



# Report

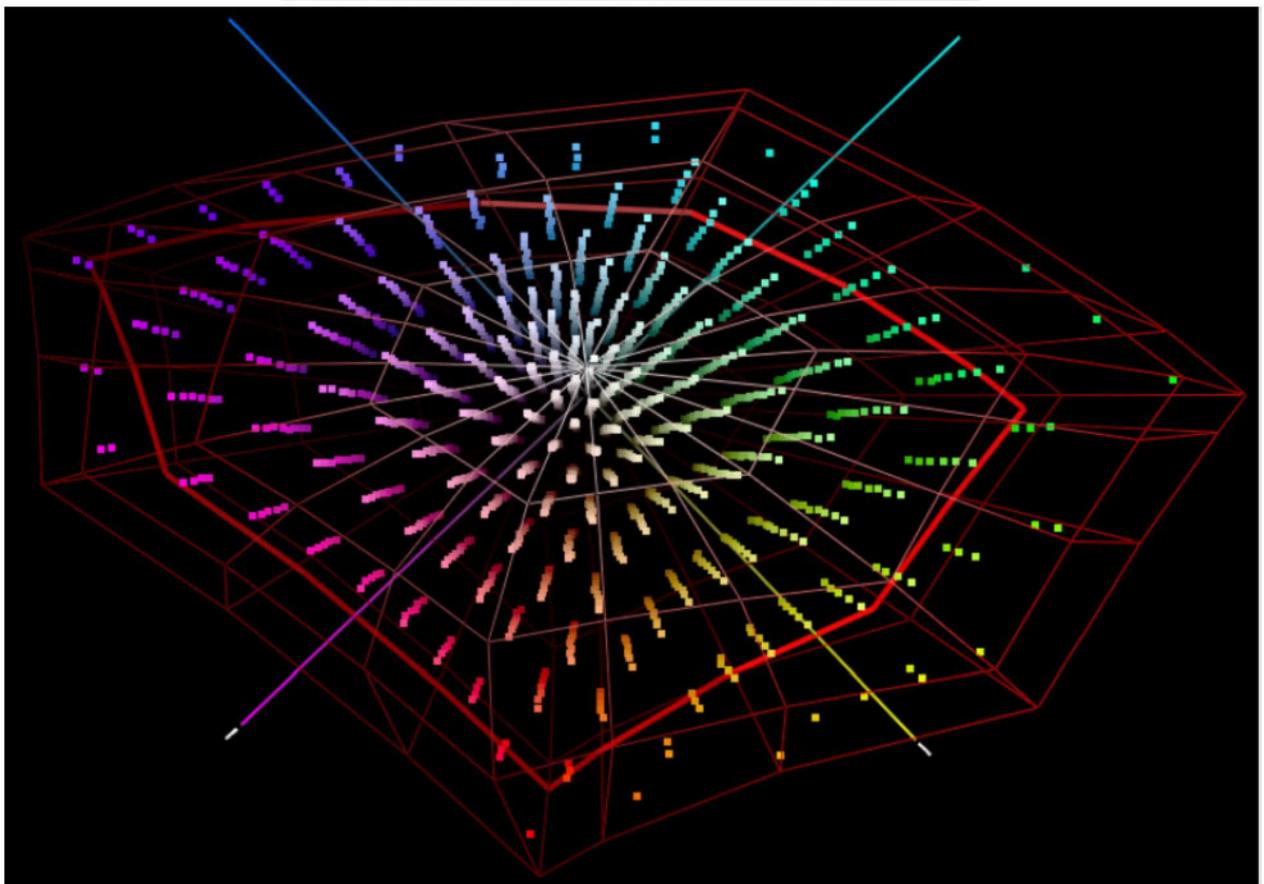
1  
2010

ISSN 1860-2835

## Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Gerhard Rösler





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

*Inhaltsverzeichnis Report 01 2010*

<i>Impressum .....</i>	<i>2</i>
<i>Liebe Farbgemeinde, .....</i>	<i>3</i>
<i>Kassenbericht 2009 .....</i>	<i>4</i>
<i>Kassenprüfprotokoll 2009 .....</i>	<i>5</i>
<i>Farbwiedergabe .....</i>	<i>6</i>
<i>Einfluss der Fluoreszenz von optischen Aufhellern im Papier auf die Farbwiedergabe beim Drucken .....</i>	<i>20</i>
<i>Farbdifferenzen durch 8 bit-Quantisierung: Gibt es ein optimales RGB-Gamma? Simulationsrechnungen für Matrixfarbräume .....</i>	<i>33</i>
<i>Metamerie-Effekte in der Druckindustrie: Wie stark ist sie ausgeprägt und wie misst man sie? .....</i>	<i>40</i>
<i>Vorschau DfwG Report 02 2010 .....</i>	<i>51</i>

***Impressum***

***ISSN 1860-2835***

*Titel: Bilder aus den Vorträgen von Peter Bodrogi und Johannes Hoffstatt*

*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**

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](http://www.dfwg.de)

Juli 2010

**Liebe Farbgemeinde,**

als erstes danke ich Herrn Prof. Daum von der BAM für die Möglichkeit, die diesjährige DfwG Jahrestagung als Gemeinschaftsveranstaltung an der BAM zu veranstalten. Als Hausherr bietet er uns ideale Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Tagung an der ehemaligen Wirkungsstätte von Prof. Manfred Richter (und mittlerweile auch z.B. von Dr. Witt, Dr. Döring, Dr. Czepluch, Dr. Gundlach, Prof. Terstiege um nur einige zu nennen). Der verbliebene kleine Kreis um H. Dr. Steckert, H. Günther, H. Otto hat sicher alle Hände voll zu tun, um nur das allernötigste am Laufen zu halten. Wie bereits vom DIN FNF Beirat mehrfach einstimmig betont hoffen viele auf eine Aufrechterhaltung der wichtigen Dienstleistungen und den Wiederaufbau (nach dem großen „Aderlass“ in den vergangenen Jahren) der BAM Arbeitsgruppe „Optische Messverfahren und Referenzmaterialien“, die in der Vergangenheit Weltstandards gesetzt hat mit Forschung, einzigartigen Messplätzen und Fachkompetenz.

als erstes danke ich Herrn Prof. Daum von der BAM für die Möglichkeit, die diesjährige DfwG Jahrestagung als Gemeinschaftsveranstaltung an der BAM zu veranstalten. Als Hausherr bietet er uns ideale Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Tagung an der ehemaligen Wirkungsstätte von Prof. Manfred Richter (und mittlerweile auch z.B. von Dr. Witt, Dr. Döring, Dr. Czepluch, Dr. Gundlach, Prof. Terstiege um nur einige zu nennen). Der verbliebene kleine Kreis um H. Dr. Steckert, H. Günther, H. Otto hat sicher alle Hände voll zu tun, um nur das allernötigste am Laufen zu halten. Wie bereits vom DIN FNF Beirat mehrfach einstimmig den vergangenen Jahren) der BAM Arbeitsgruppe „Optische Messverfahren und ....

Bis zum nächsten Mal verbleibe ich mit freundlichen Grüßen

**Ihr Gerhard Rösler**

## Kassenbericht 2009

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



**Einnahmen - und Ausgabenrechnung  
für die Zeit  
vom 1.1.2009 bis zum 31.12.2009**

<b>Einnahmen</b>		<b>Ausgaben</b>	
Mitgliedsbeiträge	6.390,00 €	Verwaltungskosten	508,10 €
Tagungseinnahmen	3.530,00 €	Tagungskosten	1.982,78 €
Spenden	600,00 €	Reportkosten	5.028,17 €
		Förderpreis	1.000,00 €
		Sonstige Ausgaben	599,20 €
<b>Summe</b>	<b>10.520,00 €</b>	<b>Summe</b>	<b>9.118,25 €</b>
<b>Überschuss</b>	<b>1.401,75 €</b>		
<b>Kontostände</b>			
Saldo 31.12.2008	8.131,96 €		
Saldo 31.12.2009	9.533,71 €		
<b>Überschuss</b>	<b>1.401,75 €</b>		

Berlin, den 12.04.2010

*Steckert*

Dr.-Ing. Carsten Steckert  
(Schatzmeister)

## Kassenprüfprotokoll 2009

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



### Protokoll der Kassenprüfung für 2009

Am 10. Mai 2010 wurde die Prüfung der DfwG-Kasse für das Jahr 2009 in der Firma Lichtmesstechnik GmbH Berlin durch die Kassenprüfer Dr. rer. nat. Günter Döring und Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Reißmann durchgeführt..

Überprüft wurden Anfangs- und Endbestand der Kasse für das Jahr 2009, die Ausgabebelege komplett und die Einnahmenbelege stichprobenartig.

#### Ergebnis:

Die Geldmittel der DfwG per 31.12.2009 stimmen laut Auszügen der Berliner Sparkasse mit dem Endbestand überein, der sich aus dem Anfangsbestand per 31.12.2008 und den Einnahmen und Ausgaben im Geschäftsjahr 2009 ergibt.

Die Buchführung war transparent und übersichtlich, was die Prüfung sehr erleichtert und angenehm gemacht hat.

Von als Thermodrucke oder als Durchschriften von Überweisungsaufträgen vorliegenden Belegen, die nicht beständig und nach einigen Jahren nicht mehr lesbar sind, liegen Fotokopien vor.

Zusammenfassend wird aufgrund der Prüfung der Belege die Ordnungsmäßigkeit der Kassenführung der DfwG bescheinigt.

Berlin, den 11.5.2010

Berlin, 17.05.2010

Dr. rer. nat. Günter Döring  
(Kassenprüfer)

Klaus Reißmann  
Kassenprüfer

# Farbwiedergabe

Peter Bodrogi, Stefan Brückner, Tran Quoc Khanh; FG Lichttechnik, TU Darmstadt

## Farbwiedergabe



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

Peter Bodrogi, Stefan Brückner, Tran Quoc Khanh  
FG Lichttechnik, TU Darmstadt



## DfwG Jahrestagung 2009

FGLT

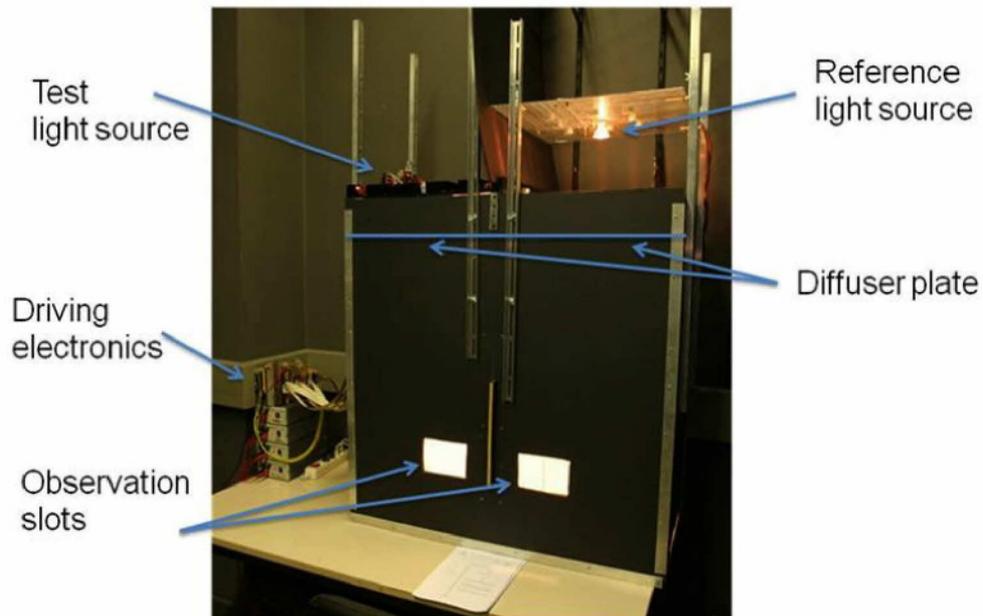
## Warum Neudefinition?



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

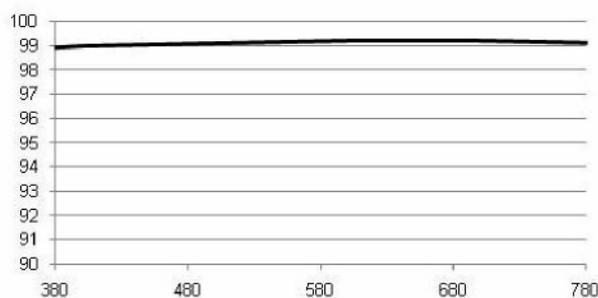
- Jetzige CRI Ra Definition gibt visuelle Testergebnisse nicht korrekt wieder
- Ein Grund: Visuell nicht gleichabständiger Farbraum
- Unser Vorschlag zur Neudefinition:
  - Neuer CIECAM02 Farbraum
  - Visuelle Experimente mit
    - Halogenleuchtstofflampen
    - Leuchtstofflampen
    - Weiße LEDs, RGB-LEDs
  - Basiert auf der Einstufung von Farbdifferenzen in Kategorien

## Testaufbau



## Messtechnik

- Minolta CS1000 Spektroradiometer, kalibriert
- Messung mit PTFE-Weißstandard

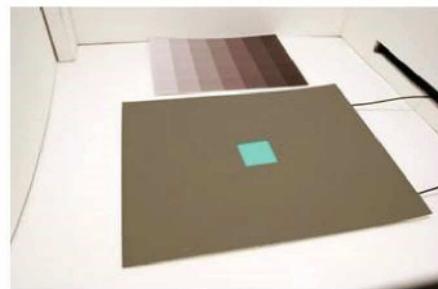


- Test- und Referenzlichtquelle gleich einstellen
  - Leuchtdichte
  - **Farbort**, nicht nur Farbtemperatur (im Zweifelsfall visuell! – RGB LEDs)

## Testfarben



- 17 Testfarben
  - Munsell Colour Checker Chart
  - CQS Farben
- 4° Beobachtungswinkel
- Umfeld Grau  $L^*=50$
- 1000 lx (photopisch)

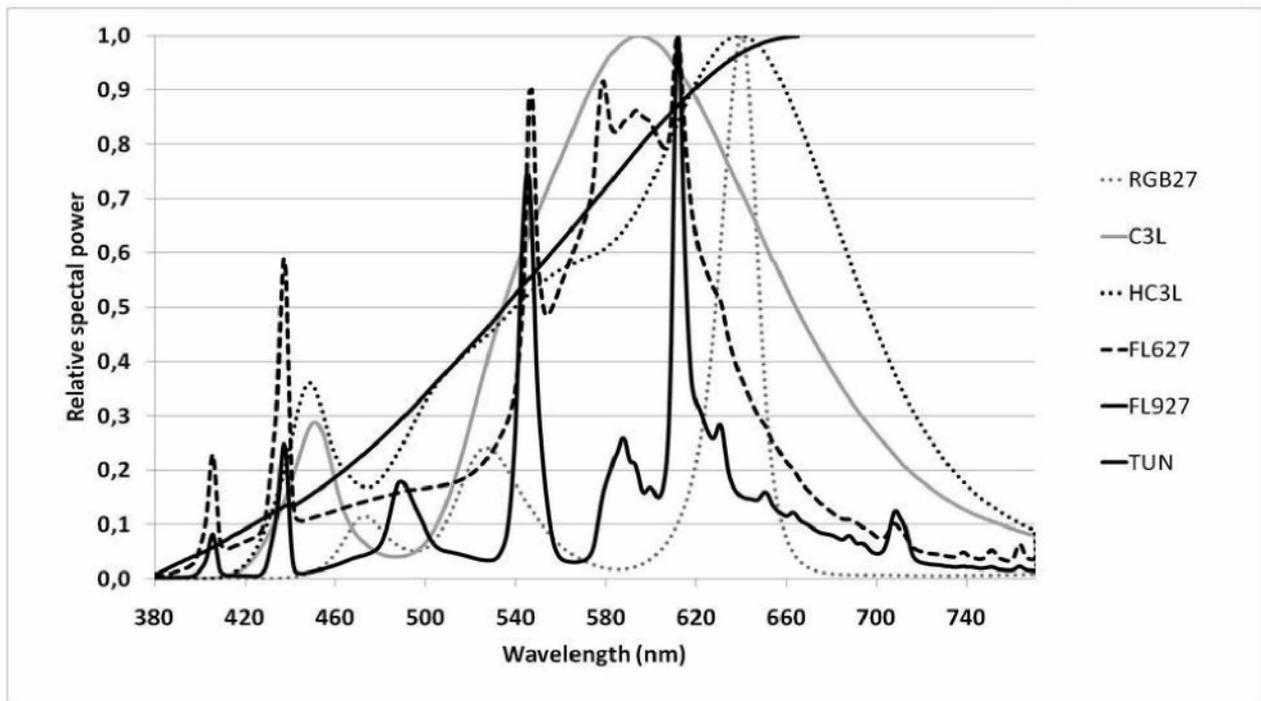


## Lichtquellen – 2700K



Test	Referenz
Weißer LED 'C3L' $R_a = 67$	Halogen 2700 K $R_a = 97$
Weißer LED 'HC3L' $R_a = 97$	
LED R+G+B $R_a = 17$	
LL '640' $R_a = 64$	
LL '930' $R_a = 90$	

## Lichtquellen – 2700K



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 7



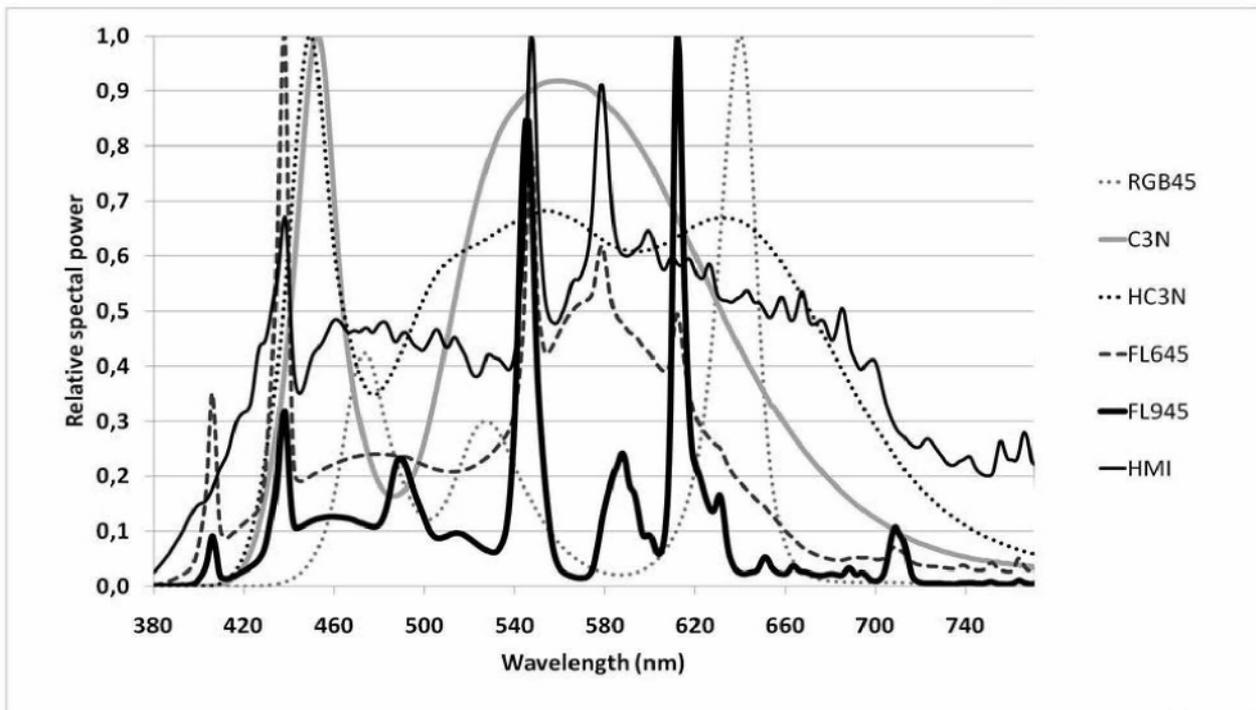
## Lichtquellen – 4500K

Test	Referenz
HC3N, $R_a = 95$	HMI 4500 K $R_a = 91$
C3N, $R_a = 69$	
RGB45, $R_a = 22$	
FL645, $R_a = 68$	
FL945, $R_a = 92$	

TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 8



# Lichtquellen – 4500K



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 9



# Fragebogen



**Variable R**

- 1 tadellos
- 2 gut
- 3 tolerierbar
- 4 nicht annehmbar
- 5 sehr schlecht

**Variable P**

tadellos

sehr schlecht

**Variable  $\Delta E_{vis}$**

Grauskala

Kein Unterschied

dunkler  -6  -5  -4  -3  -2  -1  0  +1  +2  +3  +4  +5  +6 heller

grüner  -6  -5  -4  -3  -2  -1  0  +1  +2  +3  +4  +5  +6 roter

blauer  -6  -5  -4  -3  -2  -1  0  +1  +2  +3  +4  +5  +6 gelber

blasser  -6  -5  -4  -3  -2  -1  0  +1  +2  +3  +4  +5  +6 kräftiger

TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 10



## Testpersonen und Sehparameter



- 8 Testpersonen \* 10 Lampentypen \* 17 Farben = 1360 Auswertungen
- Normales Farbsehen (Farnsworth D-15 Test)

Sehparameter	Wert
Referenzweiß $Y_n$	323 cd/m <sup>2</sup>
CIECAM02 $Y_b; L_A$	19; 62 cd/m <sup>2</sup>
CIECAM02 $F; c; N_C$	1.0; 0.69; 1.0

## Korrelation ( $r$ ) $\Delta E_{vis}$ und $\Delta E_{calc}$



	CIELAB	CIEDE 2000	CIECAM 02	CAM02- LCD	CAM02- SCD	CAM02- UCS
$\Delta E_{vis}$	0.596	0.609	0.645	0.651	0.650	0.654
$z\Delta E_{vis}$	0.647	0.660	0.698	0.704	0.702	0.706

## Definition des RCRI – Step 1: Farbunterschiede



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**Step 1.** For a given test light source, compute the color differences  $\Delta E_{\text{calc}}$  by the CAM02-UCS formula for every one of the seventeen test color samples ( $\Delta E_{\text{calc},k}$ ;  $k=1-17$ ). Spectral reflectances of the samples are given in columns D-T of the sheet “UCS” of the file “cie-tc-1-69-darmstadt-rcri-method.xlsx”. Color differences shall be calculated between the test light source and its reference light source (as defined by CIE Publ. 13.3-1995, 1995):

$$\Delta E_{\text{calc},k} = \sqrt{(\Delta J'/K_L)^2 + \Delta a'^2 + \Delta b'^2}$$

where

$$J' = \frac{(1 + 100c_1)J}{1 + c_1J}$$

$$M' = (1/c_2)\ln(1 + c_2M)$$

$$a' = M' \cos(h), \quad b' = M' \sin(h),$$

TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 13

FGLT

## Definition des RCRI – Steps 2 and 3: Kategorisierung nach den Mittelwerten der Kategorien tadellos, gut, tolerierbar, nicht annehmbar und sehr schlecht



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**Step 2.** For every test color sample ( $k=1-17$ ) compute the following five values (absolute differences):

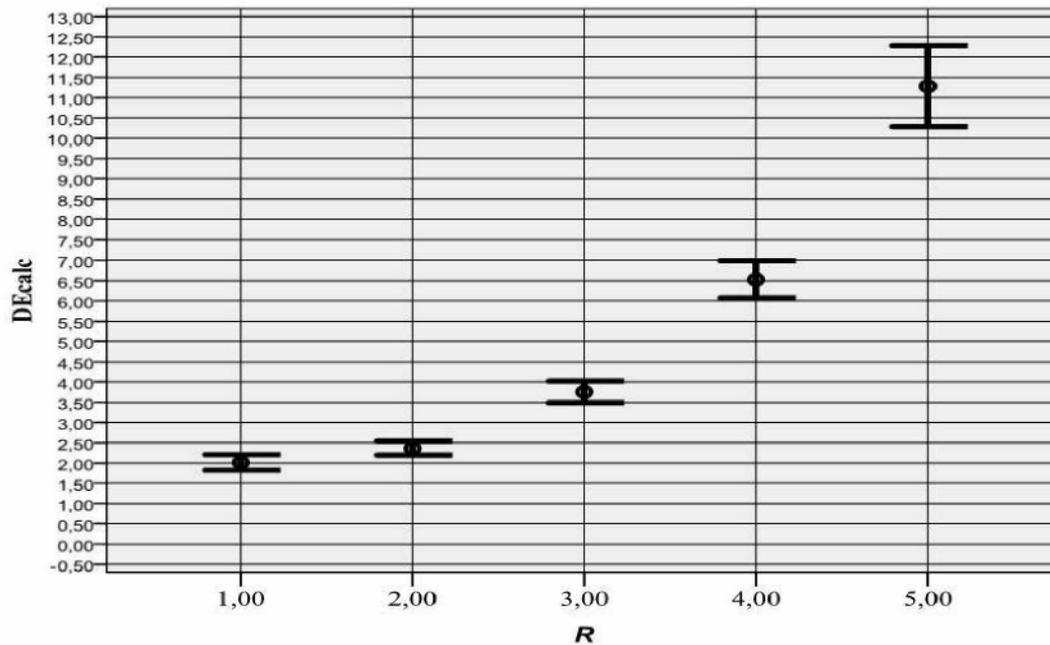
$$\begin{array}{lll} 1^{\text{st}}: | 2.0146 - \Delta E_{\text{calc},k} |; & 2^{\text{nd}}: | 2.3681 - \Delta E_{\text{calc},k} |; & 3^{\text{rd}}: | 3.7538 - \Delta E_{\text{calc},k} |; \\ 4^{\text{th}}: | 6.5312 - \Delta E_{\text{calc},k} |; & 5^{\text{th}}: | 11.2818 - \Delta E_{\text{calc},k} |. & \end{array}$$

**Step 3.** Determine which one of the above five absolute differences is the smallest. If (for the  $k$ th test color sample) the 1<sup>st</sup> difference is the smallest then the predicted ranking of the  $k$ th test color sample is equal 1. If (for the  $k$ th test color sample) the 2<sup>nd</sup> difference is the smallest then the predicted ranking of the  $k$ th test color sample is equal 2. If (for the  $k$ th test color sample) the 3<sup>rd</sup> difference is the smallest then the predicted ranking of the  $k$ th test color sample is equal 3. If (for the  $k$ th test color sample) the 4<sup>th</sup> difference is the smallest then the predicted ranking of the  $k$ th test color sample is equal 4. If (for the  $k$ th test color sample) the 5<sup>th</sup> difference is the smallest then the predicted ranking of the  $k$ th test color sample is equal 5.

TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 14

FGLT

## Definition des RCRI – Steps 2 and 3: Kategorisierung nach den Mittelwerten der Kategorien tadellos, gut, tolerierbar, nicht annehmbar und sehr schlecht



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 15



## Definition des RCRI – Steps 4-7: Anzahl der tadellosen und guten Farbmuster zusammenrechnen und transformieren



**Step 4.** Calculate the predicted rankings for every test color sample ( $k=1-17$ ).

**Step 5.** Count the number  $N_1$  of those test color samples that have a predicted ranking equal 1.

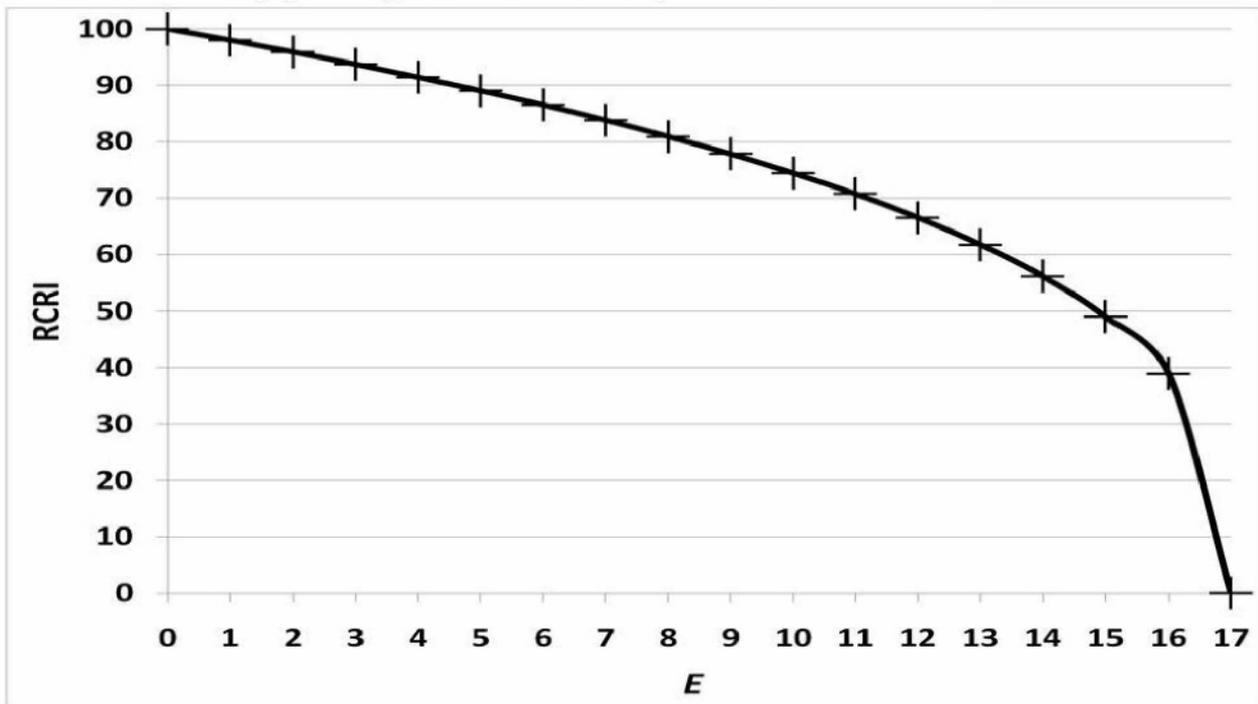
**Step 6.** Count the number  $N_2$  of those test color samples that have a predicted ranking equal 2.

**Step 7.** Compute RCRI (the new rank order based color rendering index) in the following way:  $RCRI=100 [(N_1+N_2) / 17]^{1/3}$

TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 16



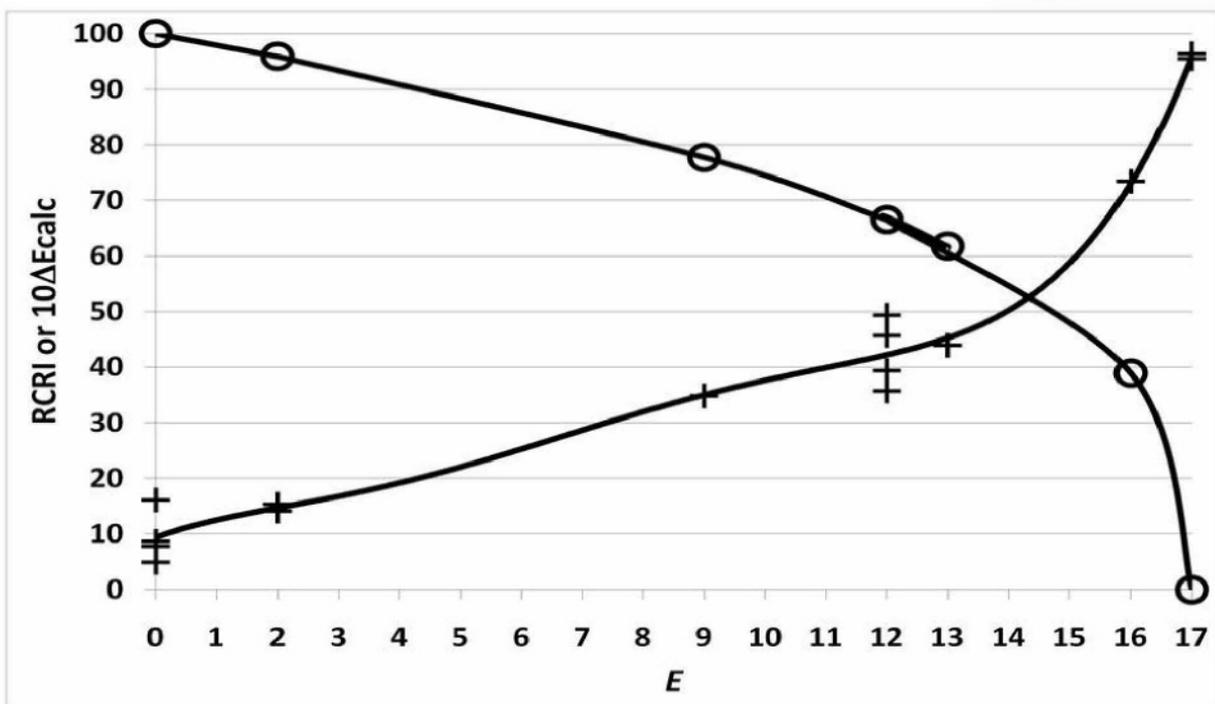
## RCRI und die Anzahl $E$ nicht {guter oder tadelloser} (d.h. „fehlerhafter“) Muster



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 17



## RCRI und durchschnittliche Farbunterschiede



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 18



## Neuer CRI nach Ronnier Luo et al. (Leeds)

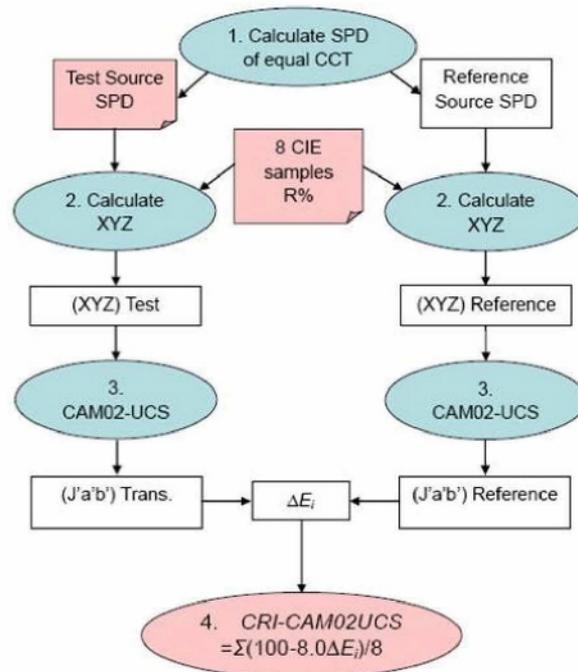
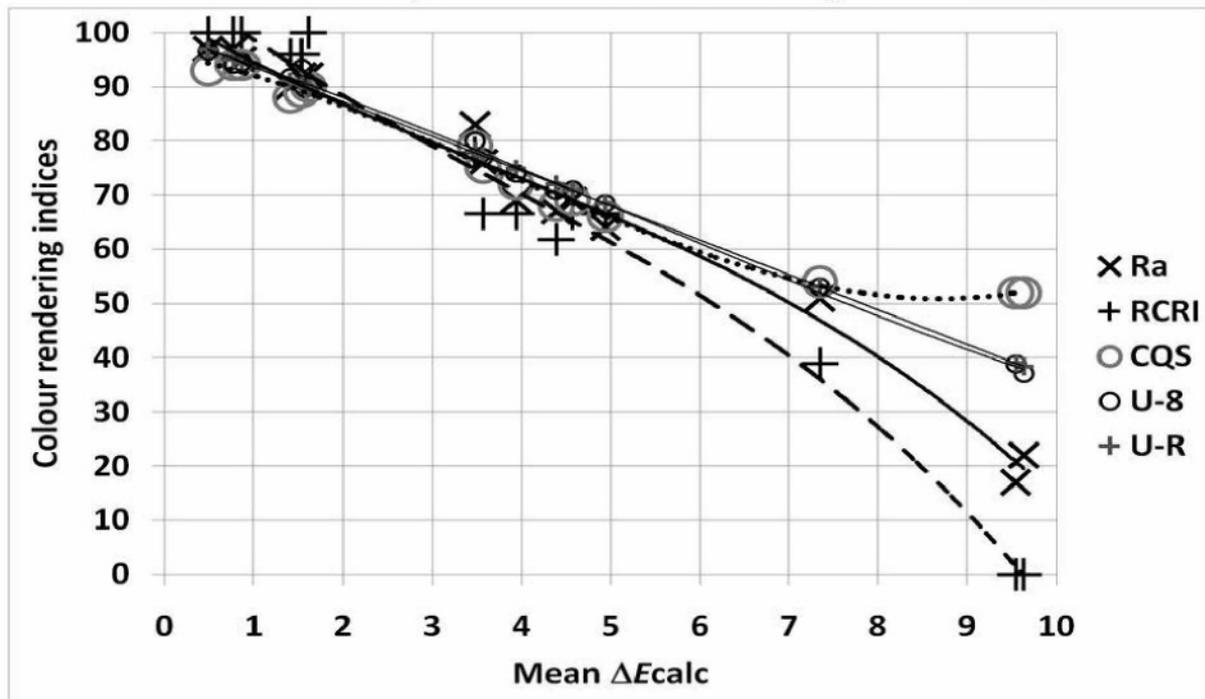


Figure 1b The workflow for calculating the CRI-CAM02UCS.

## Neuer CRI nach Ronnier Luo et al. (Leeds)

In CIE CRI, a scaling factor of 4.6 is used to scale colour differences into colour rendering indices, and the average value of the colour rendering indices of the first eight reflective samples is used as the indication of the general colour rendering index ( $R_a$ ) (see literature survey). The scaling factor of 4.6 is defined so that the  $R_a$  of a warm white fluorescent lamp has a value of 51. In order to maintain consistency with the current CIE CRI, a different scaling factor is used in calculating the value of the CRI-CAM02UCS, since the colour differences are calculated in a different colour space. The new scaling factor is determined so that the average score of the CRI-CAM02UCS for the CIE standard fluorescent lamps (F1 through F12) is equal to the average score of the CIE CRI ( $R_a=75$ ) for these sources. Thus, this scaling factor maintains consistency of the new colour rendering index scale with the current CIE

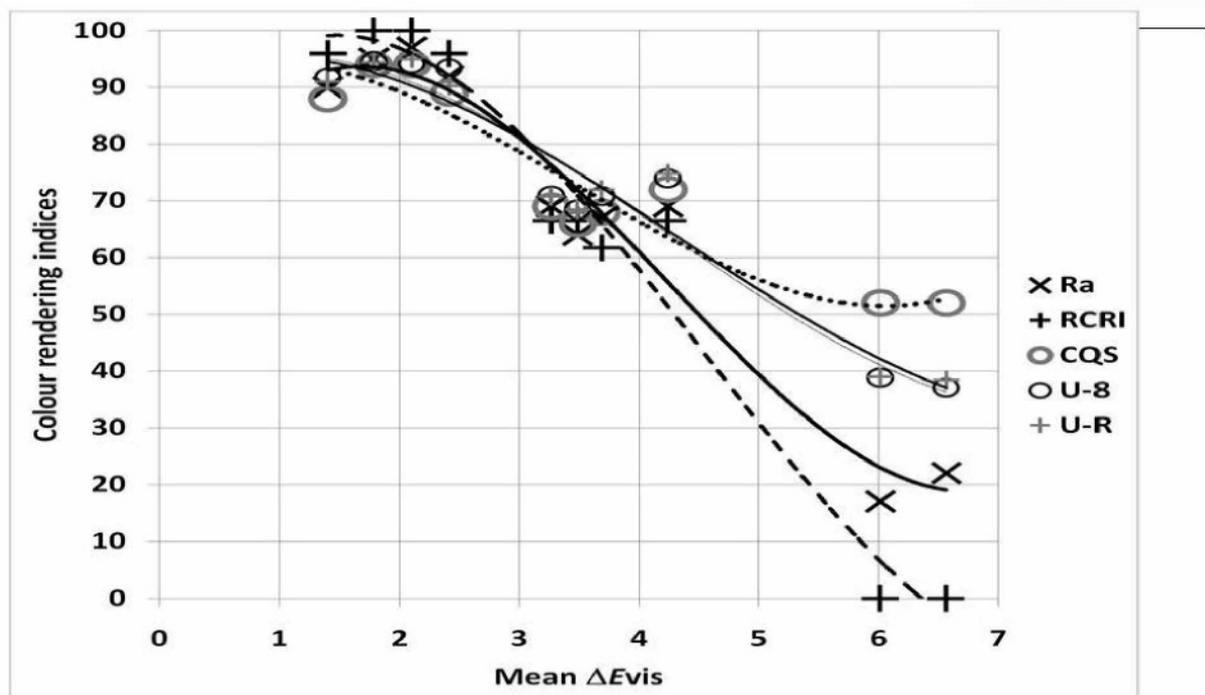
## Vergleich des RCRI mit anderen Indizes U-8: Leeds method; U-R: with RCRI samples



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 21



## RCRI und durchschnittliche visuelle Farbunterschiede



TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | 22

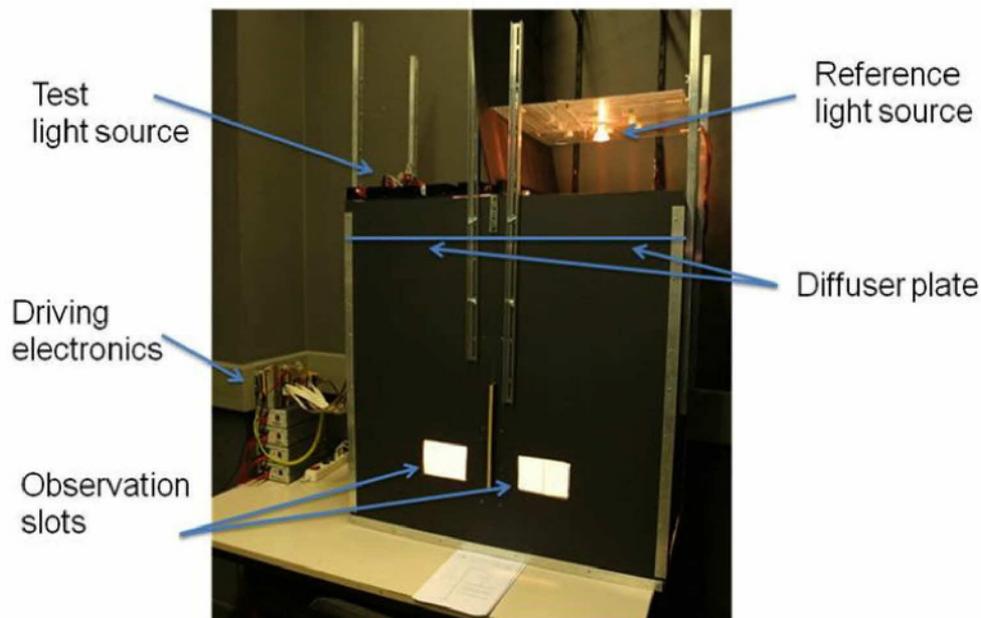


## Weitere RCRI-Möglichkeiten



RCRI	Definition	Remark
RCRI1	$(100/68) (85-S)$ with $S:=$	Based on the sum of the predicted ranking categories ( $R_k$ )
RCRI2	25 [5-Median ( $R_k$ )]	Based on the median of $\{R_k\}$
RCRI3	25 [5-Mode ( $R_k$ )]	Based on the mode of $\{R_k\}$
RCRI4	$100 N / 17$	Based on the number of excellent and good rankings, $N=N_1+N_2$
RCRI5	$(100/17)(N_1+N_2+N_3/3)$	Based on the number of excellent, good and acceptable ratings. The number of acceptable ratings is weighted by (1/3)
RCRI6	$100[(1/21)(N'_1+N'_2)]^{1/3}$	Based on the number of excellent and good rankings ( $N'_1+N'_2$ ) in the weighted ranking histogram
RCRI7	$100[(1/21)(N'_1+N'_2)]$	Based on the number of excellent and good rankings ( $N'_1+N'_2$ ) in the weighted ranking histogram
RCRI8	$(100/21)(N'_1+N'_2+N'_3/3)$	Based on the number of excellent, good and acceptable ratings in the weighted ranking histogram. The number of acceptable ratings is weighted by (1/3)
RCRI9	$(100/84) \cdot (105-N'_1-2N'_2-3N'_3-4N'_4-5N'_5)$	Based on the sum of the predicted ranking categories by using the weighted ranking histogram

## Forschungsvorhaben Phase-1 (bereits vervollständigt)



## Forschungsvorhaben: Phase-2 (Stilleben)



**Zwei Testreihen:**

**-Vegleich Kompaktleuchtstofflampen  
mit Retrofit LED**

**-Allumfassender Test mit allen obigen  
Lichtquellen (gleicher Fragebogen)**

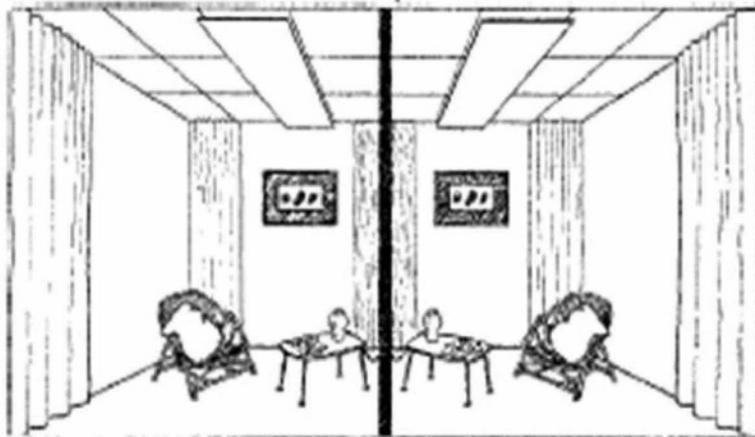




## Forschungsvorhaben: Phase-3 (Realer Raum)



### Phase-3: Final validation experiment in a real test room (future)



Comment: the above Figure is taken from Bellchambers and Godby, Lighting Res. 4/2, 1972.

# Einfluss der Fluoreszenz von optischen Aufhellern im Papier auf die Farbwiedergabe beim Drucken

Dipl.-Ing. Katharina Kehren; Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, TU Darmstadt

Bei den Untersuchungen geht es um die Beeinflussung der Farbwiedergabe beim Drucken durch optische Aufheller im Papier.

## Gliederung



- Problemstellung und Zielsetzung
- Lösungsweg
  - Auswahl von Papieren
  - Beschreibung der Fluoreszenz
    - Fluoreszenzanteil
    - Fluoreszenzmatrix
  - Erstellung von Druckproben
  - Analyse der Interaktionen
    - Tonwertzunahme
    - Farbabstand
  - Modellierung von Farbabständen
  - Einsatz des Modells
- Zusammenfassung und Ausblick

07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 2



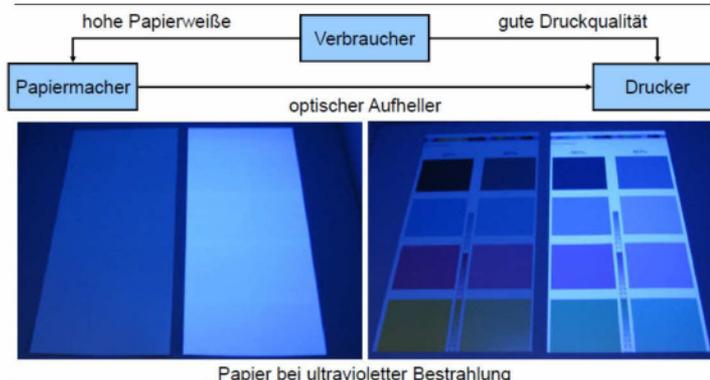
Zunächst wird eine kurze Einführung in die Probleme beim Bedrucken von optisch aufgehellten Papieren und die daraus resultierenden Ziele geben.

Auf dem Weg zur Lösung wurden zunächst Papiere ausgewählt. Zur Charakterisierung ihrer Fluoreszenzeigenschaften wurden die ausgewählten Papiere im unbedruckten Zustand optisch vermessen. Um auch die Interaktionen zwischen Papier und Druckfarbe beschreiben zu können, wurden die Papiere mit Testfeldern bedruckt. Die Druckproben wurden ebenfalls optischen Messungen unterzogen.

Das Resultat der Untersuchungen ist eine einfache Methode zur Bewertung des Einflusses der Fluoreszenz auf der Farbwiedergabe. Das zur Minimierung des Messaufwands entwickelte, empirische Modell wird an der entsprechenden Stelle erklärt.

Schließlich werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst und ein Ausblick über den Nutzen in der Papierherstellung und der Druckindustrie wird gegeben.

## Problemstellung und Zielsetzung



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 3



Der Verbraucher wünscht sich Drucke von guter Qualität auf hochweißem Papier. Auf den Wunsch des Kunden nach Papier einer möglichst hohen Weiße reagiert der Papierhersteller mit der Zugabe von

optischen Aufhellern. Durch die Fluoreszenz des optischen Aufhellers wird die Erfüllung des Wunsches nach hochwertigen Drucken mit guter Farbqualität jedoch zusätzlich erschwert. Die Probleme bei der Farbproduktion rufen zwischen Papierproduzenten und Druckern immer wieder Streitigkeiten hervor.

Die Abbildungen zeigen Paare von Papieren ohne optischen Aufheller und mit optischem Aufheller im unbedruckten Zustand und bedruckten Zustand. Die Papiere liegen in einer Abmusterungskabine und sind ultravioletter Strahlung ausgesetzt, welche die optischen Aufheller zur Fluoreszenz anregt. Im unbedruckten Zustand stellen Unterschiede in der optischen Erscheinung, die durch Fluoreszenz entstehen, kaum ein Problem dar. Probleme in der Farbwiedergabe, die sich beim Bedrucken optisch aufgehellter Papiere ergeben, sind bis heute jedoch nicht gelöst.

Bei der Behandlung des Problems müssen sowohl die Fluoreszenzeigenschaften der optischen Aufheller im Papier als auch die Materialinteraktionen zwischen Bedruckstoff und Druckfarben beim Bedrucken beachtet werden. Zunächst soll zur Bewertung von Farbabweichungen, die beim Drucken entstehenden, eine Methode entwickelt werden. Mithilfe eines anschließend zu konzipierenden Modells soll die erarbeitete Methode durch Minimierung des Messaufwands für die einfache Anwendung brauchbar gemacht werden.

## Lösungsweg – Auswahl von Papieren



- acht Papiere
  - Gemeinsamkeiten: Offsetdruck, Strichauftrag
  - Unterschiede: Aufhellerezugabe, Kalanderveredelung

Papiereigenschaften		Oberflächenbehandlung	
		glänzendes Papier	halbmattes Papier
Aufhellerezugabe	Papier ohne optischem Aufheller	Papier 1	
	Papier mit optischem Aufheller	Papier 2, Papier 3, Papier 5, Papier 7	Papier 4, Papier 6, Papier 8

07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 4



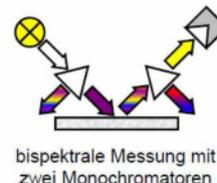
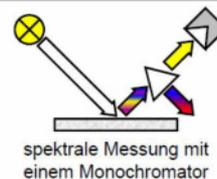
Zu Beginn der Untersuchungen wurden acht Papiere ausgewählt, deren Eigenschaften auf die Verwendung im Offsetdruck angepasst sind. Die Oberfläche aller acht Papiere ist mit einem Strich versehen. Durch Unterschiede bei der Veredelung im Kalandrieren besitzen die fünf Papiere 1, 2, 3, 5 und 7 eine glänzende Oberfläche und die drei Papiere 4, 6 und 8 eine halbmattete Oberfläche, wie es in der Tabelle aufgeführt ist.

Zusätzlich zu den Oberflächeneigenschaften unterscheiden sich die Papiere in ihrem Fluoreszenzverhalten. Ausschließlich Papier 1 ist nicht optisch aufgehellt. Die anderen sieben Papiere unterscheiden sich durch die zugesetzte Menge an optischem Aufheller und dem spektralen Fluoreszenzverhalten. Vor dem Bedrucken sollen die Papiere in ihren Fluoreszenzeigenschaften charakterisiert werden.

## Lösungsweg – Beschreibung der Fluoreszenz



- Problemstellung und Zielsetzung
- Lösungsweg
  - Auswahl von Papieren
  - Beschreibung der Fluoreszenz
    - Fluoreszenzanteil
    - Fluoreszenzmatrix
  - Erstellung von Druckproben
  - Analyse der Interaktionen
    - Tonwertzunahme
    - Farbabstand
  - Modellierung von Farbabständen
  - Einsatz des Modells
- Zusammenfassung und Ausblick



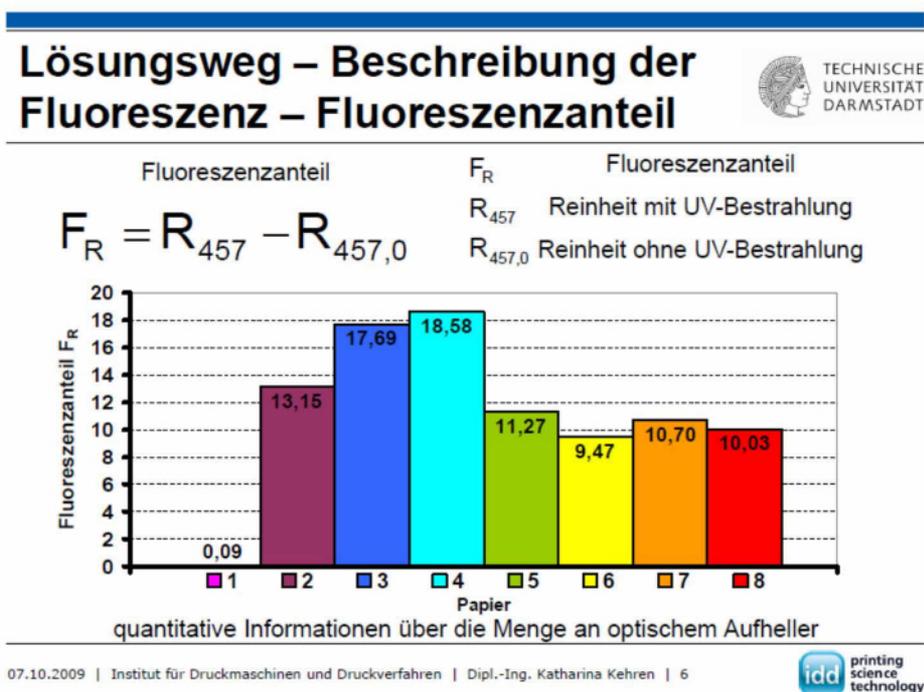
07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 5



Für die Beschreibung der Papiere in ihrem Fluoreszenzverhalten bieten sich der Fluoreszenzanteil und die Fluoreszenzmatrix an. Die Fluoreszenzanteile und Fluoreszenzmatrizen der unbedruckten Papiere wurden durch spektrale Messungen beziehungsweise durch bispektrale Messungen gewonnen.

Die spektralen Messungen zur Bestimmung des Fluoreszenzanteils wurden unter Zuhilfenahme eines kommerziellen Spektrofotometers durchgeführt. Die obere Abbildung zeigt den Aufbau eines solchen Spektrofotometers mit einem Monochromator zwischen Probe und Detektor. Die optischen Instrumente für bispektrale Messungen zur Ermittlung der Fluoreszenzmatrix unterscheiden sich durch einen zusätzlichen Monochromator im Strahlengang des einfallenden Lichts von gewöhnlichen Spektrofotometern, wie es in der unteren Abbildung dargestellt ist.

In der Papierproduktion kommen zur Prozesskontrolle und Qualitätssicherung nur einfache Spektrophotometer mit einem Monochromator zum Einsatz. Bispektrale Messungen brauchen viel Zeit und werden deshalb nur aus Forschungsgründen durchgeführt.

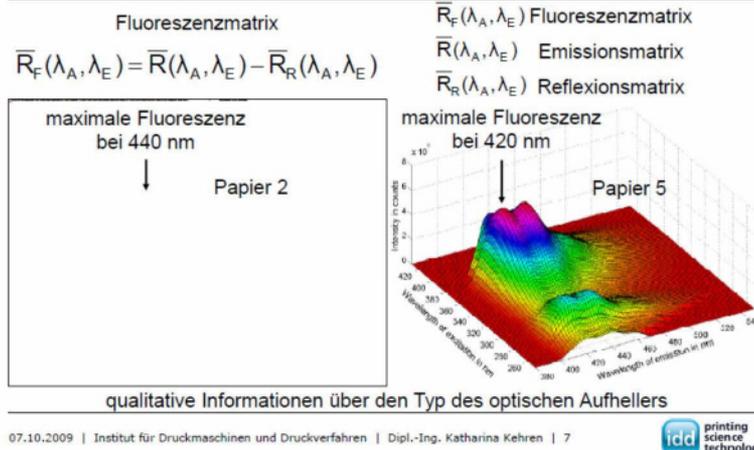


Der Fluoreszenzanteil beschreibt die Steigerung der Papierweiße, zu der es durch den Fluoreszenzeffekt bei Zugabe von optischen Aufhellern kommt. Die spektrale Vermessung der Probe muss zum Einem mit Anregung der optischen Aufheller durch ultraviolette Strahlung und zum Anderen ohne Anregung durch Herausfiltern des ultravioletten Strahlungsanteils erfolgen. Der Fluoreszenzanteil ergibt sich dann gemäß der aufgeführten Formel durch die Subtraktion des Weißkennwerts ohne Anregung von Fluoreszenz vom Weißkennwert mit Anregung von Fluoreszenz.

In der Abbildung sind die Fluoreszenzanteile aller acht Papiere dargestellt. Der Fluoreszenzanteil von Papier 1 ohne optischen Aufheller ist nahezu Null. Die anderen, optisch aufgehellten Papiere haben deutlich von Null abweichende Fluoreszenzanteile. Die Abwesenheit beziehungsweise die Anwesenheit von optischen Aufhellern im Papier kann durch den Fluoreszenzanteil demnach eindeutig festgestellt werden.

Der Fluoreszenzanteil liefert quantitative Informationen über die Menge des dem Papier zugesetzten optischen Aufheller. Jegliche qualitative Informationen über die spektralen Eigenschaften der Absorption und Emission bleiben jedoch verborgen. Die Papiere 2 und 5 besitzen beispielsweise einen vergleichbaren Fluoreszenzanteil, wie es das Diagramm zeigt. In ihren Absorptionseigenschaften und Emissionseigenschaften unterscheiden sie sich jedoch beträchtlich.

## Lösungsweg – Beschreibung der Fluoreszenz – Fluoreszenzmatrix

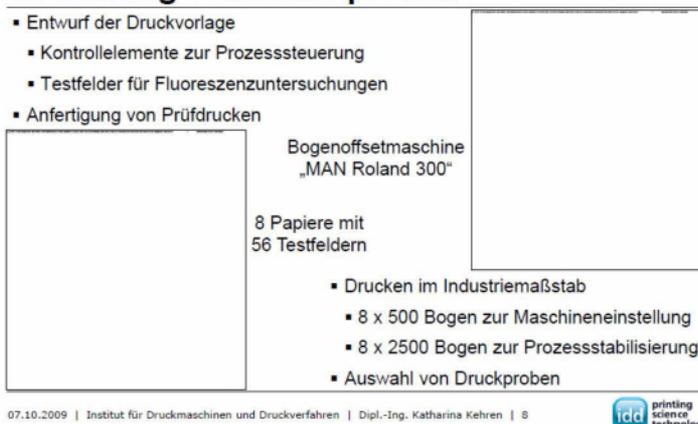


Die spektralen Unterschiede zwischen Papier 2 und Papier 5 werden in den Darstellungen der Fluoreszenzmatrizen deutlich. Papier 2 emittiert bei 440 nm das meiste auf Fluoreszenz zurückführbare Licht. Die Fluoreszenz von Papier 5 ist im Gegensatz dazu bei einer Wellenlänge von 420 nm maximal.

Auf der linken, horizontalen Achse ist die Absorptionswellenlänge der einfallenden Strahlung abgetragen, die hier im ultravioletten Bereich liegt. Die Emissionswellenlänge der ausgesendeten Strahlung, bei der es sich hier um sichtbares Lichts handelt, steigt entlang der rechten, horizontalen Achse. Die vertikale Achse der Abbildungen gibt die Intensität der detektierten Strahlung an, welche hier allein auf der Fluoreszenz der optischer Aufheller im Papier beruht.

Dargestellt ist nur die Fluoreszenzmatrix, die gemäß der aufgeführten Formel der Differenz aus Emissionsmatrix und Reflexionsmatrix entspricht. Durch die Abhängigkeit von der Absorptionswellenlängen sowie der Emissionswellenlänge ist die Fluoreszenzmatrix eine gute Ergänzung zum Fluoreszenzanteil, wenn es um die Beschreibung der unbedruckten Papiere in ihren Fluoreszenzeigenschaften geht.

## Lösungsweg – Erstellung von Druckproben

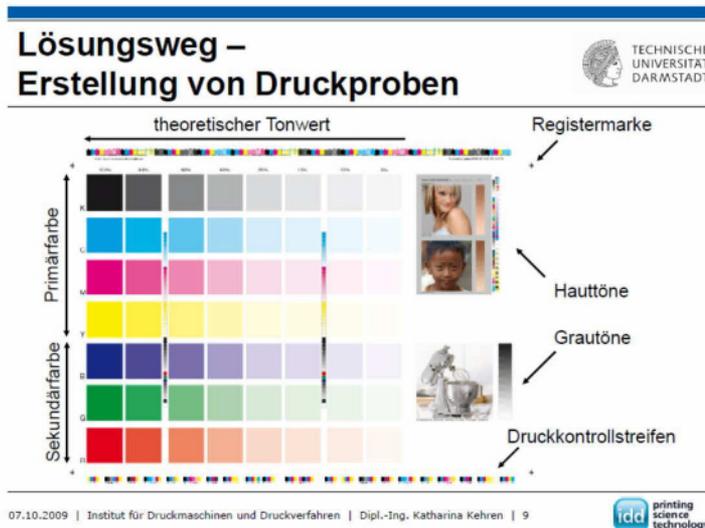


Neben den Fluoreszenzeigenschaften der unbedruckten Papiere müssen bei der Untersuchung der Farbwiedergabe beim Bedrucken die Interaktionen zwischen Papier und Druckfarben betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Papiere im industriellen Maßstab auf der in der Abbildung dargestellten Bogenoffsetdruckmaschine der Bezeichnung „MAN Roland 300“ bedruckt, welche über vier Farbwerken verfügt.

Während des Druckens wurde großer Wert auf die Qualität der Proben gelegt. Zu Beginn von jeder der acht Versuchsreihen wurden 500 Bogen eines Referenzpapiers zum Einrichten der Druckmaschine bedruckt. Nachdem die groben Einstellungen vorgenommen waren, mussten beim Bedrucken der Versuchspapiere nur noch feine Justierungen vorgenommen werden. Von den Versuchspapieren wurden jeweils 2500 Bogen bedruckt, so dass der Druckprozess gegen Ende einer Versuchsreihe als stationär angenommen werden kann. Die zur späteren Vermessung vorgesehenen Proben wurden jeweils aus

dem oberen Teil eines Stapels entnommen. Einige der Stapel von bedruckten Papieren sind in der linken Abbildung dargestellt.

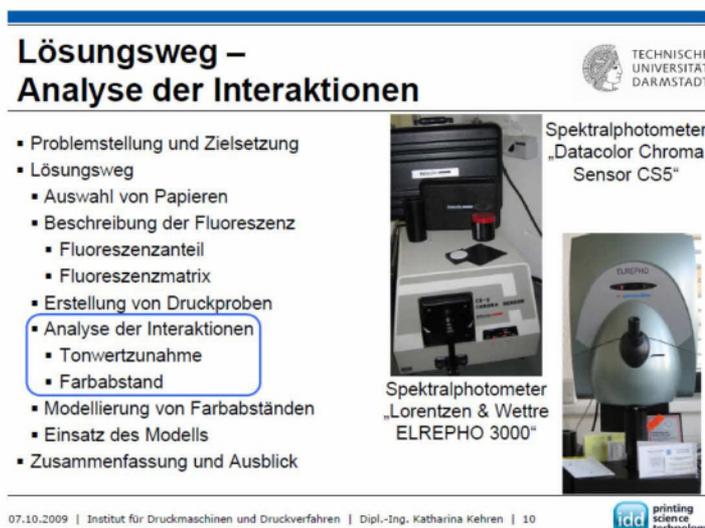
Der Druckprozess wurde sowohl durch visuelle Abmusterung als auch durch instrumentelle Vermessung von Proben überwacht. Wie in jedem industriellen Druckprozess, werden an den Rändern des Bogens um das Motiv spezielle Kontrollelemente mit gedruckt, um den Prozess zu steuern. Das für die Untersuchungen entworfene Motiv besteht aus Testfeldern unterschiedlicher Farbtöne in verschiedenen Tonwerten. Im Vorfeld angefertigte Prüfdrucke dienten als Referenz bei der Optimierung der Farbzufuhr über visuelle Abmusterung und instrumentelle Vermessung.



Für visuelle Vergleiche zwischen Probe und Referenz sind die Bilder von einer Frau und einem Jungen in hellen und dunklen Hauttönen sowie von einer Küchenmaschine in Grautönen vorgesehen. Hauttöne und Grautöne reagieren besonders empfindlich auf Störungen im Druckprozess. Zudem ist es für den menschlichen Sehsinn bedeutend einfacher Farbunterschiede zwischen mehrfarbigen Bildern als zwischen einfarbigen Testfeldern festzustellen. Der Druckprozess wurde dahingehend verändert, dass die Bilder der gedruckten Proben möglichst gut mit denen der Prüfdrucke übereinstimmen.

Die Druckkontrollstreifen am oberen Rand und unteren Rand sowie die Registermarken in allen vier Ecken des Druckbogens werden instrumentell vermessen. Die Messungen der optischen Dichte an den Druckkontrollstreifen dienen der Regelung des Farbangebots quer zur Transportrichtung. Der Bogentransport wird gegebenenfalls anhand von optischen Messungen an den Registermarken korrigiert.

Der meiste Platz auf dem Druckbogen wird von 56 Testfeldern in verschiedenen Farbtönen und in mehreren Tonwerten eingenommen. Sieben Farbtöne wurden jeweils in acht von Null verschiedenen Tonwerten gedruckt. Die Anordnung der Testfelder ist in der abgebildeten Druckvorlage zu erkennen. Testfelder in den Grundfarben Schwarz, Cyan, Magenta und Gelb befinden sich im oberen Teil der Druckvorlage. Der untere Teil ist mit Testfeldern in den Mischfarben Blau, Grün und Rot bedeckt. Der theoretische Tonwert steigt von 5 % auf der rechten Seite, über 10 %, 15 %, 20 %, 40 %, 60 % und 80 % bis auf 100 % am linken Rand an.



An den Testfeldern der Druckproben wurden optische Messungen vorgenommen, um Daten für Untersuchungen in Bezug auf die Interaktionen zwischen Papier und Farbe beim Bedrucken zu sammeln. Die Messungen wurden unter Verwendung handelsüblicher Spektralphotometer durchgeführt. Die verwendeten Spektralfotometer mit den Bezeichnungen "Datacolor Chroma Sensor CS5" sowie „Lorentzen & Wettre ELREPHO 3000“ sind in den beiden Abbildungen dargestellt.

Als die besten Möglichkeiten zur Bewertung der Interaktionen von Papier und Druckfarbe haben sich Abtragungen von Tonwertzunahme und Farbabstand als Funktion des theoretischen Tonwerts erwiesen. Die Formen der Kurven von Tonwertzunahme und Farbabstand sind abhängig von Papier und Farbton.

Des Weiteren liefern die Tonwertkurven interessante Informationen über Faktoren, die einen Einfluss auf das Druckergebnis haben, da die Messungen in verschiedenen Messgeometrien und für unterschiedliche Messbedingungen durchgeführt wurden. Bei der Variation von Messanordnung und Messbedingung werden Kennwerte erzeugt, die Informationen über verschiedene Effekte tragen. Durch Vergleiche der Ergebnisse können die Einflüsse voneinander separiert und getrennt betrachtet werden. Neben dem Farbabstand ist dies gut bei der Tonwertzunahme gelungen.

## Lösungsweg – Analyse der Interaktionen – Tonwertzunahme



$$\Delta a = a_{\text{tatsächlich}} - a_{\text{theoretisch}}$$

Tonwertzunahme
 $\Delta a$ 
Tonwertzunahme

$a_{\text{tatsächlich}}$ 
 $a_{\text{theoretisch}}$ 
tatsächlicher Tonwert

$a_{\text{theoretisch}}$ 
theoretischer Tonwert

Einflüsse auf die Tonwertzunahme		Messanordnung	
		Messung der Reflexion $R(\lambda)$	Messung der Transmission $T(\lambda)$
Wellenlänge	Berechnung im sichtbaren Bereich VIS	Spreitung, Spiegelung, Lichtfang	Spreitung
	Berechnung im nahen Infrarotbereich NIR	Spreitung, Spiegelung	

07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 11



Gemäß der aufgeführten Gleichung ist die Tonwertzunahme als die Differenz aus dem gemessenen, tatsächlichen Tonwert und dem theoretischen Tonwert definiert. Der theoretische Tonwert entspricht den Flächenanteil des Bedruckstoffs, der beabsichtigt ist beim Drucken mit Farbe bedeckt zu werden.

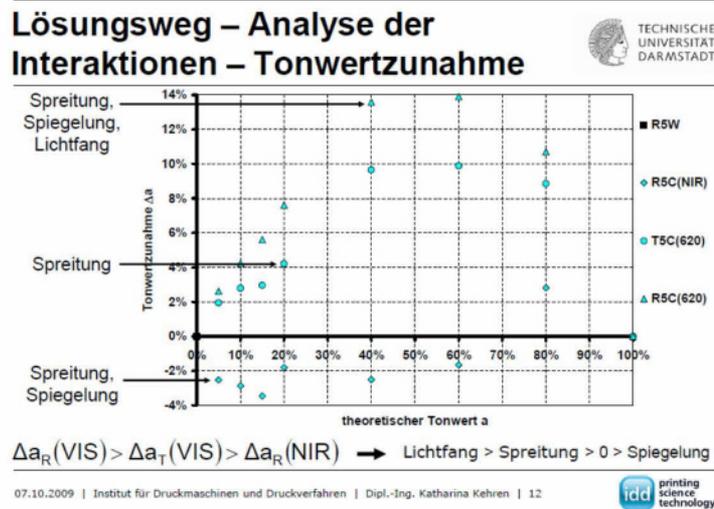
Die gemessene Tonwertzunahme ist abhängig von der Kombination der gewählten Messanordnung und von der im Zuge der Auswertung betrachteten Wellenlänge. Alle möglicherweise für die Tonwertzunahme verantwortlichen Effekte, von der Spreitung der Druckfarbe auf dem Papier, über die gerichtete Reflexion an der Oberfläche, bis zur lateralen Streuung im Papier, sind in der Tabelle aufgeführt.

Im gebräuchlichsten Fall, die sogenannte optische Tonwertzunahme im sichtbaren Bereich auf Basis von Reflexionsmessungen zu ermitteln, sind alle drei Faktoren an der Tonwertzunahme beteiligt. Sowohl die Farbspreitung, die Spiegelreflexion als auch der Lichtfangeffekt haben einen Einfluss auf die optische Tonwertzunahme.

Die auch als Lichtfang bezeichnete laterale Streuung von Licht im Papier hat bei der Auswertung im nahen Infrarotbereich und bei der Messung der Transmission in Durchsicht keine Auswirkung auf das Ergebnis.

Im nahen Infrarotbereich absorbieren Pigmente in Cyan, Magenta und Gelb keine elektromagnetische Strahlung. Messungen der Reflexion im nahen Infrarotbereich liefern somit Tonwertzunahmen, die unbeeinflusst vom Lichtfangeffekt sind.

Neben dem Lichtfang bleibt das durch eine Probe transmittierte Licht auch von der gerichteten Reflexion an der Oberfläche des Papiers und der Druckfarbe unbeeinflusst. Die aus Messungen der Transmission im sichtbaren Bereich resultierende Tonwertzunahme wird auch mechanische Tonwertzunahme genannt und beruht ausschließlich auf der Spreitung der Druckfarben.

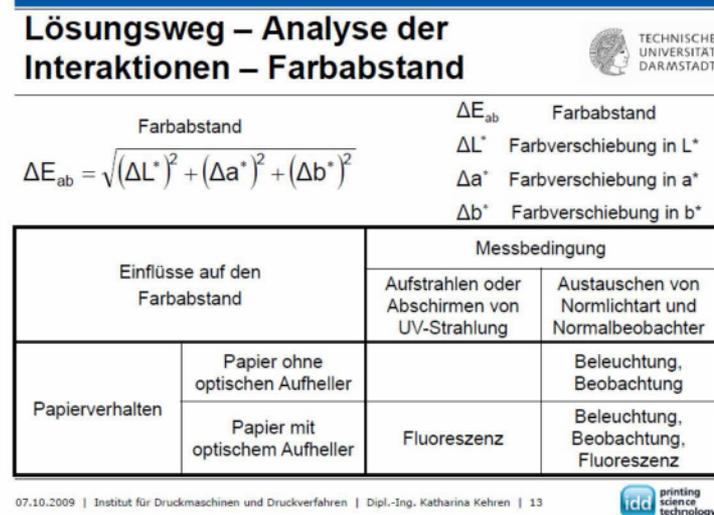


Die Abbildung dient dem Vergleich der drei genannten Tonwertzunahmetypen, die an cyanfarbenen Testfeldern auf Papier 5 ermittelt wurden. Die ermittelte Tonwertzunahme ist auf der vertikalen Achse in Abhängigkeit vom theoretischen Tonwerten abgetragen, welcher entlang der horizontalen Achse steigt.

Der Reflexionstonwert des sichtbaren Bereichs ist größer als der Transmissionstonwert für dieselbe Wellenlänge von 620 nm bei maximaler Absorption. Bei niedrigen theoretischen Tonwerten ist der Reflexionstonwert des nahen Infrarotbereichs negativ und nimmt positive Werte bei hohen theoretischen Tonwerten an.

Vergleiche zwischen den drei Kurven legen dar, welchen Einfluss jeder einzelne Effekt allein auf die Tonwertzunahme hat. Insbesondere der Lichtfang, aber auch die Spreitung erhöhen den theoretischen Tonwert. Im Gegensatz zum Lichtfang und der Spreitung hat die Spiegelung einen den Tonwert senkenden Einfluss.

Für alle weiteren Betrachtungen, die später vorgestellt werden, wird der Reflexionstonwert des sichtbaren Bereichs herangezogen, da dieser Informationen über alle drei Effekte enthält. Zunächst werden jedoch erst Erkenntnisse präsentiert, welche aus Tonwertkurven des Farbabstands entnommen wurden.



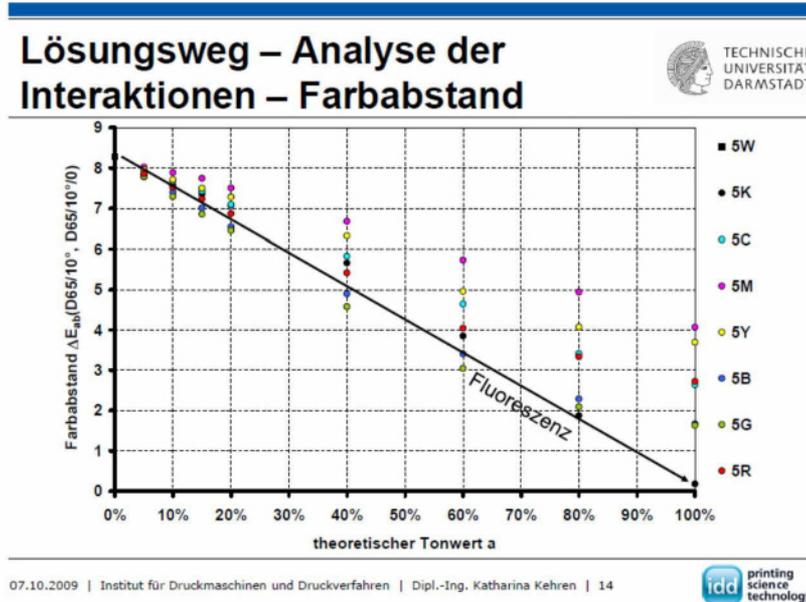
Der Farbabstand entspricht dem Euklidischen Abstand von zwei Farbkoordinaten im CIELAB-Farbraum. Nach der aufgeführten Gleichung errechnet sich der Farbabstand aus der Wurzel der Summe der Quadrate der Farbverschiebungen in  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ .

Im Folgenden entsprechen die Farbverschiebungen den Differenzen zwischen zwei Farbkoordinaten, die für zwei unterschiedliche Messbedingungen ermittelt wurden. Unterschiede in den Messbedingungen beruhen gemäß der Tabelle auf der Herausfilterung des ultravioletten Anteils aus der einfallenden Strahlung und auf dem Wechsel der Normlichtart und des Normalbeobachters. Auf diesem Weg kann der Einfluss der Beleuchtung und Beobachtung auf den Farbabstand untersucht werden.

Anhand der Messergebnisse an Papieren ohne optischen Aufheller und mit optischem Aufheller für verschiedene Messbedingungen gelingt es zusätzlich den Einfluss der Fluoreszenz vom Einfluss der Beleuchtung und Beobachtung zu trennen, wie es in der Tabelle dargestellt ist. Der alleinige Einfluss der

Fluoreszenz wird ersichtlich, wenn ein optisch aufgehelltes Papier mit Anregung und ohne Anregung der optischen Aufheller durch ultraviolette Strahlung vermessen wird.

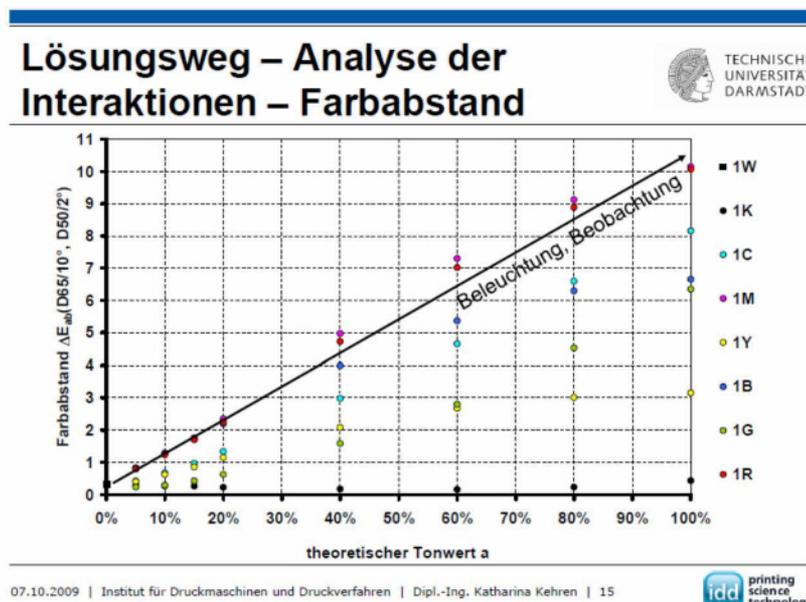
Die Farbkoordinaten eines Papiers ohne optischen Aufheller unterscheiden sich ausschließlich aufgrund eines Wechsels der Bedingungen für Beleuchtung und Beobachtung. Der zusätzliche Effekt der Fluoreszenz auf den Farbabstand bei einem Wechsel der Normlichtart und des Normalbeobachter wird deutlich, wenn das vermessene Papier optisch aufgehellt ist.



Die Beeinflussung des Farbabstands allein durch den Fluoreszenzeffekt ist Gegenstand des abgebildeten Diagramms. Entlang der horizontalen Achse steigt der theoretische Tonwert von 0 % für das unbedruckte Papier auf 100 % in den gedruckten Volltonfeldern an. Auf der vertikalen Achse ist der Farbabweichung zwischen Farbkoordinaten aus Messungen ohne Herausfilterung und mit Herausfilterung des ultravioletten Strahlungsanteils abgetragen. Die Farben der Symbole entsprechen den Farben der gedruckten Testfelder.

Da das Papier 5 optische Aufheller enthält ist der Farbabweichung für das unbedruckte Papier groß und wäre sogar für ungeschulte Beobachter problemlos sichtbar. Mit wachsendem Tonwert fällt der Farbabweichung durch die abschirmende Wirkung der aufgedruckten Farbschicht ab.

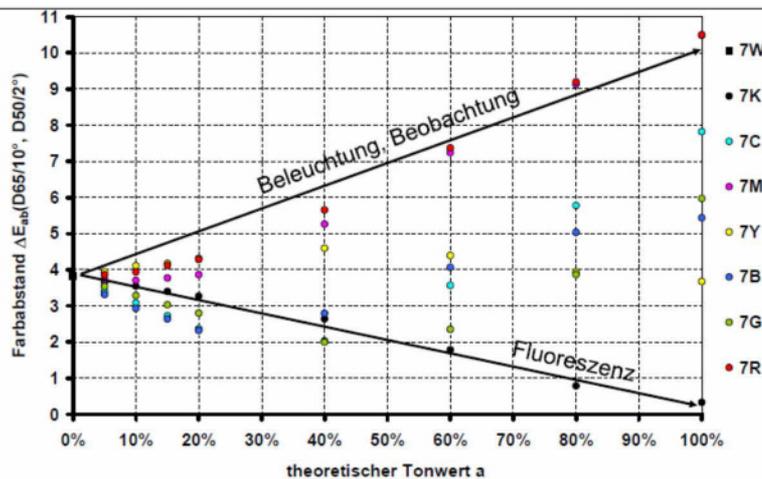
Die Absenkung des Farbabweichung ist für die schwarzen Testfelder besonders stark ausgeprägt, so dass der Farbabweichung für das schwarze Volltonfeld einen Wert nahe Null annimmt. Die magentafarbene Druckfarbe schirmt die einfallende, ultraviolette Strahlung und die infolge von Fluoreszenz emittierte, sichtbare Strahlung am schwächsten ab, was sich in einem steilen Abfall des Farbabweichung mit steigendem Tonwert äußert.



Das besondere Verhalten des Farbabstands mit dem theoretischen Tonwert in den Testfeldern der Farbtöne Schwarz und Magenta fällt auch in dem Diagramm auf dieser Folie auf. Der Aufbau des Diagramms ist mit dem auf der vorherigen Folie vergleichbar. Den einzigen Unterschied bildet die auf der vertikalen Achse dargestellte Größe, bei der es sich hier um den Farbabstand zwischen Farbkoordinaten für die Standardbedingungen D65/10° und D50/2° handelt.

Die abgetragenen Farbabstände für die Testfelder auf Papier 1 sind frei vom jeglichem Fluoreszenzeinfluss, da das betrachtete Papier keinen optischen Aufheller enthält. Für das unbedruckte Papier und in den schwarzen Testfeldern ist nahezu kein Unterschied zwischen den Farbkoordinaten für beide Bedingungen der Beleuchtung und Beobachtung zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu steigt der Farbabstand besonders für die magentafarbenen Testfelder und roten Testfelder mit wachsendem Tonwert stark bis weit über die Sichtbarkeitsgrenze hinaus an.

## Lösungsweg – Analyse der Interaktionen – Farbabstand



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 16

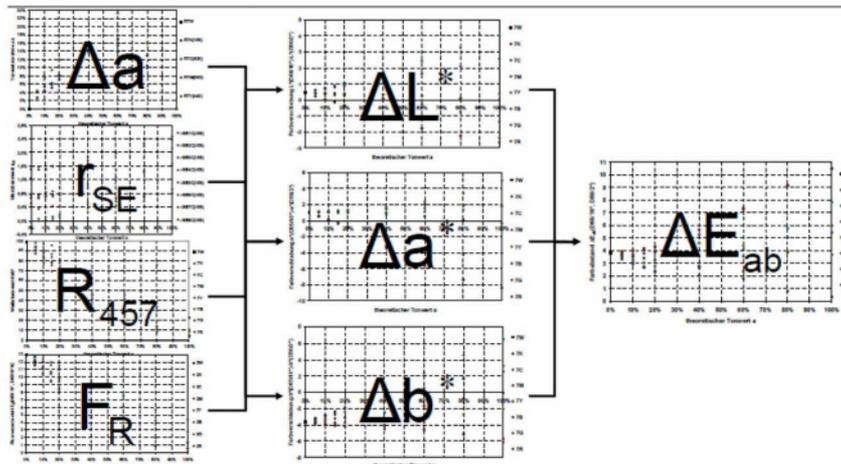


Wenn neben der Beleuchtung und der Beobachtung auch die Fluoreszenz einen Einfluss auf die Farbkoordinaten haben, dann ergeben sich zum Beispiel die im abgebildeten Diagramm dargestellten Verläufe des Farbabstands in Abhängigkeit vom theoretischen Tonwert. Es handelt sich erneut um den Farbabstand zwischen Farbkoordinaten der Bedingungen D65/10° und D50/2°, jedoch für das optisch aufgehellte Papier 7. Die Überlagerung des Fluoreszenzeinflusses mit dem Einfluss des Austauschs der Bedingungen von Beleuchtung und Beobachtung wird erneut für die Farbtöne Schwarz, Magenta und Rot besonders deutlich.

Die starke Abschirmung der einfallenden, ultravioletten Strahlung und der infolge von Fluoreszenz emittierten, sichtbaren Strahlung durch die schwarze Farbschicht senkt den hohen Farbabstand für das unbedruckte Papier mit steigendem Tonwert. Im Fall von Magenta und Rot dominiert der Einfluss des Wechsels von Beleuchtung und Beobachtung den Farbabstand, was sich in einem Anstieg des Farbabstands mit anwachsendem Tonwert äußert. Die Farbabstandskurven der anderen Farbtöne fallen oder steigen mehr oder weniger stark in Anhängigkeit davon welcher der Effekte beim gerade betrachteten Tonwert stärker von Bedeutung ist.

Die Kurven des Farbabstands zwischen Farbkoordinaten der Bedingungen D65/10° und D50/2° als Funktion des theoretischen Tonwerts bieten eine gute Möglichkeit die Einflüsse von Fluoreszenz, Beleuchtung und Beobachtung zu bewerten. Die Abschirmung der Fluoreszenz bewirkt einen Abfall des Farbabstands mit wachsendem Tonwert. Ein Anstieg der Farbabstandskurve ist auf den Wechsel von Normlichtart und Normalbeobachter zurückzuführen.

## Lösungsweg – Modellierung von Farbabständen



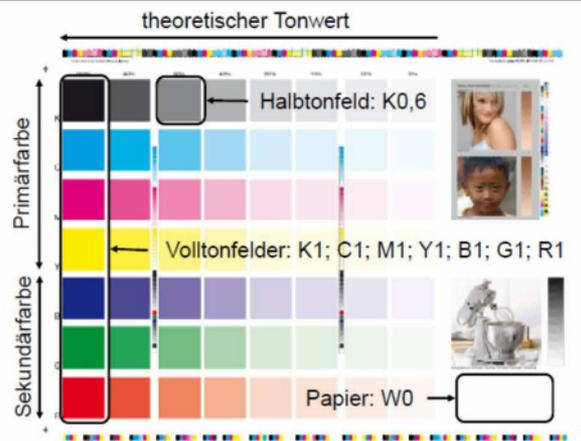
07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 17

Durch die gute Eignung der Farbabstandskurven zur Bewertung des Fluoreszenzeinflusses im Vergleich zum Einfluss der Beleuchtung und Beobachtung auf die Farbwiedergabe beim Drucken auf optisch aufgehelltem Papier wurde versucht diese Farbabstandskurven zu modellieren. Wie es bereits bekannt und erneut in der Abbildung dargestellt ist, berechnet sich der Farbabstand aus den Farbverschiebungen in  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ .

Zur Modellierung der Farbverschiebungen als Funktion des theoretischen Tonwerts wurde die Annahme getroffen, dass die Ursachen dieser Farbverschiebungen über optisch messbare Parameter abhängig vom theoretischen Tonwert darstellbar sind. Mit entsprechender Gewichtung ergeben sich durch die Überlagerung von Tonwertfunktionen aller als geeignet identifizierten, optischen Parameter die Farbverschiebungen in  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ .

Die in der Abbildung aufgelisteten Parameter, die Tonwertzunahme, der Glanzkennwert, der Weißkennwert und der Fluoreszenzanteil haben sich als geeignet zur Repräsentation aller möglichen Ursachen für Probleme bei der Farbwiedergabe erwiesen. Jeder der genannten, optischen Parameter wurde unter Zuhilfenahme weniger Stützpunkte als eine einfache, mathematische Funktion des theoretischen Tonwerts modelliert. Zur Aufstellung jeder dieser sogenannten Tonwertregressionsfunktionen müssen demnach Messwerte des betrachteten Parameters für das unbedruckte Papier und beziehungsweise oder für spezielle, aufgedruckte Testfelder bekannt sein.

## Lösungsweg – Modellierung von Farbabständen



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 18

Alle Bereiche der Formatvorlage, in denen optische Messungen vorgenommen werden müssen, sind in der Abbildung markiert. Dabei handelt es sich zum Einen um das unbedruckte Papier und zum Anderen

um aufgedruckte Testfelder. Neben den sieben Volltonfeldern aller sieben Farbtöne muss das schwarze Halbtonfeld mit einem Tonwert von 60 % optisch vermessen werden.

## Lösungsweg – Modellierung von Farbabständen



Symbol	Parameter	Testfeld	Tonwertregressionsfunktion
$\Delta a$	Tonwertzunahme	K0,6	quadratische Tonwertfunktion
$r_{SE}$	Glanz Kennwert	W0; K1	lineare Tonwertfunktion
$R_{457}$	Weiß Kennwert	W0; K1; C1; M1; Y1; B1; G1; R1	lineare Tonwertfunktion (Murray-Davies-Modell), quadratische Tonwertfunktion (Neugebauer-Modell)
$F_R$	Fluoreszenzanteil	W0; K1; C1; M1; Y1; B1; G1; R1	exponentielle Tonwertfunktion (Lambert-Beer-Gesetz)

07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 19

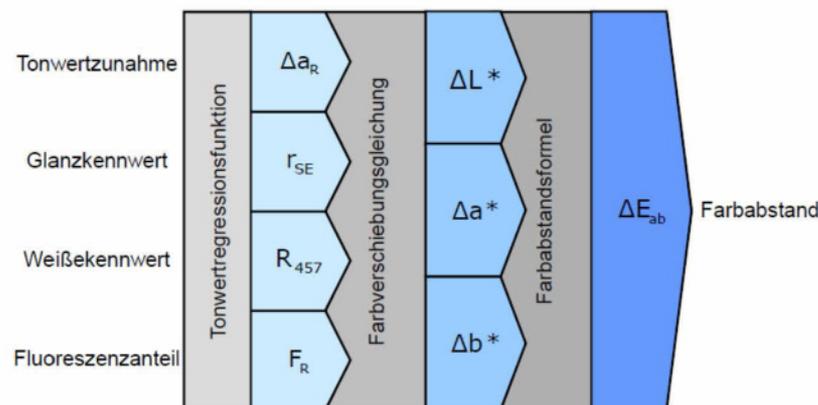


Die aufgeführte Tabelle gibt genauere Auskunft darüber, in welchem Testfeld welcher optische Parameter ermittelt werden muss. Des Weiteren enthält die Tabelle Informationen über den jeweiligen mathematischen Typ der Tonwertregressionsfunktion.

Für jeden optischen Parameter werden die entsprechenden Messwerte als Stützpunkte in die Tonwertregressionsfunktion eingesetzt, um die gemessene Tonwertkurve mit einer einfachen mathematischen Funktion anzunähern.

In Superposition, inklusive Gewichtung über Konstanten, ergeben sich die gewünschten Farbverschiebungen in  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$ . Der Satz an Gewichtungskonstanten, welcher die Überlagerung der Tonwertregressionsfunktionen reguliert, wurde über eine multiple, lineare Regressionsanalyse unter Verwendung der zu Beginn gemessenen Farbverschiebungen ermittelt und auch getestet.

## Lösungsweg – Einsatz des Modells



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 20



Wenn die Konstanten für die Superposition der Tonwertregressionsfunktionen bekannt sind, kann das Farbverschiebungsmodell auf ein beliebiges Papier für jeden Farbton angewendet werden, wie es im abgebildeten Diagramm dargestellt ist.

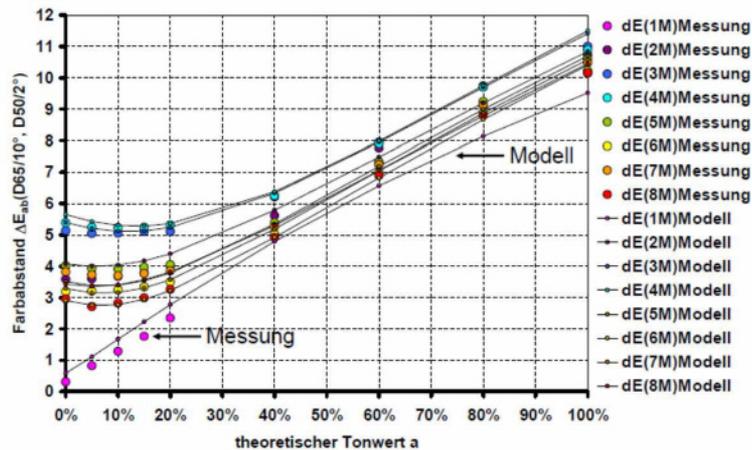
Zunächst müssen die Messergebnisse der aufgelisteten Parameter für die erforderlichen Testfelder in die entsprechende Tonwertregressionsfunktion eingesetzt werden. Nun liegen die

Tonwertzunahme, der Glanzkennwert, der Weißkennwert und der Fluoreszenzanteil jeweils als Funktionen des theoretischen Tonwerts vor. Durch Einsetzen der Tonwertregressionsfunktionen in die Farbverschiebungsgleichung ergeben sich die Farbverschiebungen ebenfalls in Abhängigkeit vom

Tonwert. Die Anwendung der Farbabstandsformel auf die Farbverschiebungskurven liefert schließlich die Farbabstandskurve.

Anhand dieser Kurve des Farbabstands abhängig vom theoretische Tonwert können die Einflüsse von Fluoreszenz und von Beleuchtung und Beobachtung auf die Probleme bei der Farbwiedergabe beim Drucken auf optisch aufgehelltem Papier abgeschätzt werden.

## Lösungsweg – Einsatz des Modells



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 21



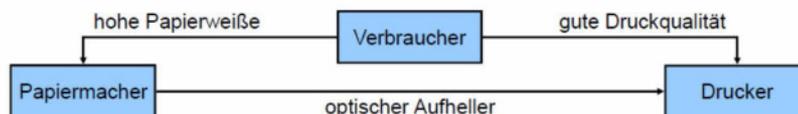
Im abgebildeten Diagramm sind modellierte Farbabstandskurven für magentafarbene Testfelder auf allen acht Papieren über dem theoretischen Tonwert abgetragen. Aus Vergleichszwecken enthält das Diagramm auch die dazugehörigen, gemessenen Farbabstände, welche augenscheinlich gut mit den modellierten Farbabständen übereinstimmen.

Die Bewertung der Einflüsse von Fluoreszenz, Beleuchtung und Beobachtung anhand der modellierten Farbabstandskurven liefert dasselbe Ergebnis. Bei niedrigen Tonwerten ist der optische Aufheller im Papier verantwortlich für Farbverschiebungen. Die Einhaltung der Bedingungen von Beleuchtung und Beobachtung sind besonders bei hohen Tonwerten von Bedeutung.

## Zusammenfassung und Ausblick



- Zusammenstellung der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Farbwiedergabe
- Identifikation von optischen Parametern zur Beschreibung der Beeinflussungen
- Entwicklung eines empirischen Modells zur Vorhersage von Farbabweichungen



- verbesserte Steuerung des Einsatzes optischer Aufheller
- systematische Entwicklung von Rezepturen neuer Papiersorten
- gezielte Berücksichtigung der Fluoreszenz im Farbmanagement
- schnelle Reaktion auf Schwankungen der Papierqualität

07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 22



Im Zuge der Zusammenstellung von Faktoren, die einen entscheidenden Einfluss auf die Farbwiedergabe beim Bedrucken von optisch aufgehelltem Papier haben, wurde die Verkopplung der Fluoreszenzeigenschaften des unbedruckten Papiers mit den Vorgängen bei der Farbübertragung deutlich. Die durch Fluoreszenz des Papiers verursachten Probleme bei der Farbwiedergabe im Druck können nur im Vergleich zu Problemen bewertet werden, deren Ursache im Druckprozess liegt.

Um die Einflüsse mit messbaren Werten beschreiben zu können, wurde nach optischen Parametern gesucht, die Informationen zu Ursachen für Farbabweichungen tragen. Der Fluoreszenzanteil und die

Fluoreszenzmatrix sind dazu geeignet das Fluoreszenzverhalten des unbedruckten Papiers zu beschreiben. Als geeignete Parameter zur Beschreibung der Interaktionen von Papier und Farbe im Druck wurden die Tonwertzunahme und der Farbabstand identifiziert.

Die Möglichkeit den Einfluss des optischen Aufhellers im Papier anhand von Farbabstandskurven zu bewerten gab den Anlass ein empirisches Modell zu deren Vorhersage auf Basis weniger Messwerte zu entwickeln. Ein Satz an Tonwertregressionsfunktionen für die Tonwertzunahme, den Glanzkennwert, den Weißkennwert und den Fluoreszenzanteil dient der Ermittlung der Farbverschiebungen in  $L^*$ ,  $a^*$  und  $b^*$  über die Farbverschiebungsgleichung und letztlich des Farbabstands.

In der Papierherstellung kann das entwickelte Modell die Dosierung des optischen Aufhellers im Produktionsprozess besser zu kontrollieren. Außerdem könnte das Farbverschiebungsmodell bei der Entwicklung neuer Papiersorten, die weniger Probleme bei der Farbwiedergabe im Druck hervorrufen, hilfreich sein.

Die gezielte Berücksichtigung des Einflusses des optischen Aufhellers auf die Farbwiedergabe beim Farbmanagement, kann in der Druckindustrie von Vorteil sein. Durch einfache Messungen an Druckproben des verwendeten Papiers kann der Drucker schnell auf Qualitätsschwankungen reagieren.

## Danksagung





Großer Dank geht an Dr.-Ing. Jühe, Dr.rer.nat. Dähling und Dipl.-Ing. Werthschulte der Forschungseinrichtung von

**STORAENSO**

in Mönchengladbach sowie an Prof. Dr.-Ing. Schabel und Dipl.-Ing. Villforth vom

**PMV**

an der Technischen Universität Darmstadt.



07.10.2009 | Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren | Dipl.-Ing. Katharina Kehren | 23



Für die fachlichen Informationen und technischen Hilfestellungen möchte ich mich bei den Mitarbeitern der Forschungseinrichtung der „storaenso“ in Mönchengladbach und denen des „Instituts für Papierfabrikation und Mechanische Verfahrenstechnik“ der Technischen Universität Darmstadt herzlich bedanken.

Spezieller Dank geht an Herr Jühe, Herr Dähling und Herr Werthschulte, die maßgeblich an der Planung und Durchführung des Projekts seitens der Industrie beteiligt waren. Für die ausgesprochen gute Betreuung durch Herrn Schabel und Herrn Villforth von universitärer Seite möchte ich mich ebenfalls bedanken.

# Farbdifferenzen durch 8 bit-Quantisierung: Gibt es ein optimales RGB-Gamma? Simulationsrechnungen für Matrixfarbräume

Dr. Hanno Hoffstadt, GMG GmbH & Co. KG

DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



## Farbdifferenzen durch 8 bit-Quantisierung: Gibt es ein optimales RGB-Gamma? Simulationsrechnungen für Matrixfarbräume

Bericht zum Action Item 08/04  
Treffen der DfwG Arbeitsgruppe Softproof, 7. Mai 2009, Aachen

Dr. Hanno Hoffstadt  
GMG GmbH & Co. KG

DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma

- Problemstellung



Problemstellung:

- 8 bit führen in RGB-Matrixfarbräumen zu Quantisierungsfehlern.
- Gibt es ein optimales Gamma, so dass diese Fehler möglichst gering und gleichmäßig im Farbraum verteilt sind?

DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma

- Idee



Idee:

- Vorgabe von Eckfarben (sRGB, eciRGB, Adobe RGB)
- Vorgabe des Gamma-Wertes von 1,0 bis 3,6 in Schritten von 0,2
- Für alle RGB-Werte in 8 bit wird der CIELAB-Farbart berechnet
- Erhöhen des RGB um 1 Einheit in den 7 Richtungen R,G,B,C,M,Y,W
- Berechnen der Farbdifferenz mit  $\Delta E_{76}$  und  $\Delta E_{00}$
- Sortieren und Auftragen nach Quantilen

DfwG AG Softproof

**Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma**

- Vorüberlegung

**gmg**<sup>color</sup>

Vorüberlegung:

- Bei Gamma  $\gamma = 1,0$  werden die Farben rasch hell. Dadurch sind die meisten (die hellen) Farben sehr dicht beieinander.
- In der Tiefe sind die Abstände umso größer. Das sind zwar wenige, aber wichtige Farben.
- Eine Mittelwert-Statistik ist daher unbrauchbar.
- Je höher das Gamma, desto kleiner die Abstände in der Tiefe. Damit sinkt der maximale Fehler auf Kosten des mittleren Fehlers.
- Die Auswertung ist systematisch verzerrt durch die gammaabhängige Auswahl der Farbörter!

DfwG AG Softproof

**Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma**

- Ansatz

**gmg**<sup>color</sup>

Ansatz:

- Vorgabe eines empfindungsgemäß gleichabständigen Gitters (Abstand 2) durch Verwendung des euklidisierten  $\Delta E_{00}$ -Raumes nach Urban
- In-Gamut-Auswahl und Konvertierung in 8 bit-RGB
- Erhöhen des RGB um 1 Einheit in den 7 Richtungen R,G,B,C,M,Y,W
- Berechnen der Farbdifferenz mit  $\Delta E_{76}$  und  $\Delta E_{00}$
- Sortieren und Auftragen nach Quantilen

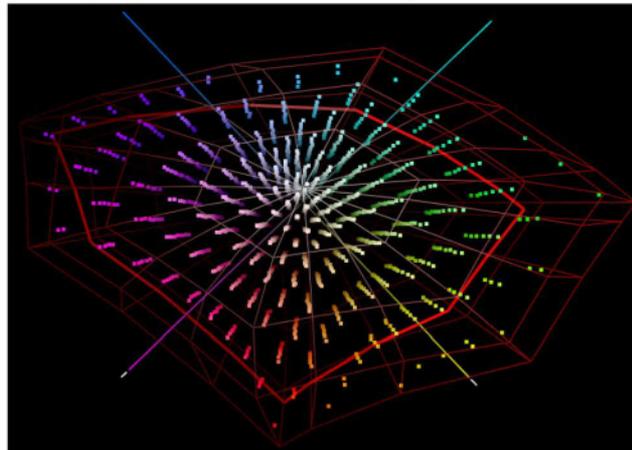
DfwG AG Softproof

**Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma**

- Beispiel für das Gitter

**gmg**<sup>color</sup>

Gitter mit Abstand 5 Einheiten im LAB2000-Raum, In-Gamut-Farben für sRGB:

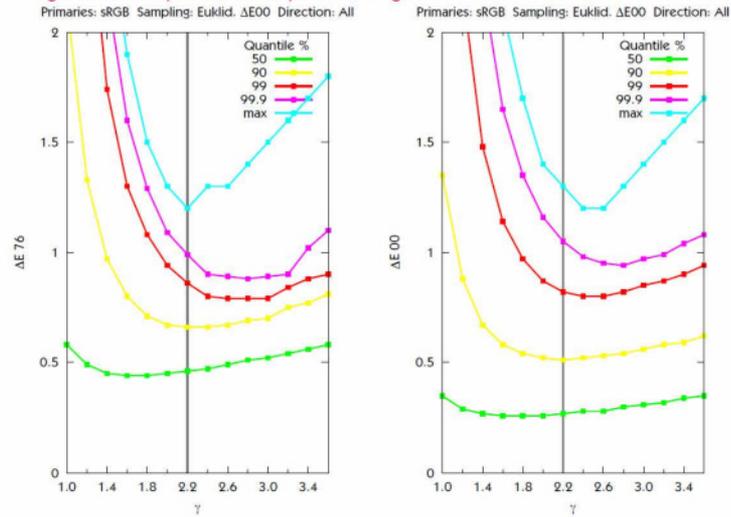


DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



Ergebnisse: sRGB, 21403 Farben, alle Richtungen

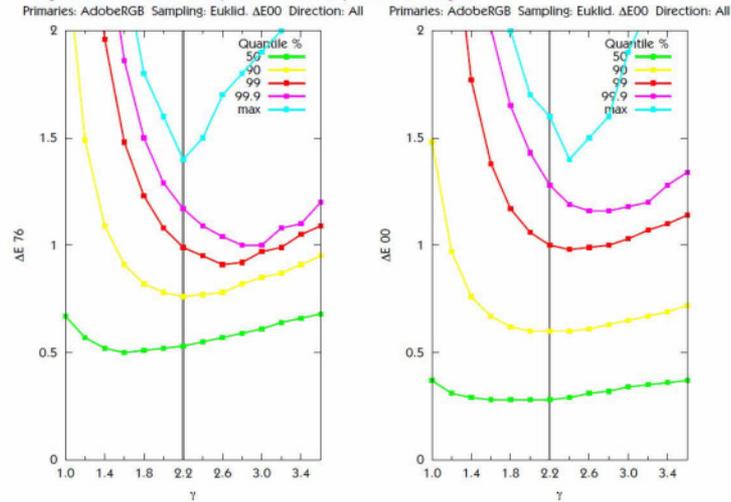


DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



Ergebnisse: Adobe RGB, 26309 Farben, alle Richtungen

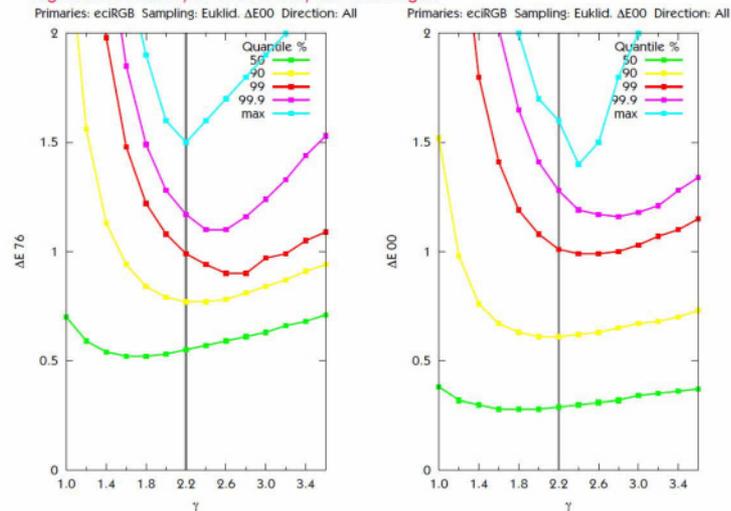


DfwG AG Softproof

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



Ergebnisse: eciRGB, 27883 Farben, alle Richtungen



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma  
- Ergebnisse



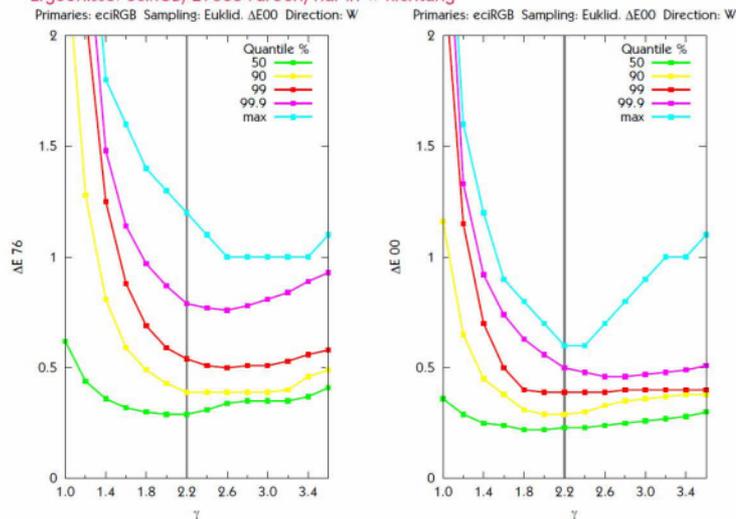
Ergebnisse für alle 7 Richtungen zusammen genommen:

- ▶ Median < 0,7  $\Delta E_{76}$  bzw. < 0,4  $\Delta E_{00}$
- ▶ Minimum des Medians immer noch bei kleinen Gammas
- ▶ Minimum für höhere Quantile bei höheren Gammawerten
- ▶ Maximum unter 2,0  $\Delta E_{76}$  bzw.  $\Delta E_{00}$  für übliche Gamma-Werte 1,8-2,2

Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



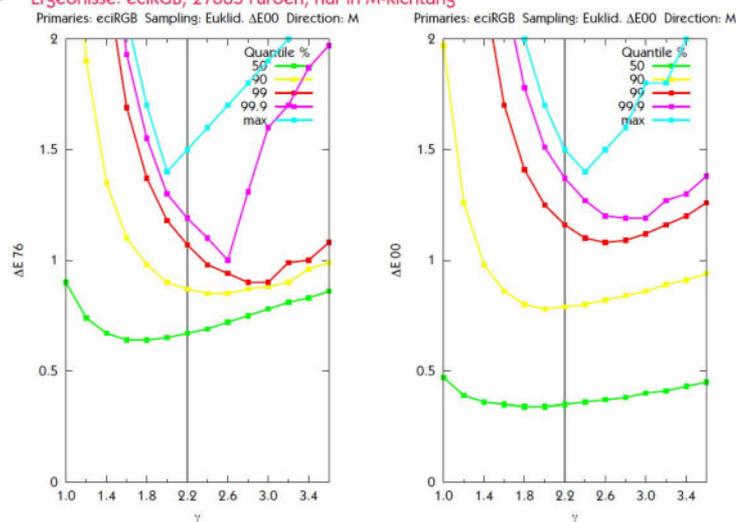
- Ergebnisse: eciRGB, 27883 Farben, nur in W-Richtung



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



- Ergebnisse: eciRGB, 27883 Farben, nur in M-Richtung



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma

- Ergebnisse

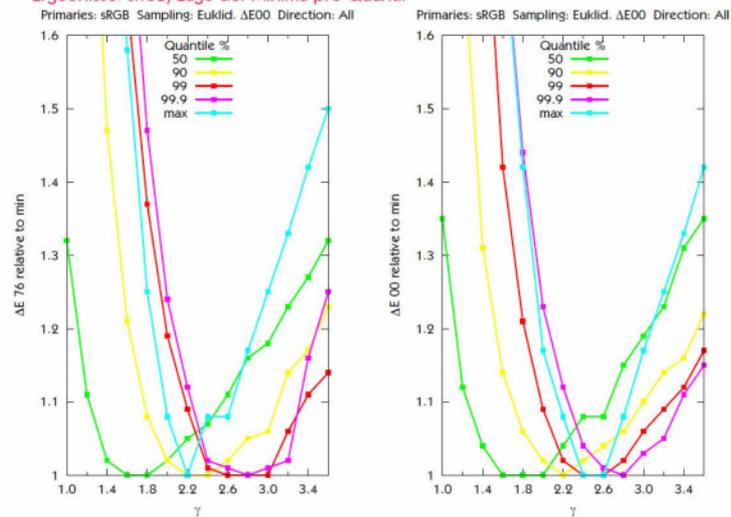


Ergebnisse für die W-Richtung (d. h. R+1, G+1, B+1):

- Kein klares Minimum mehr, höhere Gammas werden kaum schlechter
- Optimales Gamma hier bei > 2,2
- Analyse dieser einen Richtung also nicht repräsentativ (das betrifft auch andere Analysen entlang der Grauachse für L\*-RGB)
- Welche Richtung besonders deutliche Minima hat, hängt stark von den Eckfarben ab:
  - sRGB: Fehler steigt in Richtung G stark an (hier nicht gezeigt)
  - eciRGB: Fehler steigt in Richtung M stark an

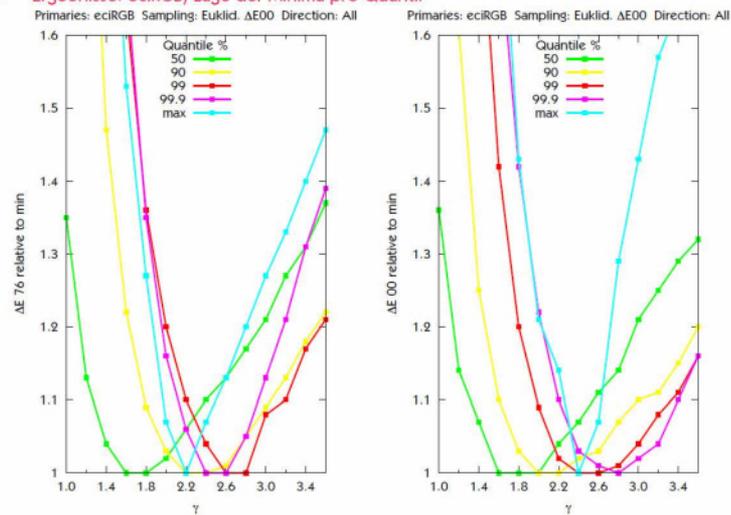
Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma

- Ergebnisse: sRGB, Lage der Minima pro Quantil



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma

- Ergebnisse: eciRGB, Lage der Minima pro Quantil



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma  
 - Ergebnisse



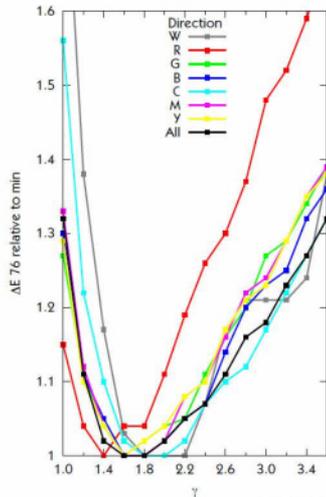
Ergebnisse für das optimale Gamma abhängig vom Quantil:

- ▶ Median: Gamma zwischen 1,6 und 2,0
- ▶ Höhere Quantile: höhere Gammawerte
- ▶ Maximum: Gamma zwischen 2,2 und 2,6
- ▶ Bewertung mit  $\Delta E_{00}$  streut etwas weniger (konsistentere Ergebnisse)

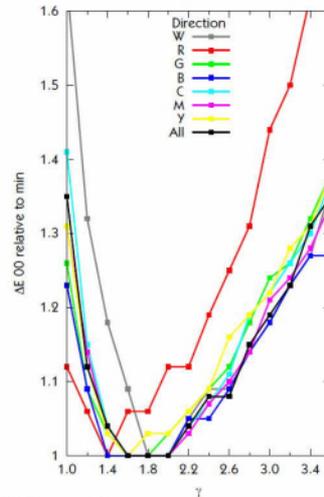
Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma  
 - Ergebnisse: sRGB, Lage der Minima pro Richtung



Primaries: sRGB Sampling: Euklid.  $\Delta E_{00}$  Quantile: 50



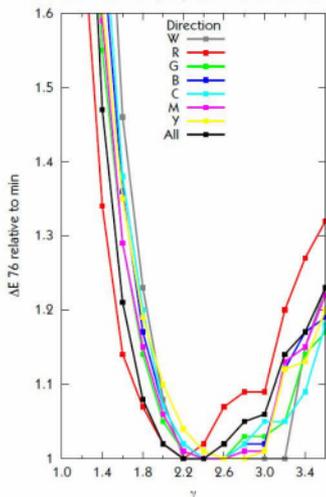
Primaries: sRGB Sampling: Euklid.  $\Delta E_{00}$  Quantile: 50



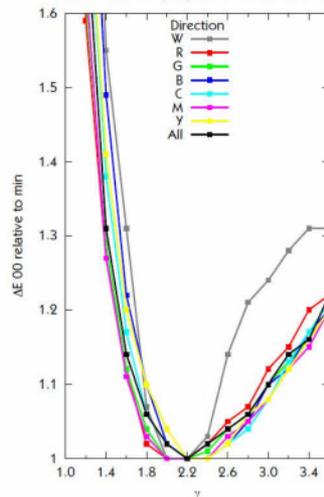
Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma  
 - Ergebnisse: sRGB, Lage der Minima pro Richtung



Primaries: sRGB Sampling: Euklid.  $\Delta E_{00}$  Quantile: 90



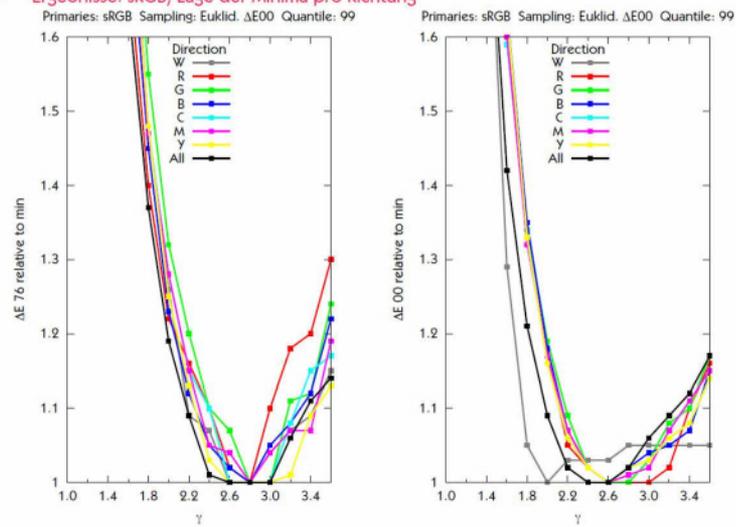
Primaries: sRGB Sampling: Euklid.  $\Delta E_{00}$  Quantile: 90



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



- Ergebnisse: sRGB, Lage der Minima pro Richtung



Quantisierungsfehler abhängig vom RGB-Gamma



- Ergebnisse

Ergebnisse für das optimale Gamma:

- Der Einfluss der Richtung auf das Optimum ist geringer als der des Quantils
- Alle Richtungen zusammen genommen sind einigermaßen repräsentativ
- Wir müssen uns entscheiden, ob wir lieber die Hälfte aller Farben oder fast alle Farben gut differenzieren wollen
- Der Kompromiss liegt für  $\Delta E_{00}$  zwischen 1,8 (Median) und 2,6 (99 %):

also **optimales Gamma 2,2**

insbesondere auch gut für die Gesamtheit aller Farben (Maximum)

(wie für sRGB gezeigt, Adobe RGB und eciRGB sind ähnlich)

# Metamerie-Effekte in der Druckindustrie: Wie stark ist sie ausgeprägt und wie misst man sie?

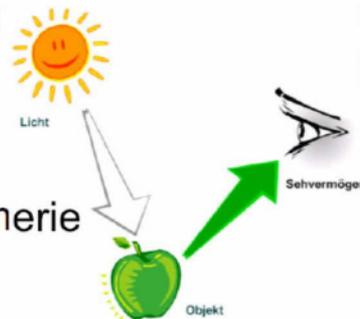
Andreas Kraushaar, FOGRA, München

DfwG, 2009, Berlin

## Agenda



1. Was ist Metamerie?
2. Drucktechnische Anwendungsmöglichkeiten im Dunstkreis der Metamerie
3. Berechnung der Metamerie
4. Untersuchung von Normlichtkabinen
5. Untersuchung verschiedener Farbumstimmungstransformationen
6. Untersuchung der Beobachtermetamerie
7. Zusammenfassung und Ausblick



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

2

DfwG, 2009, Berlin

## 1. Was ist Metamerie?

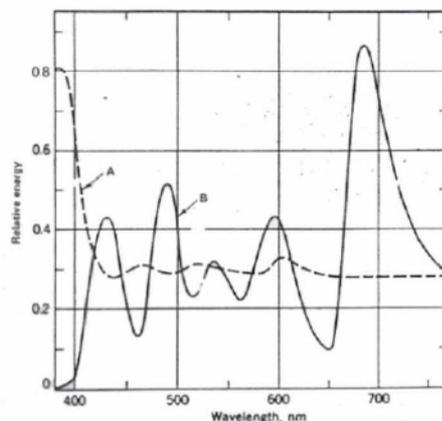


- Begriff "Metamerie" wurde von W. Ostwald eingeführt
- Metamer = "bedingt gleich"
- CIE 15 [9.2] sagt:

"Two specimens having identical tristimulus values for a given reference illuminant and reference observer are metameric if their spectral radiance distributions differ within the visible spectrum."

→ *Special metamerism index: change of illuminant [1972]*

→ *Special metamerism index: observer metamerism [1993]*



Color Science, Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae

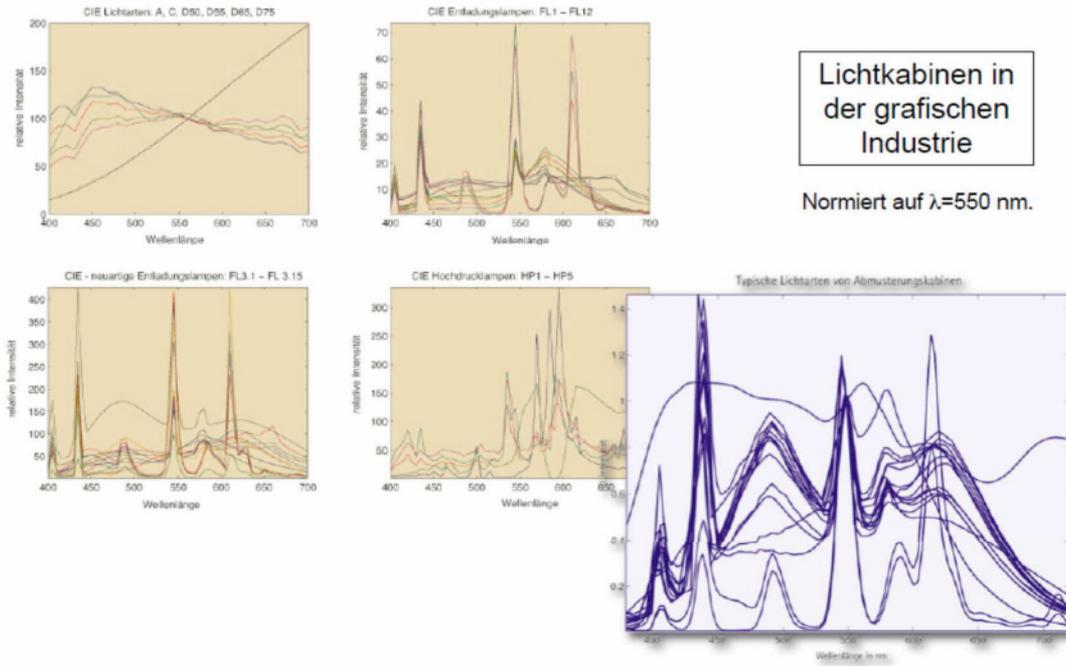
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

3

DfwG, 2009, Berlin



# 1. Vielfalt an Lichtquellen



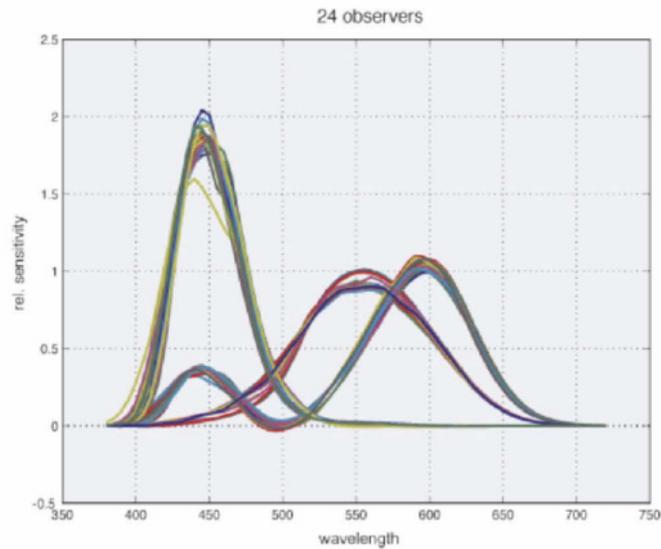
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

4

DfwG, 2009, Berlin



# 1. Vielfalt an Beobachtern



BOOSMANN, T.:  
Encoding of spectra for multiple observers and multiple illuminants  
In: IS&T/SPY 18th Electronic Imaging Conference, Springfield, 2006 -

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

5

## 2. Metamerie und Farbkonstanz?



Metamerie → 2 Proben

Farbinkonsistenz → 1 Probe



Lab1 = Lab2



Lab1 ≠ Lab2

Metamerieindex

$M_{D65-A}$ ,  $M_{D65-F11}$



Farbinkonsistenzindex

$CII_{D65-F11}$ ,  $CII_{D65-A}$

## 2. Anwendungsmöglichkeiten



### → Fall 1: Vergleich von Prüfdruck mit Andruck

- Sowohl unter definierten als auch unter undefinierten Lichtbedingungen
- Prüfdruck meist im Inkjetverfahren hergestellt
- Andruck meist im konventionellen Offsetdruck
- Praxisproblem: Farbunterschiede trotz kleiner Farbabstände [ $\max \Delta E < 3$ ]
- Praxisproblem: Farbunterschiede innerhalb normkonformer Kabinen

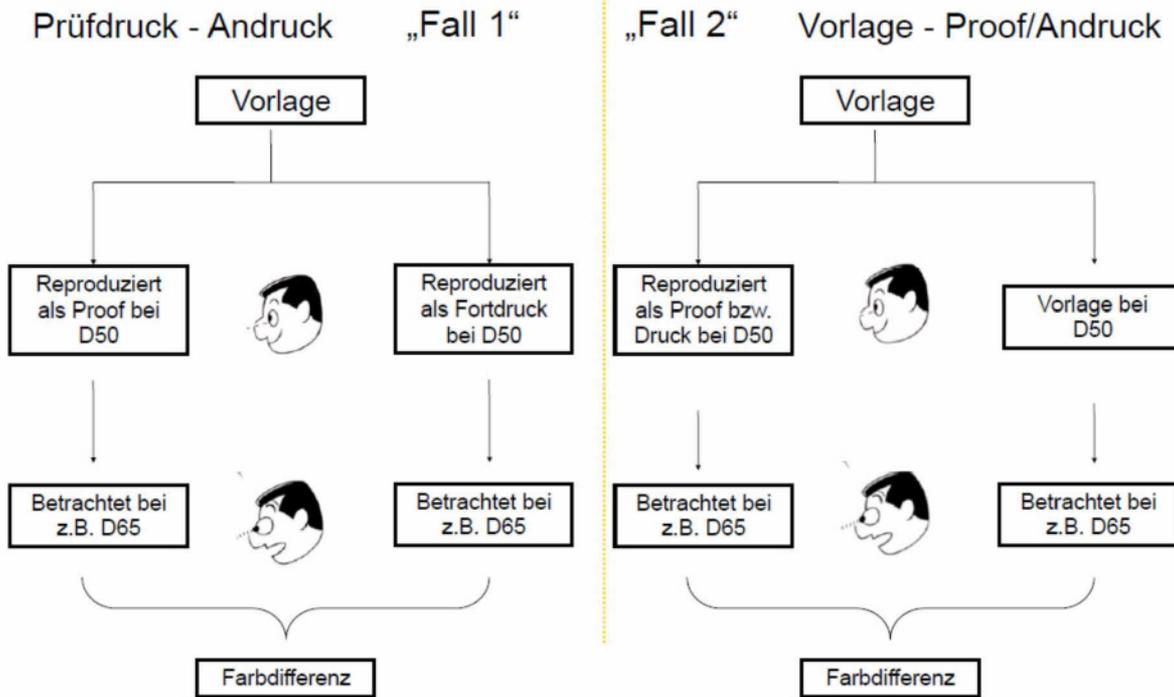
### → Fall 2: Vergleich von Original (Vorlage) und Prüfdruck/Andruck

- Sowohl unter definierten als auch undefinierten Lichtbedingungen
- Originale können alle farbigen Vorlagen sein [Textil, Naturprodukte, etc]

### → Fall 3: Vergleich von Bildschirm und Druck

- Bildschirm zumeist LCD-Technik mit LED oder CCFL-Rückbeleuchtung
- Druck reicht von Inkjet über Elektrofotografie bis hin zum Druck

## 2. Fälle 1 und 2 im Detail



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

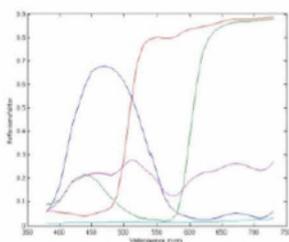
8

## Typische Vertreter



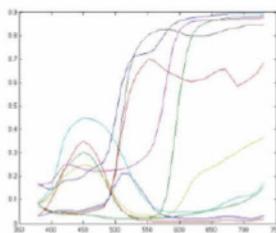
### Offsetdrucke

- Standardpigmente



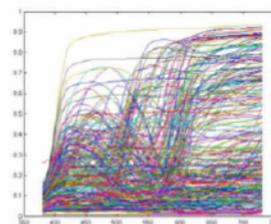
### Sonderfarben

- u.a. Offset-, Sieb-Tief- und Flexodruck



### Körperfarben

- Pointer
- Vrhel
- ....



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

9

## 2. Dimensionalität von Vorlagen



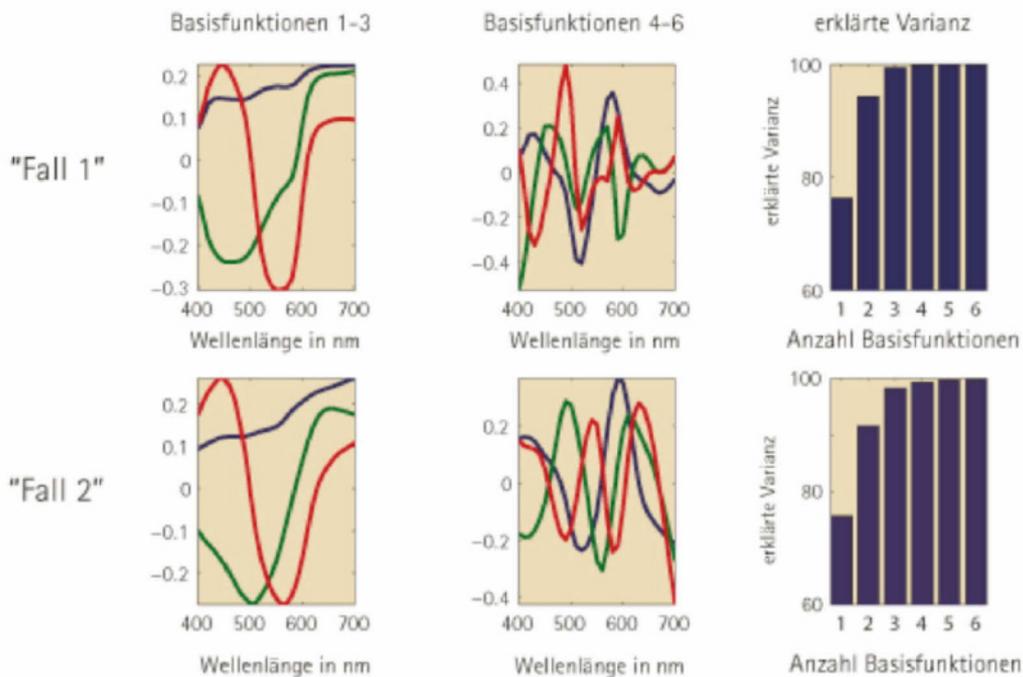
„On the spectral dimensionality of object colors.“

J. Hardeberg

In: 1st European Conference on Colour Graphics, Imaging, and Vision CGIV, Poitiers, Frankreich, 2002, Dokumentation, S. 480-485

- Anzahl der notwendigen Basisfunktionen einer PCA korreliert mit der spektralen Dimensionalität eines spektralen Datensatzes.
- je größer die spektrale Dimension, umso mehr Grundfarben sind für eine spektrale Reproduktion nötig
- Geeignet für einen sinnvollen Vergleich von Vorlagen und multispektralen Drucksystemen
- Basis für die Entwicklung eines spektralen Gamuts

## Faktorenanalyse für "Fall 1" und "Fall 2"





### 3. Metamere werden Paramere

- Exakte Übereinstimmung der CIEXYZ Farbwerte ist in der Praxis oft nicht gegeben.
- Beispiele sind: "Buntgrau-Echtgrau-Felder", Lichtindikator
- Parameric pair: "Two stimuli with nearly identical fundamental stimuli and disimilar metameric blacks" [R. Berns]

ECI/bvdm Gray Control Strip (S) • FOGRA39 • v2

Unter Beleuchtung mit Farbtemperatur 5000 K weist der Farbtemperatur-Indikator keine Streifen auf.

D50

Unter Beleuchtung mit Farbtemperatur über oder unter 5000 K zeigt der Farbtemperatur-Indikator Streifen mit unterschiedlichen Grün- und Olivtönen.

TL84



### 3. Von Parameren zu Metameren

Mögliche Korrekturen, um identische CIEXYZ Farbwerte zu erhalten.

- Additive Korrektur
- Multiplikative Korrektur
- Korrektur anhand des metameren Schwarzes
- weitere

$$\beta_{\text{Test\_korrigiert}} = R\beta_{\text{Referenz}} + M_S\beta_{\text{Test}}$$

$$M_S = I_N - A(A^T A)^{-1} A^T \quad 1.14$$

	Referenz			Test		
	CIEX	CIEY	CIEZ	CIEX	CIEY	CIEZ
D50	0.2132	0.2325	0.0450	0.2243	0.2501	0.0422
TL84 (F11)	0.2218	0.2330	0.0311	0.2280	0.2704	0.0338
MI <sub>1</sub>	14.0 (8.1)	keine Korrektur				
MI <sub>2</sub>	10.7 (6.8)	Korrektur gemäß Gl. 1.14,				
MI <sub>3</sub>	10.9 (6.9)	additive Korrektur				
MI <sub>4</sub>	10.3 (6.6)	multiplikative Korrektur				

Tab. 1: Ergebnisse der Berechnung des Metamerieindices MI für den Wechsel der Lichtart (von D50 auf F11) auf Basis vier verschiedener Korrekturverfahren; CIEDE2000-Werte in Klammern.

### 3. Metamerieberechnung im Detail



CIELAB<sub>Test</sub>      CIELAB Farbabstand      CIELAB<sub>Ref</sub>

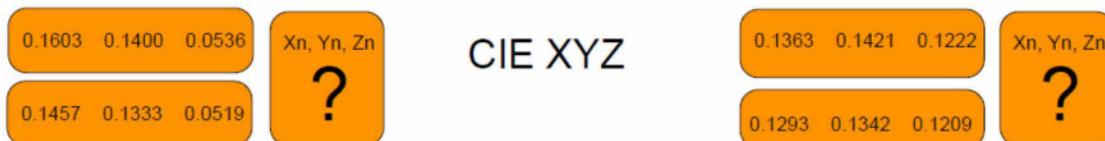
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

14

### Metamerieberechnung im Detail



- Wie vergleicht man verschiedene Normvalenzsysteme?
- Welche Farbabstandsmetrik ist geeignet?
- Wie kann ein farbpsychologischer Versuch dieses Verhalten nachstellen?



- Häufig wird in der Farbwissenschaft eine Farbumstimmung auf die Referenzlichtart durchgeführt:
  - Bradford
  - XYZ-Skalierung (CIELAB Berechnung - "wong von Kries")
  - "von Kries"
  - HPE (Hunt Pointer Estévez - CIECAM02)
  - Hunt (CRA vol 12, nr 6, 1987)



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

15



## 4. Untersuchung Normlichtkabinen

- ↪ Messgerät: Instrument System MAS30
- ↪ Messbereich: 340 nm bis 780 nm
- ↪ Testtafel: ECI2002 (FOGRA39, d.h. Offsetdruck auf Bilderdruckpapier)
- ↪ Normlichtkabinen: PCVL (Pantone Color Viewing Light), CC (Color Communicator), EVS (Electronic Viewing Station)
- ↪ Bezug (Xn,Yn,Zn): CIEXYZ der jeweiligen Lichtquelle, d.h. "XYZ-Skalierung"

Farbabstandsformel:  
CIELAB 1976

CIELAB 1976 Average							
	D50	CC2 oben	CC2 unten	CC2 beide	PCVL D50	XLDI	GTI EVS
D50	-						
CC2 oben	1,5	-					
CC2 unten	1,4	0,2	-				
CC2 beide	1,5	0,1	0,1	-			
PCVL D50	1	0,6	0,5	0,5	-		
XLDI	0,7	0,9	0,8	0,8	0,4	-	
GTI EVS	1,7	3,1	3	3	2,6	2,3	-

CIELAB 1976 Max							
	D50	CC2 oben	CC2 unten	CC2 beide	PCVL D50	XLDI	GTI EVS
D50	-						
CC2 oben	5,6	-					
CC2 unten	5,1	0,6	-				
CC2 beide	5,4	0,4	0,3	-			
PCVL D50	3,3	2,5	2	2,2	-		
XLDI	2,2	3,7	3,1	3,4	1,4	-	
GTI EVS	5,7	11,2	10,8	11	8,9	7,9	-



## 4. Untersuchung Normlichtkabinen

CIEDE2000 Average							
	D50	CC2 oben	CC2 unten	CC2 beide	PCVL D50	XLDI	GTI EVS
D50	-						
CC2 oben	0,9	-					
CC2 unten	0,8	0,1	-				
CC2 beide	0,9	0,1	0	-			
PCVL D50	0,6	0,4	0,3	0,3	-		
XLDI	0,4	0,5	0,5	0,5	0,2	-	
GTI EVS	1	1,8	1,7	1,8	1,5	1,3	-

CIEDE2000 Max							
	D50	CC2 oben	CC2 unten	CC2 beide	PCVL D50	XLDI	GTI EVS
D50	-						
CC2 oben	2,5	-					
CC2 unten	2,3	0,3	-				
CC2 beide	2,4	0,2	0,1	-			
PCVL D50	1,7	1,4	1,1	1,2	-		
XLDI	1	1,8	1,5	1,6	0,8	-	
GTI EVS	2,6	5,1	4,9	5	4	3,6	-

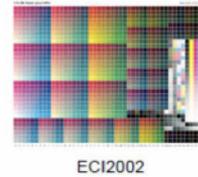
Farbabstandsformel: CIEDE2000

## 5. Untersuchung verschiedener Farbumstimmungstransformationen



### Experiment:

- Reflexionsspektren der ECI2002 Testtafel ["i-Punkt Druck"]
- Berechnung der CIEXYZ der jeweiligen Testlichtart 1 und 2
- Umstimmung mit den 5 verschiedenen Verfahren auf die Adaptationslichtart AL3
- Berechnung der CIELAB Farbwerte mit  $X_n$ ,  $Y_n$  und  $Z_n$  [AL3]



ECI2002

Testlichtart 1: D50

Testlichtart 2: D65

Adaptationslichtart AL3: D65

	Bradford	XYZ_Skal	von-Kries	Hunt	HPE
Mittelwert	1	3	2	2	3
Maximum	3	10	5	9	9
StAbw	1	2	1	2	2

## 5. Einfluss der Farbumstimmung II



Testlichtart 1: D50

Testlichtart 2: F11

Adaptationslichtart AL3: D50

	Bradford	XYZ_Skal	von-Kries	Hunt	HPE
Mittelwert	10	10	10	12	11
Maximum	14	16	16	26	25
StAbw	2	3	3	4	4

Testlichtart 1: D50

Testlichtart 2: F11

Adaptationslichtart AL3: F11

	Bradford	XYZ_Skal	von-Kries	Hunt	HPE
Mittelwert	10	10	10	11	11
Maximum	14	16	15	23	22
StAbw	2	3	3	4	4



## 5. Einfluss der Farbumstimmung III

Testlichtart 1: A                      Testlichtart 2: D50                      Adaptationslichtart AL3: A

	Bradford	XYZ_Skal	von-Kries	Hunt	HPE
Mittelwert	3	6	5	10	10
Maximum	9	19	13	42	41
StAbw	2	4	3	8	8

Testlichtart 1: A                      Testlichtart 2: D50                      Adaptationslichtart AL3: D50

	Bradford	XYZ_Skal	von-Kries	Hunt	HPE
Mittelwert	4	6	5	11	10
Maximum	9	19	15	88	77
StAbw	2	4	3	11	9

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

20



## 5. 88 ebenmerkliche Unterschiede?

Lichtart A

CIEXYZ 0.4342 0.2157 0.0121

CAT (Hunt): A -> D50

0.8005	0.0915	-0.1591
0.0852	0.8995	0.0900
0	0	2.5567

Korrespondierende Farbe:

CIEXYZ: 0.3660 0.2337 **-0.0188**

↓  
CIELAB: 55.4552 54.0190 131.0627

Lichtart D50

CIEXYZ: 0.3032 0.1612 0.0275

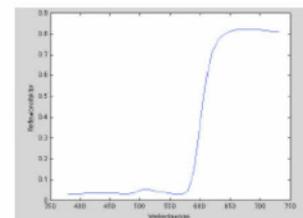
CAT (Hunt): D50 -> D50

1.0000	0.0000	0
0	1.0000	0
0	0	1.0

Korrespondierende Farbe:

CIEXYZ: 0.3032 0.1612 0.0275

↓  
CIELAB: 47.1375 67.8755 44.5316



$\Delta E=88$

Clipping auf CIEXYZ: 0.3660 0.2337 0

55.4552 54.0190 95.6125

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

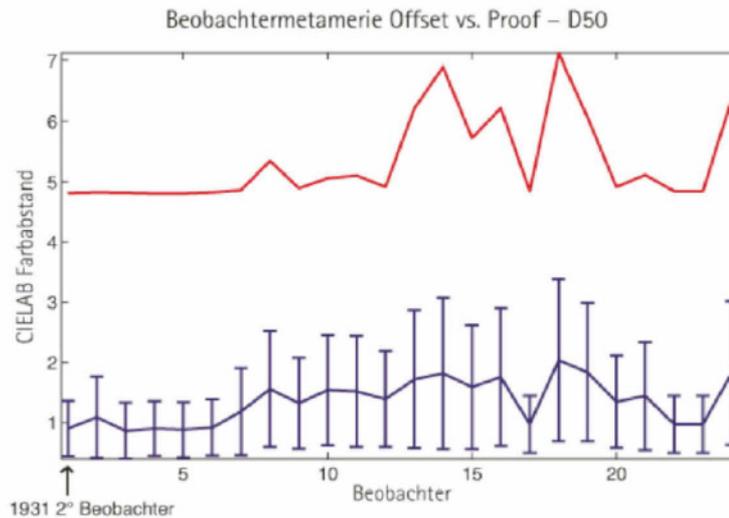
21

DfwG, 2009, Berlin

## 6. Untersuchung Beobachtermetamerie



- ECI2002 Testtafel eines Offsetdrucks und eines Prüfdrucks
- Bezug:  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  des jeweiligen Normvalenzsystems
- Maximale Farbabstände in Rot
- Mittelwert mit Standardabweichung in Blau



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

22

DfwG, 2009, Berlin

## 6. Zusammenfassung und Ausblick



- Die Güte der Farbproduktionstechnik hat sich enorm gebessert
- Nachstellungen gelingen [wenn man alles richtig macht] im Bereich der Messgerätegenauigkeit
- Verbleibende Farbunterschiede sind eine Herausforderung an das Farbmanagement nach ICC
- Der Übergang von der metameren zur multispektralen Reproduktion ist für hohe Qualitätsanforderungen unumgänglich
- Er wird durch einen Aus / Umbau der metameren Reproduktion begleitet:
  - Berücksichtigung der konkreten Lichtart
  - Berücksichtigung von modifizierten Beobachtern
  - Verbesserung der Schätzung der Farbumstimmung
- Physiopsychologische Versuche sind notwendig, die helfen verschiedene Normvalenzmetriken miteinander zu vergleichen

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

23



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

## Vorschau DfwG Report 02 2010

*Im nächsten DfwG Report erwarten Sie voraussichtlich folgende Beiträge:*

*Protokoll der Jahrestagung 2009*

*Richter: DIN 33872 "Relative Farbwiedergabe" sowie Trends und Daten für einen visuellen RGB-Elementarfarbraum*

*Schwamb, Haferkemper, Kuhn, Khanh: Untersuchung von Optimierungsverfahren für n-kanalige Farbmischung*



Midterm Meeting of the  
International Colour Association (AIC)  
Zurich University of the Arts, Zurich, Switzerland

### AIC 2011 Scientific Programme Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences

The conference theme deals with the interaction of colour & light in real and virtual environments. The aim is to explore from a theoretical and practical point of view how the interaction of colour & light performs a crucial role in the perception, conception and realization of spaces and platforms in different fields. Using terms and concepts, such as appearance, interaction, performance, event, and by privileging the materiality, mediativity, and the interactive dimension of colour & light, the conference presentations will demonstrate how productive the theme of the **Interaction of Colour & Light in the Arts and Sciences** is. The fields of inquiry include education, design, art, media, architecture, theatre, dance, as well as psychology, radiation & matter interactions, and colour science & technology.

Researchers, scientists, professionals and industrialists alike are looking for new results, concepts and applications.

The AIC 2011 Midterm Meeting embraces discussing and nurturing the latest findings in a broad field involving theory and practice from a variety of disciplines and perspectives. The AIC 2011 Organising Committee invites you to participate in this unique event!

Those who wish to attend the conference or would like to be sponsors or exhibitors are welcome to contact us. Further information will be sent to you as it becomes available.

#### AIC 2011 Organising Committee

**General Chair:** Verena M. Schindler, Art & Architectural Historian, Zollikon; Atelier Cler Etudes Chromatiques, Paris | **Technical Chair:** Prof. Ulrich Bachmann, Colour-Light Center, Zurich University of the Arts, Zurich | **Papers Committee:** Ralf Michel, Institute of Design & Technology; ColourLight Center, Zurich University of the Arts, Zurich, Prof. Sabine Süssstrunk, School of Information & Communication Sciences; Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Dr. Stefanie Wettstein, Haus der Farbe, Zurich, Verena M. Schindler | **Programme Chair:** Ralf Michel | **Publications Chair:** Stephan Cuber, Architect & Designer, Zurich | **Publicity Chair:** Florian Bachmann, ColourLight Center, Zurich University of the Arts, Zurich, Stephan Cuber | **pro/colore Executive Committee:** Ernesto Bergantini, pro/colore; Textile Designer, St. Gallen | **Financial Chair:** Daniel Pfeffer, pro/colore; CRB and NCS Colour Centre Switzerland, Zurich | **Social Events:** Eveline Staub,

pro/colore; Event Manager & Colour Designer, Zurich, Susanna A. Bösch, pro/colore; farbe himmelblau Colour Design & Space Concepts, Winterthur

#### Address for Communications

Verena M. Schindler, AIC 2011 General Chair  
Email: info@aic2011.org | Mobile: +33 (0)6 78 82 61 69

#### Mailing Address in Switzerland

pro/colore, Postfach 8701, CH-8036 Zurich, Switzerland

#### Save the Date! 7-10 June 2011

www.aic2011.org



Hosted by pro/colore  
Swiss Colour Association

pro/colore  
Schweizerische Vereinigung für die Farbe