

Report

2
2009

ISSN 1860-2835

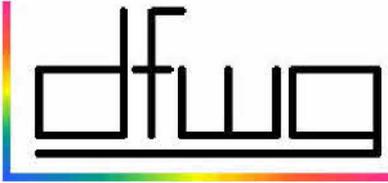
Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Gerhard Rösler

**Einstimmung auf die
DfwG Jahrestagung in Berlin
6. - 8. Oktober 2009 an der BAM**





*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

DfwG Kontakte

Präsident: Dr. Gerhard Rösler, Tel: 0172 89 44 173, E-Mail: Roesler_Gerhard@t-online.de

Vizepräsident: Prof. Dr. Bernhard Hill, Tel: 0241 802 7703, E-Mail: hill@ite.rwth-aachen.de

Schatzmeister: Dr.-Ing. Carsten Steckert, Tel, Fax: 030 6032554, E-Mail: carsten.steckert@gmx.de

Sekretär: Dipl.-Ing. Frank Rochow, Tel: 030 401 02 618, Fax: 030 401 42 49, E-Mail: offices@rochow-berlin.de

Geschäftsstelle: Gralsburgsteig 35, 13465 Berlin

Bankverbindung: Kto.-Nr.: 206 002 3583, Berliner Sparkasse, BLZ 100 500 00

Arbeitsgruppenleiter:

Farbbildverarbeitung: Prof. Dr. Bernhard Hill; siehe oben

Farbmetrik und Grundlagen: Dr. Wilhelm H. Kettler, Tel.: +49 202 529 2282, +49 173 2825 173
E-Mail: Wilhelm.Kettler@deu.dupont.com

Fluoreszenz: Dr. Claudio Puebla, Tel. 0 76 21 17 47 29, E-Mail: claudio.puebla@axiphos.com

Industrielle Farbtoleranzen, Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Multigeometrie Farbmessung, Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Internet: www.dfwg.de

Impressum

ISSN 1860-2835

Titelbild: Berlin, Brandenburger Tor (bezogen von www.fotolia.de)

Verleger und Herausgeber: Deutsche Farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.

Redaktion: Dr. Gerhard Rösler, Dipl.-Ing. Christina Hacker

Einzelheft: 10 Euro + Versandkosten

Der Bezugspreis der Zeitschrift ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.



*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

Inhaltsverzeichnis Report 02 2009

<i>DfwG Kontakte.....</i>	<i>2</i>
<i>Internet: www.dfwg.de.....</i>	<i>2</i>
<i>Impressum.....</i>	<i>2</i>
<i>Liebe Farbgemeinde,.....</i>	<i>3</i>
<i>Die „BAM“.....</i>	<i>4</i>
<i>Einladung zur DfwG Jahrestagung vom 6. – 8. Oktober 2009 in Berlin.....</i>	<i>5</i>
<i>Einladung zur Hauptversammlung 2009 der DfwG.....</i>	<i>5</i>
<i>Programm der 35. DfwG Jahrestagung 2009 in Zusammenarbeit mit der BAM.....</i>	<i>6</i>
<i>Lageplan Tagungsort BAM.....</i>	<i>7</i>
<i>Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen.....</i>	<i>9</i>
<i>Kamerasystem und Algorithmen für die multispektrale Farbbildaufnahme.....</i>	<i>15</i>
<i>Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln.....</i>	<i>26</i>
<i>Nachruf für Herrn Dr. Ludwig Gall.....</i>	<i>36</i>
<i>Farbcharakteristiken, Dr. Ludwig Gall +.....</i>	<i>37</i>
<i>Vorschau DfwG Report 03 2009.....</i>	<i>48</i>

Juli 2009

Liebe Farbgemeinde,

Die Jahrestagung rückt näher, das Programm finden Sie in diesem Report.

Beilagen sind:

- * Einladung zur Hauptversammlung mit Stimmzettel für die Briefwahl des Vorstands*
- * Anmeldeformular zur Jahrestagung in Berlin (auch im Internet ist die Anmeldung möglich unter www.dfwg.de).*

Also bitte anmelden: DfwG Jahrestagung in Zusammenarbeit mit der BAM, 6.-9. Oktober, Tagungsort: Zweiggelände Fabeckstraße, Haus 89, Raum 120, Unter den Eichen 44-46, 12203 Berlin.

Hotels finden Sie unter http://www.bam.de/de/ueber_uns/wege/hotels.htm oder über www.hrs.de (sortieren Sie nach Entfernung zur S-Bahn Botanischer Garten). Die Preise reichen

von unter 50 €/Nacht incl. Frühstück bis über 100 € in gut bewerteten Hotels.

Wir freuen uns auf 11 interessante Vorträge und verleihen auch dieses Jahr den mit 1.000 € dotierten DfwG Förderpreis für Nachwuchskräfte. Zur Eröffnung der DfwG Jahrestagung, die in Zusammenarbeit mit der BAM veranstaltet wird, wird uns der Präsidenten der BAM, Prof. Hennecke begrüßen. Am Tag nach unserer Jahrestagung findet am Fachbereich Lichttechnik der TU Berlin ein Seminar mit Prof. Klaus Richter statt: Farbmatrik, richtiger Farbton am Arbeitsplatz. (www.li.tu-berlin.de, Veranstaltungen).

Bis zum nächsten Mal verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

Ihr Gerhard Rösler

Die „BAM“

Die BAM betreibt Materialforschung und Materialprüfung mit dem Ziel, die Sicherheit in Technik und Chemie weiterzuentwickeln.

Von Sicherheit bei Gefahrguttransporten in Containern über Tests an Castor Behältern, Brandgefahren in Kinderzimmern, Feuerwerken ohne Nebenwirkungen, Lebensdaueruntersuchungen an Brücken, bis zur Wirksamkeit von Holzschutzmitteln reichen die Arbeitsgebiete der BAM. Für uns ist die Fachgruppe VIII.1 Mess- und Prüftechnik, Sensorik von Prof. Daum besonders interessant. (Bildmaterial von der Homepage der BAM www.bam.de).



Einladung zur DfwG Jahrestagung vom 6. – 8. Oktober 2009 in Berlin

"Farbwissenschaft und ihre Anwendung in der Industrie"

Die 35. Jahrestagung der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft e. V. (DfwG) im Deutschen Verband Farbe findet in Zusammenarbeit mit der BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin statt.

In diesem Jahr feiert Berlin den 20. Jahrestag des Mauerfalls am 9. November. Wir treffen uns einen Monat vorher bei unserem Gastgeber, der BAM.

Arbeitsgruppensitzungen Fluoreszenz, Farbbildverarbeitung, Grundlagen Farbmetrik, Industrielle Farbtoleranzen und Multigeometrie Farbmessung werden stattfinden.

Der DfwG Vorstand freut sich mit Ihnen gemeinsam auf interessante Vorträge, Diskussionen, Meinungs austausch und anregende Gespräche in den Pausen und bei den Abendessen.

**Einladung
zur Hauptversammlung 2009 der DfwG**
am Mittwoch, den 07. Oktober 2009, 17.00 Uhr
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung,
Haus 89, Raum 120, Zweiggelände Fabeckstraße
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin

Tagesordnung:

1. Genehmigung des Berichtes der DfwG Mitgliederversammlung am 09. Oktober 2008 in München (siehe DfwG Report 1 - 2009)
2. Bericht des Präsidenten
3. Kassenbericht 2008
4. Bericht der Kassenprüfer
5. Entlastung des Vorstandes
6. Neuwahl des Vorstandes
7. Kurz- und mittelfristige Finanzplanung für die DfwG
8. Statusbericht der Arbeitsgruppen
9. Verschiedenes

Programm der 35. DfwG Jahrestagung 2009 in Zusammenarbeit mit der BAM

6.- 8. Oktober 2009

**BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung,
Zweiggelände Fabeckstraße, Haus 89, Raum 120,
Unter den Eichen 44-46
12203 Berlin**

Dienstag, 6. Oktober 2009

13:30 Arbeitssitzung AG Fluoreszenz (Dr. Puebla)

15:30 Pause

16:00 Arbeitssitzung AG Multigeometrie Farbmessung und industrielle Farbtoleranzen (Dr. Rösler)

17:00 Ende

19:00 Vorbesprechung im Fabecks

Altensteinstraße 42, Ecke Fabeckstraße, 14195 Berlin (www.fabecks.de)

Mittwoch, 7. Oktober 2009

08:30 Arbeitssitzung AG Farbmeterik und Grundlagen (Dr. Kettler)

10:30 Pause

11:00 Arbeitssitzung AG Farbbildverarbeitung (Prof. Hill)

12:00 Imbiss

13:00 Eröffnung DfwG Jahrestagung 2009

Begrüßung, Ehrungen, Förderpreis Verleihung

13:30 Grußwort des Präsidenten der BAM, Prof. Hennecke

13:45 Vorträge

- Förderpreisträgerin 2009: Fr. Möller (TU Ilmenau, Fa. LEDON Lighting): Farbstabilisierung eines LED-Scheinwerfers mittels Temperaturkennlinien und / oder Einsatz eines Farbsensors
- H. K. Richter (TU Berlin): Bericht über die CIE Sitzungen in Budapest 2009
- H. Bodrogi, H. Khanh (TU Darmstadt): Colour rendering

15:15 Pause

15:45 Vorträge

- H. Kraushaar (Fogra): Metamerie-Effekte in der Druckindustrie: Wie stark ist sie ausgeprägt und wie misst man sie?
- Fr. Kehren (TU Darmstadt): Einfluss der Fluoreszenz von optischen Aufhellern im Papier auf die Farbwiedergabe beim Drucken

16:45 Pause

17:00 DfwG Hauptversammlung

Tagesordnung

0. Genehmigung der Tagesordnung
1. Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 09. Oktober 2008 in München (siehe DfwG Report 1 - 2009)
2. Bericht des Präsidenten
3. Kassenbericht 2008
4. Bericht der Kassenprüfer

5. Entlastung des Vorstands
6. Neuwahl des Vorstands
7. Kurz- und mittelfristige Finanzplanung für die DfwG
8. Statusbericht der Arbeitsgruppen
9. Verschiedenes

18:30 Tagungsabend im Il Mulino

Adolf-Martens-Str. 2, 12205 Berlin (www.il-mulino-berlin.de)

Donnerstag, 8. Oktober 2009

09:00 Vorträge

- Fr. Lübke: Definition des Begriffes „Farbe“ und des Farbabstandes als Vektor
- H. K. Richter (TU Berlin): DIN 33872 "Relative Farbwiedergabe" sowie Trends und Daten für einen visuellen RGB-Elementarfarbraum.
- H. Bodrogi, H. Khanh (TU Darmstadt): Farbkonstanz und Analyse der Lichtquellen für die Lichtindustrie

10:30: Pause

11:00 Vorträge

- H. Haferkemper, H. Khanh (TU Darmstadt): Untersuchung von Optimierungsverfahren für n-kanalige Farbmischung
- H. Brauers (RWTH Aachen): Multispektrale „High Dynamic Range“ Bildgebung
- H. Daum (BAM): Übersicht über die messtechnischen Möglichkeiten der BAM

12:30 Ende der DfwG Jahrestagung 2009

Imbiss

13:00 Besichtigung BAM, Ende ca.15:00

Stand: 2.8.2009 GR

Lageplan Tagungsort BAM

Wege zur BAM



Zweiggelände Fabeckstraße

Haus 89, Raum 120

Unter den Eichen 44-46

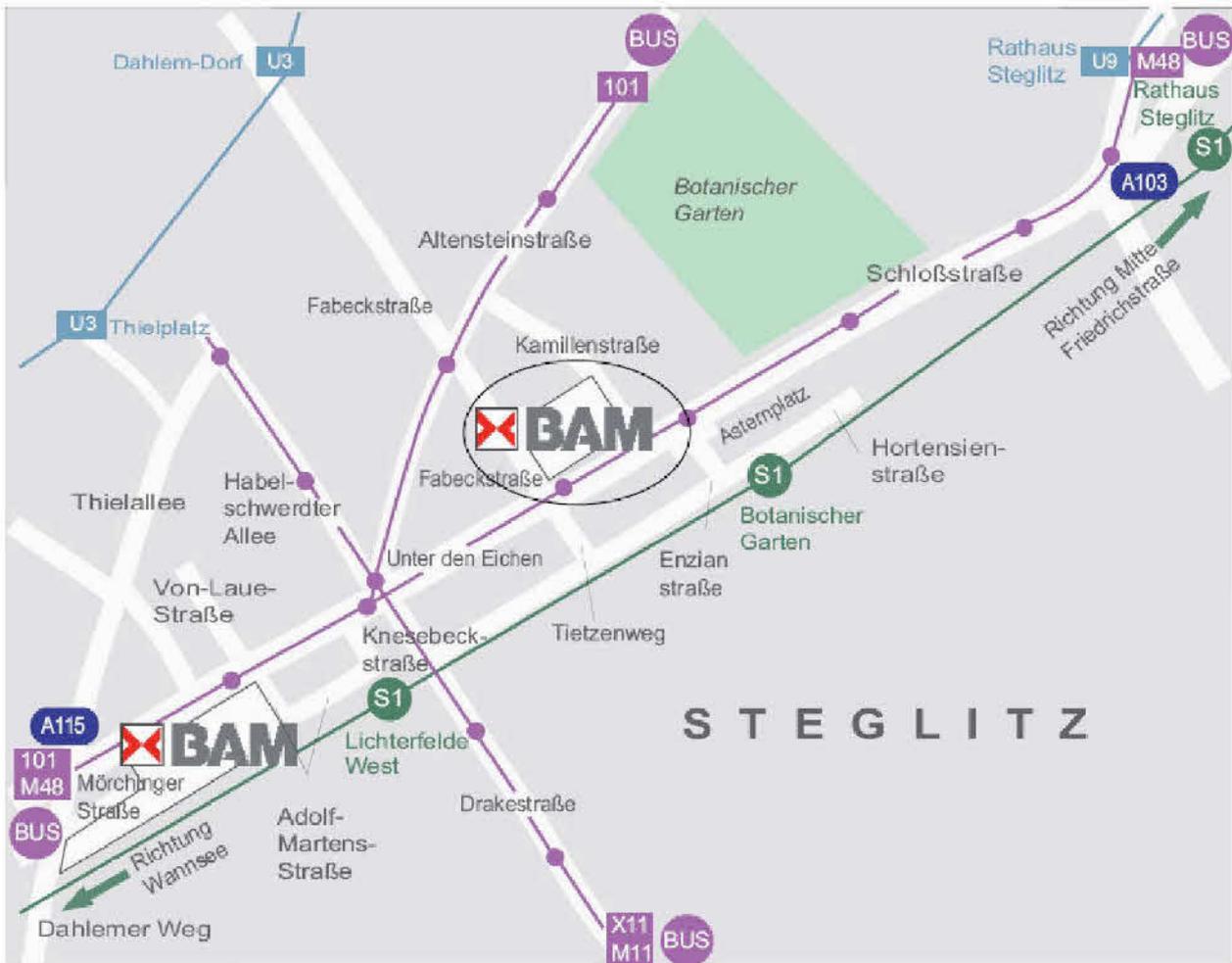
12203 Berlin

Telefon: +49 30 8104-0

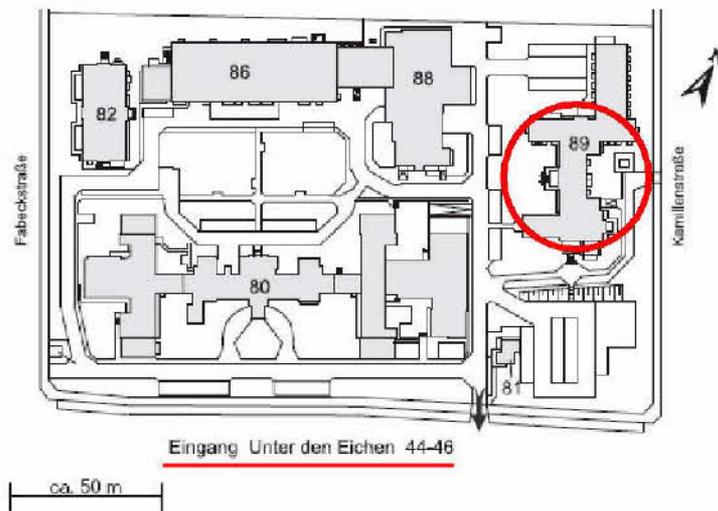
Mit öffentlichen Verkehrsmitteln zum Zweiggelände Fabeckstraße

Auf den Internetseiten der VBB (Verkehrsbetriebe Berlin-Brandenburg www.vbbonline.de) finden Sie umfangreiche und aktuelle Informationen. Geben Sie dort als Fahrziel „Asterplatz“ (ca. 1 Minute Fußweg) oder „S Botanischer Garten“ (ca.10 Minuten Fußweg) an.

Nachfolgende Grafiken zeigen Ihnen die nähere Umgebung des Zweiggeländes sowie einen Gebäudeplan.



Zweiggelände Fabeckstraße • Unter den Eichen 44-46 • 12203 Berlin



- 80 Büro- und Laboratoriumsgebäude
- 81 Pförtnerhaus
- 82 Bürogebäude
- 86 Büro- und Laboratoriumsgebäude
- 88 Büro- und Laboratoriumsgebäude
- 89 Büro- und Laboratoriumsgebäude

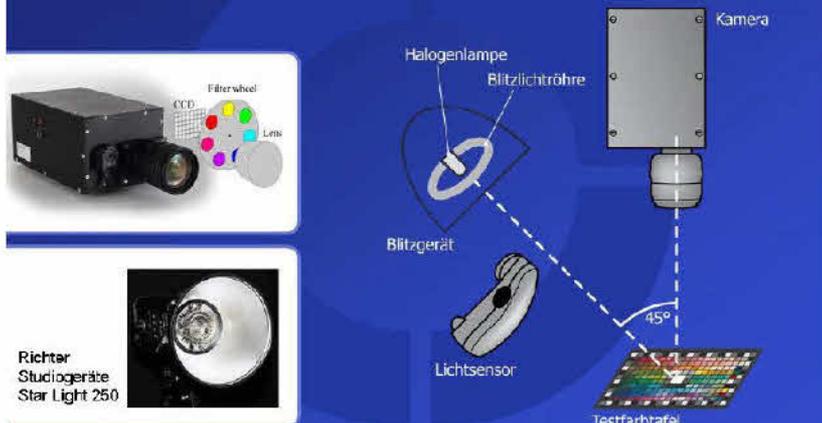
Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen

Johannes Brauers, RWTH Aachen

Überblick

- Aufbau und Vorteile
- Praktische Vorüberlegungen:
Synchronisation, Spektrale Wiederholgenauigkeit,
zeitl. Helligkeitsvariation, Homogenität der Beleuchtung
- Kalibration
- Resultate
- Zusammenfassung

Experimenteller Aufbau

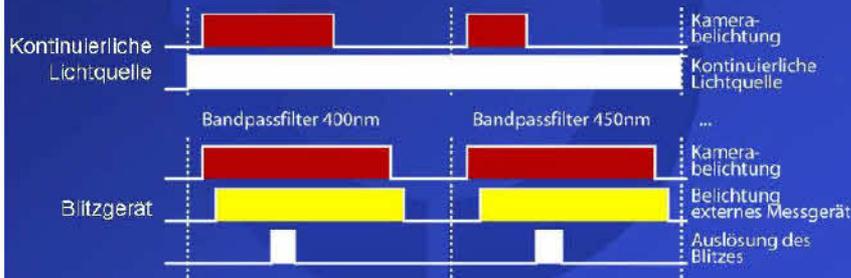


Vorteile der Bildgebung mit Blitzlichtquellen

- Verkürzte Gesamtaufnahmezeit durch eine kurze Emissionsdauer des Blitzes.
- Reduktion der Verwacklungsgefahr durch kurze Belichtungszeiten. (Vibrationen)
- Geringe Wärmeentwicklung der Blitzlichtröhre gegenüber einer Halogenleuchte.

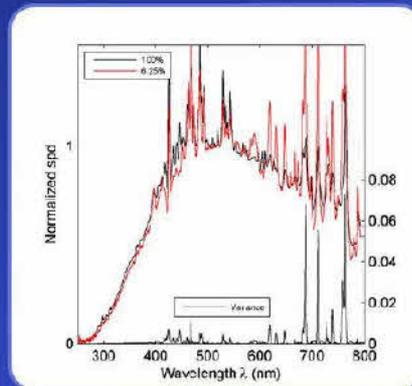
Synchronisation

- Der Blitz wird während der Belichtungszeit des Lichtsensors und der Kamera ausgelöst.



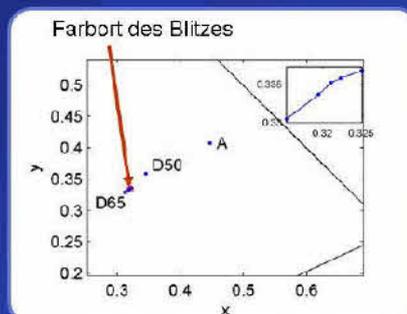
Spektrale Wiederholgenauigkeit

- Untersuchung des Blitzspektrums bei unterschiedlichen Leistungen (6.25% - 100%).
- Hohe Variation bei den Peak-Wellenlängen.
- Hohe Leistung → Zunahme der Emission im unteren Wellenlängenbereich (bläulicher Blitz).



Leistungsabhängiger Farbort

- Transformation der Spektren in CIE xyY Farbraum.

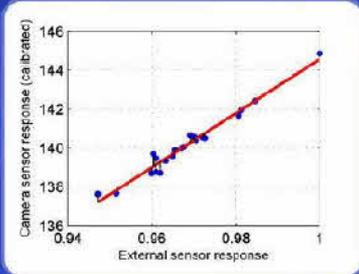


Intensität	Korrelierte Farbtemperatur
100%	6238K
50%	6017K
25%	5933K
12.5%	5858K
6.25%	5740K

jb@ifa.rwth-aachen.de Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen 8

Helligkeitsvariationen des Blitzes

- Die Intensität des Blitzes variiert um ca. 5% bei gleicher Intensitätseinstellung (25% Leistung).
- Messung der Blitzintensität durch einen externen Sensor.
- Überprüfung der Messung durch Vergleich mit Kamerawerten → Linearer Zusammenhang → Kompensation möglich.

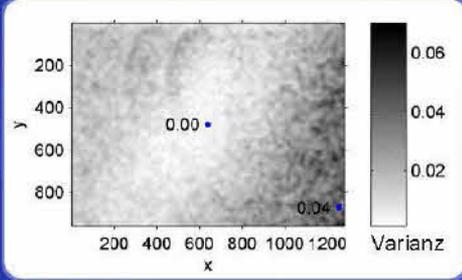


RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung Institute of Imaging & Computer Vision IAB

jb@ifa.rwth-aachen.de Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen 9

Änderung der Ausleuchtung

- Aufnahme aufeinanderfolgender Bilder, jeweils Auslösung des Blitzgerätes.
- Normierung auf mittleren Bildbereich.
- Nur sehr geringe Änderung der Ausleuchtung am rechten unteren Bildrand.

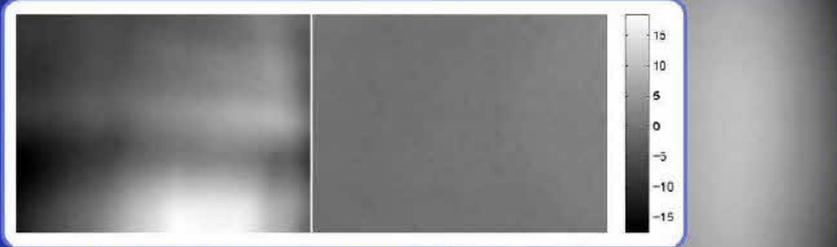


RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung Institute of Imaging & Computer Vision IAB

jb@ifa.rwth-aachen.de Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen 10

Änderung der Ausleuchtung

- Anderes Blitzgerät: Große Änderungen im Bereich -18...+18 bei 8 Bit Auflösung.



Ohne Weitwinkeldiffusor Mit Weitwinkeldiffusor

RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung Institute of Imaging & Computer Vision IAB

11

Aufnahme und Postprocessing

RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung LFB
Institute of Imaging & Computer Vision

12

Intrinsische Kalibration

- „Weißabgleich“ durch ein Farbfeld im Bild.
- Kein externer Sensor erfordert.
- Kompensation von zeitlichen Helligkeitsänderungen.

RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung LFB
Institute of Imaging & Computer Vision

13

Extrinsische Kalibration

- Bildhelligkeit variiert und verursacht Kalibrationsprobleme
- Ein Weißreferenzvektor, der aus dem ersten Multispektralbild aufgenommen wurde, wird ungenügend.
- Lösung: Ein externer Sensor stellt eine Beziehung zwischen der Aufnahme der Weißreferenz und des Farbbildes her.

RWTH AACHEN Color and Image Processing Research Group Lehrstuhl für Bildverarbeitung LFB
Institute of Imaging & Computer Vision

14

Verwendete Testcharts und -daten

- Experiment:
 - 4 Testcharts
 - Spektrale Referenzmessung der Testfelder zum Vergleich
- Simulation
 - Spektrale Daten der 4 Testcharts
 - Zusätzlich: Vrhel Datensatz





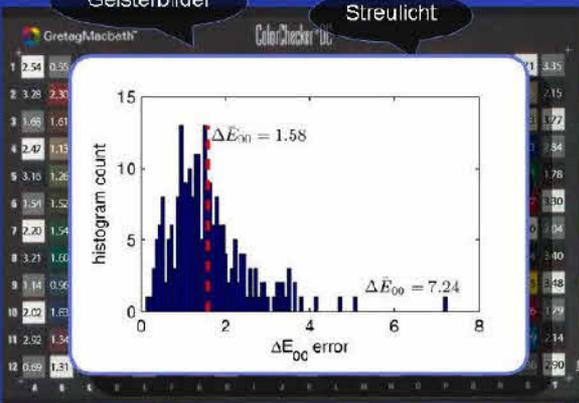

ColorChecker
ColorChecker DC
TE221
ColorChecker SG

jb@ifa.rwth-aachen.de
Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen
Lehrstuhl für Bildverarbeitung
Institute of Imaging & Computer Vision

15

Resultate

- Auswertung der einzelnen Felder.
- Intrinsische Kalibration.
- Mittlerer Farbfehler hier: $\overline{\Delta E_{00}} = 1.58$

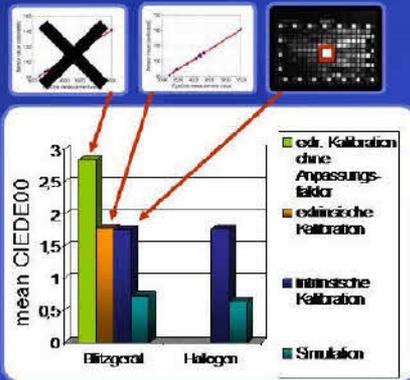


jb@ifa.rwth-aachen.de
Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen
Lehrstuhl für Bildverarbeitung
Institute of Imaging & Computer Vision

16

Resultate für alle Testdaten

- Beide Kalibrationsmethoden sind gut geeignet (1.75 CIEDE00).
- Wird auf den externen Sensor bei der extr. Kalibration verzichtet, steigt der Farbfehler drastisch (2.84 CIEDE00).
- Halogen- und Blitzlicht erreichen eine fast identische Farbgenauigkeit – sowohl in der Simulation als auch Praxis.



jb@ifa.rwth-aachen.de
Multispektralaufnahmen mit Blitzlichtquellen
Lehrstuhl für Bildverarbeitung
Institute of Imaging & Computer Vision

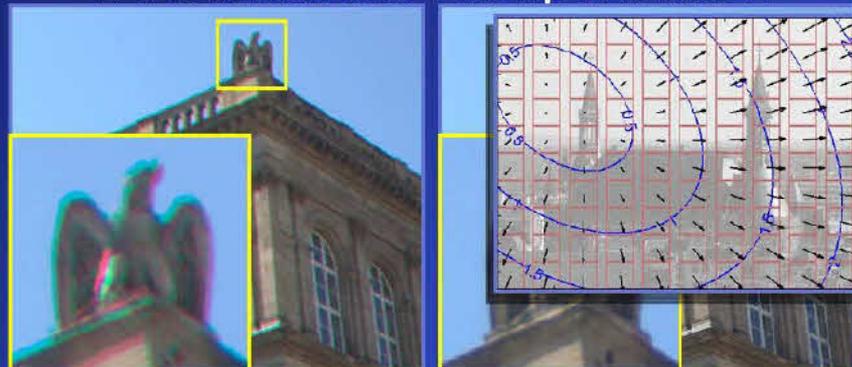
Zusammenfassung

- Die Farbtemperatur des Blitzlichtes nimmt bei höheren Blitzleistungen zu (bläuliches Licht).
- Die Kompensation der Intensitätsschwankungen ist durch einen externen Lichtsensor sehr gut möglich (**extrinsische** Kalibration).
- Alternativ kann das aufgenommene Multispektralbild selbst zur Messung der Blitzintensität verwendet werden (**intrinsische** Kalibration).
- Hinsichtlich Farbaufnahmegenauigkeit sind Blitz- und Halogenlicht vergleichbar (1.75/1.77 CIEDE00).

Weitere Referenzen

- J. Brauers, N. Schulte, and T. Aach, "Multispectral Filter-Wheel Cameras: Geometric Distortion Model and Compensation Algorithms," in *IEEE Transactions on Image Processing* (to appear).
- J. Brauers, N. Schulte, and T. Aach, "Modeling and compensation of geometric distortions of multispectral cameras with optical bandpass filter wheels," in *15th EUSIPCO*, pp. 1902–1906, (Poznań, Poland), Sep 2007.
- J. Brauers, N. Schulte, A. A. Bell, and T. Aach, "Multispectral high dynamic range imaging," in *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, (San Jose, California, USA), Jan 2008.
- S. Helling, E. Seidel, and W. Biehlig, "Algorithms for spectral color stimulus reconstruction with a seven-channel multispectral camera," in *IS&T/CGIV 2004*, pp. 254–258, (Aachen, Germany), Apr 2004.
- J. Brauers and T. Aach, "Modeling and compensation of ghosting in multispectral filter wheel cameras," in *IEEE SSIAI 2008*, (Santa Fe, New Mexico, USA), Mar 2008. Accepted for publication.

Geometrische Kompensation



J. Brauers, N. Schulte, and T. Aach, "Multispectral Filter-Wheel Cameras: Geometric Distortion Model and Compensation Algorithms," in *IEEE Transactions on Image Processing* (to appear).

Kamerasystem und Algorithmen für die multispektrale Farbbildaufnahme

Stephan Helling, RWTH Aachen

Überblick

Motivation

Multispektrale Aufnahme und der Spektralschätzer „Meta-Iterator“

Farbkonstanz

Filterauswahl für den schmal- und den breitbandigen Fall

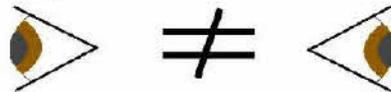
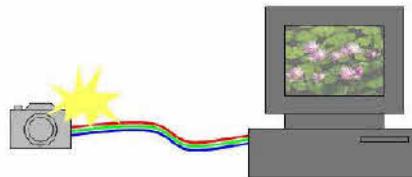
Kameragarrnits

Experimentelles System, Kompensationsalgorithmen und -maßnahmen

Zusammenfassung

2

Motivation



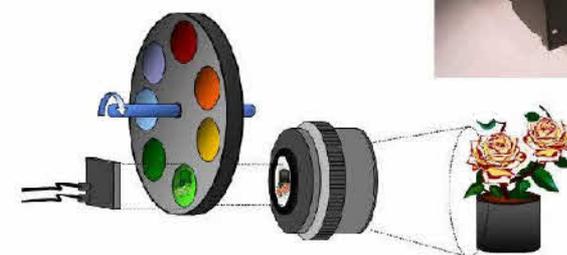
Problem: Unterschiede zwischen Original und Reproduktion

Ursache: Verletzung der Luther-Bedingung

außerdem: Beobachtermetamerie, Lichtartmetamerie

3

Experimentelles System



CCD
(Graustufen)

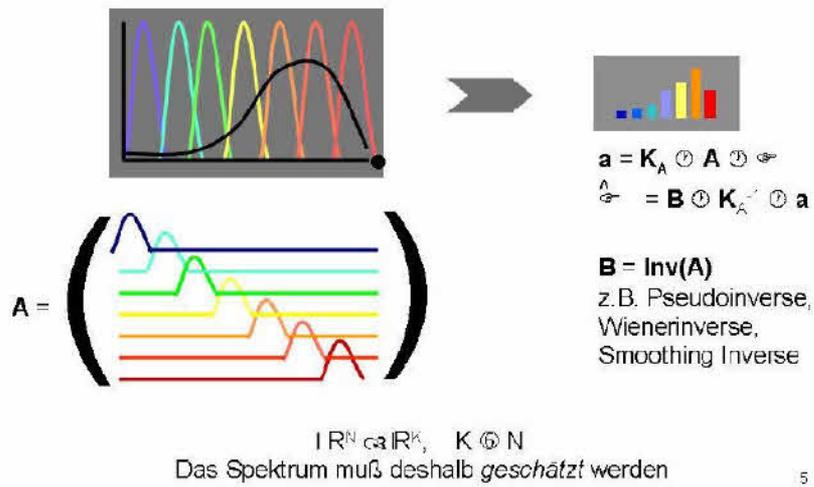
Filterrad

Objektiv

Objekt

4

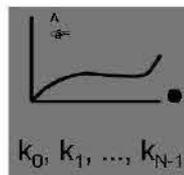
Spektrale Schätzung



5

Iterativer Metamerschätzer

Modellierung des rekonstruierten Spektrums durch Basisfunktionen



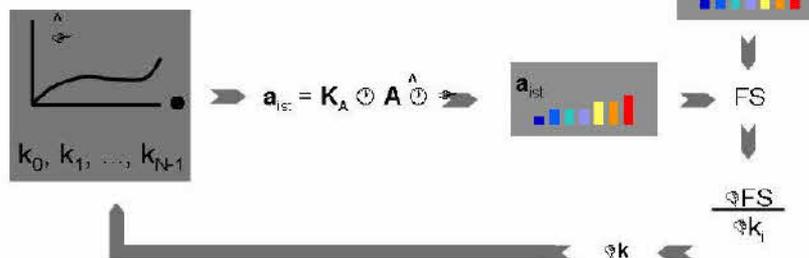
$$\hat{\phi} = k_0 f_0 + k_1 f_1 + k_2 f_2 + \dots$$

z.B. Splines, Sinus, Kosinus, PCA, ...

6

Iterativer Metamerschätzer

Startvektor: Nullvektor

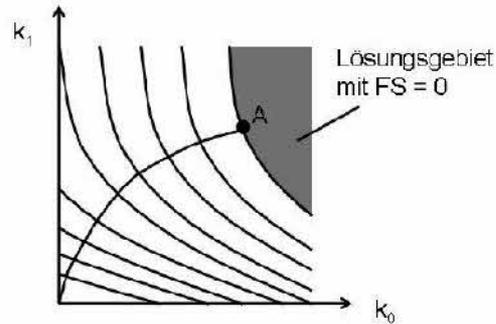


7



Iterativer Metamerschätzer

Beeinflussung der Lösung durch Steuerung des Schritts $\varnothing \mathbf{k}$

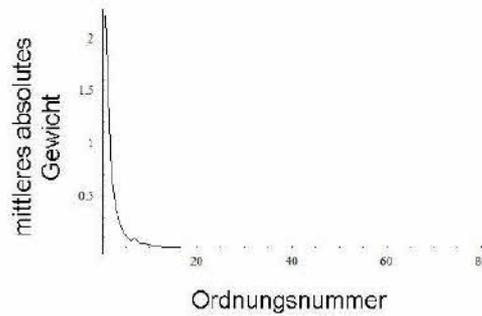


8



Iterativer Metamerschätzer

Typische mittlere Verteilung der Amplitude der Basisvektoren in den Remissionsspektren



9



Iterativer Metamerschätzer

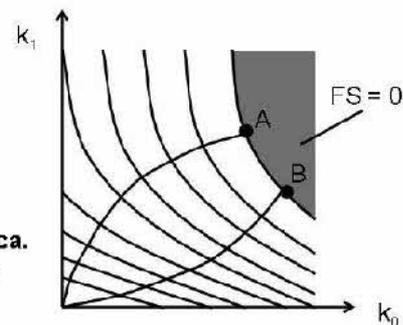
Beeinflussung der Lösung durch Steuerung des Schritts $\varnothing \mathbf{k}$

Dämpfung der Komponenten mit höherer Ordnungsnummer

$$\varnothing \mathbf{k}'_i = \varnothing \mathbf{k}_i \odot e^{-i(\varnothing c)}$$

$$c = \text{const.}$$

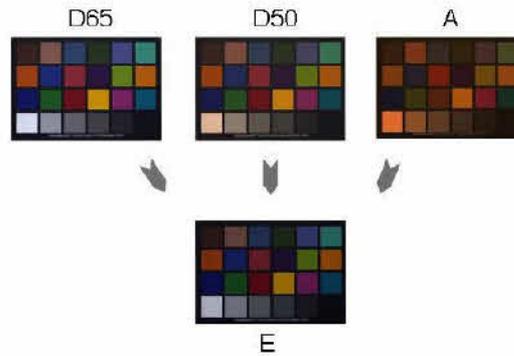
⊖ Reduktion der Schätzfehler um ca. 10% - 20% bzgl. Wiener Inverse



10

Farbkonstanz: Ziel

Es sollen ausschließlich die Eigenschaften des aufgenommenen Objekts abgebildet werden, nicht aber die der Lichtquelle (Weißabgleich)



11

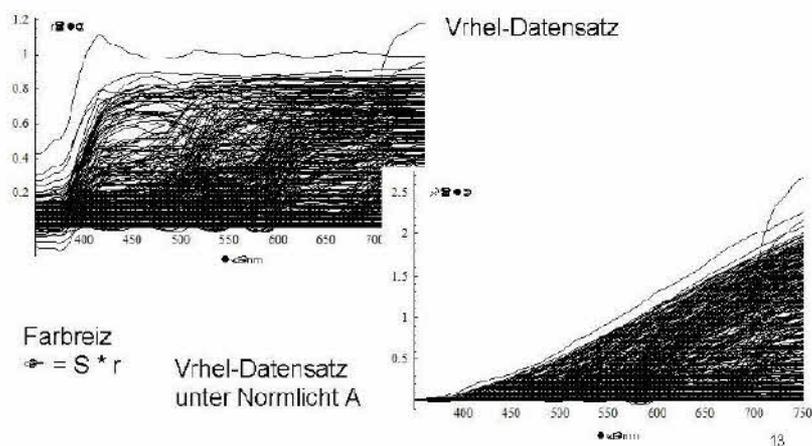
Drei klassische Ansätze

- Graue Welt
- RGBmax
- Graue Karten



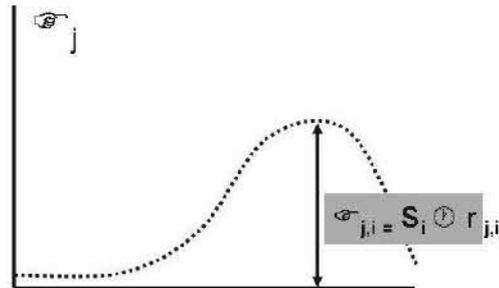
12

Farbkonstanz: Graue Varianz und Graues Delta



13

Hypothese der Grauen Varianz

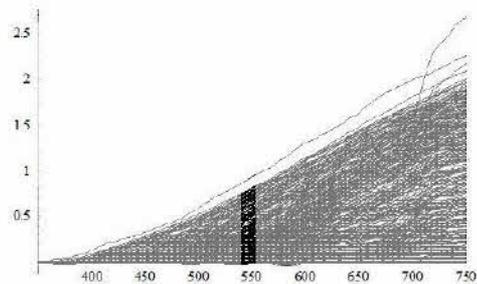


14

Hypothese der Grauen Varianz und des Grauen Delta

$$\begin{aligned} \text{Var}(\varphi_j) &= \text{Var}(S_i \odot r_{j,i}) \\ &= S_i^2 \odot \text{Var}(r_{j,i}) \\ &= S_i^2 \odot k \end{aligned}$$

$$\text{Var}(\varphi_j) = \frac{\sum_{j=1}^K (\varphi_{j,i} - \bar{\varphi}_j)^2}{K - 1}$$



⊙ Graues Delta

15

Ergebnisse

mittlere quadratische Abweichung vom tatsächlichen Verlauf

Datensätze: Vrhel, ColorChecker, Blue, Artificial Flowers, Lumber, Yellow, Red, Zanders, Natural Green

Lichtarten: A, B, C, D50, D65, D75, G, P, Xe, E

Hypothese	MSE* (normiert)	
	spektral	RGB
Graue Welt	1,00	1,00
Graue Varianz	0,37	0,50
Graues Delta	0,24	0,27
RGBmax	0,56	0,65
Graue Kanten	0,44	0,46

* mean square error

16



Filterauswahl

Approximation von Basisfunktionen

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_M \end{pmatrix} \approx K \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_K \end{pmatrix}$$

M: Zahl der Basisfunktionen
K: Zahl der Kanäle

$$B \approx K \cdot A$$

$$\ominus B \ominus A^* \approx K$$

A*: Pseudoinverse von A

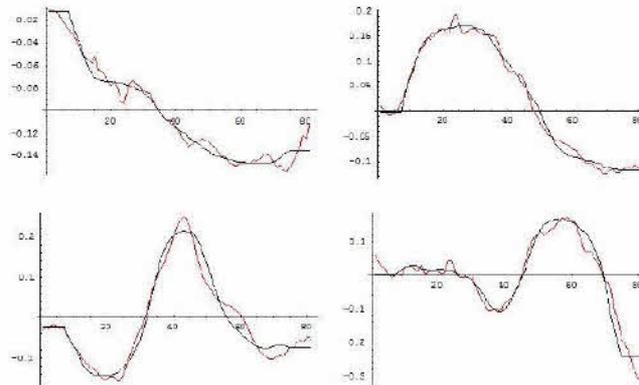
Erzeugung der Gewichte der Basisfunktionen mittels K aus der Sensorantwort

20



Filterauswahl

Beispiel: K=8, M=4



21



Filterauswahl

Basisvektoren M

Kanäle K →

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3	18.98	15.37	1.63	3.38	4.31	3.51	3.39	2.02	1.50	1.49	0.46	0.23	0.27	0.23	0.11	0.11	0.11	0.05
4	15.68	1.55	6.96	4.55	3.97	0.60	0.69	0.58	0.55	0.44	0.41	0.36	0.35	0.34	0.13	0.12	0.12	0.15
5	9.40	9.79	7.37	7.19	2.27	1.76	1.37	1.27	0.95	0.99	0.39	0.24	0.23	0.10	0.05	0.05	0.04	0.04
6	18.58	17.90	10.62	3.07	2.07	2.20	1.17	1.03	0.55	0.54	0.50	0.52	0.11	0.11	0.10	0.09	0.07	0.06
7	14.73	15.61	14.06	4.00	3.90	3.65	0.98	0.93	0.63	0.57	0.42	0.46	0.44	0.39	0.28	0.28	0.25	0.23
8	19.06	19.02	11.73	7.35	6.22	4.77	4.62	0.82	0.57	0.42	0.13	0.12	0.13	0.12	0.10	0.07	0.07	0.07
9	23.11	19.91	11.71	6.39	5.23	6.22	1.14	1.13	1.09	0.93	0.92	0.84	0.48	0.39	0.32	0.19	0.17	0.17
10	26.83	15.14	12.53	11.01	4.76	1.66	0.97	1.03	0.80	0.71	0.71	0.33	0.33	0.19	0.12	0.10	0.07	0.06
11	28.83	15.14	13.18	10.71	3.84	1.54	1.30	0.70	0.80	0.35	0.29	0.22	0.21	0.17	0.09	0.09	0.09	0.07
12	21.03	15.54	8.91	6.36	3.17	3.20	2.22	1.53	0.79	0.74	0.59	0.57	0.57	0.20	0.20	0.14	0.14	0.13
13	18.21	15.11	11.02	5.56	3.75	1.52	1.78	0.94	0.49	0.37	0.26	0.24	0.25	0.13	0.13	0.09	0.09	0.05
14	21.03	15.54	8.15	6.13	3.45	4.81	2.20	1.77	1.49	0.35	0.28	0.22	0.16	0.18	0.16	0.17	0.10	0.07
15	17.21	15.85	8.77	6.19	4.48	1.51	1.08	0.91	0.70	0.40	0.33	0.33	0.32	0.24	0.14	0.12	0.11	0.11
16	20.18	18.58	13.03	8.23	1.78	1.89	1.27	0.97	0.63	0.55	0.49	0.40	0.34	0.34	0.18	0.18	0.18	0.05
17	14.07	8.16	7.73	8.78	2.19	1.45	0.82	0.86	0.81	0.32	0.37	0.27	0.20	0.20	0.09	0.08	0.07	0.07
18	25.61	18.51	8.07	6.22	3.89	2.83	2.58	1.14	1.04	0.91	0.64	0.50	0.43	0.42	0.41	0.41	0.15	0.17
19	25.01	18.30	10.70	10.05	2.83	4.73	4.74	4.22	2.16	2.04	1.08	1.04	0.68	0.40	0.25	0.24	0.16	0.18
20	28.74	8.91	6.56	4.23	3.29	2.08	0.81	0.88	0.70	0.43	0.43	0.42	0.21	0.21	0.21	0.16	0.12	0.11

22

Kameragamuts: neue Definition

Ursprünglich: Definition nur für Geräte der Farbbildwiedergabe

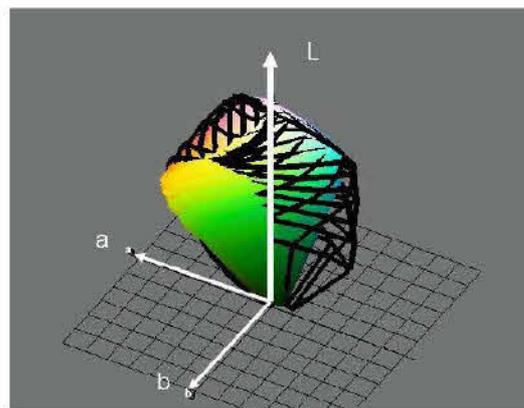
Beispiel:
Graustufenkamera:
sämtliche Farben werden
auf die Grauachse
abgebildet



Def.: Kameragamut = Bereich im Farbraum, in den alle aufgenommenen Farben abgebildet werden

23

Kameragamuts: Simulationsergebnisse



DIN 99

3 Kanäle

24

Labormodell

Entwicklung einer mobilen
multispektralen Kamera mit 7
spektralen Kanälen:

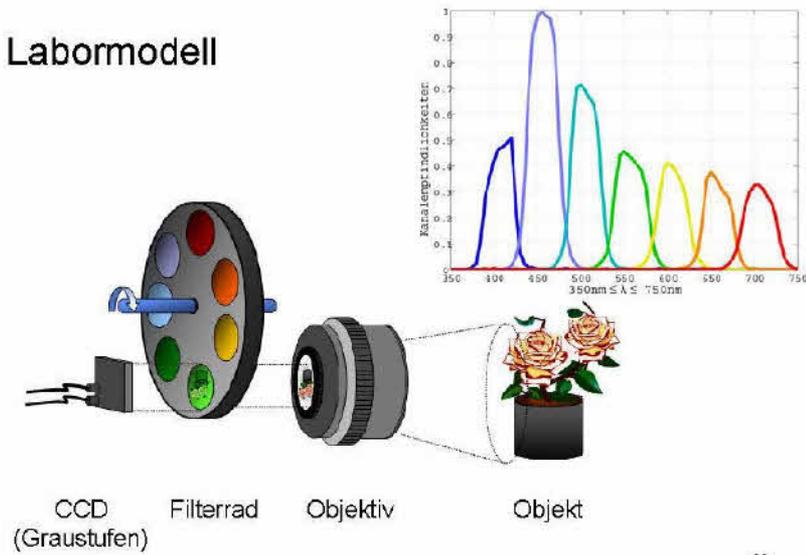
Elektronikentwicklung
Schnittstellenanpassung an Rechner
Bildverarbeitung

7 spektrale Kanäle
mobiler, prototypischer Aufbau
ein Bild pro Sekunde



25

Labormodell



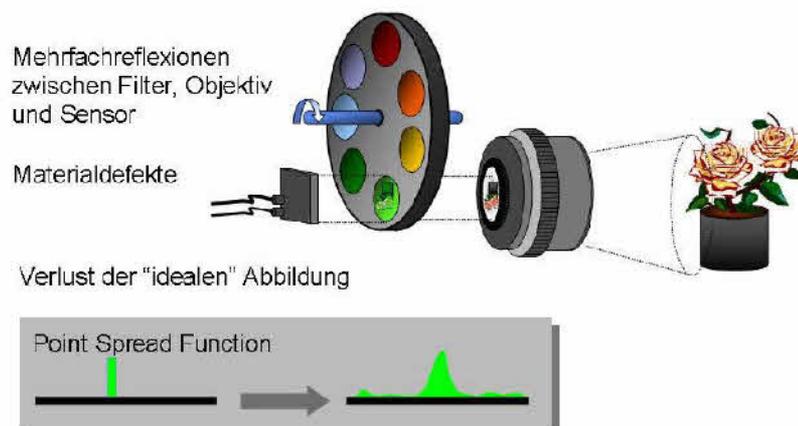
26

Ergebnisse: Schätzfehler

Lichtart	$\overline{\hat{E}}_{00}$	$\widehat{\hat{E}}_{00}$
E	2,00	9,42
D50	1,79	9,24
D65	1,91	9,21
A	1,73	9,60

27

Streulicht: Ursachen und Auswirkungen



28

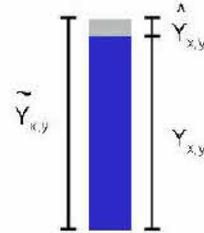
Streulicht: Modell

Jeder Pixelwert ist eine Superposition aus dem tatsächlichen Signal und einem durch Streulicht verursachten Anteil:

$$\tilde{Y}_{x,y} = Y_{x,y} + \hat{Y}_{x,y}$$

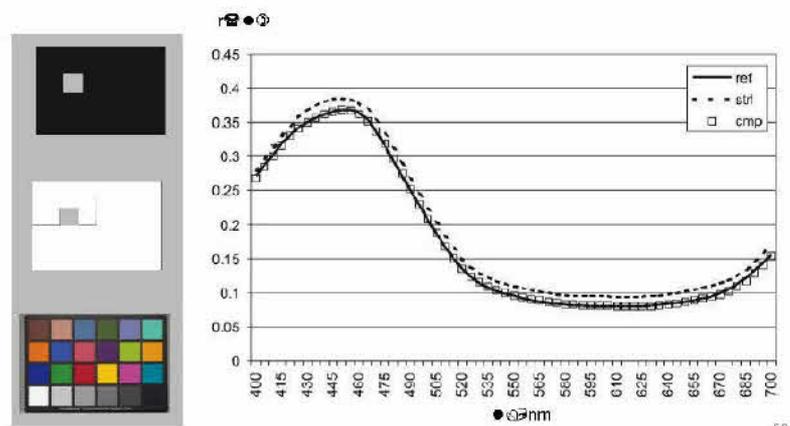
Der durch Streulicht verursachte Anteil kann als Funktion des gesamten Bildinhalts angegeben werden:

$$\hat{Y}_{x,y} = \int_{x_0} \int_{y_0} k_{x,y,x_0,y_0} \cdot Y_{x_0,y_0}$$



29

Streulicht: Ergebnisse



30

Registrierung

Subpixelgenaue Berechnung der Verschiebevektoren zwischen den Kanälen auf der Basis der Maximierung der Kreuzkorrelation



31



Zusammenfassung

Neues spektrales Schätzverfahren „Meta-Iterator“: Reduktion der mittleren Schätzfehler um 10% - 20% verglichen mit der Wienerinverse

Erstmalige Anwendung der aus der Literatur bekannten Farbkonstanz-Algorithmen für die Schätzung von Lichtspektren

Formulierung zweier neuer Hypothesen „Graue Varianz“ und „Graues Delta“, damit Verbesserung gegenüber den klassischen Methoden um mindestens den Faktor 3

32



Zusammenfassung

Optimierung der Filterauswahl für den schmal- und den breitbandigen Fall

Definition und mathematische Herleitung des Begriffs des „Kameragamuts“

Aufbau einer mobilen multispektralen Kamera mit sieben Kanälen (Elektronikdesign, Schnittstelle zum Rechner, Bildverarbeitung im Rechner)

Kompensationsverfahren und –maßnahmen für den Ausgleich unerwünschter optischer Effekte

33



Zusammenfassung

Neues Verfahren zur Bestimmung der auf Schrödinger zurückgehenden Optimalfarben auf der Basis der Technik des Linearen Programmierens

Beschreibung des Aufnahme- und spektralen Schätzprozesses als gemeinsame lineare Abbildung (Matrixtransformation) und Untersuchung ihrer Eigenschaften

34

Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbünterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln

Phillipp Kittelmann, BAM, Berlin

Gliederung

- Einführung
- Farbschwellenuntersuchung
- Untersuchung von großen Farbünterschieden
- Zusammenfassung

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbünterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln*

Seite 2



Einführung

- Farbabmusterungsexperiment
- 2 verschiedene Größen von Farbünterschieden:
 - Farbschwellen ($\Delta E^*_{ab} < 1$)
 - große Farbünterschiede ($\Delta E^*_{ab} > 10$)
- Körperfarben → CIELAB-Farbraum
- 2°-Normalbeobachter
- Normlichtart D65
- 45°/0°-Beobachtungsgeometrie

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbünterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln*

Seite 3



Untersuchungsstatistik

- Die Untersuchung wurde mit 40 Probanden durchgeführt.
- Bei den Probanden handelt es sich um Personen, die keinen farbmetrischen Hintergrund hatten.
- Alle Probanden wurde auf Farbfehlsichtigkeit geprüft und alle waren normalsichtig.
- 17 Frauen und 23 Männer haben an der Untersuchung teilgenommen.
- Das Durchschnittsalter betrug ungefähr 27 Jahre und es haben nur sechs Personen, die älter als 30 Jahre alt waren, teilgenommen.

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbwertformeln*

Seite 4



Farbschwellenuntersuchung

- **Ja/Nein-Entscheidung**
 - Der Proband kann einen Unterschied sehen oder nicht
- **Direkter Kontakt der Proben**
 - Zwischen den Flächen ist keine Lücke → andere Farbschwellenuntersuchungen haben gezeigt, dass 25% der Probanden bei gleichen Farben mit ein kleiner Lücken dazwischen glauben, einen Unterschied zu erkennen
- **Symmetrische Untersuchung des CIELAB-Farbraumes**
 - Gleichmäßige Verteilung der Referenzfarben und Veränderung der Farbe in vier unterschiedliche Richtungen

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbwertformeln*

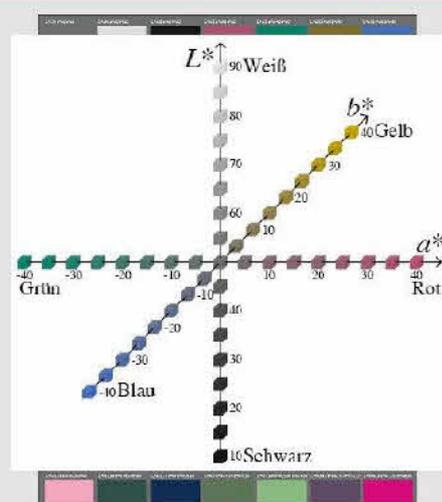
Seite 5



Farbschwellenuntersuchung

- 98 Farbmuster mit vier Farbveränderungen pro Farbe:

- ohne Filter (Helligkeit)
- mit einem roten Filter (Normspektralwertfunktion \bar{x})
- mit einem grünen Filter (Normspektralwertfunktion \bar{y})
- mit einem blauen Filter (Normspektralwertfunktion \bar{z})

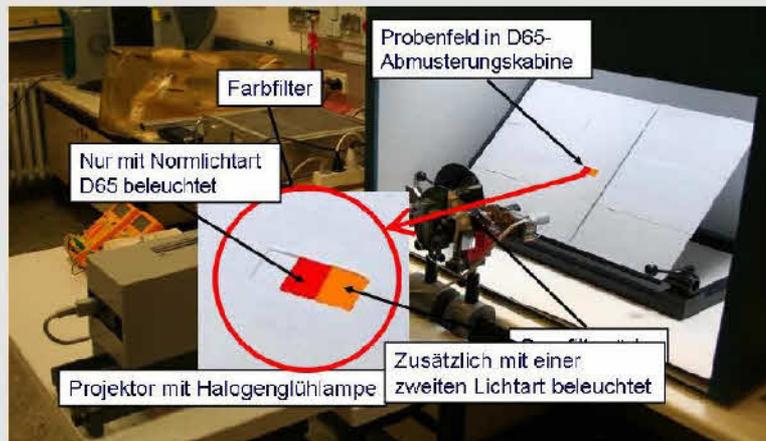


20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbwertformeln*

Seite 6



Versuchsaubau

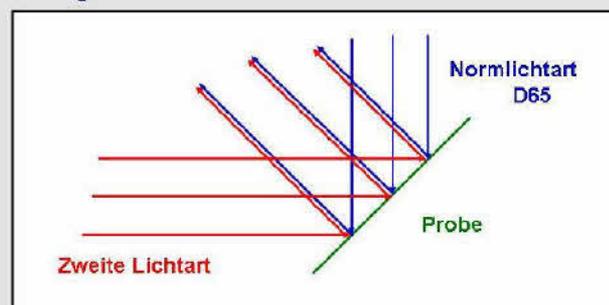


20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln*
Seite 7



Prinzip der Schwellenuntersuchung

- Die Farbschwellen werden durch die “Addition” einer zweiten Lichtart zur Normlichtart D65 erzeugt.



$$R_{\text{neu}}(\lambda) = \frac{S_{D65}(\lambda) + S_2(\lambda)}{S_{D65}(\lambda)} R_{\text{alt}}(\lambda)$$

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln*
Seite 8



Auswertung der Schwellenuntersuchung

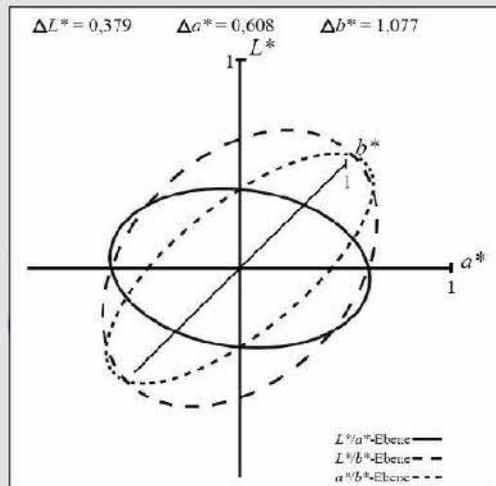
- Die Auswertung der ermittelten Farbschwellen unterteilt sich in zwei verschiedene Bereiche:
 1. Berechnung von Schwellenellipsoiden um die Referenzfarben:
 - Auswertung der so berechneten Farbmaßzahldifferenzen
 - Optimierung des CIELAB-Farbraumes
 - Analyse des Verhaltens der Farbmaßzahldifferenzen bzgl. der Farbmaßzahlen der Referenzfarbe
 2. Vergleich der Farbabstände der Farbschwellen bei Berechnung durch die verschiedenen Formeln:
 - Auswertung mit dem Quotienten Θ
 - Auswertung mit dem STRESS-Wert S
 - Optimierung der Farbabstandsformeln

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln*
Seite 9



Farbschwellenellipsoid

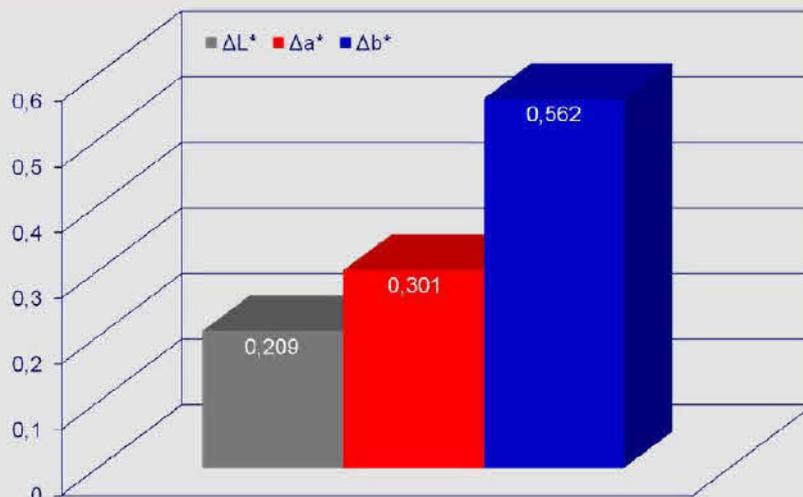
- Aus den vier aufgenommenen Farbabständen wird ein Ellipsoid berechnet
- Es ergeben sich Schnittellipsen in den drei Ebenen
 - L^*/a^* -Ebene
 - L^*/b^* -Ebene
 - a^*/b^* -Ebene
- Der Abstand zwischen der Referenzfarbe und dem Schnittpunkt des Ellipsoids mit den Farbmaßzahlachsen wird bestimmt
 - ΔL^*
 - Δa^*
 - Δb^*



20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln



Farbmaßzahldifferenzen



20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln



Optimierung des CIELAB-Farbraumes

- Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den Farbmaßzahldifferenzen wird der CIELAB-Farbraum mit folgendem Ansatz optimiert:

$$L^*_o = 116 \cdot f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16$$

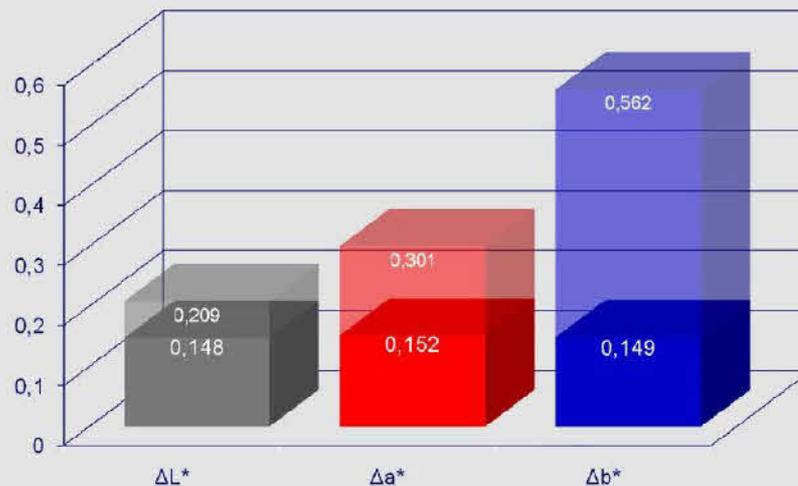
$$a^*_o = \alpha \cdot 500 \cdot \left[f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right] \rightarrow \begin{matrix} \alpha = 0,515 \\ \beta = 0,153 \end{matrix}$$

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

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbstandsformeln



Differenzen der optimierten Farbmaßzahlen



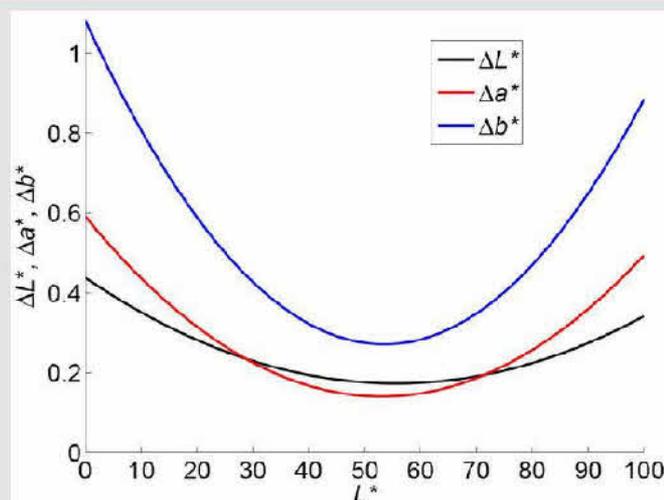
20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 13 und Beschreibung mit Farbstandsformeln



Analyse des Verhaltens der Farbmaßzahldifferenzen

- Die Differenzen der Farbmaßzahlen verhalten sich bei jeder Referenzfarbe unterschiedlich
- Das Verhalten der Farbmaßzahldifferenzen wird für die folgenden Achsen im CIELAB-Farbraum überprüft:
 - L^* -Achse ($a^* = 0$; $b^* = 0$)
 - a^* -Achse ($L^* = 50$; $b^* = 0$)
 - b^* -Achse ($L^* = 50$; $a^* = 0$)
- Die ermittelten Farbmaßzahldifferenzen werden durch ein Polynom 2. Grades beschrieben

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 14 und Beschreibung mit Farbstandsformeln

Farbmaßzahldifferenzen als Funktion von L^* 

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 15 und Beschreibung mit Farbstandsformeln



Farbabstandsformeln ΔE^*_{Sn}

- Aus den Funktionen der Farbmaßzahldifferenzen wurde eine neue Farbabstandsformel entwickelt

$$\Delta E^*_{Sn} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a^*}{\alpha \cdot S_a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b^*}{\beta \cdot S_b}\right)^2}$$

$$S_L = \sqrt[3]{F_{LL}(L^*) \cdot F_{La}(a^*) \cdot F_{Lb}(b^*)}$$

$$S_a = \sqrt[3]{F_{aL}(L^*) \cdot F_{aa}(a^*) \cdot F_{ab}(b^*)}$$

$$S_b = \sqrt[3]{F_{bL}(L^*) \cdot F_{ba}(a^*) \cdot F_{bb}(b^*)}$$



$$\alpha = 0,067$$

$$\beta = 0,850$$

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln*

Seite 16



Vergleich der Farbabstandsformeln

- Überprüfung der Farbabstände der Farbschwellen bei Berechnung durch verschiedenen Formeln
 - ➔ Bei der idealen Formeln sind alle Farbabstände der Farbschwelle bei einer Referenzfarbe gleich
- Einführung des Quotienten Θ und der STRESS-Wertes S
- Optimierung der Farbabstandsformeln über ihre Angleichungsparameter

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln*

Seite 17

Quotient Θ

$$\Theta = \frac{\Delta E^*_{\min}}{\Delta E^*_{\max}}$$

- ΔE^*_{\min} ist der kleinste Farbabstand der Farbschwellen bei einer Probe
- ΔE^*_{\max} ist der größte Farbabstand der Farbschwellen bei einer Probe
- Der Quotient Θ wird für jede Probe einzeln berechnet und der Mittelwert gebildet
- Ein Quotient näher zu 1 ist besser als ein Quotient näher zu 0

20. November 2008 *Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden und Beschreibung mit Farbabstandsformeln*

Seite 18



STRESS-Wert S

$$S = 100 \cdot \sqrt{\frac{\sum (\Delta E_i - F \cdot \Delta V_i)^2}{\sum \Delta E_i^2}} \quad F = \frac{\sum \Delta E_i \cdot \Delta V_i}{\sum \Delta V_i^2}$$

- ΔE_i sind die Farbabstände der Farbschwellen bei einer Referenzfarbe
- ΔV_i wird gleich 1 gesetzt weil für alle Farbschwellen der Farbabstand zur Referenzfarbe gleich sein sollte
- Der STRESS-Wert S wird für jede Probe einzeln berechnet und der Mittelwert gebildet
- Ein STRESS-Wert näher zu 0 ist besser als ein Wert näher zu 100

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 19 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln



Vergleich einiger Farbabstandsformeln

- Die Werte Θ_{100} und S_{100} werden für die besser Vergleichbarkeit eingeführt. Beide Werte sind besser wenn sie nahe bei 100 liegen.

$$\Theta_{100} = 100 - \Theta \quad S_{100} = 100 - S$$

	$\Theta_{100,s}$	$S_{100,s}$	Angleichungsparameter			$\Theta_{100,p}$	$S_{100,p}$	
CIELAB	29,800	54,587	α	0,515	β	0,153	60,100	80,200
CMC	32,600	56,937	l	0,418	c	2,417	46,200	71,436
GIE94	35,600	58,674	K_C	4,432	K_H	2,025	44,600	71,371
GIEDE2000	34,600	60,668	K_C	2,953	K_H	3,179	49,400	74,041
DIN99	44,500	67,674	k_E	1,756	k_{C-H}	1,950	53,000	76,549
DIN99o	34,700	59,367	k_E	0,776	k_{C-H}	3,439	48,400	74,559
LABJNDS	29,400	59,621	a_0	2,519	b_0	0,609	62,700	81,237

- Für die neue Farbabstandsformel ΔE_{90}^* ergibt sich ein Θ_{100} von 56,1

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 20 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln



Zusammenfassung Farbschwellenuntersuchung

- CIEDE2000 ist besser als CIELAB (15 % beim STRESS-Wert S)
- DIN99 ist die beste Formel (22 % als CIEDE2000 beim STRESS-Wert S)
- Alle Farbabstandsformeln lassen sich verbessern, wenn sie durch die Parameter an die Betrachtungsbedingungen angeglichen werden
- Die in der Untersuchung entwickelte Farbabstandsformel zeigt bessere Ergebnisse als die meisten älteren Farbabstandsformeln nach der Optimierung
- Die Gelb-Blau-Differenz Δb^* ist für Farbschwellen größer als die Rot-Grün-Differenz Δa^* oder die Helligkeitsdifferenz ΔL^*

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 21 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln



Untersuchung der großen Farbunterschiede

- **Paarvergleich mit Verhältnisbetrachtung**
 - Der Proband vergleicht jeweils mehrere Farbmuster mit einer Referenzfarbe → das Verhältnis der betrachteten Farbunterschiede soll dabei beachtet werden
- **Direkter Kontakt der Proben**
 - zwischen den Flächen ist keine Lücke
- **Symmetrische Untersuchung des CIELAB-Farbraumes**
 - gleichmäßige Verteilung der Referenzfarben in der Ebene mit $L^* = 50$

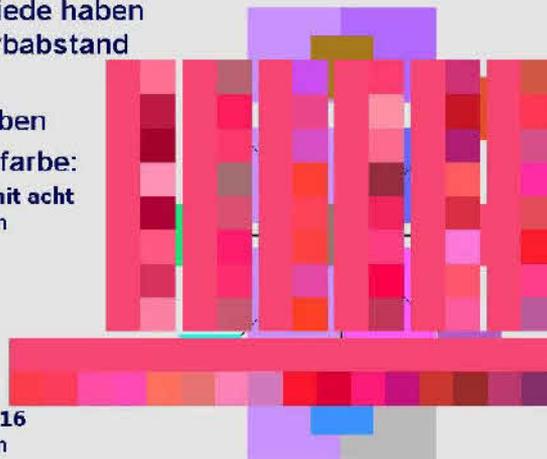
20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
und Beschreibung mit Farbstandsformeln

Seite 22



Farbmuster der Untersuchung

- Die Farbunterschiede haben einen CIELAB-Farbabstand $\Delta E^*_{ab} > 10$
- Neun Referenzfarben
- Für jede Referenzfarbe:
 - sechs Farbreihen mit acht Farbveränderungen
 - L^*
 - a^*
 - b^*
 - L^* und a^*
 - L^* und b^*
 - a^* und b^*
 - eine Farbreihe mit 16 Farbveränderungen
 - L^* , a^* und b^*



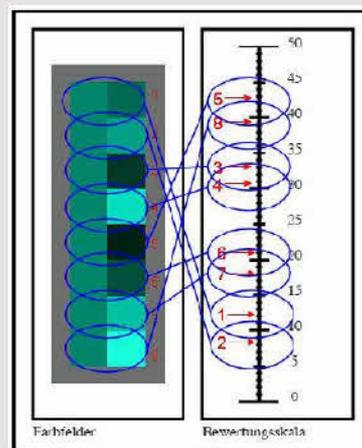
20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
und Beschreibung mit Farbstandsformeln

Seite 23



Durchführung

- Die Testpersonen sollen die Farbunterschiede auf einer Skala von 0 bis 50 bewerten
- Sie sollen die linke Farbe mit den acht Farben auf der rechten Seite vergleichen
- Das Verhältnis der Farbunterschiede soll bei der visuellen Bewertung beachtet werden



20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
und Beschreibung mit Farbstandsformeln

Seite 24



Analyse der großen Farbunterschiede

- Die visuellen Bewertungen und die Farbabstände werden auf eine Skala zwischen 0 und 1 normiert
- Die Differenz zwischen den normierten Bewertungen und den normierten Farbabständen zeigt ihre Korrelation zueinander

$$\Gamma E_i^* = \frac{\Delta E_i^*}{\Delta E_{\max}^*} \quad \longrightarrow \quad \omega E^* = |\Gamma B - \Gamma E^*|$$

$$\Gamma B_i = \frac{B_i}{B_{\max}}$$

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 25 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln



Vergleich der verschiedenen Farbabstandsformeln



20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 26 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln

Neue Farbabstandsformel ΔE_{neu}^*

- Die Optimierung der Farbabstandsformeln über die verschiedenen Parameter führt nur zu 1 – 2% besseren Korrelationen zwischen den Bewertungen und den Berechnungen
- ➔ Entwicklung einer neuen Farbabstandsformel

$$\Delta E_{\text{neu}}^* = \sqrt{(\Delta L_{\text{neu}}^*)^2 + (\Delta a_{\text{neu}}^*)^2 + (\Delta b_{\text{neu}}^*)^2}$$

$$\Delta L_{\text{neu}}^* = \frac{|L_0^* - L_1^*|}{1 + p_{L1} \cdot (L_0^* - L_1^*) + p_{L2} \cdot L^* + p_{L3} \cdot a^* + p_{L4} \cdot b^*}$$

$$\Delta a_{\text{neu}}^* = \frac{|a_0^* - a_1^*|}{1 + p_{a1} \cdot (a_0^* - a_1^*) + p_{a2} \cdot L^* + p_{a3} \cdot a^* + p_{a4} \cdot b^*}$$

$$\Delta b_{\text{neu}}^* = \frac{|b_0^* - b_1^*|}{1 + p_{b1} \cdot (b_0^* - b_1^*) + p_{b2} \cdot L^* + p_{b3} \cdot a^* + p_{b4} \cdot b^*}$$

20. November 2008 Visuelle Beurteilung von kleinen und großen Farbunterschieden
Seite 27 und Beschreibung mit Farbabstandsformeln



Bestimmung der Parameter

- › Durch geeignete Bestimmung der Parameter wird die neue Farbabstandsformel vervollständigt
→ 11%ige Verbesserung gegenüber der CIELAB-Formel

ρ_{L1}	0,012655	ρ_{e1}	0,003241	ρ_{b1}	-0,000632
ρ_{L2}	0,042361	ρ_{e2}	0,014981	ρ_{b2}	0,002501
ρ_{L3}	0,029229	ρ_{e3}	0,000557	ρ_{b3}	0,007139
ρ_{L4}	0,021822	ρ_{e4}	-0,001231	ρ_{b4}	0,002136

- › Die bessere Abstimmung der einzelnen Parameter zueinander führt zu einer Verbesserung der Korrelation

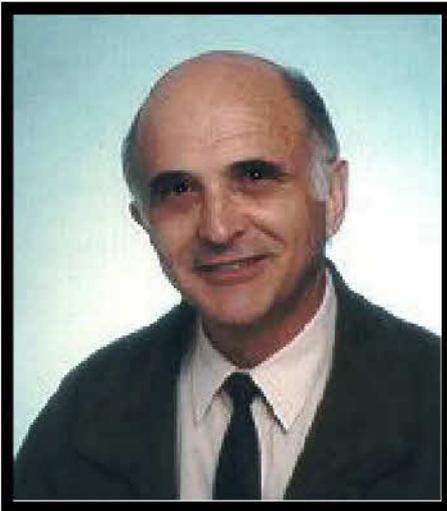
Zusammenfassung Große Farbunterschiede

- › Die CIELAB-Formel zeigt das beste Ergebnis, ist aber nicht signifikant besser als die anderen Farbabstandsformeln
- › Die Korrelation zwischen den visuellen Bewertungen und den berechneten Farbabständen variiert je nach Farbveränderung und Referenzfarbe
- › Es ist keine Aussage darüber möglich, welche Parameter diese Schwankungen beeinflussen
- › Die neue entwickelte Farbabstandsformel lässt sich aufgrund ihrer Parameter besser an die visuellen Bewertungen anpassen

Zusammenfassung

- › Es wurden zwei neuartige Verfahren für die visuelle Bewertung von Farbabständen entwickelt
- › Keine der bisher gängigen Farbabstandsformeln korreliert zufriedenstellend mit den visuellen Bewertungen
- › Es lässt sich sowohl für den Bereich der Farbschwellen als auch für den Bereich der großen Farbunterschiede eine neue Farbabstandsformel entwickeln, die besser mit den visuellen Bewertungen übereinstimmt
- › Des Weiteren müssen noch zusätzliche Parameter (Feldgröße, Umfeld, Musterabstand usw.) sowie der Übergang von den Farbschwellen zu den größeren Farbunterschieden untersucht werden

Nachruf für Herrn Dr. Ludwig Gall



Herr Dr. Ludwig Gall wurde am 17.5.1929 in Philippsburg geboren. Nach seinem Schulabschluss 1950 in Sasbach studierte er in Karlsruhe Chemie und promovierte dort 1959. Bis 1964 arbeitete er bei der Firma Sachtleben AG in Duisburg-Homburg. Anschließend kam er zur BASF AG nach Ludwigshafen am Rhein. Hier war er in der Anwendungstechnik für Pigmente auf den Gebieten der Lack-, Kunststoff- und Druckfarbenindustrie tätig. Schon bald zeigte sich sein Interesse an der Farbmatrik. Als einer der ersten entwickelte er ein Programm zur Berechnung von Farbrezepten für deckende Lackfarben. Darüber hinaus interessierten ihn anwendungstechnische Eigenschaften von

Pigmenten, die für die farbmetrische Qualitätskontrolle von Bedeutung waren. Er veröffentlichte Artikel über Farbrezeptberechnung und zur Bestimmung der Farbstärke (FIAF). Darüber hinaus entwickelte er Verfahren zur Bestimmung des Deckvermögens nicht deckender Farbmittelschichten. Seine Aktivitäten wurden durch viele Vorträge, u.a. beim AIC-Kongress in York (1973), ergänzt. Er war ein begabter Redner, der auch schwierige Sachverhalte einfach und verständlich darstellen konnte. Seine Ausführungen waren stets mit einer gehörigen Portion Humor gewürzt, so dass auch trockene Themen gut beim Zuhörer ankamen. Als anerkannter Fachmann auf seinem Arbeitsgebiet wich er auch kontroversen Diskussionen nicht aus. Im Anschluss an Vorträge von Kollegen stellte er häufig kritische Fragen, die dann zu interessanten Aussprachen führten.

Nach seiner Pensionierung im Jahre 1991 beschäftigte er sich weiterhin mit farbmtrischen Problemen, wie z.B. den neu entwickelten Farbabstandsformeln, und gestaltete eine Webseite (www.farbmatrik-gall.de), auf der die wichtigsten Aspekte der Farbmatrik in sehr anschaulicher Art und Weise dargestellt sind. Daneben war er beratend für die Firma Connex in Roßdorf tätig.

Am 8.2.2009 ist Herr Dr. Ludwig Gall verstorben. Wir werden ihn als kompetenten Fachmann, diskussionsfreudigen Kollegen und aufrichtigen Menschen in Erinnerung behalten.

Klaus Unterforsthuber

Farbcharakteristiken, Dr. Ludwig Gall +

Farbmetrische Bewertung von Farbmitteln und Farbwiedergabetechniken mittels „Kennlinien“

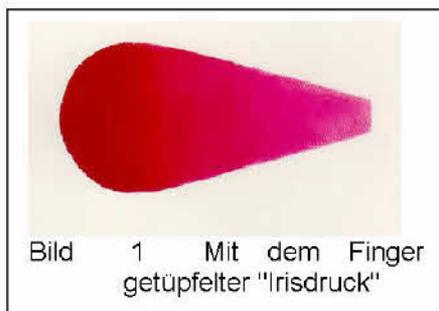
(Wiederholung aus dem DfwG-Report 3/2005 anlässlich des Todes von H. Dr. Gall)

Definition

Unter Farbcharakteristik (auch „Färbecharakteristik“ genannt) versteht man den geometrischen Ort aller Farben im Farbenraum, die mit einem Farbmittel bei gegebener Verarbeitungs- und Applikationstechnik konzentrations- und schichtdickenabhängig erreicht werden können. Weil die „färberischen“ Eigenschaften z.B. eines Pigmentes auch vom Dispergierzustand, von kolloidaler Stabilität im Anwendungsmedium, vom Typ des Weißpigmentes, mit dem es gemischt wird, von der Schichtdicke und von der Art und Farbe des Untergrundes abhängen, hat ein Pigment nicht eine Farbcharakteristik, sondern quasi unendlich viele. Spricht man von der Farbcharakteristik eines Farbmittels ist also immer eine ganz bestimmte gemeint. Liegen Verarbeitungs- und Applikationstechnik aber einmal fest, dann ist die Farbcharakteristik so typisch geprägt, wie der Fingerabdruck eines Individuums.

„Herstellung“

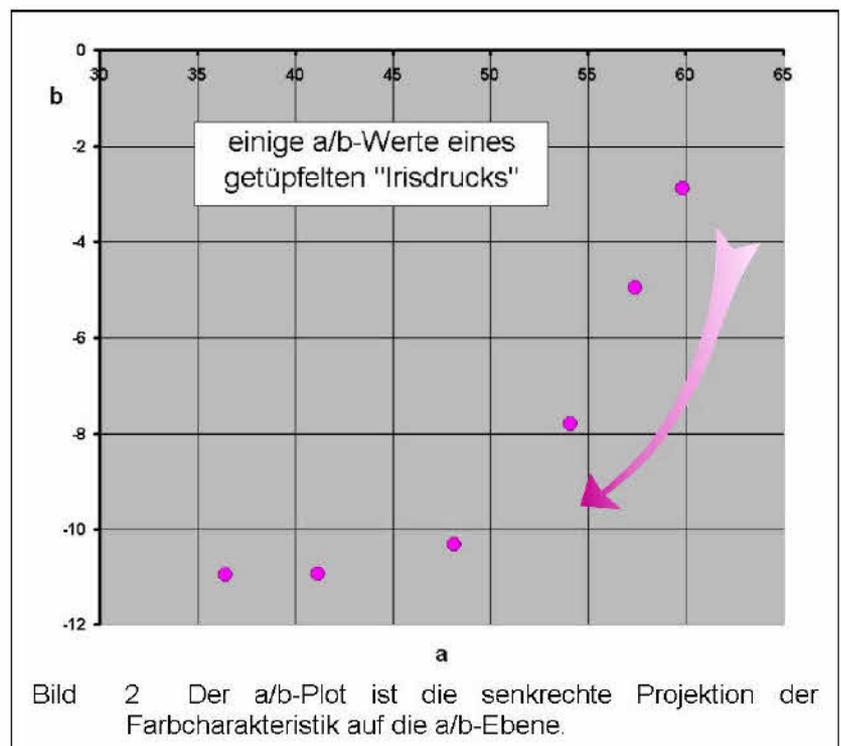
Eine Magenta-Offset-Druckfarbe, pigmentiert mit 17% Norm-Rubin, wurde mit dem Finger auf Kunstdruckpapier getüpfelt, um einen Farbverlauf zu produzieren.



Mit einem geeigneten Messgerät (kleine Messblende \varnothing 5mm) wurden XYZ und Lab* entlang des Konzentrationskeils gemessen. Hier das Ergebnis im ab-Diagramm:

Die Punkte liegen – wie es sich für ein Magenta gehört – im Wesentlichen auf *einer* Kurve im vierten Quadranten der a/b-Ebene.

Leider erkennt man aus der a/b-Grafik nur grob den Hue- und den Chromabereich.



*Im CIELAB-System sind die Werte mit * geschrieben. Da keine Verwechslungsgefahr mit älteren Lab-Systemen besteht, wird im folgenden grundsätzlich L,a,b,C,h anstelle L*,a*,b*,C*,h* verwendet

„Irisdrucke“

Vor Einführung der Farbmeterik in der Farbenindustrie wurden solche fingergetüpfelten Farbkeile routinemäßig in der koloristischen Qualitätskontrolle zur visuellen Beurteilung feiner Nuancenunterschiede aufeinanderfolgender Produktionschargen der Pigmente hergestellt.

Bereits in den 60er Jahren hat man das Verfahren mechanisiert und sehr fein verlaufende Irisdrucke maschinell hergestellt, indem auf die Farbwalze eines Probeandruckgerätes auf der einen Seite die zu prüfende Druckfarbe, auf der anderen Seite der blanke Firnis aufgetragen wurde. Dann ließ man im Kontakt mit einer Gegenwalze eine Weile querverreiben, bis sich auf der Einfärbewalze ein homogener Konzentrationskeil zeigte, der dann auf Kunstdruckpapier übertragen wurde.

Diese „Irisdrucke“ von Standard und Probe wurden danach visuell gegeneinander abgemustert, indem man mit einer Lochmaske durch Verschieben der Farbkeile vergleichbare, d.h. gleich helle Stellen suchte. Dann konnte man urteilen: „Die Probe ist wenig trüber und eine Spur grüner als der Standard“. Die Wertungen „eine Spur“ und „wenig“ etc. hatte jeder Laborant intus zu haben.

Als dann ein Dreibereichsfarbmessgerät zur Verfügung stand, brachen für die Koloristik goldene Zeiten an: An der Messöffnung des Zeiss-Elrepho wurden XYZ von Standard und Probe jeweils dort gemessen, wo beide eine gleiche Helligkeit von z.B. $Y=21,0$ zeigten. Jetzt konnte man die Reinheits- und „Farbton-Unterschiede quantitativ mit Zahlen ausdrücken.

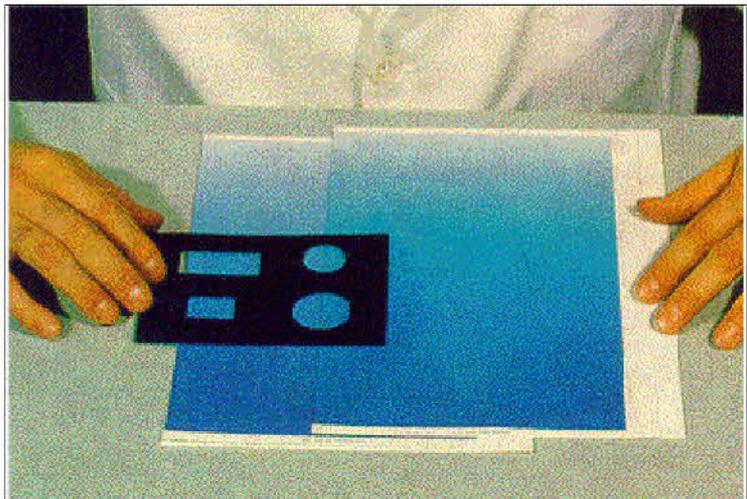


Bild 3 Visuelle Beurteilung von zwei Irisdrucken

Mit dem Fortschritt der Farbmess- und Computertechnik wurde dann die Irisdruck-Auswertung durch grafische Darstellung der Farbcharakteristiken weiter rationalisiert und verfeinert. Beispiele werden wir gleich sehen.

Farbmetrische Auswertung

Buntheitssicht und Bunttonsicht

Der dreidimensionale Verlauf der Farbcharakteristiken durch den CIELAB-Raum über alle Helligkeitsebenen wird mit zwei speziellen „Ansichten“, der Buntheitssicht und Bunttonsicht deutlich.

Die **Buntheitssicht** ist eine Ansicht des CIELAB-Raums von der Seite, gewissermaßen auf die Schnittfläche eines Tortenstücks, wobei der Schnitt so geführt wird, dass er entlang der L-Achse und durch die mittlere Bunttonebene der Farbcharakteristik verläuft. Hier wird besonders

augenfällig, was man bei Aussagen über die Koloristik von Pigmenten mit „Brillanz“ umschreibt. Je größer bei einem bestimmten Helligkeitsniveau die Buntheit (Chroma), desto reiner, brillanter das Pigment. Die Darstellung L gegen C mag eine Abhängigkeit des L von C suggerieren. In Wirklichkeit geht es hier um eine „innere Abhängigkeit“. Lightness und Chroma sind beide Funktionen der Flächenkonzentration des Pigmentes.

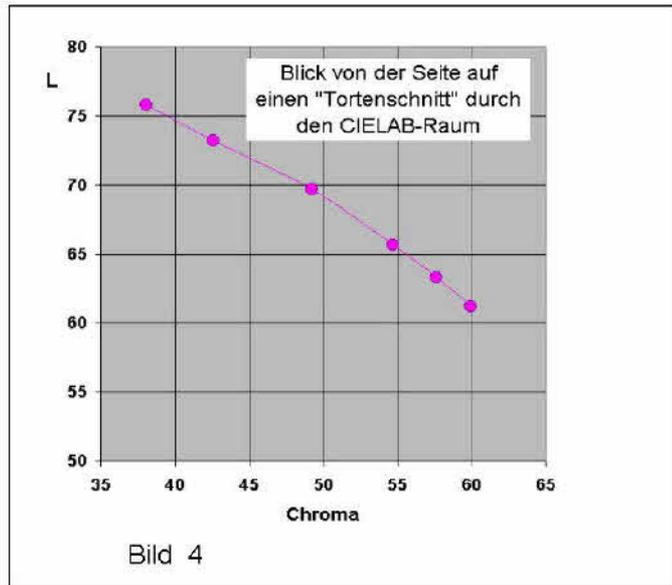


Bild 4

Die „**Bunttonsicht**“ ist geometrisch nicht so leicht zu verstehen: Dargestellt ist L „als Funktion“ des h (Hue). Angenommen ein Beobachter umschritte den zylinderförmigen CIELAB-Raum, blicke immer in Richtung Helligkeitsachse und notiere sich bei jedem Buntton h, welches L die Farbcharakteristik bei diesem Buntton hat, dann sähe sein grafisches Protokoll wie diese „Bunttonsicht“ aus. Die h-Achse ist gewissermaßen die „Abwicklung“ des 360°-Buntton-Kreises. Wenn sich h mit steigender Aufhellung nicht änderte – was es immer tut –, sähe man hier nur eine Senkrechte.

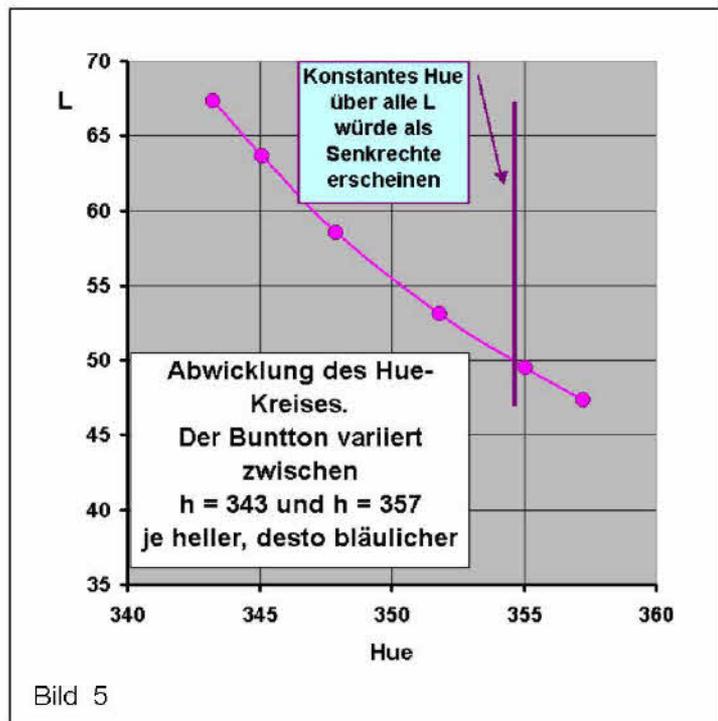
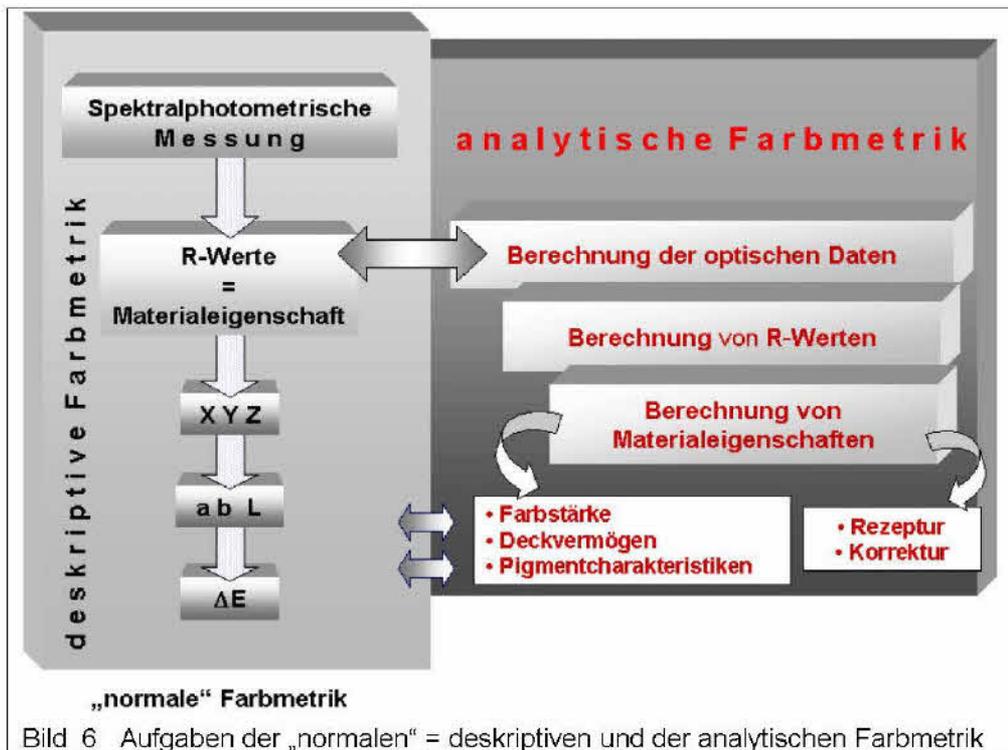


Bild 5

Im Prinzip sind diese komplizierten Sachverhalte bereits in einer Remissionskurve der Ausmischung und Applikation eines Farbmittels angelegt und man kann schon aus der Kurve eines Punktes des obigen Tüpfelexperimentes a/b-Sicht, L/C- und L/h-Sicht der Farbcharakteristik mit den Methoden der analytischen Farbmetrik vorhersagen.

Analytische Farbmetrik

Was ich unter analytischer Farbmetrik verstehe, wird aus der folgenden Übersicht klar.



Die normale, „deskriptive“ Farbmetrik beschreibt quantitativ die aus einer R-Kurve einer farbigen Fläche abzuleitende Farbempfindung und in der höheren Farbmetrik die Farbunterschiede zwischen zwei Farben.

Die R-Kurve ist eine reine Materialeigenschaft. In der analytischen Farbmetrik geht man dieser Materialeigenschaft „auf den Grund“, indem man aus den R-Werten die wellenlängenabhängigen Lichtabsorptions- und Streuwerte A_λ und S_λ der färbenden Substanzen in der Farbschicht berechnet. Kennt man umgekehrt A_λ und S_λ einer Schicht, so lassen sich daraus R-Werte berechnen, so dass sich vorhersagen lässt, wie sich das Aussehen einer Schicht ändert, wenn man die Konzentration der enthaltenen Farbmittel variiert.

Hier einige Schlagworte zur Verdeutlichung dieser beiden Grundpfeiler der industriellen Farbmetrik.

Farbdifferenz / Farbrezeptkorrektur.

Die normale Farbmetrik bestimmt z.B. eine Farbdifferenz, die analytische klärt ihre **Ursache** und ermöglicht ihre Beseitigung, z.B. bei der Farbrezeptkorrektur.

Farbdifferenz / Farbstärkeunterschied

Die sichtbare Farbdifferenz zwischen zwei Pigmentausfärbungen wird auf einen **Farbstärkeunterschied** zurückgeführt und quantitativ bewertet. (FIAP-Verfahren).

Farbdifferenz / Kontrast- ΔE / Deckvermögen

Die deskriptive Farbmetrik kann lediglich die Farbdifferenz an einer Schicht über schwarzem und weißem Untergrund (das Kontrast- ΔE) feststellen. Mit den Methoden der analytischen Farbmetrik kann man mit dem gleichen Messaufwand aus den R-Werten das Deckvermögen der Schicht (z.B. in $m^2/Liter$) berechnen. (Indem man berechnet, wie sich das Kontrast- ΔE in Abhängigkeit von der Schichtdicke ändert.)

Farbrezeptberechnung

Aus den A_λ und S_λ eines Pigmentsortimentes wird das Mischungsrezept für eine nachzustellende Vorlage berechnet, deren R-Werte (oder gar nur XYZ-Werte) bekannt sind.

Farbcharakteristiken anstelle isolierter Lab-Werte

Als „Entfaltung“ der A_λ und S_λ von Pigmenten in den CIELAB-Raum hinein resultieren schließlich – gewissermaßen als Nebenprodukt der Farbrezeptberechnung – die sehr aussagefähigen Farbcharakteristiken zur Bewertung der koloristischen Fähigkeiten der Farbmittel.

Berechnung von Farbcharakteristiken aus optischen Daten

Im einfachsten Fall kann unter Vernachlässigung der Lichtstreuung S_λ – was im Falle von dünnen Druckfarbschichten auf Papier berechtigt ist – nur mit der einen wellenlängenabhängigen Konstanten A_λ gerechnet werden, die hier gleichbedeutend ist mit der Lambert-Beer'schen Extinktion. In der Druckbranche heißt die Extinktion „optische Dichte“. Mit geeigneten Filtern, welche jeweils den Bereich maximaler Absorption der Skalenfarben erfassen, wird mit Densitometern – sogar im laufenden Druckprozess – die Farbführung kontrolliert.

Densitometer messen – meist breitbandig – die

$$\text{Dichte } D = \log \left(\frac{R_{\text{Papier}}}{R_{\text{Druck}}} \right)$$

Sie sollte proportional der Farbgebung auf dem Bedruckstoff also proportional der Farbmittel-Flächenkonzentration sein – was sie leider nicht ist, noch weniger als die Extinktion nach Lambert-Beer, der ja nur in verdünnten Lösungen gilt. Die inneren Lichtwege zwischen Bedruckstoff und Oberfläche des Druckfarbenfilms sind nämlich viel komplexer als beim einfachen Lichtdurchtritt in einer Küvette mit einer Farbstoff-haltigen Flüssigkeit. Um der wahren Größe der Lichtabsorption im Druckfarbenfilm nahe zukommen, müssen die inneren Grenzflächen-Reflexionen berücksichtigt werden. H. Schmelzer¹¹ hat hierzu eine einfache Näherung der ansonsten komplizierten Gleichungen gefunden.

$$\text{Korrigierte Dichte} = \left[\log \left(\frac{R_{\text{Papier}}}{R_{\text{Druck}}} \right) \right]^n \quad \text{nach Schmelzer}$$

Schmelzer gibt für $n=2$ an. Einen linearen Zusammenhang zwischen Pigment-Flächenkonzentration erhielt ich eher mit $n = 1,5$ bis $1,7$.

Aber auch ohne solche Korrekturen kann man schon aus wenigen experimentell erfassten Stützpunkten durch Interpolation den genaueren Verlauf einer Farbcharakteristik berechnen, indem man den Mittelwert der Dichten an jeder Wellenlänge berechnet und anschließend entlogarithmiert, d.h. in die R-Werte zurückverwandelt. Man kann auch extrapolieren, indem man spektral die Dichten „hoch“ (oder „runter“) rechnet.

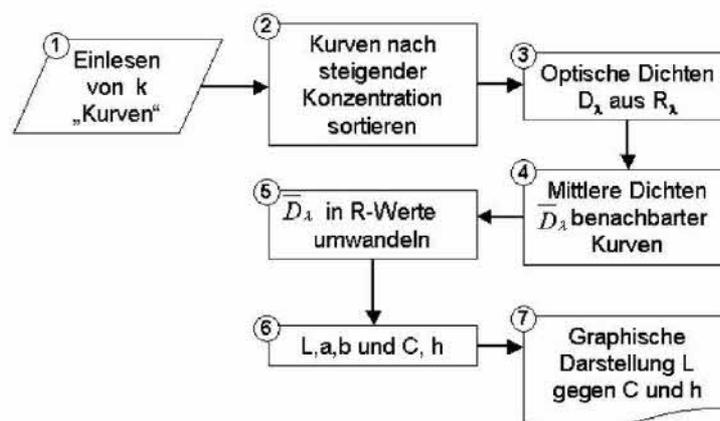
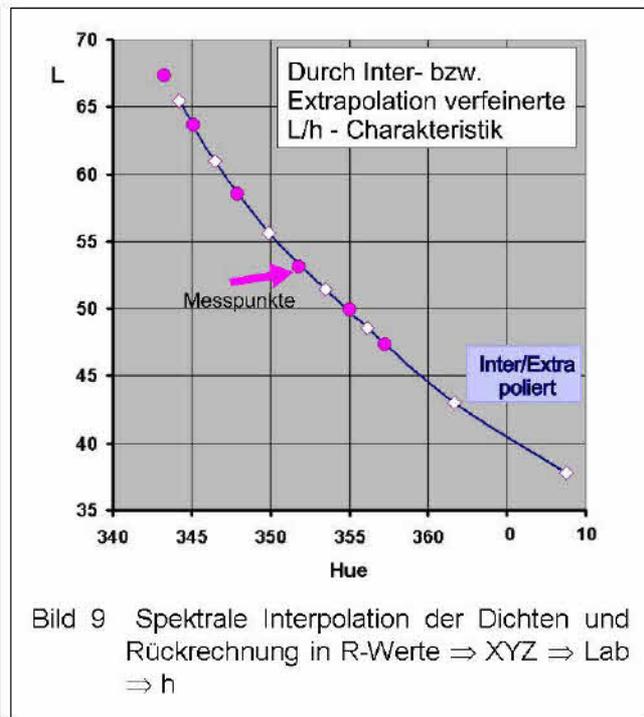
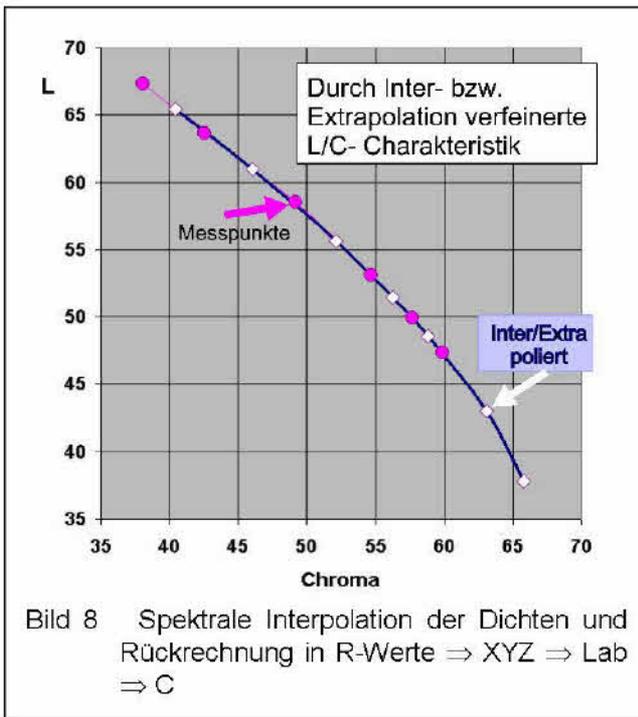


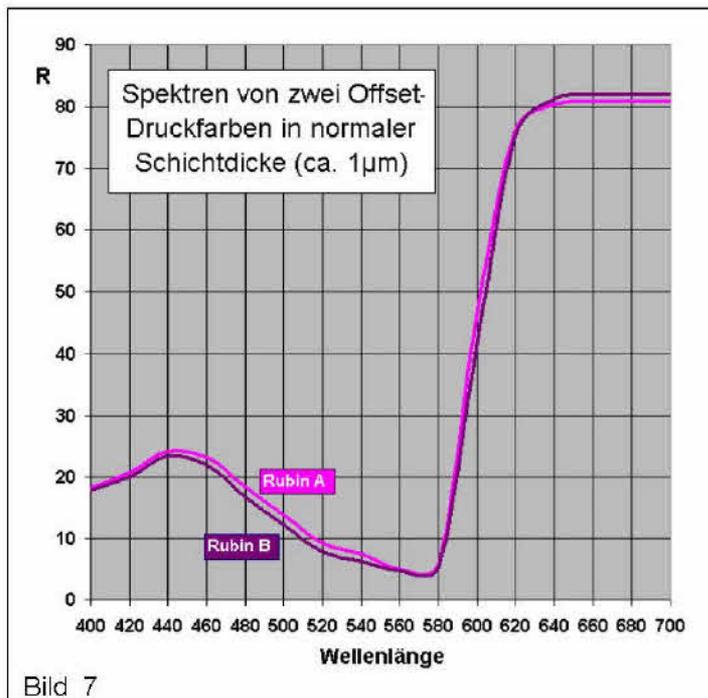
Bild 7

Auf diese Weise sind die folgenden Grafiken (aus den Dichten von Bild 4 und 5) entstanden.

¹¹ H. Schmelzer, defazet 9,1977, S. 373



Vergleichende koloristische Bewertung von Druckfarben bzw. Druckfarben-Pigmenten



Welchen farbmetrischen Befund will man aus den nebenstehenden R-Kurven von zwei zu vergleichenden Magenta-(Lithol-Rubin-) Druckfarben ableiten? Das Delta-E ist = 2,5. Aber das ist nicht besonders interessant. Ein solches ΔE oder jedes andere kann man mit den beiden Druckfarben je nach Farbgebung herstellen. Die Kurven überschneiden sich, weshalb hier auf keinen Fall nur ein Farbstärkeunterschied bestehen kann. Wir brauchen eine zuverlässige Aussage über die „globalen“ *koloristischen Unterschiede* zwischen den beteiligten Pigmenten. Farbstärke ist nicht das Problem.! Farbstärkeunterschiede gleicht der Drucker mit der Steuerung der Farbführung leicht aus.

Viel wichtiger ist gerade bei den

sogenannten Skalenpigmenten für den Mehrfarbendruck eben ihre gesamte Farbcharakteristik. Rubin A ist das aus den obigen Farbcharakteristiken bereits bestens bekannte Pigment. Stellen wir doch die Farbcharakteristik des Rubin B daneben. Sie kann schon aus dieser einen Kurve gemessen an einem vollflächigen „normalen“ Probedruck berechnet werden. Aber besser wären noch 1 bis 2 Drucke mit reduzierter Farbgebung, am besten erhalten durch Verdünnung mit unpigmentiertem Firnis.

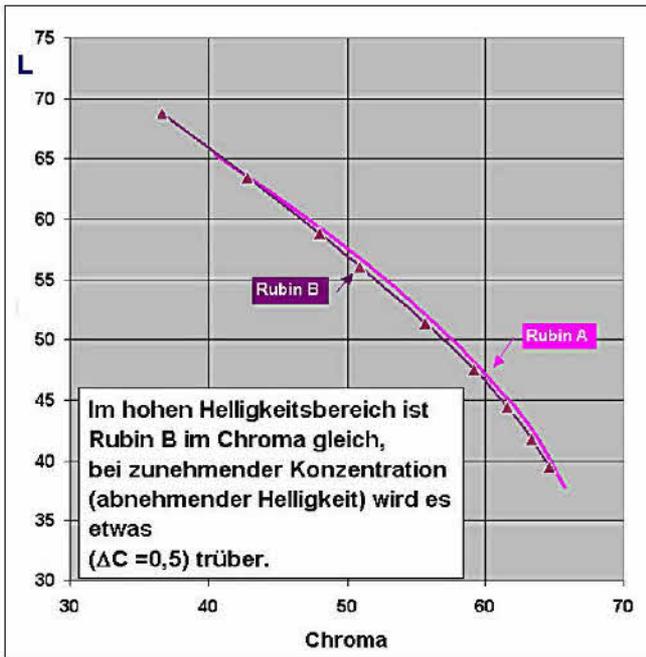


Bild 8

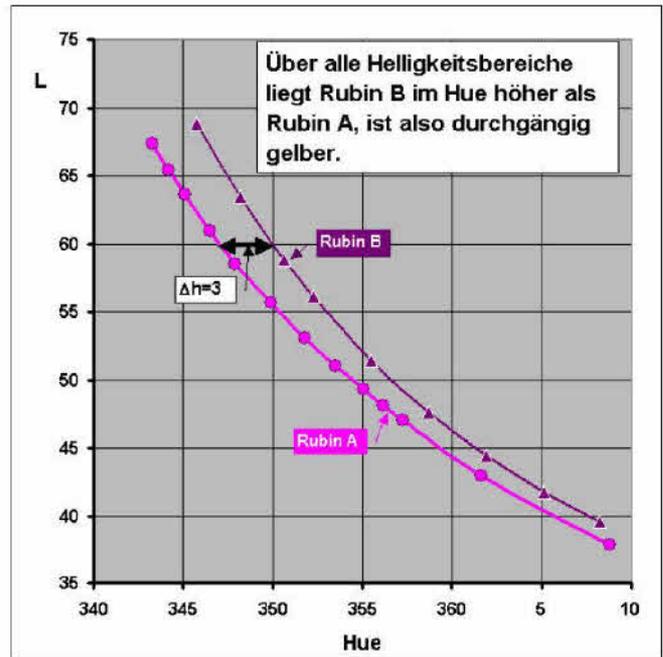


Bild 9

Mit dieser Technik der Kennlinienbestimmung und Darstellung hat man in der Druckfarbenqualitätskontrolle ein ausgezeichnetes Instrument zur Verfügung um die Qualitätskonstanz der „Rohstoffe“ Druckfarben zu kontrollieren. Druckfarben in gleichbleibender Qualität haben deckungsgleiche Kennlinien!

Merkwürdigerweise wird diese Art der Qualitätskontrolle in der Druckbranche nur selten angewandt. Vielleicht ist es ein Schulungsproblem. In einer großen deutschen Druckfarbenfabrik habe ich allerdings ein (sehr „sophisticated“) selbst entwickeltes Farbcharakteristik-Programm gesehen, das wohl deshalb nicht publiziert wurde, um den daraus entspringenden Wettbewerbsvorteil nicht aufs Spiel zu setzen. Das Programm bot etwa die Möglichkeiten, wie das folgende Programm des Autors, das auf Daten des BCS (BASF-Color-System) zugreifen kann:

Farbcharakteristik-Programm Bildschirmschnappschuss

Für frei wählbare L können C und h abgelesen werden.

Die Polarkoordinaten wurden sichtbar, nachdem der Schalter gedrückt wurde.

Nr.	Bezeichnung	L	C	h	a	b
1	51/5	45,46	68,12	344,9	77,32	-22,95
2	51/4	52,52	71,69	341,3	67,24	-20,90
3	51/3	76,65	47,25	335,5	44,28	-16,51
4	51/2	81,04	22,25	341,5	21,12	-7,85
5	51/1	97,48	1,84	252,9	5,58	-1,86

Für das eingetragene Bezugs-L = 68,50
 beträgt: Chroma C = 51,64
 (Bund) Hue h = 339,64
 a = 45,41
 b = -17,36

Bild 10

C, h und a und b können für frei wählbare Bezugs-L entnommen werden.

Vergleichende Bewertung von Pigmenten für Anstrichfarben

Farbcharakteristiken sind in der Lack- bzw. Bautenfarbenindustrie insbesondere dann von Interesse, wenn es um die Entscheidung geht, ob ein im Einsatz befindliches Pigment durch ein anderes substituiert werden kann. Die Frage stellt sich, wenn z.B. von einem Anbieter ein neu entwickeltes oder verbessertes Pigment vorgestellt wird. Die Farbcharakteristiken können entweder aus den vorliegenden optischen Daten A_λ und S_λ der Eichreihen oder aus speziell zu diesem Zweck aus Konzentrationsreihen (mit Hilfe des zur Verfügung stehenden Farbzeptierprogramms) ermittelten Daten berechnet werden. Man benötigt dazu allerdings ein Unterprogramm, das (in Umkehrung der Farbzeptberechnung) für angegebene Rezepte R-Kurven berechnet.

Jedes Farbzeptierprogramm verwendet ein solches Tool in Form einer DLL oder eines anderen Unterprogramms. Wenn der Lieferant der Farbmetrik-Software den Zugriff auf dieses Tool ermöglicht, ist ein Farbcharakteristik-Programm leicht zu realisieren:

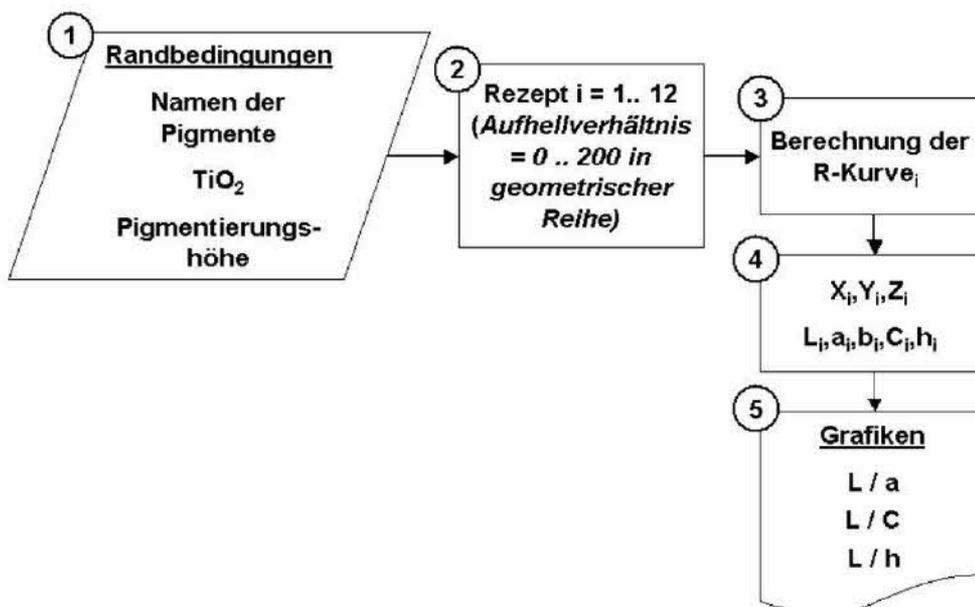


Bild 11 Ablaufdiagramm zur Berechnung von Farbcharakteristiken aus vorhandenen optischen Daten.

Man kann ein neues Pigment so vorstellen, wie schon vor 100 Jahren und wie man es sicher auch noch in 100 Jahren tun wird, in Form einer Musterkarte, etwa wie hier:

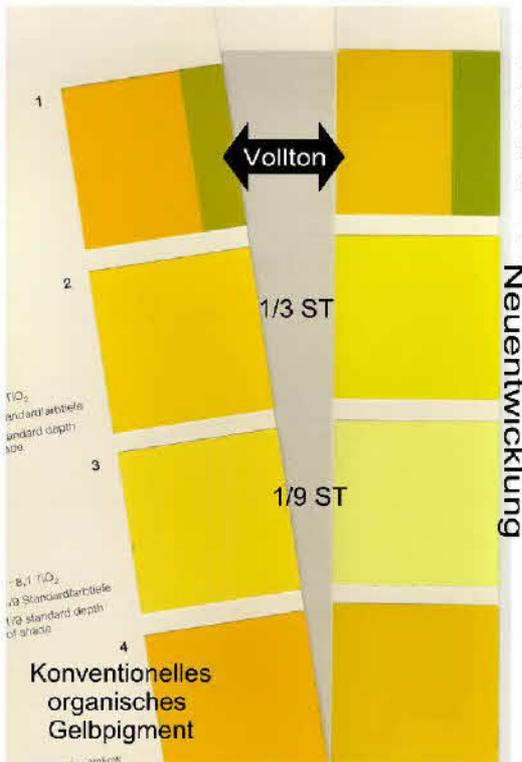


Bild 12 Musterkartenblätter eines Pigmentherstellers

Und man kann die sichtbaren Unterschiede verbal „blumig“ beschreiben: „Das neue Pigment ist eher das Gelb einer frischen Narzisse“... oder man kann es quantitativ und den Möglichkeiten der modernen industriellen Farbmeterik adäquat mit folgenden Farbcharakteristiken tun, wo man mit einem Blick die koloristischen Unterschiede erfassen kann:

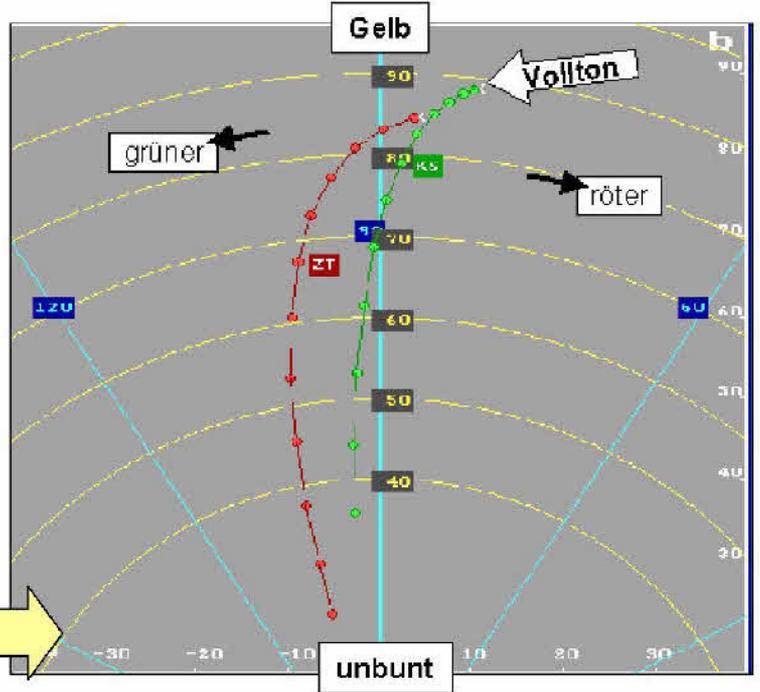


Bild 13 a/b-Sicht der Farbcharakteristiken links Neuentwicklung, rechts konventionelles Gelb

Bildschirm-Schnappschüsse von einem Farbcharakteristik Programm.

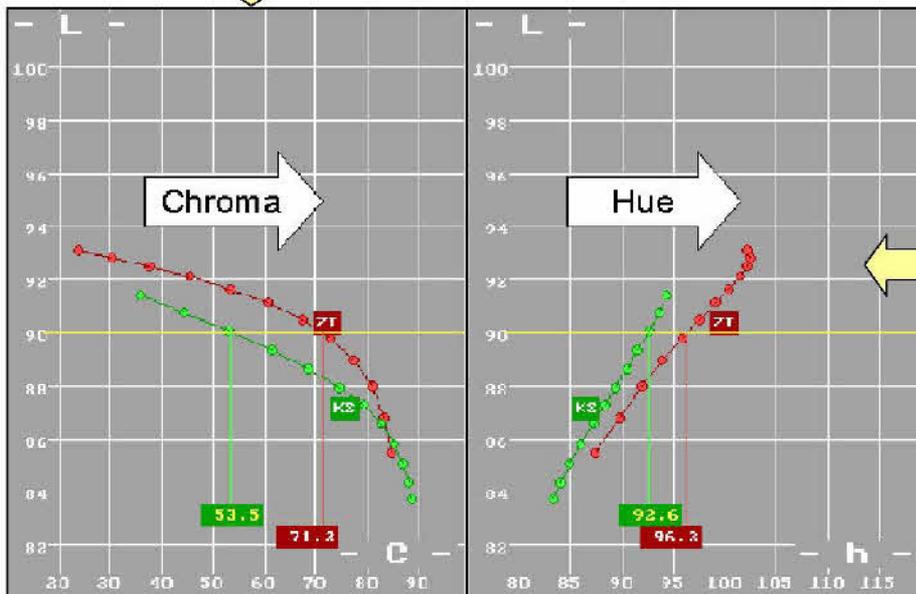


Bild 14 L / C und L / h – Kennlinien der beiden Gelbpigmente

Das Programm findet automatisch die optimalen Skalenteilungen und damit den besten Abbildungs-Maßstab. Als Vergleichs-Niveau ist L=90 gesetzt. Die hier bestehenden C und Hue berechnet das Programm. ZT, das neue Pigment ist wesentlich brillanter. $\Delta C = 17(!)$ und $\Delta H = 4$ grüner.

Man sagt gerne, ein Bild sagt mehr als

1000 Worte. In der Tat: Mit 1000 Worten wären die vorliegenden koloristischen Unterschiede kaum zu beschreiben. Die Pigment-Industrie wie auch die Pigment-Verarbeiter könnten beide Nutzen aus der „Sprache“ der Farbcharakteristiken ziehen.

Zum Schluss sollen noch zwei interessante Anwendungen des L/C und L/h-Plots gezeigt werden.

Bewertung der Farbwiedergabe von Raster- und Tiefdruck

Helligkeits- und Chromastufungen werden bei der Wiedergabe farbiger Bilder im Raster-Mehrfarbendruck (Buch/Offsetdruck) und beim Tiefdruckverfahren auf sehr unterschiedliche Weise produziert. Mit unserer Methode des L/C- und L/h-Plots lassen sich über die Güte dieser Bildwiedergabe-Techniken interessante Aussagen machen.

Rasterverfahren, Autotypie

Die Farbgebung der Bildelemente wird durch eine mehr oder weniger dichte Besetzung eines Flächenelementes mit Rasterpunkten gesteuert. Jeder Punkt ist mikroskopisch betrachtet ein „Vollton“ mit maximaler Farbgebung (max. Dichte). Ein sehr helles Blau wie Himmelblau entsteht dabei optisch dadurch, dass der Flächenanteil der dunkelblauen Volltonpunkte zugunsten des Papierweiß stark reduziert wird. Wahrgenommen wird die additive Mischung aus dem Flächenanteil des Volltons und dem Anteil des Papierweiß.

Die resultierenden Farbmaßzahlen X,Y,Z rechnen sich nach Neugebauer² sehr einfach aus ihrem Flächenanteil. Der Farbwert X eines Rasterdruckes mit der Rasterdeckung ist z.B.:

$$X_{\text{Raster},\alpha\%} = \alpha \times X_{100\%} + (1 - \alpha) \times X_{\text{Papier}}$$

usw. für Y und Z.

Die Farbe bzw. die Farbwerte von übereinander gedruckten Farbauszügen berechnet sich entsprechend durch Aufsummierung aller Produkte aus den Flächenanteilen der nicht überlappenden Rasterpunktanteile und ihren Farbwerten, sowie der Überlappungen und der resultierenden Mischfarben 1. und 2. und 3. Ordnung.

Beim Rasterdruck wird eine 50%ige Farbgebung in einem Bildelement also dadurch erreicht, dass die konstant dicken (Vollton-) Farbpunkte 50% der Fläche bedecken.

Tiefdruck

Im Tiefdruck wird die gleiche Druckfarbenmenge auf 100% der Fläche in *halber Dicke* verteilt.

Welche Mischtechnik ist ergiebiger und bringt das bessere Bild?

Die Antwort bringt eine einfache Vergleichsrechnung des Geschehens schon an einer beliebigen Wellenlänge:

Der 50%-Raster ($R_{\text{Vollton}} = 1$, d.h. Dichte = 2) auf Papier mit $R_{\text{Papier}} = 90$ besitzt ein $R = 45.5\%$ d.h. Dichte = 0.34.

Die Dichte des Tiefdrucks errechnet sich nach dem Lambert-Beerschen Gesetz (angenähert) zu

Mit

α = Bruchteil der maximalen Ätztiefe
Vollton

D = Dichte des Volltons

$$R_{\alpha} = R_{\text{Papier}} \times 10^{-\alpha D}$$

Mit den gleichen R-Werten für den Vollton und für das Papier ergibt sich für den Tiefdruck $R = 9.0\%$ (Dichte = 1.046)

² H.E.J. Neugebauer, Z. für wissenschaftliche Photographie, Photophysik und Photochemie, 36, 1937, S.73-89

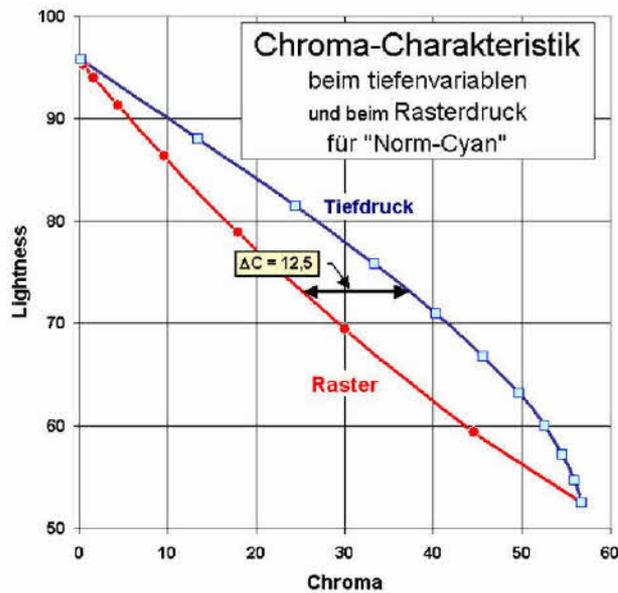


Bild 15 Bei allen Helligkeiten ist beim Tiefdruckverfahren ein wesentlich höheres Chroma möglich, d.h. die Farbwiedergabe im Tiefdruck ist dem Raster-Druck (Offset/Buchdruck) deutlich überlegen.

Obige Rechnungen sind für die gewünschten α -Flächenanteile bzw. Tiefen an jeder Wellenlänge durchzuführen, anschließend werden die X,Y,Z-Werte der entstandenen R-Spektren berechnet und weiter die L,a,b und C, h-Werte. So kommt es z.B. bei einem Normcyan zur nebenstehenden Gegenüberstellung.

Im Zeitschriften-Verlagswesen bzw. in der Werbung spielt die Offset/Tiefdruck-Konversion eine wichtige Rolle. Man verlangt in beiden Techniken gleiche Resultate. Folglich muss man Tiefdruckbilder künstlich schlechter (schmutziger, weniger brillant) machen, als sie sein könnten!

Auswertung von Multiangel-Messungen

Die mit Multiangel-Geräten messbare Variabilität der Farbe von Effektlacken, ihre Gonio-Chromazität zeigt man normalerweise, indem man z.B. L, C und h als Funktion des Beobachtungswinkels darstellt.

Je näher der Beobachtungswinkel am Glanzwinkel liegt, desto eher wird das Spektrum einem in Transparenz gemessenen vergleichbar sein. Gleicher reiner Metalleffekt (gleiche Orientierungsverteilung der Metallplättchen) vorausgesetzt wird die Helligkeit L und das Chroma C umso schneller mit steigendem Beobachtungswinkel abfallen, je weniger der Spiegel durch Lichtstreuung gestört wird. Je größer die Lichtstreuung, desto geringer der Helligkeits- und der Buntheitsflop. Der Metalleffekt kommt also bei lasierenden Pigmenten am „ungetrübtesten“ zum Vorschein. Je lichtstreuender andererseits die enthaltenden Pigmente, desto geringer der Flop,

umso ähnlicher wird die Metalllackierung einer Uni-lackierung.

Eine Möglichkeit auch Ergebnisse zu vergleichen, die von Geräten mit unterschiedlichen Beobachtungswinkeln stammen, bietet sich mit der Darstellung analog den weiter oben beschriebenen Farbcharakteristiken, wo C und h als Abszissen und L als Ordinate verwendet sind.

Je größer der in Anspruch genommene Lightness-, Chroma- und Hue-Bereich, desto ausgeprägter der Spiegel, desto wertvoller der Metalleffekt!

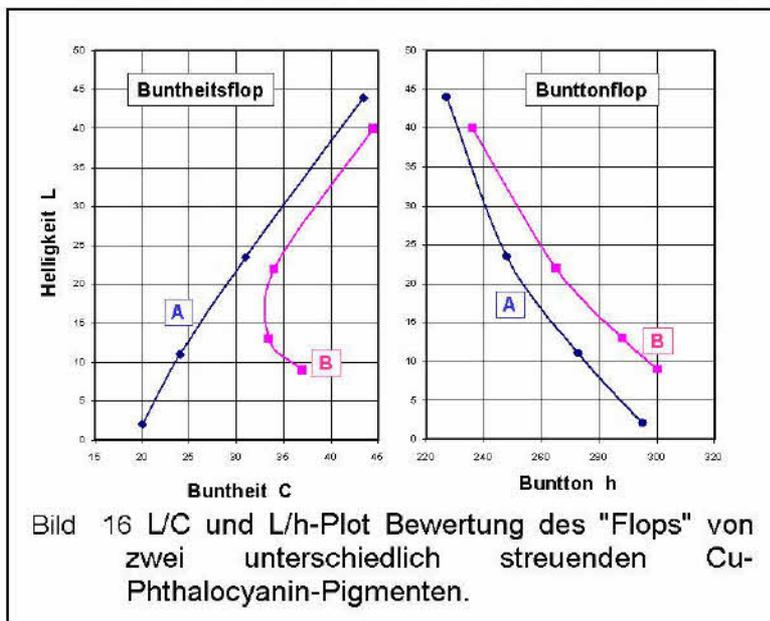


Bild 16 L/C und L/h-Plot Bewertung des "Flops" von zwei unterschiedlich streuenden Cu-Phthalocyanin-Pigmenten.

Erprobung empfohlen!

Die Methode sei der Fachwelt zur



*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.
im Deutschen Verband Farbe*

Vorschau DfwG Report 03 2009

Im nächsten DfwG Report erwarten Sie voraussichtlich folgende Beiträge:

Bericht von der DfwG-Jahrestagung 2009

Einige Vorträge der Tagung