterstreichen. Sofern verfügbar, sollte in der praktischen Anwendung dem in Abschnitt 3.3 vorgestellten ICC-Verfahren aufgrund seiner hohen Verbreitung der Vorzug gegeben werden. Lediglich im Falle hoher Nichtlinearitäten schnitt das hier vorgestellte Verfahren bei einigen untersuchten Vorlagen besser ab.

Ein wesentlicher Punkt zur Durchführung der Farbkorrektur ist, wie bereits in Abschnitt 3.3 dargestellt, die Aufteilung einer ggf. gemeinsamen Korrektur in gerätebezogene Korrekturblöcke. Andernfalls, d.h. bei gemeinsamer Korrektur der Ein- und Ausgabegeräte, ergibt sich eine Abhängigkeit bzgl. dieser Gerätekombination, was bei Tausch eines Scanners oder eines Monitors entsprechende Probleme aufwirft. Auch eine parallele Ausgabe über verschiedene Geräte ist damit nicht möglich. Diese geschlossene Lösung, die immer noch in vielen industriellen Produkten Anwendung findet, ist leider nicht universell verwendbar. Im folgenden wird daher lediglich die gerätespezifische Korrektur weiter verfolgt.

5.1.2 Ein Verfahren zur medienunabhängigen Bilderfassung

Um Farbfehler erfassen zu können, sind zunächst Soll- und Istwerte zu definieren. Wird dem Scanner eine bestimmte Farbvalenz angeboten, so erhält man typischerweise einen aus drei Komponenten (Rot, Grün, Blau) bestehenden Farbwert \vec{x} . Den Sollwert \vec{r} hingegen liefert ein Meßgerät, dem dieselbe Farbvalenz

zugeführt wird. Der vom Meßgerät verwendete Farbraum muß dabei dem des Referenzfarbraums entsprechen bzw. in diesen umzurechnen sein. Wird als Referenzfarbraum beispielsweise der CIE-XYZ Farbraum gewählt, so ist eine Umrechnung in andere Farbräume leichter möglich [Wys82, Lan78]. Der Fehler \vec{e} für eine Farbvalenz kann anschließend aus

$$\vec{e} = \vec{x} - \vec{r} \quad (5.1)$$

bestimmt werden. Ermittelt man den Fehlervektor für verschiedene Farbvalenzen, so ergibt sich geräteabhängig für jede Farbvalenz ein anderer Fehlervektor. Der Fehler \vec{e} ist typischerweise nicht konstant. Bei den untersuchten Geräten (Trommel- und Flachbettscanner sowie CCD-Kameras) waren auch keine einfachen funktionalen Beschreibungen möglich. Bei einem Gerätetyp wurden zudem starke Nichtlinearitäten beobachtet. Da eine einfache funktionale Fehlerbeschreibung oder ein einfaches Fehlermodell nicht gefunden werden konnte, wurde der Ansatz einer umfassenden Korrekturtabelle verfolgt.

Möchte man die korrigierten Scannerwerte \vec{y} damit über die Beziehung

$$\vec{y} = \vec{x} - \vec{e} \quad (5.2)$$

errechnen, so ist hierzu der Fehlervektor für die jeweils zugeführte Eingangsvalenz zu verwenden. Da ein Scanner mit einfachem 8 bit A/D-Wandler 256 Farbabstufungen pro Farbkanal erzeugt, ergeben sich 256^3 unterschiedliche Farbwerte. Da es kaum möglich bzw. sinnvoll ist, einen Farbkorrekturvektor für jeden Eingangsvektor separat zu speichern, sind geeignete Verfahren nötig, mit denen dieser Aufwand reduziert werden kann.

Hier wurde der Versuch unternommen, mit einer Unterabtastung des Farbraums diskrete Stützpunkte auszuwerten und die restlichen Farbkorrekturinformationen durch Interpolation zu gewinnen. Da sich Farbtafeln, die den Farbraum vollständig und zudem äquidistant abdecken kaum herstellen lassen, ist die Gewinnung der Korrekturinformation an verfügbare Vorlagen gebunden. Hierzu zählt z.B. die Farbtafel IT8, die neben einer hohen Anzahl von Meßflächen eine geeignete Dichte der Farbvalenzen in relevanten Farbbereichen aufweist. Zudem sind diese Farbtafeln als Aufsicht- oder Durchlicht-Vorlage bereits mit zugehörigem individuellen Meßprotokoll erhältlich.

Mit diesen Voraussetzungen ist es möglich, ein diskretes, dreidimensionales Fehlervektorfeld zu erstellen, das ein Eingabegerät beschreibt. Leider gestaltet sich die Interpolation der restlichen Fehlervektoren als zu aufwendig, um während der Bilderfassung durchgeführt werden zu können. Um diesen Prozeß zu vereinfachen, wurden weitere Zwischenstufen eingefügt. Da eine Interpolation mit äquidistanten Raumpunkten wesentlich einfacher und schneller durchgeführt

werden kann als bei beliebig im Raum angeordneten Punkten, lassen sich folgende Verfahrensschritte einfügen.

Vor der eigentlichen Farbkorrektur wird in einem separaten Offline Prozeß die beliebig im Farbraum verteilte Farbkorrekturinformation in ein dreidimensionales äquidistantes Fehlervektorfeld überführt (siehe Abb. 5.1). Mit Scattered-Data-Interpolationsverfahren nach [Fra82, Fol92] entsteht ein dreidimensionales, gleichverteiltes, äquidistantes Raster mit einer dem Eingabegerät entsprechenden Korrekturinformation in Form einer 3D-lookup table (3D-LUT).

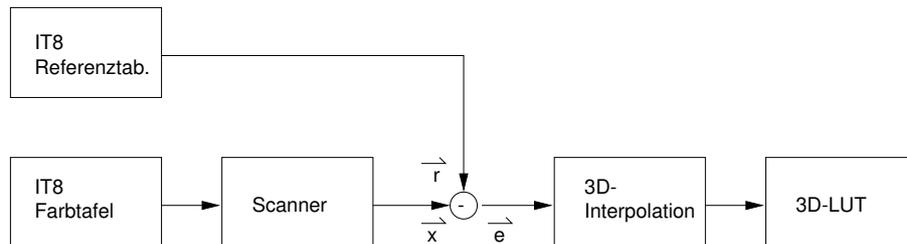


Abb. 5.1: Offline Prozeß zur Erzeugung der dreidimensionalen Fehlervektortabelle (3D-LUT). Die erfaßten Farbwerte der Farbtafel werden mit den Referenzwerten verglichen und als dreidimensionales Fehlervektorfeld abgespeichert. Eine Scattered-Data-Interpolation errechnet hieraus eine äquidistante dreidimensionale Lookup Table der Fehlervektoren.

Das Korrekturverfahren greift während der online-Verarbeitung auf diese Tabelle zurück (Abb. 5.2). Je nach Qualitätsanforderungen und verfügbaren Rechenzeitressourcen kann entweder ein Nearest-Neighbour-Zugriff auf die Tabelle oder eine einfache Interpolation zwischen den Werten der 3D-LUT erfolgen, um den benötigten Korrekturvektor abzurufen. Der so gewonnene Vektor dient zur Durchführung einer Vektorsubtraktion nach (5.2) und damit zur Korrektur des fehlerhaften Farbwertes.

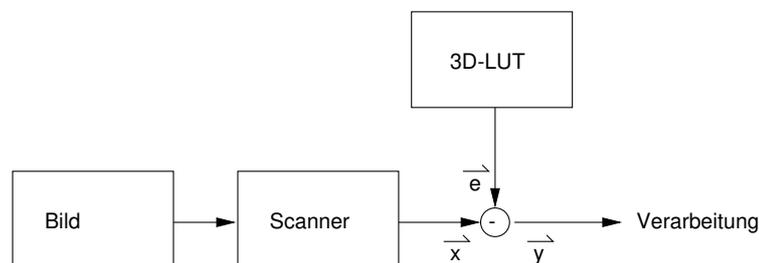


Abb. 5.2: Farbkorrektur unter Verwendung der 3D-LUT

Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht in der Entkopplung der aufwendigen Scattered-Data-Interpolation vom Erfassungsprozeß. Der zeitunkritische offline Prozeß läßt auch aufwendige Verfahren zu, wodurch die Qualität der Korrektur gewinnt. Mit einer äquidistanten Tabelle läßt sich anschließend ein effizienter Zugriff auf die benötigte Korrekturinformation realisieren.

Im Rahmen erster Untersuchungen wurde eine 3D-LUT mit 64^3 Elementen realisiert [Schu91]. Nachfolgende Arbeiten dienten zur Optimierung der Scattered-Data-Interpolationsverfahren. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 zusammengefaßt.

Darüber hinaus wurden mit diesem Verfahren Anpassungen an Farbeigenschaften vorgegebener Referenz-Geräte durchgeführt. Indem die Meßwerte der IT8 Farbtafel gegen die Farbwerte eines Referenzscanners ausgetauscht werden, lassen sich relativ einfach neue Scannermodelle an den Farbraum des Referenzscanners adaptieren. Einige Anwender bevorzugen derartige Farbreferenzen, um bestehende Verarbeitungsprozesse erhalten zu können, oder einen aus mehreren Vorlagen bestehenden Auftrag auf verschiedene Erfassungsgeräte aufteilen zu können.

5.2 Farbneutralisation

Dieses Modul dient als ein automatisches Verfahren zur adaptiven Farbneutralisation von globalen Farbabweichungen bzw. Farbneigungen in Einzelbildern [Woe96].

5.2.1 Problemstellung

Globale Farbabweichungen (Farbstich, color cast) entstehen oft unmittelbar bei der Bildaufnahme. Beleuchtungseffekte, mangelhafte Abstimmung des Aufnahmesystems (Filmmaterials) mit der Farbtemperatur des Lichtes bzw. ein schlecht abgestimmter Weißabgleich sind mögliche Ursachen für derartige Effekte. Dabei ist es unerheblich, ob die Aufnahme mit einer digitalen Kamera erstellt wird oder über den konventionellen Weg mit Film und Scanner erfolgt. Charakterisierend ist die individuelle Farbverfälschung eines bestimmten Bildes, die nicht auf generelle Ursachen zurückzuführen ist.

Das visuelle System des Menschen zeigt hingegen gute Adaptionseigenschaften bei der Kompensation sich global verändernder Beleuchtungsbedingungen. Farbtemperaturschwankungen des Tageslichtes (Mittagssonne, Sonnenuntergang) oder sogar Differenzen zwischen Tageslicht und Kunstlicht werden vom

Betrachter weitgehend kompensiert, sofern das gesamte Blickfeld ausgeleuchtet ist. Entsprechend störend werden Farbverschiebungen bei dem Betrachten eines Bildes empfunden, wenn dieses einen sogenannten Farbstich aufweist. Der Betrachter erwartet, unabhängig von Medium und Aufnahmebedingungen, eine farbneutrale Darstellung.

Während die Farbkorrekturverfahren gerätetypische, deterministische Farbverfälschungen betrachten, besteht die Aufgabe der Farbneutralisation darin, individuell, bildspezifisch die globalen Farbabweichungen zu erkennen und zu beschreiben, um sie anschließend zu kompensieren.

Das hier vorgestellte Verfahren stellt die Randbedingungen der Publishing-Anwendungen in den Vordergrund. Publikationen in Print- oder elektronischen Medien werden durch den Betrachter bewertet. Neben den Vorgaben, die durch das visuelle System des Menschen existieren, sind dabei zusätzlich bestimmte Erwartungen zu berücksichtigen. Insbesondere unbunte Randbereiche (weiße und schwarze Flächen) dürfen keine Farbneigung aufzeigen. Demzufolge werden die speziellen Qualitätsanforderungen einer farbneutralen Darstellung in Publikationen bisher vorwiegend durch manuelle Eingriffe eines hierfür geschulten Scanner-Bedieners sichergestellt. Eine funktionale Anlehnung an die manuelle Vorgehensweise scheint daher auch für ein automatisch arbeitendes Verfahren zweckmäßig zu sein.

5.2.2 Ein Verfahren zur Farbneutralisation

Eine Auswertung der typischen Vorgehensweise bei der manuellen Erfassung und Reduktion der Farbabweichung hebt folgende Bearbeitungsschritte hervor:

- *Messung der Tiefe*
Bestimmen der Farbwerte in einem schwarzen Bildbereich. Enthält das Bild hierfür keinen geeigneten Meßpunkt, kann z.B. ersatzweise der Rand des Dias ausgemessen werden.
- *Messung des Lichtes*
Bestimmung der Farbwerte in einem weißen Bildbereich.
- *Messung der Farbstimmung*
Bestimmung der Farbwerte eines farbneutralen Punktes mittlerer Helligkeit im Bild.

Aus diesen Informationen lassen sich die notwendigen Korrekturmaßnahmen ableiten, um die gewünschte farbneutrale Reproduktion des Bildes sicherzustellen.

len. Mit den Meßpunkten wird eine luminanzabhängige Verschiebung der Farbneigung hin zur neutralen Darstellung eingestellt. Das Ziel ist erreicht, wenn für den gesamten Helligkeitsumfang eine farbneutrale Darstellung des Bildes vorliegt. Diese in der professionellen, manuellen Anwendung bewährte Vorgehensweise bildet auch die Grundlage des automatisch arbeitenden Verfahrens.

Die meisten digitalen Kameras und Scanner nutzen Rot-, Grün- und Blau-Filter, um die Farbinformation der natürlichen Szene zu trennen und zu erfassen. Die Darstellung erfolgt dementsprechend im RGB-Farbraum. Zur Beschreibung der Verteilung der Farbwerte des Bildes kann ein Histogramm dritter Ordnung verwendet werden. Allerdings bedingt die Speicherung bei Berücksichtigung aller Farbwerte (üblich sind 256^3) eine erhebliche Rechnerbelastung, was Darstellung und Handhabung zu Analysezwecken ungünstig erscheinen läßt. Abb. 5.3 zeigt ein Beispiel für die Darstellung der Bilddaten in einem CIELAB Histogramm dritter Ordnung.

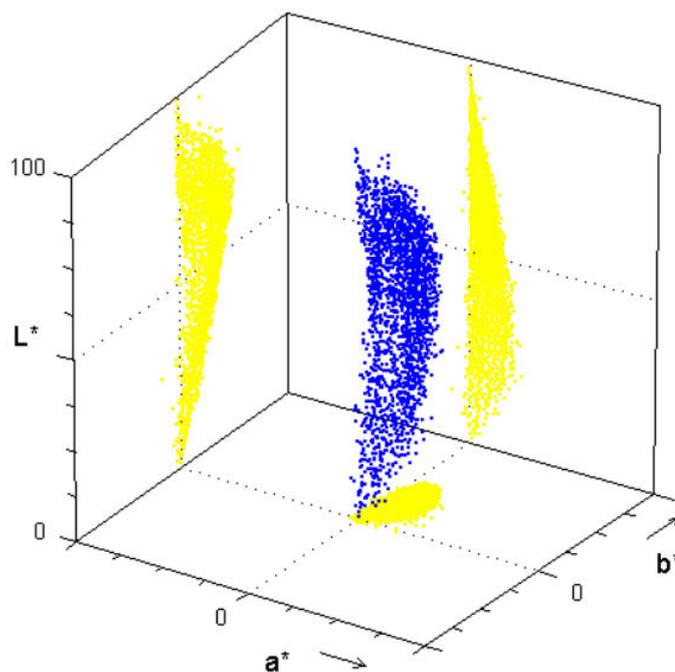


Abb. 5.3: CIELAB Histogramm. Jeder Punkt im Raum entspricht dem Farbwert eines Bildpunktes, wobei Mehrfachbesetzungen möglich sind. Mehrfachbesetzungen sind in der Darstellung nicht erkennbar, werden jedoch ausgewertet. Die Projektionen zeigen eine luminanzabhängige Verschiebung des Histogramms aus dem farbneutralen Bereich ($a^* = 0$ und $b^* = 0$), was eine Farbneigung vermuten läßt.

Da das CIELAB Farbmodell eine Trennung der Luminanzinformation (L^*) und der Chrominanzinformation (a^* , b^*) vornimmt, sind die unbunten Farbwerte in der L^* -Achse enthalten ($a^* = 0$; $b^* = 0$). Weiterhin sind Aussagen über die Auswirkung der Farbverschiebung in Abhängigkeit von der euklidischen Distanz zur Unbuntachse möglich.

Die Realisierung eines, der manuellen Farbneutralisation entsprechenden, automatisch arbeitenden Verfahrens setzt eine automatische Bestimmung der Bezugspunkte *Weißpunkt*, *Schwarzpunkt* und *Farbstimmung* voraus. Ein besonderes Problem stellt dabei die für die *Farbstimmung* erforderliche Schätzung des neutralen Punktes mittlerer Helligkeit dar, da dessen Messung im interaktiven Fall normalerweise unter Auswertung eines farbneutralen Bildobjektes erfolgt. Diese Auswahl ist jedoch ohne explizites Wissen der Farbgebung des Objektes nicht automatisierbar. Die Untersuchungen haben ergeben, daß eine gute Alternative hierzu in der Verwendung des Histogramm-Schwerpunktes gefunden werden kann. Hierdurch wird die Farbneigung aller Bildpunkte gleichermaßen erfaßt und berücksichtigt. Die Berechnung des Histogramm-Schwerpunktes $P_s = P(L_s^*, a_s^*, b_s^*)$ kann zudem sehr effizient gestaltet werden, da hierzu die Berechnung des Histogramms dritter Ordnung nicht erforderlich ist. Eine direkte Schwerpunktberechnung erfolgt über die Erstellung des Histogramms erster Ordnung für jeden Farbkanal, was vergleichsweise geringe Anforderungen an die Berechnung stellt. Eine Komponente x des Schwerpunktes P_s errechnet sich dann mit den Häufigkeiten H der Farbkanalhistogramme aus

$$P_{s_x} = \frac{\sum_{i=0}^I H_X(i) \cdot i}{\sum_{i=0}^I H_X(i)} \quad (5.3)$$

wobei I die Anzahl der Quantisierungsstufen des jeweiligen Farbkanals darstellt.

Der Weißpunkt P_w wird entsprechend P_s berechnet, wobei hier nicht alle, sondern nur eine begrenzte Anzahl der nicht übersteuerten, hellsten Bildpunkte zur Schwerpunktbestimmung berücksichtigt werden. Der Schwarzpunkt P_b ergibt sich entsprechend P_w und P_s bei Verwendung der Bildpunkte mit der geringsten Helligkeit.

P_w und P_s , sowie P_s und P_b werden anschließend durch zwei Geraden (g_1, g_2) verbunden. Die Abweichungen dieser Geraden von der Unbuntgeraden beschreiben mit ihrem Verlauf die Farbneigung des Bildes für jede Helligkeitsstufe L^* . Die Farbverschiebung einer jeder Ebene $E(L^*)$ kann dabei durch einen Vektor \vec{x}_{L^*} vom Durchstoßpunkt der Geraden durch die Ebene zum Durchstoßpunkt der L^* -Achse durch die Ebene beschrieben werden. (siehe Abb. 5.4)

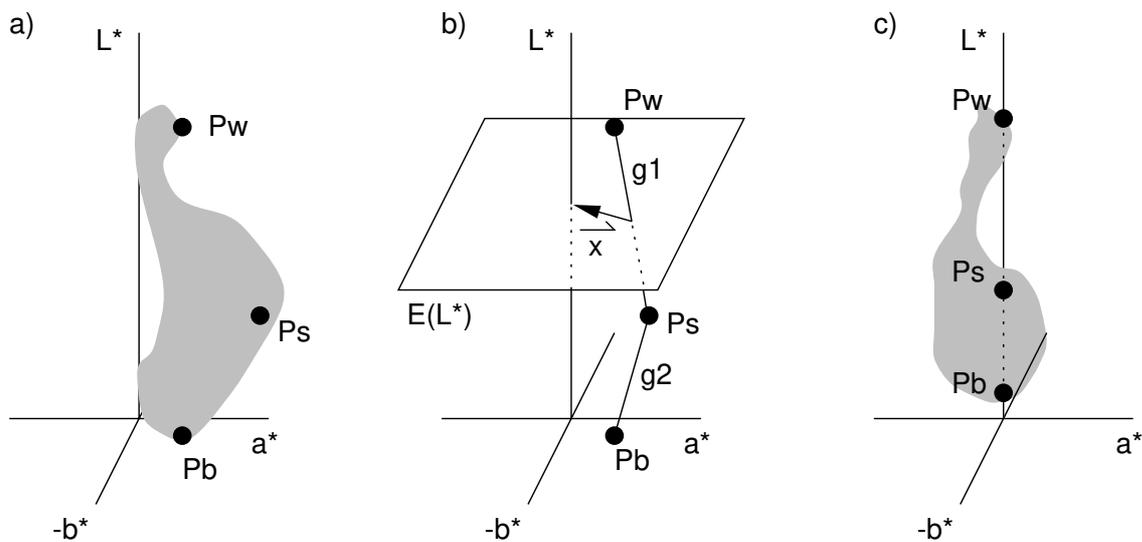


Abb. 5.4: Bestimmung des Neutralisationsvektors \vec{x}_{L^*}

- a) zeigt das CIELAB Farbraumhistogramm mit den Positionen der Punkte P_w , P_s und P_b , entsprechend der Farbneigung der Lichter, Mitten (Schwerpunkt) und Tiefen.
- b) zeigt die Geraden g_1 und g_2 . Am Beispiel einer Ebene $E(L^*)$ ist der resultierende Neutralisationsvektor \vec{x}_{L^*} für diese Ebene dargestellt. Dieser Vektor verläuft vom Durchtrittspunkt der Geraden g_1 bzw. g_2 durch die Ebene zur Neutralachse. Der Vektor kennzeichnet die Farbverschiebung der Ebene und jeweils aller enthaltenen Farbwerte des Histogramms auf dieser Ebene.
- c) zeigt die Position der Punkte nach erfolgter Neutralisation, sowie das entsprechend neutralisierte Farbraumhistogramm

Ziel der nachfolgenden Kompensation ist es, für jede Ebene (bzw. Helligkeitsstufe L^*) alle Farbwerte einer Ebene um den Vektor \vec{x}_{L^*} im Farbraum zu verschieben. Hierdurch verlagert sich jeder Punkt der Geraden g_1 und g_2 sowie die Punkte P_w , P_s und P_b auf die Unbuntgerade. Ein wesentlicher Vorteil dieses Vorgehens besteht darin, daß die relative Lage der Farbwerte einer Helligkeitsstufe erhalten bleibt. Mit der Verschiebung einer jeden Ebene von L^* , erfolgt die gewünschte, luminanzabhängige Neutralisation der Farbdaten. Der automatisch ablaufende Vorgang entspricht der manuellen Vorgehensweise, was zu sehr vergleichbaren Ergebnissen führt (siehe Kapitel 6).

5.3 Segmentierung

Dieses Verfahren dient zur Segmentierung von Farbbildern [Woe96a]. Den besonderen Anforderungen der Farbmanipulation aus Kapitel 3.3 wird entsprochen, indem eine auf dem Farbähnlichkeitsmaß beruhende, bildpunktbasierende Klassifikation realisiert wird, die ohne eine Notwendigkeit der topologischen Bindung einzelner Regionen die farblich identischen, bzw. ähnlichen Bildpunkte unter einem Label zusammenfaßt.

5.3.1 Problemstellung

Wie in Kapitel 3 bereits aufgezeigt, werden nicht alle Farbmanipulationen global auf das gesamte Bild angewendet. Viele Änderungswünsche betreffen nur begrenzte Bereiche des Bildes, die vor der Verarbeitung entsprechend maskiert (segmentiert) werden müssen. Im Fall der anschließenden Farbmanipulation sind diese Bereiche normalerweise durch ein Farbähnlichkeitsmaß verbunden. D.h. die Bearbeitung soll auf farblich identische bzw. ähnliche Bereiche beschränkt sein. Diese Randbedingung stellt gegenüber einer Objekt-Segmentierung völlig andere Anforderungen an die Segmentierungsaufgabe. Die Trennung muß zudem bildpunktgenau erfolgen, wobei der Farbwert des jeweiligen Bildelementes für die Klassifikation auszuwerten ist. Wird dieses nur unzureichend ausgeführt, entstehen unerwünschte Farbsäume durch falsch zugeordnete Bildpunkte, die anschließend aufwendig manuell nachbearbeitet werden müssen.

Der überwiegende Teil bekannter Segmentierungsverfahren basiert auf der Verarbeitung und Verwendung von Grauwertinformation. Die Luminanzinformation stellt zwar einen wesentlichen Anteil der Bildinformation, auch für Segmentierungsaufgaben dar [OKS80]; werden jedoch exakte Farbkanten gesucht, erscheint es sinnvoll, auch die Farbinformation auszuwerten. Oft sind dabei die gesuchten Regionen des zu segmentierenden Objektes topologisch nicht miteinander verbunden. Darüber hinaus bewirken in natürlichen Szenen, z.B. beleuchtungsbedingte Einflüsse leichte Farbverläufe, die gegenüber anderen homogenen Farbfächen unterschiedlich behandelt werden müssen.



Abb. 5.5: *Bildbeispiel mit stark zerklüftetem Hintergrund. Farboperationen, die ausschließlich den Hintergrund (Himmel) betreffen sollen, erfordern eine sorgfältige Trennung zwischen Hintergrund und Objekt im Vordergrund (Baum).*

Abb. 5.5 zeigt einen typischen Anwendungsfall. Eine mögliche Aufgabenstellung könnte sein, den Hintergrund (blauer Himmel) zu modifizieren. Bedingt durch den Baum im Vordergrund wird die Durchführung der Segmentierung zu einer nichttrivialen Aufgabe.

5.3.2 Segmentierung durch 3D-Analyse des CIELAB

Während übliche von einzelnen Startpunkten ausgehende Region-Growing-Verfahren gut geeignet sind, topologisch miteinander verbundene Regionen zu segmentieren, scheinen Aufgaben, bei denen das gewünschte Objekt auf viele Regionen aufgeteilt ist (siehe Bildbeispiel in Abb. 5.5), andere Verfahren zu fordern. Daher wurde eine Auswertung der Nachbarschaftsbedingungen im Bild nicht weiter verfolgt und eine clusterbasierte Analyse im Farbraum durchgeführt.

Die Farbtripel eines jeden Bildpunktes sind eindeutigen Raumkoordinaten im dreidimensionalen Farbraum zugeordnet. Ähnliche Farbwerte weisen entsprechend im Farbraum einen geringen Abstand zueinander auf. Die Farbverteilung kann untersucht werden, indem zunächst ein dreidimensionales Farbwert-Histogramm erstellt wird. Die anschließende Aufgabe besteht dann darin, Gebiete mit hoher Besetzung, sogenannte Cluster, im dreidimensionalen Histogrammraum zu lokalisieren und durch eine umschließende Hülle zu beschreiben. Zur Erzeugung des als Segmentierungsergebnis geforderten Labelbildes müssen in einem letzten Verarbeitungsschritt die von der Hülle eingeschlossenen Farbvek-

toren mit einem einheitlichen Label im ursprünglichen Bild versehen werden. Auf diese Weise werden die farbähnlichen Bereiche klassifiziert, selbst wenn die korrespondierenden Teile keine topologisch geschlossene Verbindung im Bild aufweisen.

Die Qualität der mit diesem Verfahren erzielbaren Segmentierung hängt im entscheidenden Maße von der Güte der Cluster-Lokalisierung und der Gewinnung einer geeigneten Beschreibung der Cluster Grenzen ab.

Der Ablauf gestaltet sich wie folgt. Ausgehend von einer Kernzelle (Startquader) des Clusters werden die unmittelbar benachbarten Elemente des Farbhistogramms dem Clusterkörper angegliedert, sofern deren Besetzungshäufigkeit eine Zugehörigkeit zum Cluster deutlich macht (siehe Abb. 5.6)

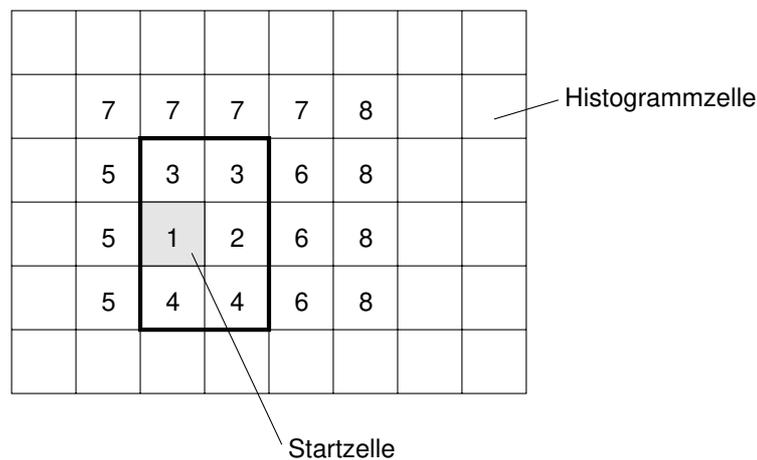


Abb. 5.6: Darstellung des Quaderwachstums zur Veranschaulichung am zweidimensionalen Fall. Das Wachstum geht von der grau hinterlegten Start-Zelle aus. Die steigenden Ziffern geben die im jeweiligen Schritt neu hinzugefügte Zellen an. Hervorgehoben ist der vierte Erweiterungsschritt

Abb. 5.7 zeigt schematisch den im Farbraum angewendeten dreidimensionalen Fall.

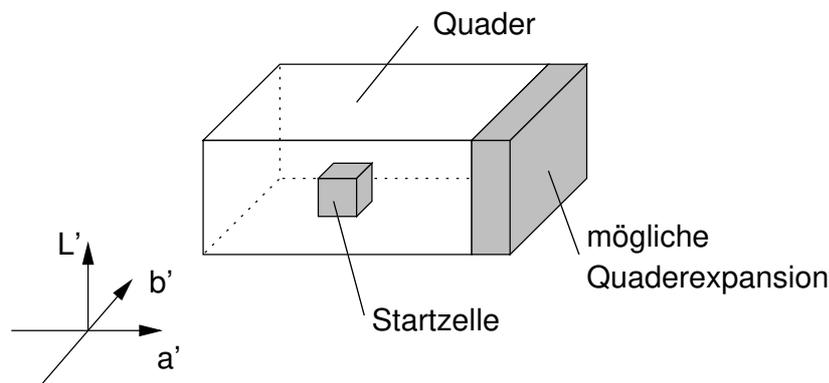


Abb. 5.7: Schematische Darstellung des Quaderwachstums. Ausgehend von der Startzelle wird der umschreibende Quader an jeweils einer Seitenfläche sequentiell erweitert, sofern die Besetzungsdichte des Farbhistogramms für die neue Schicht eine Erweiterung nahelegt.

Da benachbarte Cluster im Histogrammraum oft Berührungspunkte aufweisen, kann diese Vorgehensweise u.U. zu einer Verschmelzung der einzelnen Cluster führen. Als eine technisch einfach realisierbare Lösung für dieses Problem hat sich anstelle beliebig berandeter Körper der Aufbau von Quadern als umschreibende Hülle herausgestellt. Ausgehend von der Kernzelle als Startquader werden die sechs Seitenflächen des Quaders um jeweils ein Volumenelement flächig nach außen erweitert. Dieser Vorgang wird für eine bestimmte Ausdehnungsrichtung gestoppt, sobald die Besetzungshäufigkeit der neuen Volumenelemente einer Seitenfläche, einem Abbruchkriterium entspricht.

Die Farbkomponenten werden vor der Erfassung im Histogramm mit 64 statt der üblichen 256 Stufen quantisiert, um den Berechnungsaufwand zu reduzieren und die Verarbeitungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Als Ergebnis erhält man so ein Quader im Histogrammraum, das ein beliebig geformtes Cluster umschreibt. Sehr vorteilhaft wirkt sich die Möglichkeit der relativ freien Positionierung der Start-Zelle aus, da diese nicht notwendigerweise im Mittelpunkt des Quaders liegen muß. Die Initialisierung des Verfahrens gestaltet sich somit sehr robust.

Die Bestimmung der Kernzellenposition kann aufgrund dessen automatisch, z.B. über eine Maximumsuche im Histogramm, oder auch interaktiv erfolgen. Im letzteren Fall sind manuelle Kennzeichnungen der gesuchten Farbflächen notwendig, um die Position der Kernzelle im 3D-Histogramm zu bestimmen.

Sollte das Abbruchkriterium sehr empfindlich eingestellt sein, so bildet das Verfahren in der nachfolgenden Suche automatisch mehrere unmittelbar aneinander angrenzende Quader wie in Abb. 5.8 angedeutet. Im Ergebnisbild erscheint der

gesuchte Bildbereich dann übersegmentiert. Allerdings kann eine ggf. notwendige Zusammenfassung der zuvor getrennten Label relativ einfach erfolgen. Mit der Zusammenführung mehrerer Quader lassen sich auch komplexe Objekte im Bild bzw. Farbverläufe relativ einfach beschreiben.

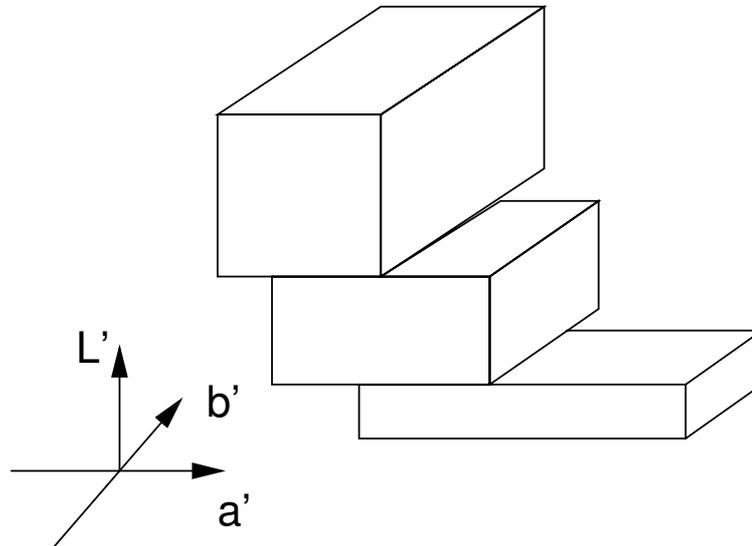


Abb. 5.8: Verteilung der Quader bei komplexen Farbhistogrammen. Mit einigen benachbarten Quadern können auch komplexe Farbverteilungen umschrieben werden. Das Ergebnis erscheint übersegmentiert, jedoch ist eine Zusammenfassung leicht möglich.

Weitere Vorteile des Verfahrens liegen in Verbindung mit dem hier verwendeten CIELAB Farbmodell in einer möglichen Vorgabe exakter Farbabstandsmaße. Bezogen auf den Farbwert der Kernzelle, kann ein maximaler Farbabstand ΔE vorgegeben werden, der ggf. zusätzlich zum Abbruchkriterium das Wachstum des einhüllenden Quaders begrenzt.

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Allgemeine Betrachtungen

Die Verfahren zur Farbanpassung für electronic publishing Systeme bestehen aus mehreren Verarbeitungsschritten. Diese in Kapitel 3 vorgeschlagene Aufteilung der Farbverarbeitung ist ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen. Während in der klassischen Anwendung die Farbanpassung immer noch mehr oder weniger monolithisch innerhalb eines Verfahrensschrittes behandelt wird, erfolgt im Rahmen dieser Arbeit eine strenge Trennung der unterschiedlichen Funktionseinheiten. Diese Trennung in Farbkorrektur, Farbneutralisation und Farbmanipulation trägt maßgeblich dazu bei, den gesamten Prozeß der Farbanpassung effizienter zu gestalten und insbesondere für die Farbmanipulation quasi normierte Ausgangsbedingungen zu schaffen. Als Vorteil daraus ergibt sich eine verbesserte Unabhängigkeit von dem zu bearbeitenden Farbbild durch eine neutrale Ausgangssituation. Hochsprachliche Beschreibungsformen, sind normalerweise auf die Zielsetzung der Farbveränderung hin ausgerichtet. Mit der neutralen Ausgangssituation besteht jetzt die Möglichkeit, eine allgemein gültige algorithmische Beschreibung zu entwickeln.

Entsprechend kann auch eine Darstellung der Ergebnisse isoliert für jedes Modul erfolgen. Die nächsten Abschnitte zeigen die Ergebnisse der Farbmanipulation und anschließend die der Zusatzmodule Farbkorrektur, Farbneutralisation und Segmentierung.

6.2 Ergebnisse der Farbmanipulation

Eine der Zielsetzungen des vorgestellten Verfahrens zur Farbmanipulation besteht in der Bereitstellung eines neuen Zugangs zum Medium Farbe. Um die technisch orientierten Gestaltung klassischer Benutzerschnittstellen zu erweitern, werden hochsprachliche Vorgaben der Farbänderungswünsche zugelassen, die das System interpretiert, in Parameter umgesetzt und durch geeignete Operatoren ausführt. Als Basis für die hochsprachliche Schnittstelle dient ein Grund-

wortschatz, der trotz vollständiger Beschreibung der notwendigen Manipulationsformen der Farbebene, sehr kompakt ausgeführt werden konnte. Die für den Einsatz notwendigen individuellen Eigenschaften und Beschreibungsformen eines komplexen Wortschatzes realisieren vom Benutzer definierbare Erweiterungen, Mischfarben, abstrakte Begriffe und Zusammenfassungen komplexer Ausdrücke.

Die innerhalb einer Studie [Knu95] durchgeführte Entwicklung und prototypartige Implementierung eines solchen Systems erlaubt die Bewertung durch simulierte Anwendungsszenarien. Vorteilhaft wurde dabei der leicht erlernbare hochsprachliche Zugang bewertet. Ebenfalls stellt der Grundwortschatz geeignete Möglichkeiten zum Zugriff auf die Farbe zur Verfügung. Die individuellen Erweiterungsmöglichkeiten hingegen bilden durch die notwendige Tabellerweiterungen nur eine eingeschränkt benutzerfreundliche Lösung. Innerhalb einer produktorientierten Entwicklung sind leichter zugängliche Lösungen einzubringen. Mit der Nutzung der Entwicklungsumgebung KnowledgeWorks und Common LISP für den wissensbasierten Systemteil, war eine schnelle und effiziente Implementierung des Systems möglich. Vorteilhaft erwies sich die Entscheidung, zur hochsprachlichen Interpretation ein wissensbasiertes System einzusetzen auch, da mit ca. 80 Regeln eine kompakte und leistungsstarke Implementierung des komplexen Sachverhaltes gelungen ist. Zudem stellt der damit mögliche Austausch der Wissenbasis eine einfache Lösung dar, um individuelle Wortschätze unterschiedlicher Anwendergruppen bearbeiten und anwählen zu können. Alle bildverarbeitenden Operatoren sind durch C++ Routinen realisiert, was neben einer schneller Bearbeitung den Zugriff auf bestehende Bibliotheken erlaubt.

Zur besseren Übersicht erfolgt die Ergebnisdarstellung unterteilt nach hochsprachlicher Interpretation, Parameterdarstellung und Bildbeispielen.

Hochsprachliche Interpretation

Eine zentrale Aufgabe der hochsprachlichen Interpretation besteht in der Zerlegung der Anweisungen in Einzelziele, deren Bedeutung über die Operatoren direkt umgesetzt werden kann. Obwohl diese Arbeit nicht das Ziel verfolgt ein allgemein sprachverstehendes System aufzubauen, sind die Erweiterungen zu kombinierten Anweisungen ein notwendiger Schritt, um diese allgemeiner halten zu können, abstrakte Begriffe zuzulassen und deutliche Vorteile gegenüber einer klassischen Kommandosprache anbieten zu können. Anweisungen der Art:

1. Mitten etwas mehr und Lichter weniger Blau

2. Tiefen wesentlich mehr und Mitten viel mehr Grün
3. Schatten und Mitten heller
4. Tiefen viel mehr Rot und wesentlich weniger Blau und heller und Mitten etwas mehr Rot und weniger Blau

überführt das System in die Einzelziele:

1. (a) Mitten etwas mehr Blau
(b) Lichter weniger Blau
2. (a) Tiefen wesentlich mehr Grün
(b) Mitten viel mehr Grün
3. (a) Tiefen mehr Helligkeit
(b) Mitten mehr Helligkeit
4. (a) Tiefen viel mehr Rot
(b) Tiefen wesentlich weniger Blau
(c) Tiefen mehr Helligkeit
(d) Mitten etwas mehr Rot
(e) Mitten weniger Blau

die dann in einen Parametersatz umgesetzt und den bildverarbeitenden Operatoren zur Verfügung gestellt werden.

Die Erweiterungen des Wortschatzes sind auf Mischfarben, abstrakte Begriffe und Zusammenfassungen beschränkt. Hierdurch stehen ausreichende aber auch einfach zuzuordnende Modifikationsmöglichkeiten zur Verfügung. Eine Zuordnung der Erweiterungswünsche gestaltet sich eindeutig und Konfliktsituationen durch beliebige, in die allgemeine Interpretation überführende Begriffe werden vermieden. Die technische Umsetzung der Erweiterung des Wortschatzes erfolgt durch erweiternde Einträge in Tabellen.

Parameterdarstellung

Bereits in Kapitel 4 sind einige Parameterdarstellungen wiedergegeben. Exemplarisch sollen an dieser Stelle nur einige Beispiele die Besonderheiten der Parametrisierung im CIELAB Farbmodell hervorgehoben werden. Die Vielfalt der

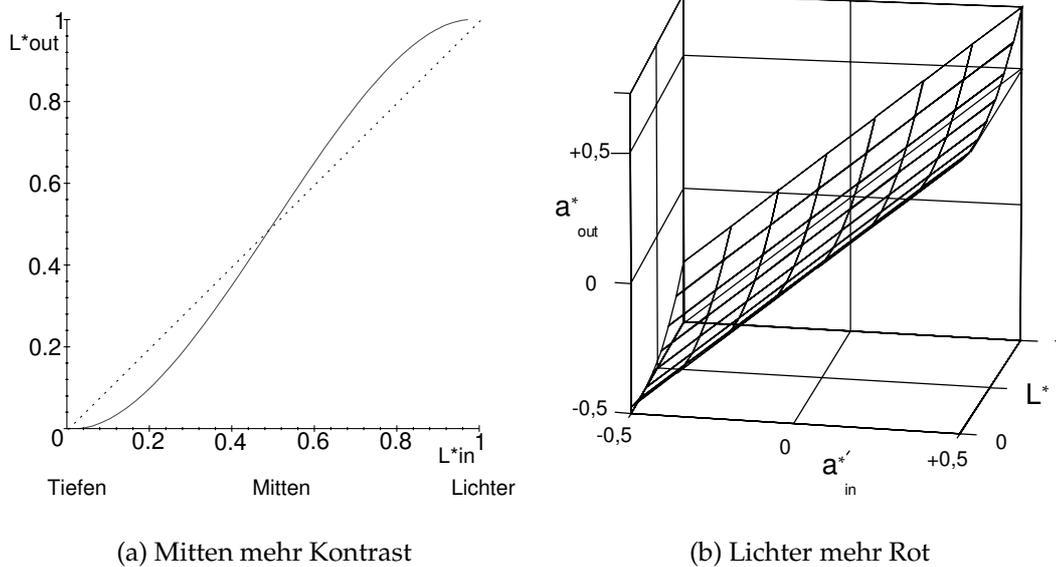


Abb. 6.1: Tonwertabhängige Kontrast- und Farbmanipulation

Ausprägungen und Möglichkeiten unterschiedlicher Farbmanipulationen kann an dieser Stelle nicht aufgezeigt werden.

Abb. 6.1 zeigt zwei tonwertabhängige Beispiele. Während die Helligkeits- und Kontrastmanipulation allein L^* beeinflussen, ist eine einfache zweidimensionale Darstellung und entsprechend einfache Realisierung möglich. Die Farbmanipulation hingegen modifiziert die gesamte a^*b^* -Ebene, was sich durch die Abhängigkeit zu L^* nur dreidimensional darstellen läßt. Die Umsetzung der funktionalen Zusammenhänge realisiert der bildverarbeitende Teil aus Effizienzgründen durch Zuweisungstabellen (lookup table).

Teil a) der Abbildung 6.1 zeigt die Anweisung *Mitten mehr Kontrast*, was durch die Spreizung mittlerer Helligkeitswerte erreicht wird (vgl. hierzu Abb. 4.2). der Parameter *mehr* legt dabei die, in diesem Fall mittlere, Anhebung der Steigung fest. Teil b) zeigt die Farbmanipulation *Lichter mehr Rot*, bei der a^* Werte im Bereich hoher Helligkeit (L^* nahe 1) angehoben werden.

Abb. 6.2 zeigt zwei farbtönenabhängige Beispiele. Teil a) gibt die Anweisung *Rotbereiche mehr Rot* wieder, die erkennen läßt wie die positiven a^* Werte über den gesamten Bereich von b^* angehoben werden. Teil b) hingegen zeigt die Funktion *Blautöne weniger Rot*. Dazu wird a^* in einem enger gefaßten Gebiet der negativen b^* Werte (blau) abgesenkt. Insbesondere zeigt dieses Beispiel die Umsetzung der Teilbegriffe *töne* und *bereich* in die zugehörige Auswirkung auf die a^*b^* -Ebene. Während der Begriff *töne* einen eng gefaßten Sektor der Ebene beschreibt, be-

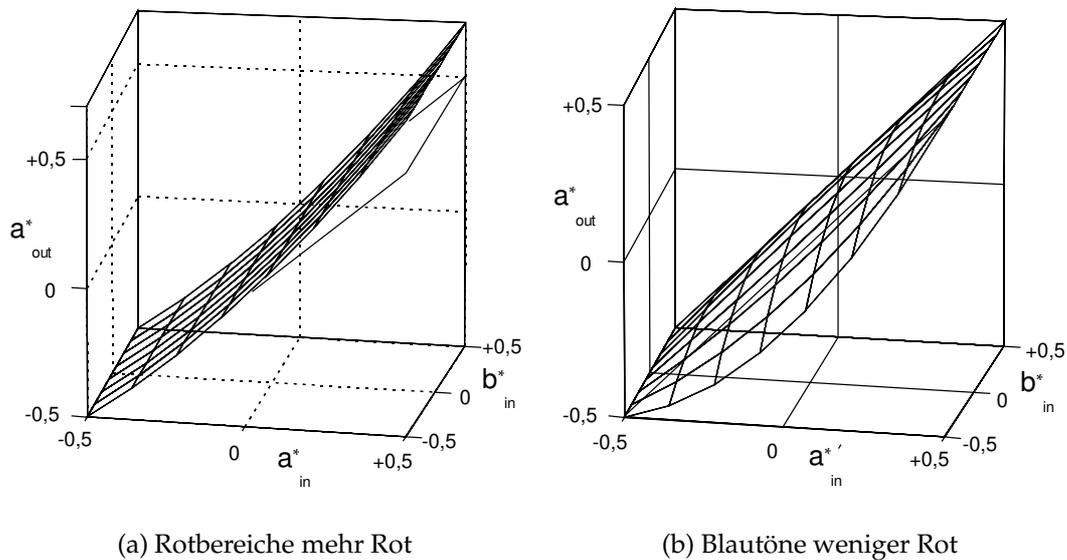
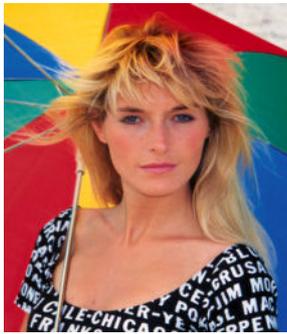


Abb. 6.2: Farbtonabhängige Manipulation

einflußt der Begriff *bereich* wie gefordert die zugehörige Halbebene (vgl. hierzu Abb. 4.6).

Bildbeispiele

Schließlich soll die Leistungsfähigkeit des Verfahrens anhand einiger Bildbeispiele verdeutlicht werden. Die Abb. 6.3 und 6.4 zeigen verschiedene Modifikationen.



(a) Rottöne kräftiger



(b) Blautöne heller



(c) Mitten mehr Gelb



(d) Mitten heller



(e) ORIGINAL



(f) Alles weniger Kontrast



(g) Alles blau kolorieren



(h) Gelbtöne kräftiger und Rottöne dunkler



(i) Grünbereich weniger Blau und Grüntöne kräftiger

Abb. 6.3: Beispielbilder zur Farbmanipulation



(a) Grautöne mehr Blau und Blautöne dunkler



(b) Grauwertbild



(c) ORIGINAL



(d) Lichter heller und mehr Rot



(e) Lichter orange kolorieren

Abb. 6.4: Beispielbilder zur Farbmanipulation

6.3 Ergebnisse der Zusatzmodule

6.3.1 Farbkorrektur

Zum Test des Farbkorrektur-Moduls wurden drei CCD-Bilderfassungssysteme in die Untersuchung einbezogen. Folgende Systeme standen zur Verfügung:

- Hochauflösende CCD-Kamera der professionellen Digitalfotografie
- 3 Chip CCD-TV-Kamera (Broadcast tauglich)
- A3 Flachbettscanner mit CCD-Zeilensensor

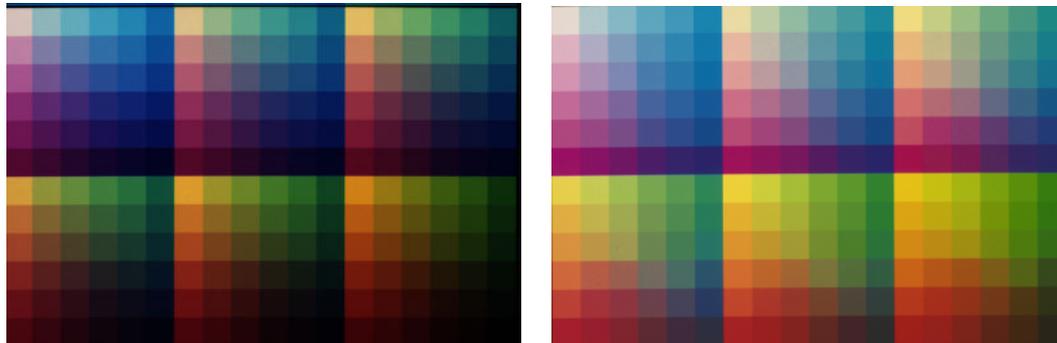
Im Rahmen einer Untersuchung wurde die Aufgabe gestellt, eine Farbanpassung der hochauflösenden CCD-Kamera an den Farbraum eines Referenzgerätes vorzunehmen. Anstelle eines Meßgerätes erfolgt die Vorgabe des Referenzfarbraums durch das Bezugsgerät. Hierdurch wird einerseits die Flexibilität des Korrekturverfahrens demonstriert und andererseits ein direkter visueller Vergleich der Bilddaten anstelle eines numerischen Datenvergleichs ermöglicht. Aufgrund des sehr ähnlichen Verhaltens der untersuchten Geräte werden im folgenden nur noch die Ergebnisse des hochauflösenden Kamerassystems wiedergegeben.

Abb. 6.5 zeigt eine Farbtafel der unbehandelten Rohdaten, sowie das farbkorrigierte Bild. Eine Messung der Farbflächen und anschließender Vergleich mit den Sollwerten des Referenzscanners (Hochleistungs-Trommelscanner) zeigt eine Reduktion des Fehlers auf im Mittel ca. 2% des ursprünglichen Fehlers. Lediglich einzelne Werte im Randbereich des Farbraums weisen einen verbleibenden Fehler von 4% auf.

Abb. 6.6 zeigt eine Vorlage, die zu Vergleichszwecken mit der hochauflösenden Kamera und dem Referenzscanner erfaßt wurde. Mit dem Referenzscanner wurde zuvor eine Farbtafel verarbeitet, die zur Berechnung der dreidimensionalen Kamera-Korrektur-LUT diente. Das dargestellte Scan-Ergebnis der Kamera wurde mit diesen Daten korrigiert.

Der Auswahl einer geeigneten Farbtafel kommt bei dem hier vorgestellten Verfahren eine besondere Bedeutung zu. Es ist notwendig, daß die Farbtafel den Farbraum der anschließend zu verarbeitenden Bilder möglichst vollständig abdeckt. Nur so kann sichergestellt werden, daß die Korrekturvektoren der LUT in ausreichender Dichte und Genauigkeit errechnet werden können. Werden mit den zu verarbeitenden Bildern Farben zugeführt, die von der Farbtafel nur unzureichend beschrieben sind, können trotzdem Korrekturvektoren allerdings nur

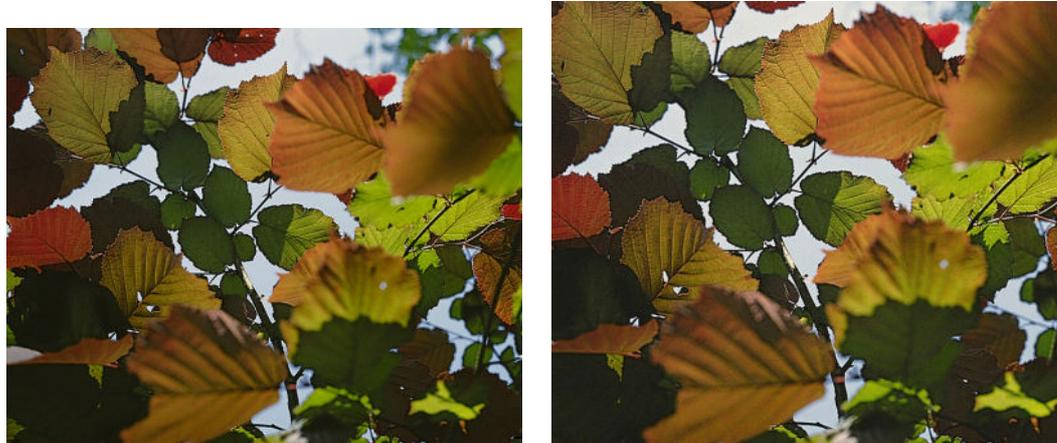
mit verminderter Genauigkeit angeboten werden. Die inzwischen gut verfügbare IT8 Farbtafel stellt für diese Zwecke eine gute Lösung dar, die im Rahmen der Untersuchungen bestätigt werden konnte.



(a) Rohdaten der hochauflösenden
CCD-Kamera

(b) korrigierte Bilddaten

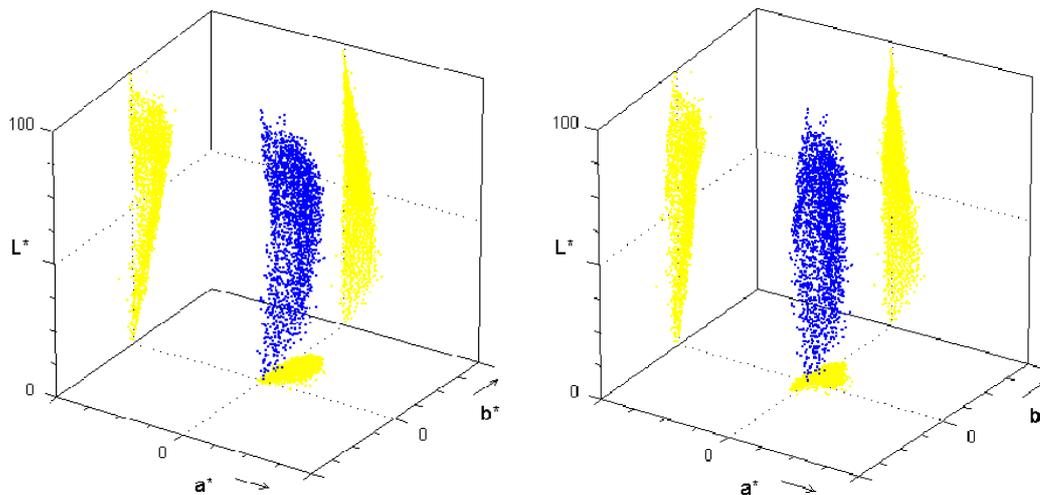
Abb. 6.5: Darstellung der Farbkorrektur anhand einer Farbtafel



(a) Referenzbild des Trommelscanners

(b) Farbkorrigiertes Bild der CCD-
Kamera

Abb. 6.6: Visueller Vergleich der Bilddaten eines Referenzscanners mit den Bilddaten einer auf diesen Scanner adaptierten hochauflösenden CCD-Kamera. Als Vorlage diente ein Durchlicht-Positiv (DIA).



(a) Farbhistogramm des Originalbildes mit Farbneigung

(b) Farbhistogramm des Bildes nach erfolgter Farbneutralisation

Abb. 6.7: Farbhistogramme eines Bildes vor und nach der Farbneutralisation

6.3.2 Farbneutralisation

Das Ergebnis einer Farbneutralisation kann mangels objektiven Bewertungsmaßstabs nur durch den subjektiven, visuellen Eindruck eines Betrachters bewertet werden. Zur Unterstützung wurden daher neben den Bildern auch Histogramme dritter Ordnung von den unbehandelten und behandelten Bildern angefertigt, um die Arbeitsweise überprüfen zu können (siehe Abb. 6.7). Der visuelle Eindruck wurde im Rahmen einer Studie [Fri96] anhand von Monitordarstellungen mit ca. 200 Bildern im direkten Vergleich überprüft. Die Abbildungen 6.8, 6.9 und 6.10 zeigen einige Beispiele.



(a) Originalbild mit Farbneigung



(b) Bild nach der Farbneutralisation

Abb. 6.8: Bild einer natürlichen Szene

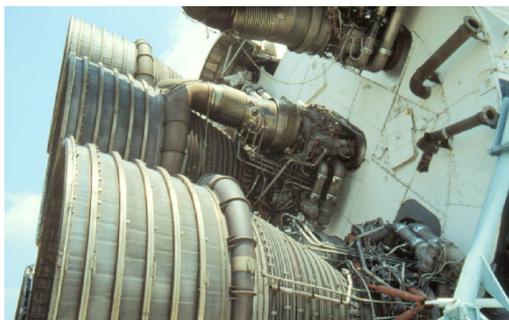


(a) Originalbild mit Farbneigung



(b) Bild nach der Farbneutralisation

Abb. 6.9: Technisch verfremdetes Bild mit dominantem Farbanteil



(a) Originalbild mit Farbneigung



(b) Bild nach der Farbneutralisation

Abb. 6.10: Technisches Objekt mit dominantem Farbanteil

Die Farbneigung konnte dabei bei der überwiegenden Anzahl der automatisch verarbeiteten Bilder erfolgreich kompensiert werden. Insbesondere wird die neutrale Darstellung von Weiß- und Schwarzpunkt erreicht, was der subjektiven Bewertung entgegenkommt. Nicht, bzw. unvollständig neutralisiert werden extreme Farbneigungen von Bildern mit dominanten, einfarbigen Objekten, die einen Großteil der Bildfläche einnehmen. Natürliche Szenen sind davon jedoch nur selten betroffen. Bei problematischen Vorlagen, die bei manueller Bearbeitung bessere Ergebnisse zeigen, können gleichwertige Ergebnisse durch eine interaktive Vorgabe der Bezugspunkte erzielt werden. Diese parametrische Nutzung der Farbneutralisation bietet als deutlichen Vorteil einen stark reduzierten Bearbeitungsaufwand gegenüber der klassischen, rein manuellen Vorgehensweise.

Als wesentliches Ergebnis bleibt festzuhalten, daß der Austausch des manuell vorgegebenen neutralen Grauwertes durch den Schwerpunkt des Farbhistogramms, eine gute Alternative zum interaktiv vorgegebenen Meßpunkt darstellt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß die rechen- und speicheraufwendige Bestimmung des vollständigen Histogramms dritter Ordnung vermieden wird, da der Schwerpunkt nach [5.3] wesentlich einfacher zu bestimmen ist. Die automatische, effiziente Ausführung der Farbneutralisation belastet die Bilderfassung nur gering. Die Verwendung des CIELAB Farbmodells zeigt auch hier gegenüber eines zu Vergleichszwecken implementierten Verfahrens auf Basis des RGB-Farbmodells ausnahmslos bessere Resultate.

6.3.3 Segmentierung

Ähnlich der Farbneutralisation wird auch das Ergebnis der Segmentierung nach subjektiven, visuellen Merkmalen beurteilt. Um das Segmentierungsverfahren dem visuellen Farbempfinden des Anwenders näher zu bringen, basiert auch dieses Verfahren auf dem CIELAB Farbmodell. Die wahrnehmungsmäßige Gleichabständigkeit [Ric81] wirkt sich auch bei der Segmentierung vorteilhaft aus. Dies erlaubt, euklidische Maße im Farbraum anzuwenden und so Vorgaben eines definierten maximal zulässigen Farbabstandes zwischen Objekt und Hintergrund vorzugeben.

Die interaktiv festgelegten oder auch automatisch errechneten Startquader können gewinnbringend eingesetzt werden. Mit einer interaktiven Zuordnung (Objekt/Hintergrund) sind Farbdifferenzen zur Festlegung der zulässigen Farbgrenzen anwendbar. Der Einsatz des CIELAB Farbmodells zeigte gegenüber einer RGB-Nutzung deutlich bessere Segmentierungsergebnisse.

Zusätzlich zu den hier beschriebenen Verfahren wurden im Rahmen einer Studie [Bor95] weitere Segmentierungsverfahren der Clusteranalyse implementiert und

in einen Vergleich aufgenommen. Neben Schwellwertmethoden mit Analyse eindimensionaler Histogramme [Cel90, OKS80, Sch93, Tom90] sind Verfahren wie k-mean, Adaptiver k-mean [Pap92] oder konkurrierendes Lernen [Uch93] untersucht worden. Da wie bereits erwähnt kein numerisches Maß für die Qualität der Segmentierung existiert, ist die Bewertung auf das subjektive Urteil des Anwenders beschränkt.

Im Vergleich zu dem k-means Algorithmus [And73] führt das hier vorgestellte Verfahren bei vielen Testbildern eine der Aufgabenstellung besser entsprechende Segmentierung durch. Die Fälle, in denen k-means bessere Ergebnisse zeigte, konnten durch interaktive Eingriffe auf ein vergleichbares Ergebnis gebracht werden. Die Möglichkeit einer interaktiven Vorgabe bietet k-means hingegen nicht. Zudem zeigt die Segmentierung mittels Farbraum-Clusteranalyse die geringsten Anforderungen an den Berechnungsaufwand, was zu entsprechend hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten führt.



(a) Originalbild

(b) Segmentierungsergebnis (Label-
bild)

Abb. 6.11: Ergebnis der automatischen Segmentierung durch Farbraum Clusteranalyse mit 8 Clustern. Der Hintergrund wird durch 3 Cluster beschrieben, deren Label ggf. interaktiv ausgewählt werden können.

7 Zusammenfassung

Traditionelle Geschäftsabläufe werden in zunehmenden Maße durch elektronische Komponenten ergänzt. Insbesondere in Bereichen der Kommunikation drängen multimediale Elemente verstärkt in den Vordergrund. Sowohl Abläufe auf Geschäftsebene (business to business) wie auch der Kontakt zum Endkunden und Verbraucher (business to consumer) erfahren derzeit große Veränderungen durch den Einsatz elektronischer Medien. Wesentliche Bestandteile dieser Kommunikationsvorgänge sind Bildelemente, die beispielsweise bei der Produktdarstellung oder auch für elektronische Magazine eingesetzt werden. Dadurch wird der Bereich des electronic publishing vor neue Herausforderungen gestellt.

Zukünftige Systeme sind geprägt durch kurze Bereitstellungszeiten und einen hohen Durchsatz an aufzubereitendem Bildmaterial. Die daraus entstehenden Anforderungen bezüglich der elektronischen Bildverarbeitung (EBV) lassen sich mit den klassischen Methoden der Druckvorstufe nicht bewältigen. Neue Verfahren müssen durch automatische und automatisierte Abläufe, den für das Ergebnis der Farbproduktion verantwortlichen Anwender komfortabel unterstützen und den Experten entlasten.

Zur Beschreibung der Farbinformation werden Farbmodelle eingesetzt, die häufig den technischen Randbedingungen der verwendeten Geräte, hingegen selten den visuellen Eigenschaften des Menschen entsprechen. Veränderungen der Farbgebung mit dem Ziel, die Darstellung für auf den Verwendungszweck des Bildes zu optimieren, erfolgen derzeit durch manuelle Eingriffe. Mit Gradationskurven wird die Zuordnung jeder Farbkomponente über deren Helligkeitsverlauf festgelegt. Da z.B. bei den verbreiteten, gerätebezogenen Farbmodellen die prozentuale Änderung eines Farbwertes stark unterschiedliche visuelle Auswirkungen in Abhängigkeit vom Farbort aufweisen kann, erfordert eine visuell zielgerichtete Farbänderung ein hohes Maß an Erfahrung. Demzufolge wird die Farbmanipulation einer Gruppe von Experten überlassen, die auf die Besonderheiten und technischen Randbedingungen hin trainiert sind. Der Auftraggeber formuliert seine Farbänderungswünsche üblicherweise hochsprachlich, da kaum eine andere Kommunikationsform zur Verfügung steht. Der Farbexperte hat damit die Aufgabe, diese Vorgaben in geeignete Gradationskurven umzusetzen, mit denen die gewünschte Farbänderung herbeigeführt wird.

Mit dieser Arbeit wird ein Verfahren vorgeschlagen, das die hochsprachlichen Vorgaben eines Anwenders aufnehmen und diese in geeignete Parametersätze zur Farbmanipulation überführen kann. Die so gewonnenen Daten werden farbverarbeitenden Operatoren übergeben, welche schließlich die gewünschten Farbänderungen im Bild ausführen. Darüber hinaus sind weitere farbverarbeitende Module entwickelt worden, die das Verfahren zur Farbmanipulation unterstützen. Dieses sind eine Farbkorrektur zur medien- und geräteneutralen Erfassung und Ausgabe von Bildern, eine Farbneutralisation zur Reduktion eines individuellen Farbstichs (color cast, color bias) in der Bildvorlage und ein Verfahren zur Farbsegmentierung, um farbidentische oder farbähnliche Bildpunkte einer Vorlage zu Bearbeitungszwecken maskieren zu können.

Während Farbkorrektur und Farbneutralisation hinsichtlich einer vollautomatischen Arbeitsweise realisiert werden konnten, sind für Farbmanipulationsaufgaben Vorgaben des Nutzers unerlässlich.

Als Basis der hochsprachlichen Kommunikation mit dem Anwender wird ein Grundwortschatz zur Farbmanipulation eingeführt, der trotz eines vollständigen Zugriffs auf die Farbebene, sehr kompakt gehalten werden konnte. Ein deutlicher Vorteil dieses begrenzten Umfangs besteht in den damit möglichen eindeutigen Formulierungen. Der Nachteil eines begrenzten Sprachumfangs, die mühsame Verkettung vieler Begriffe, um aufwendige Farbänderungen zu beschreiben, wird durch frei definierbare, abstrakte Begriffe kompensiert.

Die Auswertung des Farb-Wortschatzes einiger Arbeitsgruppen ergab, daß innerhalb einer geschlossenen Gruppe individuelle Beschreibungsformen zur Farbmanipulation entstehen, die teilweise sehr komplexen Farbänderungen gruppenintern eindeutig zugeordnet werden können. Das hier vorgeschlagene Verfahren sieht daher Möglichkeiten vor, individuelle Erweiterungen des Wortschatzes zuzulassen. Im Grundwortschatz enthaltene Begriffe können neu zugeordnet werden; neue Begriffe lassen sich durch Kombination bekannter Begriffe definieren. Dadurch, daß der Anwender die Erweiterungen selbst vornimmt, entsteht die individuelle Beschreibungsform. Die Erweiterungen lassen auch die direkte hochsprachliche Formulierung sehr aufwendiger Farbveränderungen zu. Der so gewonnene Wortschatz spiegelt das individuelle Farbwissen des Anwenders oder der Gruppe wieder.

Für die Untersuchungen und Tests des Verfahrens erfolgt eine Realisierung in Form eines wissensbasierten Systems. Als Wissensbasis dient eine regelbasierte Lösung, die gegenüber der Realisierung mittels semantischer Netze einige Vorteile bezüglich der Erweiterungsmöglichkeiten sowie bei der Beschreibung des Farbwissens zeigt. Insgesamt kommen ca. 80 Regeln zur Anwendung, um die geforderte Funktionalität abzubilden. Wesentliche Wissensteile sind in Form von

Tabellen realisiert, wodurch sich der Wartungsaufwand für Erweiterungen reduziert. Die Wissensbasis umfaßt das notwendige Wissen der hochsprachlichen Schnittstelle, des verwendeten Farbmodells und der farbverarbeitenden Operatoren. Durch die Einbindung des Farbmodells in die Wissensbasis vereinfacht sich der Austausch des Modells. Die Realisierung selbst ist weitgehend unabhängig von bestimmten Farbmodellen nutzbar. Im Rahmen der Untersuchungen wurden RGB und CIELAB eingesetzt. Die für den Anwender abstrakt anmutende Parametrisierung des wahrnehmungsangepaßten CIELAB wird dabei durch die hochsprachliche Schnittstelle vom Nutzer fern gehalten.

Der Austausch der Wissensbasis erlaubt weiterhin, ein System verschiedenen Projekten oder Arbeitsgruppen nutzbar zu machen, indem die jeweils benötigte Wissensbasis geladen wird.

Die mit dem System realisierte hochsprachliche Benutzerschnittstelle sichert eine effiziente Bearbeitung mit hoher Reproduzierbarkeit. Hierdurch wird den neuen Anforderungen insbesondere elektronischer Publikationsformen entsprochen. Mit nur wenigen Begriffen lassen sich eine Vielzahl von Farbmanipulation beschreiben, auswählen und anwenden. Die intuitive Formulierung der Anweisungen kommt dabei dem Anwender entgegen, wobei die Erweiterungsmöglichkeiten des Wortschatzes dessen Individualität sicherstellt.

Das System ist in der Lage, zwischen physikalisch motivierter und hochsprachlicher Beschreibungsform der Sinnesempfindung Farbe, einen Bezug herzustellen und somit einen anwendergerechten, technisch nutzbaren weiteren Zugang zur Farbe zu ermöglichen.

Literaturverzeichnis

- [Agf97] Agfa-Gevaert N.V.:
The Secrets of Color Management, Digital Color Prepress volume five,
Agfa-Gevaert N.V. Mortsel, Belgium, 1997
- [Alp91] L. J. van Alphen, J. G. Lourens:
Detection of colour biases in video images,
IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 37, No. 2, 1991
- [Alt92] D. Altenkrüger, W. Büttner:
Wissensbasierte Systeme,
Vieweg Verlag, 1992
- [And73] M. R. Anderberg:
Cluster Analysis for Applications,
Academic Press 1973
- [And94] B. Anders:
*Implementierung und Test verschiedener Verfahren zur Merkmalsextraktion
aus Farbbildern für eine anschließende Farbflächensegmentierung,*
Studienarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nach-
richtentechnik und Informationsverarbeitung, 1994
- [Bor95] R.-M. Borchard:
*Segmentierung homogener Objekte in Farbbildern mit Verfahren der Cluster-
analyse,*
Diplomarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nach-
richtentechnik und Informationsverarbeitung, 1995
- [Bru93] St. Brües:
*Ein System zur Prozeß- und Qualitätskontrolle in computer-basierten Publi-
kationssystemen und Vorschläge zur Konzeption eines geräteneutralen Seiten-
beschreibungsmodells*
Dissertation, Technische Universität München, 1993

- [Cel90] M. Celenk:
A color clustering technique for image segmentation,
Computer Vision, Graphics and Image Processing 52, pp. 145-170, 1990
- [CIE93] CIE:
Parametric effects in color-difference evaluation,
CIE Pub. 101, Commission Internationale de l'Eclairage, 1993
- [CIE95] CIE:
Industrial color-difference evaluation,
CIE Pub. 116, Commission Internationale de l'Eclairage, 1995
- [Die93] F. Diesing:
Segmentierung von homogenen Objekten in Farbbildern mit Verfahren des Region Growing,
Diplomarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, 1993
- [DIN79] DIN 5033:
Farbmessung,
Beuth Verlag GmbH, Berlin Köln, 1979
- [Ern91] H. Ernst:
Einführung in die digitale Bildverarbeitung,
Franzis-Verlag GmbH, München, 1991
- [Fai98] M. D. Fairchild:
Color appearance models,
Addison-Wesley Longman, Inc., 1998
- [Fai98a] CIE TC1-34, (M. D. Fairchild et al.):
The CIE 1997 Interim Colour Appearance Model (Simple Version), CIE-CAM97s,
<http://www.cis.rit.edu/people/faculty/fairchild/>, April, 1998
- [Fra82] R. Franke:
Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods,
Mathematics of Computation, Vol. 38, Number 157, pp. 181-200, 1982
- [Fre88] H. Frey:
Digitale Bildverarbeitung in Farbräumen,
Dissertation, Technische Universität München, 1988
- [Fri96] M. Friedrich:
Adaptive Farbumstimmung zur automatischen Reduktion von Farb-Bias in

- Bildern elektronischer Medien*,
Diplomarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, 1996
- [Fol90] J. D. Foley, A. van Dam, St. K. Feiner, J. F. Hughes:
Computer Graphics,
2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1990
- [Fol92] T. A. Foley, H. Hagen, G. M. Nielson:
Recent Methods for Visualizing and Modeling Unstructured Data,
Tagungsband: Visualisierung - Rolle von Interaktivität und Echtzeit
Workshop 2-3 Juni 1992, GMD Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH, St. Augustin Schloß Birlinghoven
- [Guo91] L. J. Guo:
Balance contrast enhancement technique and its application in image colour composition,
Int. Journal of Remote Sensing Vol. 12, No. 10, London, pp. 2133-2151, 1991
- [Haf97] G. E. Haffer:
Color Management System, White Paper,
Eastman Kodak Company Lowell, MA, 1997
- [Has] M. Has, T. Newman:
Color Management: Current Practice and The Adoption of a New Standard,
<http://www.color.org>
- [Hil97] B. Hill, Th. Roger, F. W. Vorhagen:
Comparative Analysis of the Quantization of Color Spaces on the Basis of the CIELAB Color-Difference Formula,
ACM Transactions on Graphics, Vol. 16, No. 2, pp. 109-154, 1997
- [Hub89] D. H. Hubel:
Auge und Gehirn: Neurobiologie des Sehens,
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1989
- [Hue79] H.-M. Hütten:
Lösungsansätze zur farbovalenzmetrischen Beschreibung subtraktiv arbeitender Farbmischungssysteme,
Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), 1979

- [Hur81] L. M. Hurvich:
Color Vision,
Sinauer Associates Inc., Cambridge, 1981
- [ICC] <http://www.color.org>
- [ICC97] ICC:
ICC Profile Format Specification,
<http://www.color.org> , International Color Consortium Version 3.4,
August 15, 1997
- [Jud70] D. B. Judd:
Ideal Color Space,
Color Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 37-52, 1970
- [Ken76] J. R. Kender:
Saturation, Hue and Normalized Color: Calculation, Digitization Effects, and Use,
Technical report, Department of Computer Science, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, Nov. 1976
- [Keu96] Th. Keusen:
Multispektrale Farbanalyse,
Dissertation, Shaker-Verlag, Aachen, 1996
- [Knu95] P. Knudsen:
Konzeption und Realisierung eines wissensbasierten Farbeditors mit Interpretation hochsprachlicher Benutzervorgaben,
Diplomarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, 1995
- [Kum92] F. Kummert:
Flexible Steuerung eines sprachverstehenden Systems mit homogener Wissensbasis,
Infix Verlag, Sankt Augustin, 1992
- [Kum93] F. Kummert et al.:
Control and explanation in a signal understanding environment,
Signal Processing 32, pp. 111-145, 1993
- [Lan78] H. Lang:
Farbmetrik und Farbfernsehen,
Oldenburg Verlag, München, Wien, 1978

- [Led90] R. S. Ledley, M. Buas, T. J. Golab:
Fundamentals of True-Color Image Processing,
ICPR-B, pp. 791-795, 1990
- [Lev88] H. Levkowitz:
Color in Computer Graphic Representation of two-dimensional Parameter Distribution,
University of Pennsylvania, Dissertation, 1988
- [Lev93] H. Levkowitz, G. T. Herman:
GLHS: A Generalized Lightness, Hue and Saturation Color Model,
CVGIP Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 55,
No. 4, pp. 271-285, 1993
- [Lie89] C.-E. Liedtke, M. Ender:
Wissensbasierte Bildverarbeitung,
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1989
- [Lie97] C.-E. Liedtke, J. Bückner, O. Grau, S. Growe, R. Tönjes:
AIDA: A system for the knowledge based interpretation of remote sensing data,
Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition,
Copenhagen, Denmark, 1997
- [Lin97] Linotype-Hell AG:
Color Management, Die kreative Welt der digitalen Daten,
Linotype-Hell AG, Eschborn, 1997
- [MAd42] D. L. MacAdam:
Visual sensitivities to color differences in daylight,
J. opt. Soc. Amer. 32 pp. 247-274, 1942
- [Mes89] R. Mester:
Regionenorientierte Bildsegmentierung unter Verwendung stochastischer Bildmodelle,
Dissertation, RWTH-Aachen, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 10 Nr. 106
Düsseldorf, 1989
- [Mol83] J. D. Mollon, L. T. Sharpe:
Colour Vision, Physiology and Psychophysics,
Edited by Mollon and Sharpe, Academic Press, London, New York,
1983

- [Nie87] H. Niemann, H. Bunke:
Künstliche Intelligenz in Bild- und Sprachanalyse,
B. G. Teubner Verlag, Stuttgart, 1987
- [Oht77] N. Ohta:
Correspondence between CIELAB and CIELUV color differences,
COLOR research and application, Vol. 2, pp. 178-182, 1977
- [OKS80] Y. Ohta, T. Kanade, T. Sakai:
Color Information for Region Segmentation,
Computer Graphics and Image Processing 13, pp. 222-241, 1980
- [Pap92] T. N. Pappas:
An Adaptive Clustering Algorithm for Image Segmentation,
IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 40 No. 4, pp. 901-914, 1992
- [Pau92] W. R. Paulus:
Objektorientierte und wissensbasierte Bildverarbeitung,
Vieweg Verlag, 1992
- [Poi81] M. R. Pointer:
A Comparison of the CIE 1976 Colour Spaces,
COLOR research and application, Vol. 6, pp. 108-118, 1981.
- [Pom95] T. Pomierski, H. M. Groß:
Verfahren zur empfindungsgemäßen Farbumstimmung,
Mustererkennung 1995, Verstehen akustischer und visueller Informa-
tion, 17. DAGM-Symposium Bielefeld, Springer-Verlag Berlin, Heidel-
berg, New York, pp. 473-480, 1995
- [Pom96] T. Pomierski:
*Neurophysiologisch motivierte Architektur zur Erzeugung stabiler Farb- und
Texturrepräsentationen*,
Dissertation, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Neuroinfor-
matik, Ilmenau, 1996
- [Pri93] L. Priese, V. Rehrmann:
A Fast Hybrid Color Segmentation Method,
In S.-J. Pöppel und H. Handels (Hrsg.), 15. DAGM Symposium Muste-
rererkennung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, pp. 297-304,
1993
- [Pri97] L. Priese, R. Lakmann, V. Rehrmann:
Automatische Verkehrszeichenerkennung mittels Echtzeit-Farbbildanalyse,
at-Automatisierungstechnik, 45. Jahrgang, Heft 12, pp. 599-604, 1997

- [Pup91] F. Puppe:
Einführung in Expertensysteme,
In Studienreihe Informatik, Hrsg. W. Brauer, G. Goos, Springer-Verlag,
Berlin Heidelberg New York, 1991
- [Reh94] V. Rehrmann:
Stabile, echtzeitfähige Farbbildauswertung
Dissertation, Koblenzer Schriften zur Informatik, Koblenz, Fölbach,
1994
- [KRi96] K. Richter:
Computergrafik und Farbmeterik,
Technische Akademie Wuppertal, VDE-Verlag Berlin Offenbach, Buch
u. CD-ROM, 1996
- [Ric81] M. Richter:
Einführung in die Farbmeterik,
2. Aufl., Walter de Gruyter Verlag Berlin New York, 1981
- [Ric84] M. Richter:
The Development of Color Metrics,
COLOR research and application,
Vol. 9, No. 2, pp. 69-83., 1984
Übersetzung aus:
Die Entwicklung der Farbmeterik,
Farbe 29, Seite 225-250, 1981
- [Sag85] G. Sagerer:
Darstellung und Nutzen von Expertenwissen für ein Bildanalyzesystem,
Dissertation, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1985
- [Sag90] G. Sagerer:
Automatisches Verstehen gesprochener Sprache,
BI Wissenschaftsverlag Mannheim, Wien, Zürich, 1990
(Reihe Informatik; Bd. 74)
- [Sch93] R. Schettini:
A segmentation algorithm for color images,
Pattern Recognition Letters 14, pp. 499-506, 1993
- [Schl93] K. Schläpfer:
Farbmeterik in der Reproduktionstechnik und im Mehrfarbendruck,
UGRA Verein zur Förderung wissenschaftlicher Untersuchungen in der
grafischen Industrie, Herausgeber, 2. Aufl., St. Gallen, 1993

- [Schu91] M. Schuschk:
Untersuchungen zur Farbraumanpassung an Bildein- und ausgabegeräten,
Studienarbeit, Universität Hannover, Institut für Theoretische Nachrichtentechnik und Informationsverarbeitung, 1991
- [Schw87] M. W. Schwarz, W. B. Cowan, J. C. Beatty:
An Experimental Comparison of RGB, YIQ, LAB, HSV and Opponent Color Models,
ACM Transactions on Graphics, Vol. 6, pp. 123-158, 1987
- [Sha92] St. C. Shapiro:
Encyclopedia of artificial intelligence,
Stuart C. Shapiro, editor-in-chief, vol. 1, vol. 2, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester, Singapore, 1992
- [Smi78] A. R. Smith:
Color Transformation Pairs,
Graph'78 Proceedings of Computer Graphics, Vol. 12, pp. 12-19, 1978
- [Sto96] M. Stokes, M. A. Anderson, S. Chandrasekar, R. Motta:
A Standard Default Color Space for the Internet -sRGB,
<http://www.color.org> , Version 1.10, Nov. 5, 1996
- [Tom90] S. Tominaga:
Color Classification of Color Images Based on Uniform Color Space,
Proceedings of SPIE, Human Vision an Electronic Imaging: Models, Methods and Applications, Vol. 1249, pp. 356-365, 1990
- [Uch93] T. Uchiyama, M. A. Arbib:
Object Extraction System form Color Images,
Intelligent Autonomous Systems, IAS-3, Proceedings of the Int. Conf, IOS Press Amsterdam, pp. 675-684, 1993
- [Wil89] B. Willim:
Leitfaden der Computer Grafik,
Drei-R Verlag, Berlin 1989
- [Wel91] E. Welch, R. Moorhead, J. K. Owens:
Image Processing using the HSI Color Space,
1991 IEEE SOUTHEASTCON, Vol.II, pp. 722-725, 1991
- [Woe93] W. Wölker:
Ein Verfahren zur Farbraumanpassung CCD-basierter Bilderfassungssysteme,

- In S.-J. Pöppel und H. Handels (Hrsg.), 15. DAGM Symposium Mustererkennung, pp. 749-756, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1993
- [Woe96] W. Wölker, M. Friedrich:
Farbneutrale Bilderfassung durch automatische Erkennung und Kompensation von globalen Farbabweichungen,
In K.-H. Franke, Herausgeber, 2. Workshop Farbbildverarbeitung, pp. 35-39, Technische Universität Ilmenau, 1996
- [Woe96a] W. Wölker:
*Image segmentation based on an adaptive 3D-analysis of the CIE-L*a*b* color space*,
Proceedings of SPIE, Visual Communications and Image Processing,
Editors: Rashid Ansari, Mark J. T. Smith, Vol. 2727, pp. 1197-1203, 1996
- [Wys82] G. Wyszecki, W. S. Stiles:
Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae,
2nd Edition, John Wiley & Sons New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 1982
- [Zas83] P. Zastrow:
Fernsehempfangstechnik,
Frankfurter Fachverlag, 1983