



ISSN 1860-2835

# Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

**Verantwortlich: Prof. Dr. Bernhard Hill**

Vorschau auf die DfwG-Tagung am 8. - 10. Oktober 2013 in Ilmenau



Lichtinstallation des Fachgebietes Lichttechnik (Foto: ari)



Nachtaufnahme von Ingo Herzog



Newtonbau – Foto von Barbara Neumann



Lichtinstallation aus der Sicht von Chris Liebold



Humboldt Bau – Foto von Sebastian Trepesch



Audimax des Humboldtbbaus fotografiert von Bettina Wegner



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

**Inhaltsverzeichnis Report 02 2013**

Impressum .....	2
Vorwort an die Farbgemeinde .....	3
Nachrufe .....	5
Tagung in Ilmenau 8. – 10. Oktober 2013 .....	6 - 8
Überprüfung der Toleranzen für Reparaturlackierungen in der Praxis .....	9
Super-Metamerie bei Weißabgleichen mit RGBW-LED-Systemen .....	18
AIC Tagungen 2011 und 2012 .....	33
Die Sättigung der Farbe – Experimentelle Bestätigung der Formel der Sättigung .....	43
Weißleuchtstoff-basierte Hochleistungs-LED .....	48

**Impressum:**

Vize-Präsident:

Prof. Dr. Bernhard Hill

Tel: 0241 802 7703, E-Mail: hill@ite.rwth-aachen.de

Schatzmeister:

Dr. 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:

PD Dr. habil. Peter Bodrogi

Tel. 061511675095

E-Mail: bodrogi@lichttechnik.tu-darmstadt.de

Fluoreszenz:

Dr. Claudio Puebla

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

**Internet: [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de)**

**ISSN 1860-2835**

Verleger und Herausgeber: Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.  
Einzelheft: 10 Euro + Versandkosten; der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.  
Layout und Druckvorbereitung: Werner Rudolf Cramer und Andreas Kraushaar  
Für die Inhalte der fachlichen Artikel sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.

## **Liebe Farbgemeinde!**

Nach den weniger schönen Ereignissen zur Jahreswende ist wieder Ruhe in die Arbeit der DfwG eingeleitet. Der erste DfwG-Report für dieses Jahr konnte in den vergangenen Wochen ausgeliefert werden. Leider haben sich einige kleine Fehler eingeschlichen, die durch einen sehr kurzfristigen Prozess der Drucklegung in einer neuen Druckerei bedingt waren. So bin ich nicht Präsident, sondern Vizepräsident und im Original ist die Ein- und Ausgabenrechnung von Herrn Steckert von ihm unterschrieben. In Zukunft wird der Prozess der Herstellung des Reports einen kontrollierteren Verlauf haben. In der vergangenen und neuen Ausgabe des Reports haben wir interessante Vorträge von der DfwG-Tagung in Aachen zusammengestellt. Die Artikel zeigen ein breites Spektrum von wissenschaftlichen Studien und industriellen Anwendungen und demonstrieren damit auch die Aktualität der Diskussion um die Farbe in unserer Gesellschaft. Herzlichen Dank an die Autoren!

Die ersten konkreten Vorbereitungen der Jahrestagung in Ilmenau im Oktober haben begonnen und es sind schon Vortragsanmeldungen eingegangen. Erste Informationen zum Tagungsort finden Sie in dieser Ausgabe. Wir freuen uns auf weitere Anmeldungen von Ihnen mit einer kurzen Zusammenfassung auf maximal einer Seite. Auch einen Vorschlag für den in diesem Jahr wieder zu verleihenden Förderpreis hat der Vorstand erhalten, weitere Vorschläge sind herzlich willkommen.

Erneut möchte ich auf die in diesem Jahr satzungsgemäß stattfindende Neuwahl des Vorstandes hinweisen und bitte noch einmal um die Abgabe von Vorschlägen.

Unser verstorbener Präsident Herr Dr. Rösler hatte schon in früheren Ausgaben dargestellt, dass alle Mitglieder der DfwG die Zeitschrift „Color Research and Application“ verbilligt beziehen können. Wie ich festgestellt habe, ist dies doch noch nicht allen Mitgliedern bewusst und ich erwähne es daher noch einmal.

(Kontakt: Journal Customer Services Team +44 (0) 1865 77 8315).

Leider haben sich wieder Trauerfälle ereignet: Frau Eva-Maria Gerhardy-Löcken ist plötzlich verstorben. Sie war vielen unserer Mitglieder durch ihre Mitarbeit in Gremien und ihre Angebote an Farbmustern und Farbfiltern der Firma Muster-Schmidt in Göttingen bekannt. Frau Gerhardy-Löcken war langjähriges Mitglied in der DfwG. Wir trauern auch um unser Mitglied Peter Glatz, der schon 1986 beigetreten ist und der sich durch sein Wirken bei der Definition des Weißgrades und Problemen der Fluoreszenz in unserer Gesellschaft profiliert hat. Unser aufrichtiges Beileid gilt allen Hinterbliebenen.

Einen besonderen Dank möchte ich an Herrn Cramer und Herrn Kraushaar für ihren Einsatz bei der Erstellung des Reports richten und ich freue mich, dass wir ein so gutes Ergebnis erhalten. Ihnen allen wünsche ich für die Arbeit an Farbproblemen viel Freude und verbleibe bis zur nächsten Ausgabe des Reports

Ihr Bernhard Hill

## Die nächsten Tagungen mit Themen aus der Farbwissenschaft

1. AIC 2013, The Sage, Gateshead bei Newcastle, England: July 8-July 12, 2013  
The 12th International AIC Congress [www.aic2013.org](http://www.aic2013.org)
2. Workshop Farbbildverarbeitung, FWS 2013, 26./27. September, GFal e.v. Berlin Adlershof,  
[www.zbs-ilmenau.de](http://www.zbs-ilmenau.de)
3. DfwG Jahrestagung 2013, 8. Oktober bis 10. Oktober 2013, Ilmenau, [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de)
4. NIP - Non Impact Printing, September 29 - October 3, 2013, Seattle, Washington, USA  
[www.imaging.org/conferences](http://www.imaging.org/conferences)
5. Color & Imaging CIC 2013, November 4- November 8, 2013, Albuquerque, New Mexico,  
USA,  
[www.imaging.org/conferences](http://www.imaging.org/conferences)
6. IS&T/SPIE Electronic Imaging, February 2-6, 2014, Hilton San Francisco, California, USA,  
<http://spie.org>

---

## Einladung zur Hauptversammlung der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft e.V.

am Mittwoch, den 09. Oktober 2013, 16.30 Uhr, TU Ilmenau, Humboldt-Platz, Humboldt-Hörsaal  
H-Hs, Gustav-Kirchhoff-Platz 1, 98693 Ilmenau

### Tagesordnung:

1. Genehmigung der Tagesordnung
2. Genehmigung des Protokolls der DfwG Mitgliederversammlung am  
10. Oktober 2012 in Aachen (siehe DfwG Report 1 - 2013)
3. Bericht des Vizepräsidenten
4. Bericht des Sekretärs mit Vorstellung des Entwurfs einer Geschäftsordnung
5. Kassenbericht 2012 durch den Schatzmeister
6. Bericht der Kassenprüfer (siehe Protokoll der Kassenprüfung DfwG Report 1 – 2013)
7. Entlastung des Vorstandes
8. Neuwahl des Vorstandes
9. Aussprache und Abstimmung über die Einführung der vorgestellten Geschäftsordnung
10. Vertretung der DfwG bei der CIE
11. Kurz- und mittelfristige Finanzplanung für die DfwG
12. Statusbericht der Arbeitsgruppen
13. Verschiedenes

Mit freundlichen Grüßen



Dipl.-Ing. Frank Rochow

(DfwG Sekretär)

## **Nachruf Eva-Maria Gerhardy-Löcken**

Frau Gerhardy-Löcken war 1978 als Vertreterin der Firmen Göttinger Farbfilter/Muster-Schmidt Verlag zur Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft gekommen und hat seitdem die Arbeit der DfwG durch Teilnahme und Ausstellungen bei den DfwG-Jahrestagungen aktiv begleitet.

Neben ihrer Präsenz in unserer Gesellschaft ist sie vielen Mitgliedern aber auch als Vertreterin des Muster-Schmidt Verlages in Erinnerung. Ihr Name ist auch mit der hoch angesehenen und führenden Zeitschrift „Die Farbe“ verknüpft, die sie lange Zeit, zusammen mit dem Herausgeber und bekannten Farbwissenschaftler Prof. Manfred Richter, publiziert hat.

Wir trauern mit der Familie und den Firmenangehörigen.

## **Nachruf Dr. Peter Glatz**

Dr. phil. nat. Peter Glatz war der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft 1986 beigetreten und hat, in stetiger Zusammenarbeit mit anderen Kollegen, den Grundstock für unser heutiges Wissen zum Weißgrad gelegt und zur Arbeit unserer Arbeitsgruppe Fluoreszenz beigetragen.

Auf der Basis seines Physikstudiums in Bern und Philadelphia (USA) hat er in seinem beruflichen Werdegang ein vielfältiges Wissen erworben, genutzt und weitergegeben. Er war Projekt- und Produktmanager von analytischen Messgeräten für Industrie und Umwelt. Zuletzt wirkte er in seinem eigenen Start-up-Unternehmen „Physix Glatz Peter“.

Er hat es bei unseren Zusammenkünften durch seine offene Art und mit seinem Fachwissen immer wieder verstanden, Menschen jeden Alters zu fesseln.

Der Platz, den Peter Glatz in der Welt der Farbwissenschaft eingenommen hatte, wird nicht leicht wieder zu besetzen sein.

Wir trauern um einen großartigen Menschen und Wissenschaftler.



Von:

Titel Vorname Name, Firma: \_\_\_\_\_

Straße Nr.: \_\_\_\_\_

PLZ Ort: \_\_\_\_\_

Telefon / E-Mail \_\_\_\_\_



www.dfwg.de

offices@rochow-berlin.de

Bitte melden Sie sich mit diesem Formular per Fax bzw. Brief  
im Fensterumschlag oder direkt online über [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de) an.

**DfwG-Geschäftsstelle**  
c/o Dipl.-Ing. Frank Rochow  
Gralsburgsteig 35  
13465 Berlin

FAX: (030) 401 4249

**ANMELDUNG**  
**zur DfwG Jahrestagung 08. – 10. Oktober 2013**  
**an der TU Ilmenau, FG Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Str. 26 98693 Ilmenau**

Ich melde mich hiermit zur DfwG Jahrestagung 2013 an als

- Mitglied der DfwG  
 Nichtmitglied  
 Student

Tagungsbeitrag  
€ 90,00  
€ 120,00  
€ 10,00

Mit der Veröffentlichung meiner oben genannten Kontaktdaten im Teilnehmerverzeichnis  
der Tagung bin ich  einverstanden / bin ich nicht  einverstanden

- Ich benötige eine Papier-Rechnung an o. g. Adresse  
 Ich benötige eine Rechnung per E-Mail an o. g. Adresse  
 Ich benötige keine Rechnung

\_\_\_\_\_  
Datum / Unterschrift

Den Tagungsbeitrag überweisen Sie bitte bis 1 Woche vor der Tagung an:

bei **DfwG**  
**Berliner Sparkasse**  
**Konto Nummer 206 002 3583**  
**BLZ 100 500 00**

**IBAN: DE 81100500002060023583**  
**SWIFT: BELA DE BE**

unter Angabe Ihres **Namens** und „**DfwG-JT-2013**“ !!!

Für eine möglichst genaue Vorplanung geben Sie uns bitte auch folgende Informationen:

**Vorbesprechung:**

- Ich nehme an der Vorbesprechung am 8. Oktober teil  
 Ich bringe hierzu \_\_\_ Begleitperson(en) mit

!!! nicht im Tagungsbeitrag enthalten

**Tagungsabend:**

- Ich nehme am Tagungsabend am 9. Oktober teil  
 Ich bringe hierzu \_\_\_ Begleitperson(en) mit

!!! nicht im Tagungsbeitrag enthalten

130701-Anmeldung-JT2013.doc

**DfwG Jahrestagung 2013**

**"Anwendung der Farbwissenschaft in Industrie und Forschung"**

**8. - 10. Oktober 2013 in Ilmenau**

Die 39. Jahrestagung der Deutschen farbwissenschaftlichen Gesellschaft e. V. (DfwG) findet auf Einladung der Technischen Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik (Prof. Schierz) vom 8.- 10. Oktober 2013 auf dem Campus der TU Ilmenau statt.

Die Ausrichter und der DfwG Vorstand freuen sich auf viele Teilnehmer, interessante Vorträge, Diskussionen und Gespräche auch bei den Abendessen. Der Vorstand dankt allen an der Organisation beteiligten Personen für Ihre Beiträge und freut sich, viele von Ihnen in Ilmenau zu treffen.

**Vorläufige Programmplanung:**

Dienstag 8. Oktober 2013

Ort: Newtonbau, Raum 2010, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

ab 13:30 Arbeitsgruppensitzungen

19:00 Vorbesprechung: Lindenhof (Kaminzimmer), Lindenstr. 3, Ilmenau

Mittwoch 9. Oktober 2013

Ort: Newtonbau, Raum 2010, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

ab 08:30 Arbeitsgruppensitzungen

12:00 Imbiss

Ort: Humboldtbau, Humboldt-Hörsaal H-Hs, Gustav-Kirchhoff-Platz 1

13:00 Eröffnung DfwG Jahrestagung 2013

Begrüßung, Ehrungen,

13:30 Vorträge

16:30 DfwG Mitgliederversammlung

ab 18:00 Abendprogramm: Hotel Tanne, Lindenstr. 38, Ilmenau

Donnerstag 10. Oktober 2013

Ort: Humboldtbau, Humboldt-Hörsaal H-Hs, Gustav-Kirchhoff-Platz 1

ab 09:00 Vorträge

12:00 Ende der DfwG Jahrestagung 2013

Imbiss

Gelegenheit zur Besichtigung

des Fachgebiets Lichttechnik und der Firma Technoteam

Hotelkontingente

bis zum 9.9.13 unter dem Stichwort „Farbtagung“ direkt im Hotel zu buchen:

Hotel Lindenhof, Lindenstr. 3

[www.hotel-lindenhof.de](http://www.hotel-lindenhof.de)

Telefon (03677) 68000

70,00 EUR pro Einzelzimmer/ Nacht

Hotel Tanne, Lindenstr. 38  
[www.hotel-tanne-thueringen.de](http://www.hotel-tanne-thueringen.de)  
 Telefon (03677) 686590  
 84,00 EUR pro Doppelzimmer/ Nacht  
 62,00 EUR pro Einzelzimmer/ Nacht  
 Ilmenauer Hof, Erfurter Str. 38

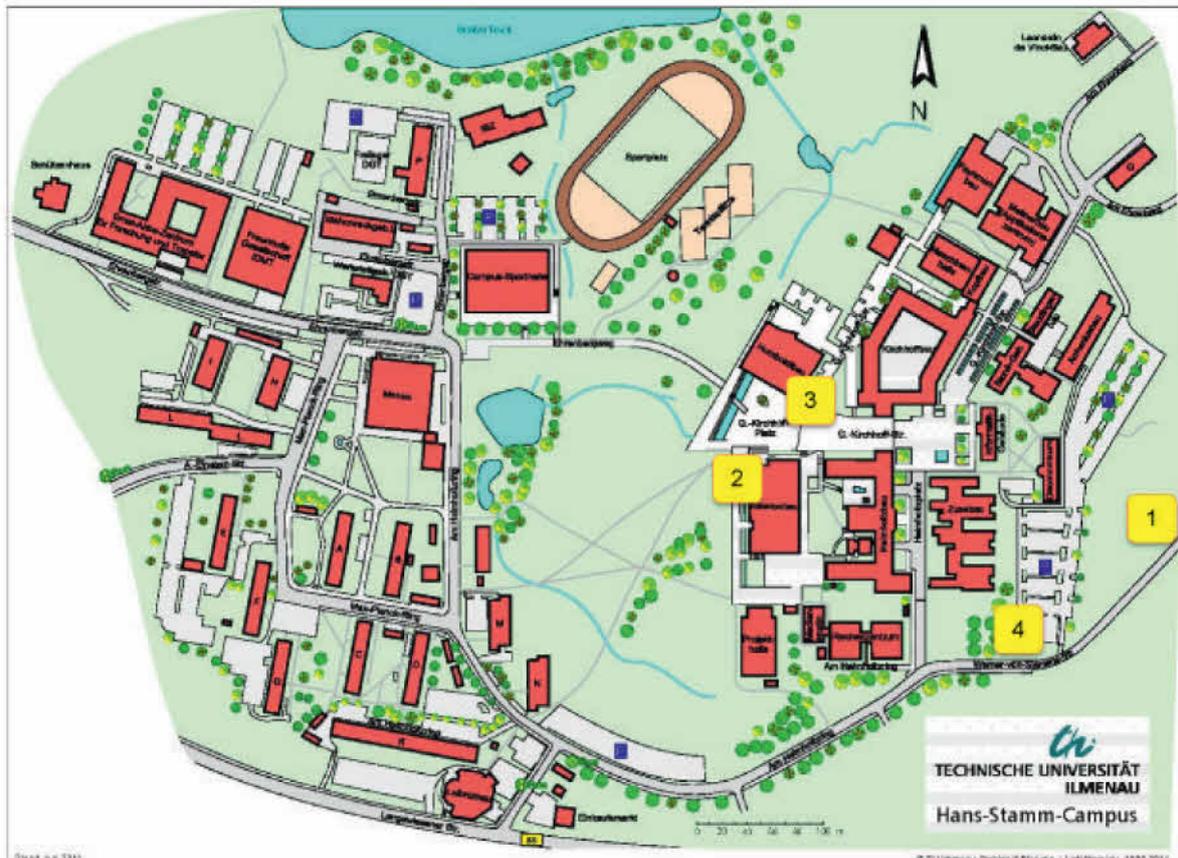
[www.ilmenauer-hof.de](http://www.ilmenauer-hof.de)  
 Telefon (03677) 6892753  
 47,00 EUR pro Einzelzimmer/ Nacht

Hotel Mara, Krohnestr. 5  
[www.mara-hotel.de](http://www.mara-hotel.de)  
 Telefon (03677) 4680390  
 60,00 EUR pro Einzelzimmer/ Nacht

Parken (kostenpflichtig) auf der Ostseite des Campus (alle anderen Parkplätze sind wahrscheinlich belegt)

Man kann mit dem Bus aus der Stadt bequem auf den Campus fahren. Die Haltestellen befinden sich unmittelbar an den Hotels Lindenhof, Tanne und Mara.

#### TU Ilmenau – Campus



- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1 ... TechnoTeam | 3 ... Humboldtbau |
| 2 ... Newton-Bau | 4 ... Parkplatz   |

### **DIN 6175 Teil II: Überprüfung der Toleranzen für Reparaturlackierungen in der Praxis**



**Bachelorarbeit Maxim Berg**  
Hochschule Esslingen  
Studiengang Farbe und Lack

**Betreuender Dozent: Dr. rer. nat. Georg Meichsner**  
**Betreuer der Fa. AkzoNobel: Werner Mieskes**

---

## Aufgabenstellung

---

- **Überprüfung der DIN 6175 Teil II - Toleranzen für  
Reparaturlackierungen**
- **Sind Spezialpigmente wie zum Beispiel Xirallic und  
Colorstream messbar?**
- **Vorschlag: Auswertung mit Audi2000**
- **Einsatz verschiedener Mehrwinkel Messgeräte**
- **Visuelle Abmusterung**
- **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**



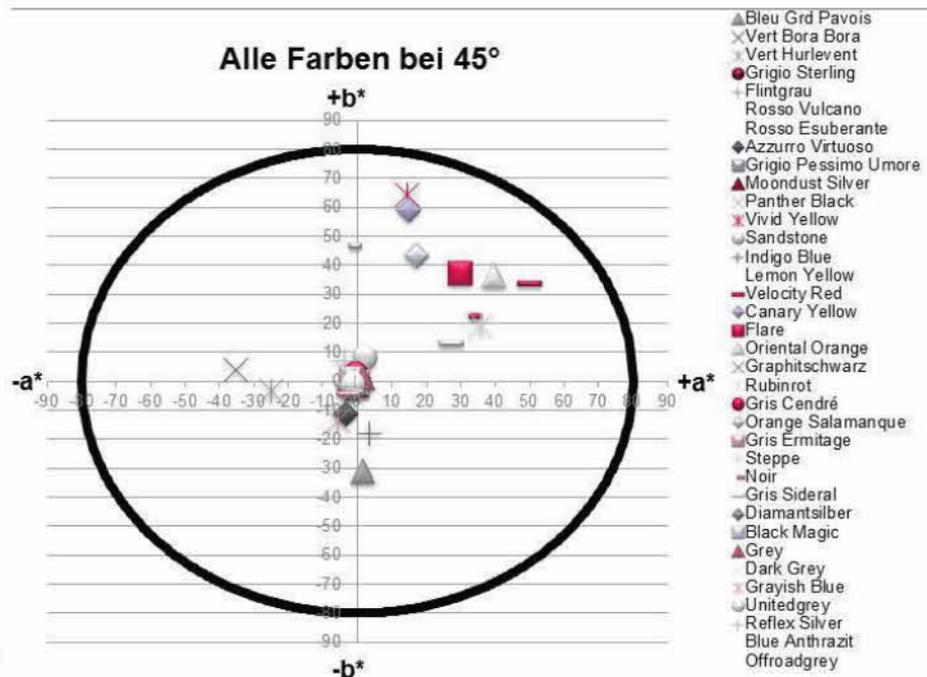
## Inhalt

- Kriterium: Farbauswahl
- Farbfamilie = Referenz und Varianten
- Messung und Auswertung
  - Geräte
  - Software
- Messgeräte Vergleich
- Visuelle Beurteilung
- Toleranzen
- Zusammenführung Messung / Visuelle Beurteilung
- Fazit



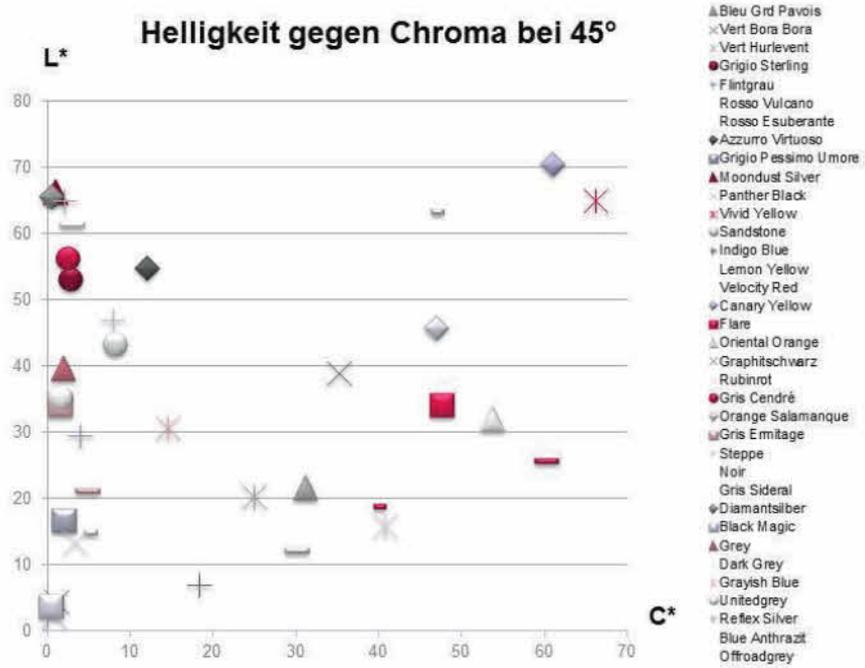
3

## Kriterium: Farbauswahl nach a\*/ b\*



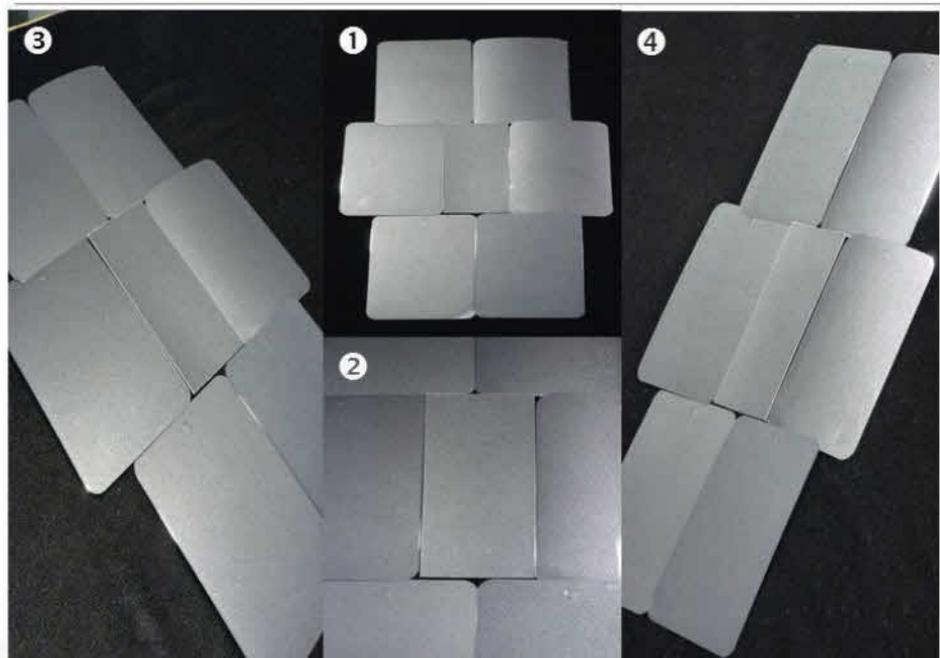
4

## Kriterium Farbauswahl nach L\* / C\*



5

## Farbfamilie



6

## Messung und Auswertung

• **Spektralphotometer**

- mehrwinklig
- portabel
- Wiederholbarkeit



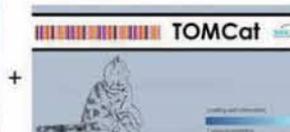
➤ **Messgeräte Vergleich**



• **Farbmess- und Auswerteprogramme**



EXCEL-DATEI

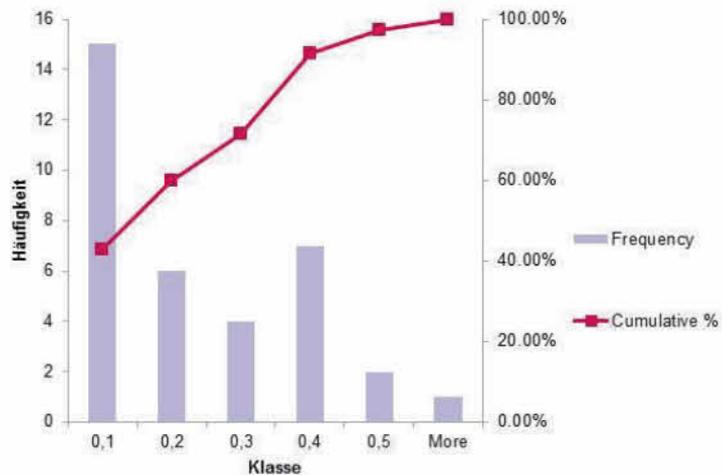


7

## Messgeräte Vergleich



**Messgeräte Vergleich nach Berechnung mit DIN 6175 Teil II**

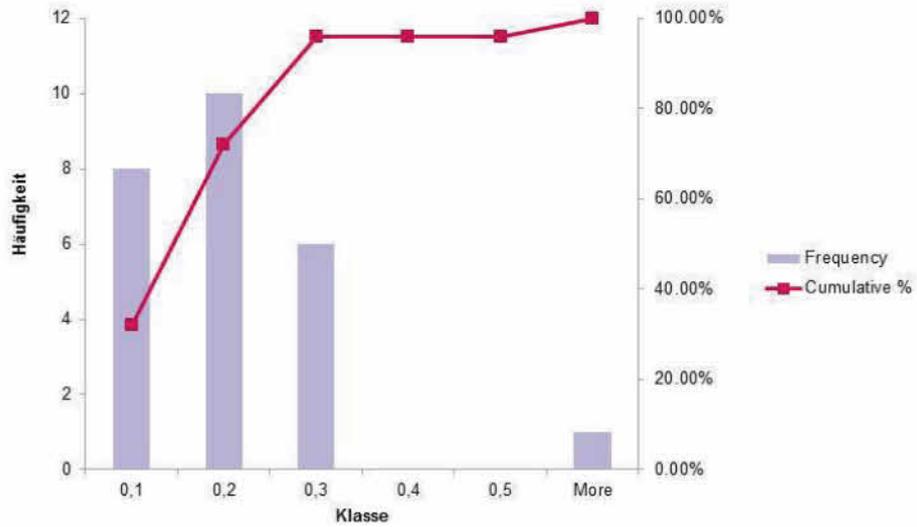


8

# Messgeräte Vergleich



Messgeräte Vergleich nach nach Berechnung mit Audi2000



# Messgeräte Vergleich

		15°	25°	45°	75°	110°	Toleranzen		Differenz zwischen BYK mac und X-Rite M488II				
Voikswagen Offroadgrey	Variante						Kante	±1,5	15°	25°	45°	75°	110°
	Variante 1	0,75	0,28	0,77	1,24	1,48	Beleuchten	1,5 ± 3,0	0,28	-0,11	-0,08	-0,28	-0,18
	Variante 21	1,81	1,42	1,24	1,37	1,29	n.i.O.	3,0 ±	0,21	-0,37	-0,28	-0,08	0,03
	Variante 2	1,14	0,86	0,38	1,21	1,61			-0,02	-0,05	-0,28	-0,08	0,11
	Variante 3	0,76	0,57	0,53	0,97	1,17			0,06	-0,12	0,11	0,02	-0,08
	Variante 16	3,88	2,28	1,05	1,07	0,37			0,08	0,00	-0,25	-0,08	-0,07
	Variante 4	1,01	0,43	0,40	0,60	0,75			0,06	-0,06	-0,08	-0,06	0,03
Variante 6	1,14	0,73	0,58	0,19	0,33			-0,05	-0,20	0,14	-0,14	-0,07	
BYK mac DN 9176 Teil II	Variante						Kante	±1,0					
	Variante 1	0,48	0,37	1,13	1,50	1,52	Beleuchten	1,0 ± 1,41					
	Variante 21	1,60	1,79	1,50	1,42	1,28	Leisten	1,4 ± 1,73					
	Variante 2	1,16	0,89	0,65	1,29	1,50	n.i.O.	1,73 ±					
	Variante 3	0,70	0,88	0,72	0,85	1,28							
	Variante 16	3,80	2,28	1,28	1,15	1,04							
	Variante 4	0,95	0,48	0,48	0,65	0,72							
Variante 6	1,19	0,93	0,42	0,33	0,40								
BYK mac Audi2000	Variante						Kante	±1,0					
	Variante 1	1,08	0,43	1,20	1,94	2,08	Beleuchten	1,0 ± 1,41					
	Variante 21	2,82	2,34	2,88	2,54	2,29	Leisten	1,4 ± 1,73					
	Variante 2	1,19	0,90	0,74	1,71	2,28	n.i.O.	1,73 ±					
	Variante 3	1,11	0,92	1,35	1,48	1,74							
	Variante 16	3,88	2,38	1,53	1,88	1,82							
	Variante 4	1,36	0,75	0,69	0,81	0,89							
Variante 5	1,45	0,96	0,75	0,37	0,54								
X-Rite M488II Audi2000	Variante						Kante	±1,0					
	Variante 1	0,72	0,88	1,91	2,28	2,32	Beleuchten	1,0 ± 1,41					
	Variante 21	2,19	2,88	2,87	2,86	2,17	Leisten	1,4 ± 1,73					
	Variante 2	1,14	0,77	1,05	1,86	2,12	n.i.O.	1,73 ±					
	Variante 3	1,01	1,17	1,11	1,44	1,79							
	Variante 16	3,37	2,34	1,82	2,08	1,92							
	Variante 4	1,21	0,82	0,78	0,85	1,00							
Variante 5	1,70	1,33	0,51	0,54	0,65								



## Visuelle Beurteilung

Geeignet für:	Kante	Beilackieren	Sicken, Zierleisten und Hohlräume	nicht zu Gebrauchen
---------------	-------	--------------	--	------------------------



3M SunGun



Lichtkabine X-Rite



11

## Visuelle Beurteilung



Willingkabine



12

Kriterien	DIN 6175 Teil II $\Delta E_{\text{eff}}(Y)$	DIN 6175 Teil II exp. Anpassung $\Delta E_{\text{eff}}(Y)$	Vorschlag Audi2000 $\Delta E_{\text{eff}}(Y)$	Audi2000 $\Delta E_{\text{eff}}(Y)$	Lieferung wird
Auf Kante	1,5	$\leq 1,0$	$\leq 1,00$	-	
Beilackieren	-	$1,0 \leq 1,5$	$1,00 \leq 1,41$	$\leq 1,41$	akzeptiert
Leisten	3	$1,5 \leq 2,0$	$1,41 \leq 1,73$	$1,41 \leq 1,73$	geprüft
Nicht zu Gebrauchen	$\geq 3$	$\geq 2,0$	$\geq 1,73$	$\geq 1,73$	abgelehnt



## Erläuterungen zur Auswerttabelle

### Erläuterungen zur Auswerttabelle

Verwendete Spektralphotometer und Farbberechnungsformeln  
Fahrzeug Hersteller und Farbname

Enthaltene Effektpigmente in der Lackierung

Farbabstände der einzelnen gemessene Winkel

Höchster Winkel nach dem Bewertet wird aus der Winkelkombination  
Farbauswertung nach Norm (Audi / DIN) oder experimenteller Anpassung

Verwendung der Varianten für i.O. = 1 / n.i.O. = 0

Fahrzeug Hersteller Farbname

Effektpigmente

15° 25° 45° 75° 110°

BYK mac  
DIN 6175 Teil II oder Audi2000

Unterschiedliche Tabellen für Norm und exp. A.

Beurteiler Mittelwert Summe

Kante Beilack. Leisten

Toleranzen der Beurteilungskriterien für Reparaturlackierungen

Vorhandene Varianten des Farbtöns

Farbliche Hinterlegung nach den Toleranzen der Normen DIN oder Audi

Farbliche Hinterlegung wenn eine Übereinstimmung zwischen dem visuellen Eindruck und messtechnischen Auswertung vorliegt. Keine farbliche Hinterlegung → keine Übereinstimmung

Keine Verwendung 0  
Zierleisten usw. 0,5 - 1,5  
Beilackieren 1,5 - 2,5  
Auf Kante 2,5 - 3

Variante	Farbabstände					Übereinstimmung						Beurteilung			
	15°	25°	45°	75°	110°	25°/45°/75°		25°/45°/75°		25°/45°/110°		Kante	Beilack.	Leisten	Summe
Variante A	4,99	2,15	0,80	1,26	1,62	3,4	3,4	3,2	3,2	3,1	3,1	0	0	0	0
Variante B	3,40	1,90	0,64	3,20	3,10	2,6	2,6	1,93	1,93	1,98	1,98	0	0	0,5	0,5
Variante C	2,60	1,93	0,64	1,76	1,98	3,33	3,33	1,4	1,44	1,4	1,44	0	0	1	1
Variante D	3,33	1,40	0,25	0,86	1,06	2,8	2,8	1,95	1,95	1,95	1,95	0	0	1	1
Variante E	2,80	1,95	1,76	1,74	1,65	7,17	7,17	3,11	3,11	3,11	3,11	0	0,5	1	1,5
Variante F	7,17	3,11	1,02	1,80	2,33	1,9	1,9	1,43	1,43	1,43	1,43	0	0,5	1	1,5
Variante G	1,60	1,21	0,83	1,90	1,43	4,48	4,48	3,06	3,06	3,06	3,06	0	1	1	2
Variante H	4,48	3,06	0,94	1,25	1,68	2,22	2,22	1,73	1,73	1,34	1,34	0	1	1	2
Variante I	2,22	1,20	1,06	1,73	1,34	3,1	1,73	1,56	1,56	1,56	1,56	0,5	1	1	2,5
Variante J	3,10	1,56	0,49	0,95	1,24	1,21	1,21	1,11	1,11	1,21	1,21	0,5	1	1	2,5
Variante K	0,80	1,11	0,47	0,87	1,21	1,75	1,75	1,63	1,63	1,63	1,63	1	1	1	3
Variante L	1,75	1,63	0,26	0,73	1,01	1	1	0,73	0,73	1	1	1	1	1	3
Variante M	0,98	0,47	0,37	0,73	1,00										



## Zusammenführung Messung / Visuelle Beurteilung

- **Auswertung: visuelle Beurteilung / Messung**

- Theoretische Verteilung
- Grigio Pessimo Umore
- Sandstone
- Indigo Blue

- **Trefferquote der Übereinstimmungen**

- Varianten sind i.O. und sind in den Toleranzen
- Varianten sind n.i.O. und sind nicht in den Toleranzen



15

## Fazit:

- **Enormer Zeit-, Arbeits- und Materialaufwand**
- **Eigenschaftsprofil konnte charakterisiert werden**
- **Experimentelle Anpassung führt zu einer Verbesserung**
- **Keine Einschränkung für Geräte und Farbmessprogramm - Auswahl**
- **Winkelkombination 25°/45°/110° hat besser Aussagekraft über die Güte der Lackierung als 25°/45°/75° → am besten jedoch 15°/25°/45°/75°/110°**



16

## Fazit:

- Aufnahme einer weitere Bedingung → Beilackieren
- Spezialpigmente wie Xirallics und Colorstreams haben kein Einfluss
- Bestehende Audi2000, kann DIN 6175 Teil II für Reparaturlackierungen mit den verwendeten Toleranzen im Moment nicht ersetzen.
- Nachträglich Versuche mit größeren Toleranzen für die Audi2000 wurden durchgeführt. Ergebnis muss noch überprüft werden (Beispiele)
  - [Audi-GrößerAudi2000-1.41](#)
  - [Audi-GrößerAudi2000-1.73](#)
  - [Audi-GrößerAudi2000-2.0](#)
- Zusätzliche Arbeiten bezüglich Toleranzen für die Audi2000 sind erforderlich
- Beurteiler sieht oft mehr Unterschiede als das Messgerät → Textureigenschaft wie z.B. Glitzer und Feinverteilung

17



## Ausblick

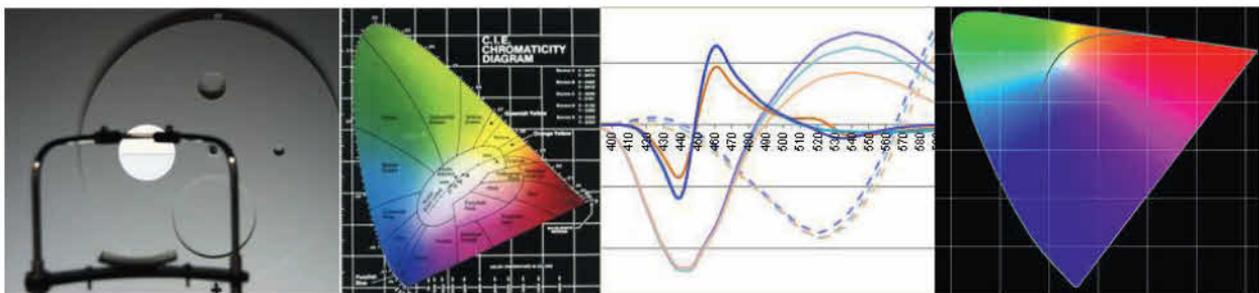
- Eventuell genauere Anpassung der Toleranzen durch zusätzliche Beurteilungen der Varianten
- Visuelle Abmusterungen von allen Spritzmustern zu den Fahrzeugteilen werden zur Zeit bei Audi durchgeführt.
- Aufnahme des -15° Winkels in die Auswertung
- Diskussion im Ausschuss
- Weitere Vorgehensweise

18



# Super-Metamerie bei Weißabgleichen mit RGBW-LED-Systemen

Dipl.- Ing. Saskia Polster  
 Fachgebiet Lichttechnik, TU Ilmenau



29.06.2013

1

## Übersicht

- **Motivation**
- Versuchsaufbau
- Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien
- Test unterschiedlicher Farbräume
- Einfluss der Beobachterfeldgröße
- Zusammenfassung

29.06.2013

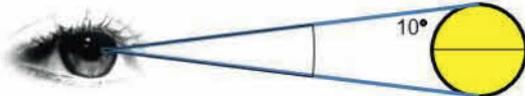
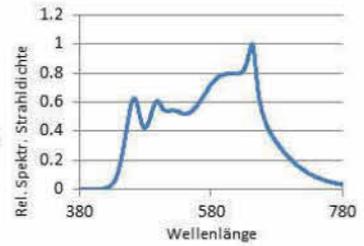
Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

2

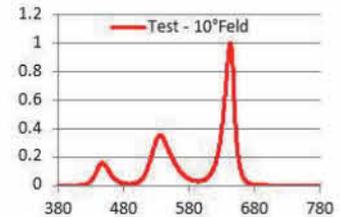
# Problemstellung

Die Farbwahrnehmung einer hinterleuchteten Fläche ist immer abhängig von der Feldgröße unter der diese Fläche beobachtet wird. Sind zwei Spektren für eine definierte Beobachterfeldgröße (in diesem Beispiel ein 10° Beobachterfeld) metamer, so ist die Frage wie sich der Farbeindruck dieser beiden Spektren ändert, wenn die beobachtete Fläche verkleinert wird. Es stellt sich die Frage bei welchen Spektralzusammensetzungen der zu vergleichenden Spektren der wahrgenommene Farbunterschied zwischen den beiden Testflächen bedingt durch eine Änderung der Beobachterfeldgröße besonders deutlich hervortritt, bzw. vernachlässigt werden kann.

Referenzspektrum



Einzustellendes Mischspektrum



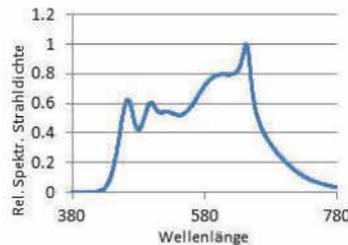
29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

3

# Problemstellung

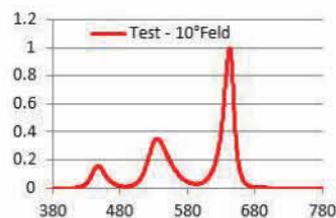
Referenzspektrum



Lassen sich „super-metamere“ Spektren definieren, deren Metamerie unabhängig von der Beobachterfeldgröße ist?



Einzustellendes Mischspektrum



In dem Fall, dass der Einfluss der Beobachterfeldgröße vernachlässigt werden kann ( $\Delta u'v'_{2^\circ, 10^\circ} = 0$ ), wäre es möglich metamere Spektren zu definieren, die das Metameriekriterium unabhängig von der Beobachterfeldgröße erfüllen. Diese Beobachterfeldgrößenunabhängige Metamerie wird im Folgenden „Super-Metamerie“ genannt. Gesucht wird nach der Möglichkeit vorab berechnen zu können, wie gut zwei LED-Spektren geeignet sind unabhängig von der Beobachterfeldgröße denselben Farbeindruck hervorzurufen.

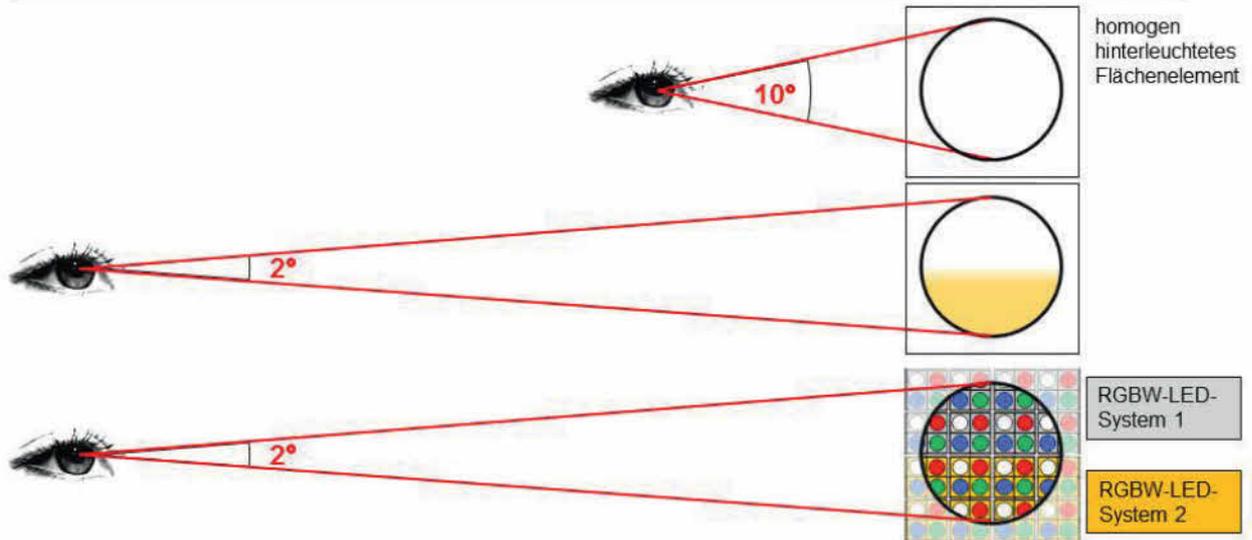
29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

4

# Problemstellung

Diese schematische Darstellung dient dazu die Relevanz der Beobachterfeldgröße bei der homogenen Ausleuchtung großer Flächen zu verdeutlichen. Entfernt sich der Beobachter von dem beleuchteten Flächenelement weg, so sieht er denselben Flächenausschnitt unter einem anderen Beobachterwinkel. Da aber die verwendeten Leuchtmittel nie exakt dieselbe Spektralverteilung haben, kann es zu einer veränderten Farbwahrnehmung kommen, sobald der Beobachter anfängt sich im Raum zu bewegen.

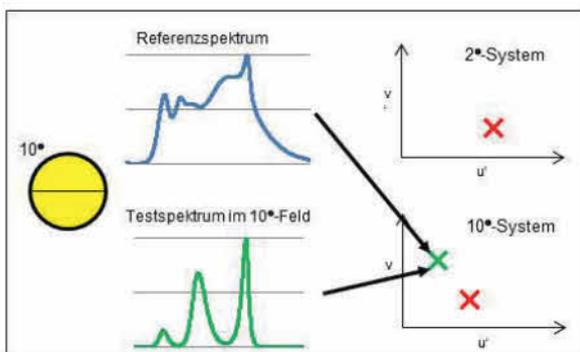
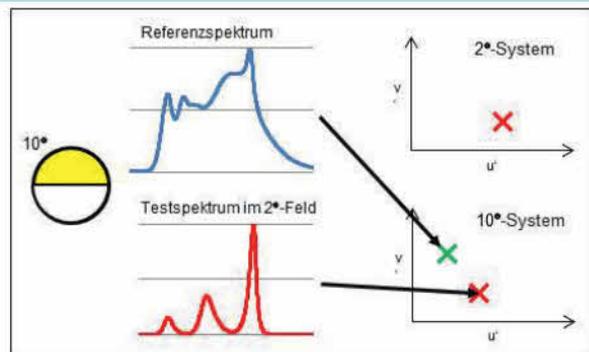
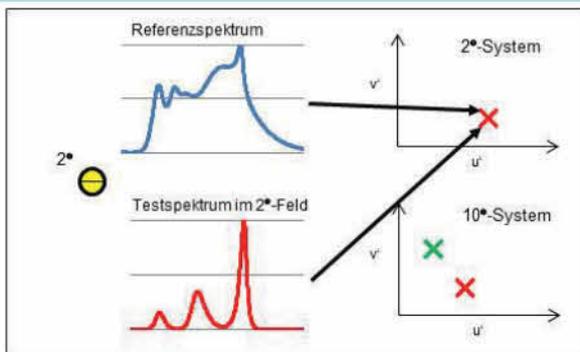


29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

5

# Voraussetzung



Voraussetzung für die Bestimmung der Farbdifferenz, resultierend aus der Veränderung der Beobachterfeldgröße sind Farbräume, die für eine definierte Feldgröße metamere Spektren auf denselben Farbort abbilden. Spektren, die in der entsprechenden Beobachterfeldgröße als farblich gleich wahrgenommen werden, sollten in einem entsprechenden System auf denselben Farbort abgebildet werden. Ändert sich die Farbwahrnehmung bei einer Änderung der Beobachterfeldgröße, so sollte die entstehende Farbdifferenz auch abgebildet werden.

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

6

# Übersicht

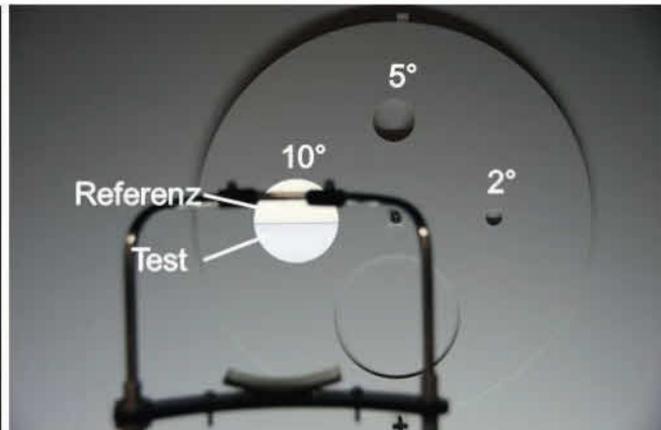
- Motivation
- **Versuchsaufbau**
- Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien
- Test unterschiedlicher Farbräume
- Einfluss der Beobachterfeldgröße
- Zusammenfassung

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

7

# Versuchsaufbau



Je Versuchsszenario wird für die Spektralzusammensetzungen mit einer Farbtemperatur von **3500K**, **5000K** und **6500K** jeweils ein Abgleich im **2°**-, **5°**- und **10°**-Beobachterfeld durchgeführt. Der Proband steuert das Testfeld selbst an, indem er mittels der Pfeiltasten den Rot-, Grün-, Blau-, bzw. Gelb-Anteil der Farbmischung erhöhen kann.

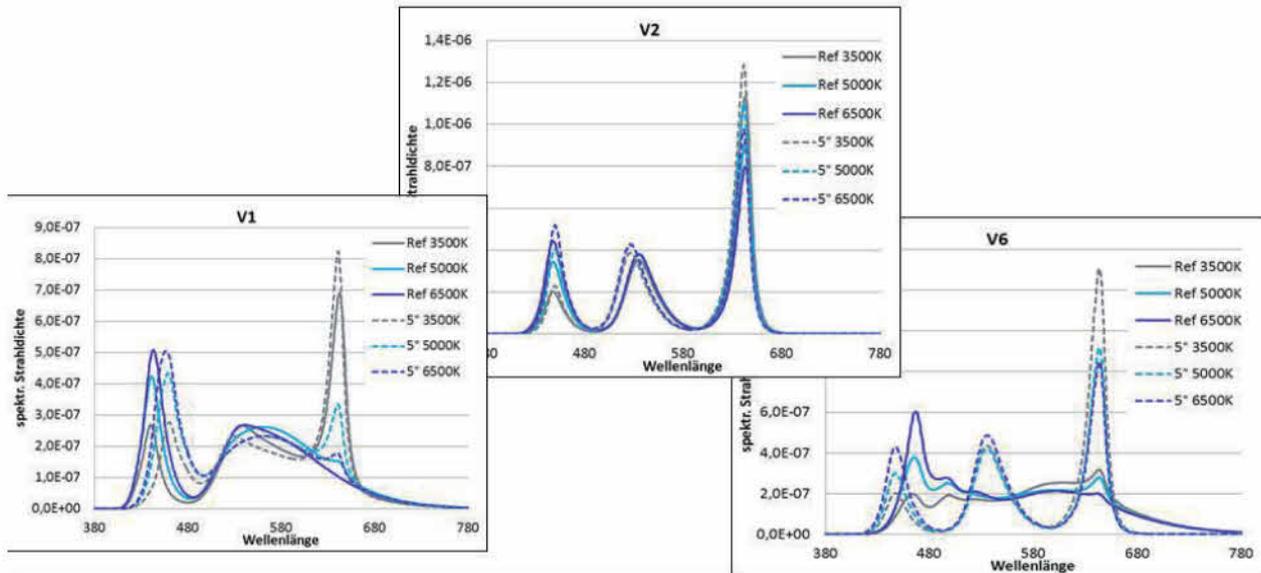
29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

8

# Versuchsszenarien

7 unterschiedliche Versuchsszenarien werden untersucht. Die Szenarien werden so gewählt, dass die spektralen Unterschiede zwischen Referenz- und Testspektrum möglichst große Varianz aufzeigen. Die verwendeten Spektralzusammensetzungen beinhalten RGB-LED-Systeme, RGBW-LED-Systeme und ein 8-LED-System, mit welchem ein möglichst aufgefülltes Spektrum generiert werden kann.



29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

9

# Versuchsszenarien

Versuchsnummer	Referenzlichtquelle	Testlichtquelle
V1	TL R – RGBW	TL G – RGBW
V2	TL R – RGB	TL G – RGB
V3	TL R – RGBW + Cyan	TL G – RGBW
V4	LED Vollspektrum	TL R – RGBW
V5	LED Vollspektrum	TL G – RGBW
V6	LED Vollspektrum	TL R – RGB
V7	ACB	TL R – RGB

**Legende:**

- LED Vollspektrum      LED Vollspektrum - aus 8 unterschiedlichen LEDs zusammengesetztes Spektrum ohne ausgeprägte Täler und Spitzen im Spektrum
- ACB                      RGB-Mischung (Amber, Cyan, Blau) ((R:  $\lambda_{Peak}=595nm$ , G:  $\lambda_{Peak}=497nm$ , B:  $\lambda_{Peak}=467nm$ )
- TL R – RGBW            RGBW-Mischung mit leuchtstoffkonvertierter weißer LED ( $\lambda_{Peak\ blau}=440nm$ )
- TL R – RGBW+C        RGBW-Mischung(siehe TL R - RGBW) mit konstanter Cyan-Beimischung
- TL G – RGBW            RGBW-Mischung mit leuchtstoffkonvertierter weißer LED ( $\lambda_{Peak\ blau}=460nm$ )
- TL R – RGB              RGB Mischung (R:  $\lambda_{Peak}=642nm$ , G:  $\lambda_{Peak}=534nm$ , B:  $\lambda_{Peak}=447nm$ )
- TL G – RGB              RGB Mischung (R:  $\lambda_{Peak}=640nm$ , G:  $\lambda_{Peak}=525nm$ , B:  $\lambda_{Peak}=450nm$ )

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

10

## Versuchsbedingungen

- 20 Probanden
- 23 – 45 Jahre
- 10 weiblich / 10 männlich
- Test auf Farbfehlsichtigkeit negativ

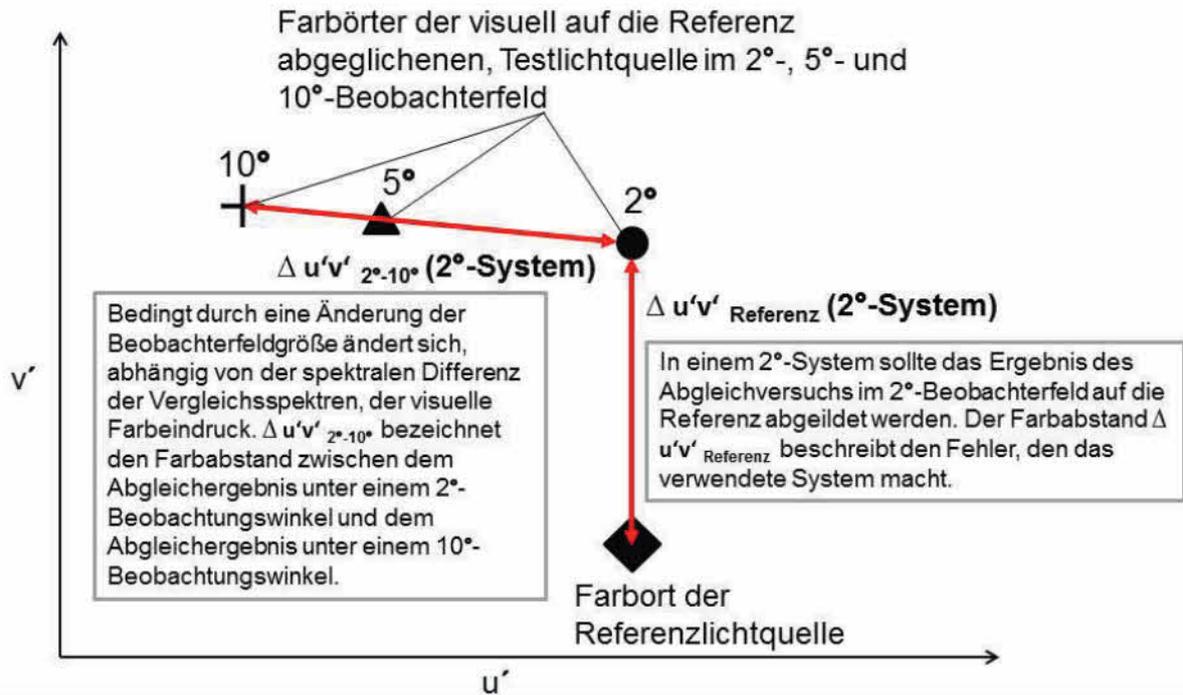
	max. Abweichung $\Delta u'v'$ <sub>1931</sub>
Homogenität auf Testfläche	< 0,0005
Referenzmessungen vor jeder Session (>100 Tage)	< 0,0012

	Leuchtdichte
Referenzfläche	Ca. 150 cd/m <sup>2</sup>
Testfläche	Ca. 150 cd/m <sup>2</sup>
Umgebung	Ca. 75 cd/m <sup>2</sup>

## Übersicht

- Motivation
- Versuchsaufbau
- **Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien**
- Test unterschiedlicher Farbräume
- Einfluss der Beobachterfeldgröße
- Zusammenfassung

# Ergebnisschema

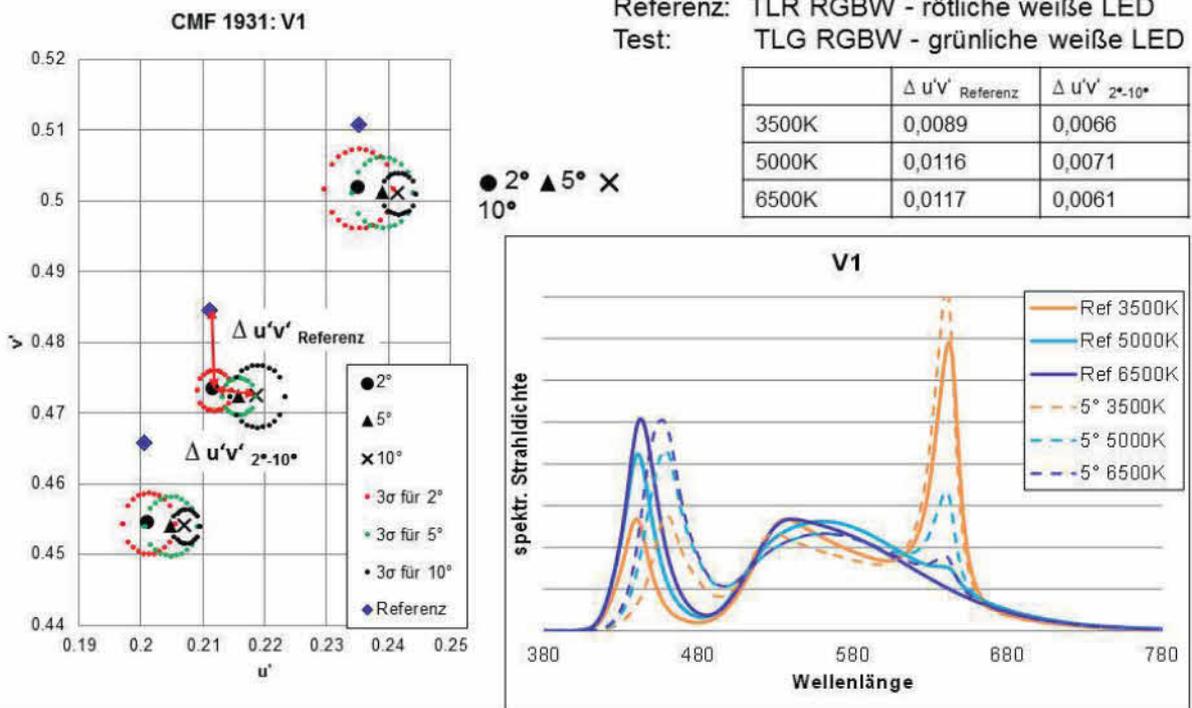


29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

13

# Ergebnisse: Versuch 1

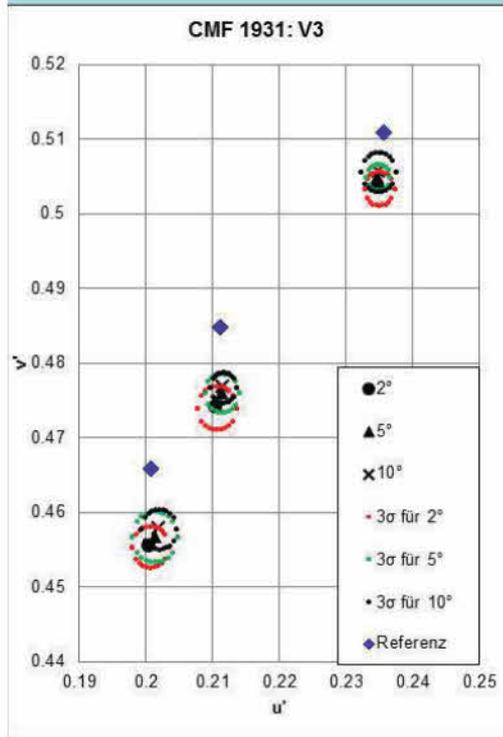


29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

14

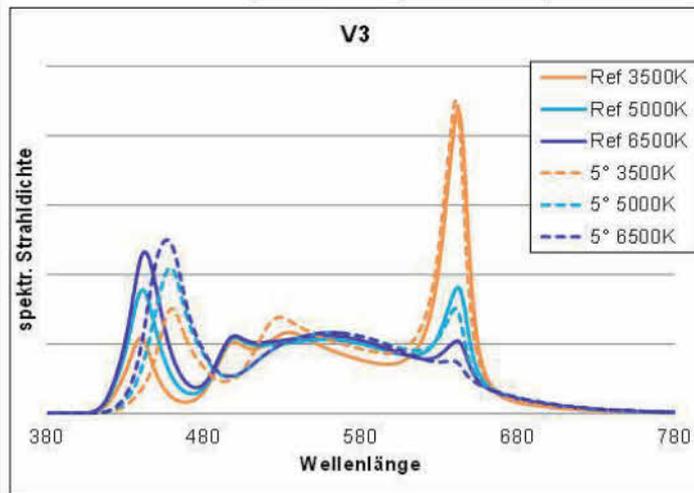
# Ergebnisse: Versuch 3



Referenz: TLR RGBW - rötliche weiße LED + Cyan  
 Test: TLG RGBW - grünliche weiße LED

	$\Delta u'v'$ Referenz	$\Delta u'v'$ 2°-10°
3500K	0,0076	0,0025
5000K	0,0108	0,0030
6500K	0,0104	0,0028

● 2° ▲ 5° × 10°

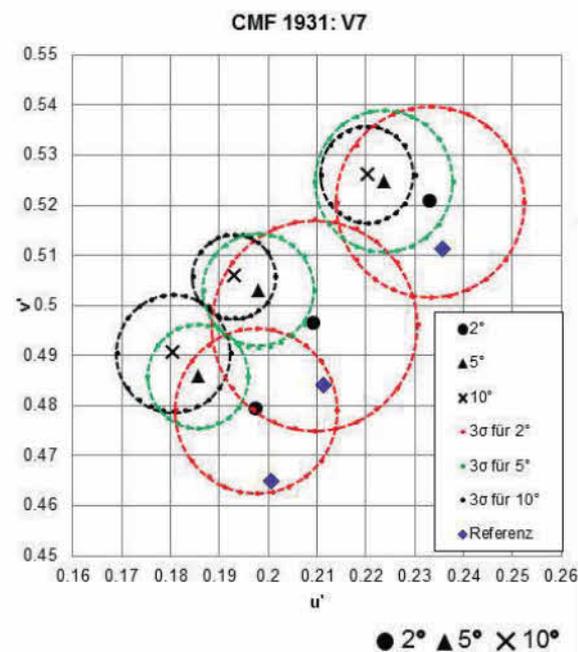


29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

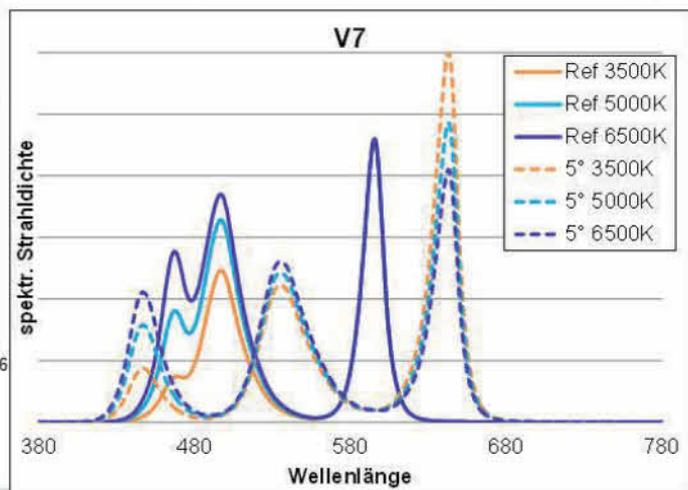
15

# Ergebnisse: Versuch 7



Referenz: Amber-Cyan-Blau-Mischung  
 Test: RGB-Mischung

	$\Delta u'v'$ Referenz	$\Delta u'v'$ 2°-10°
3500K	0,0093	0,015
5000K	0,0115	0,0202
6500K	0,0144	0,0206



29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

16

## Zwischenergebnisse

- $\Delta u'v'$  Referenz
  - $\Delta u'v'_{2^\circ-10^\circ}$
  - Und die Interbeobachterstreuung
- sind abhängig von der spektralen Zusammensetzung der Vergleichsspektren

Keines der untersuchten Versuchsszenarien wird durch Spektralwertfunktionen von 1931 zufriedenstellend abgebildet

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

17

## Übersicht

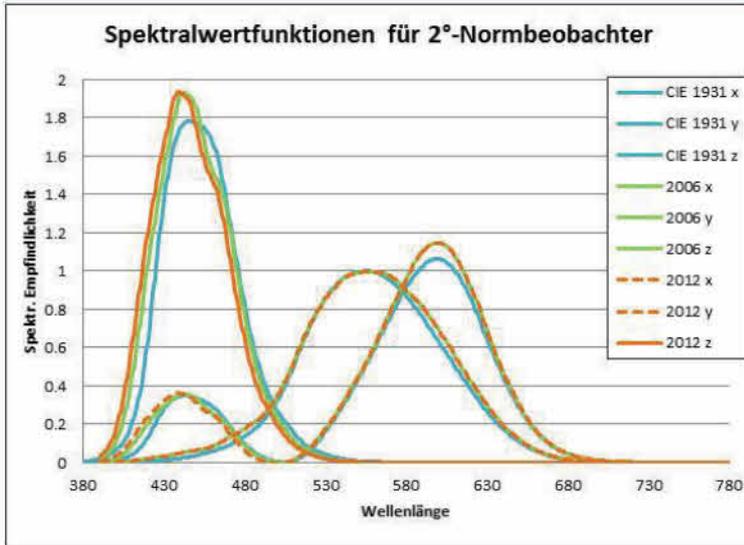
- Motivation
- Versuchsaufbau
- Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien
- **Test unterschiedlicher Farbräume**
- Einfluss der Beobachterfeldgröße
- Zusammenfassung

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

18

# Untersuchte Spektralwertfunktionen



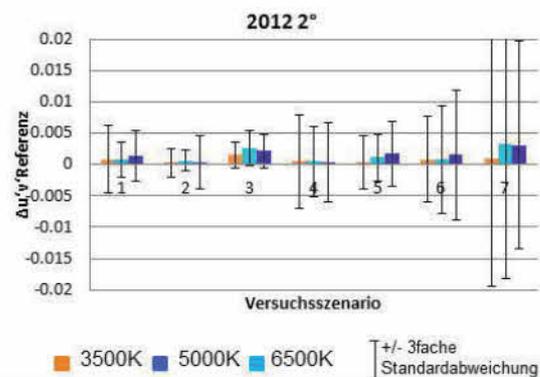
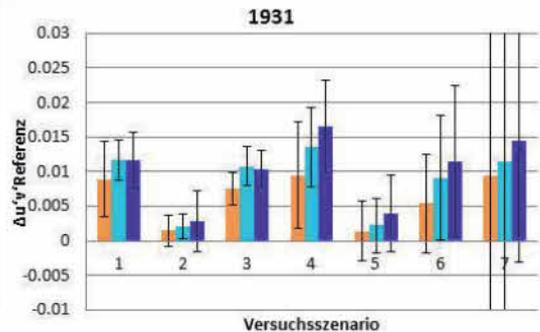
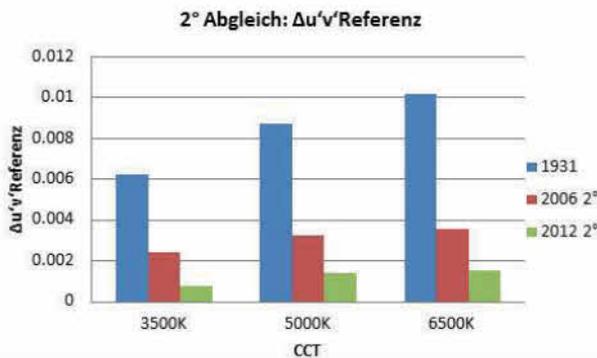
Ziel ist es zu ermitteln auf Basis welcher Spektralwertfunktionen, bzw. spektralen Sehzapfen-Grundfunktionen der Farbabstand  $\Delta u'v'_{\text{Referenz}}$  minimiert werden kann. Verglichen werden für die Ergebnisse der Abgleiche im 2°-Beobachterfeld die Spektralwertfunktionen der CIE von 1931, die Sehzapfen-Grundfunktionen-2° nach CIE170-1:2006 und eine Weiterentwicklung dieser Funktionen von 2012. Für das 10°-Beobachterfeld werden die 10°-Spektralwertfunktionen der CIE von 1964 mit den Sehzapfen-Grundfunktionen-10° nach CIE170-1:2006 und den weiterentwickelten Funktionen von 2012 verglichen.

Farbortberechnung in  $u'v'$ -Farbraum:

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

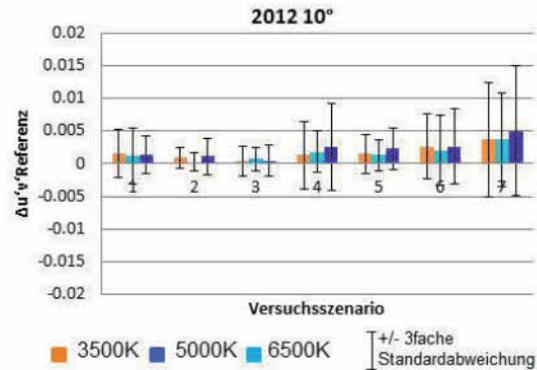
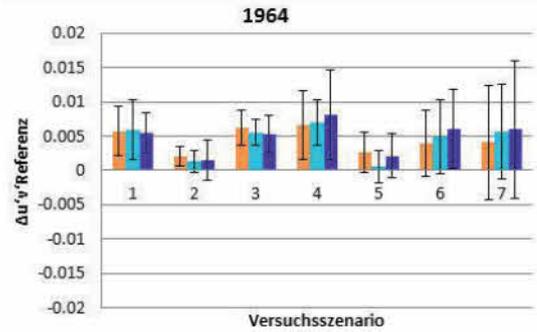
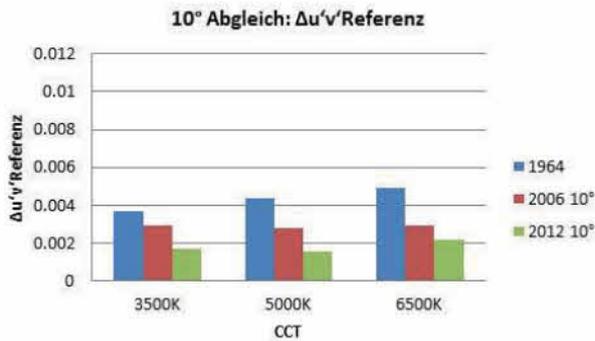
## Ergebnisse: $\Delta u'v'_{\text{Referenz}}$

Die unten dargestellten  $\Delta u'v'_{\text{Referenz}}$ -Werte stellen Mittelungen über die Ergebnisse aller Versuchsszenarien in den unterschiedlichen Systemen dar. Mit den neuen Sehzapfengrundfunktionen von 2012-2° kann der Fehler bei der Abbildung metamerer Spektren von Werten zwischen  $\Delta u'v'_{\text{Referenz}} = 0,006$  und  $\Delta u'v'_{\text{Referenz}} = 0,01$  auf Farbabstände unter  $\Delta u'v'_{\text{Referenz}} = 0,002$  reduziert werden. In den beiden Diagrammen auf der rechten Seite sind die Ergebnisse für jedes Versuchsszenario einzeln aufgetragen inklusive der dreifachen Standardabweichung.



# Ergebnisse: $\Delta u'v'$ Referenz

Die unten dargestellten  $\Delta u'v'$  Referenz -Werte stellen Mittelungen über die Ergebnisse aller Versuchsszenarien in den unterschiedlichen Systemen dar. Mit den neuen Sehzapfengrundfunktionen von 2012-10° kann der Fehler bei der Abbildung metamerer Spektren von Werten zwischen  $\Delta u'v'$  Referenz = 0,004 und  $\Delta u'v'$  Referenz = 0,005 (bei Verwendung der Spektralwertfunktionen CIE1964) auf Werte unter  $\Delta u'v'$  Referenz = 0,002 reduziert werden. In den beiden Diagrammen auf der rechten Seite sind die Ergebnisse für jedes Versuchsszenario einzeln aufgetragen inklusive der dreifachen Standardabweichung.

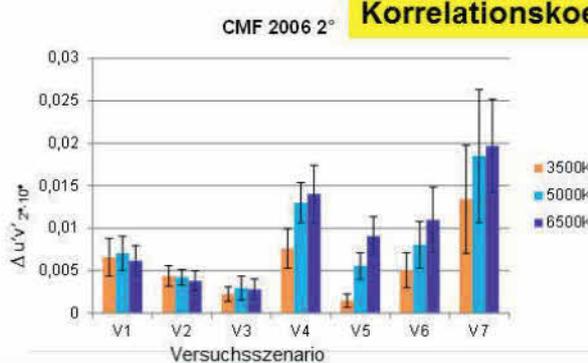
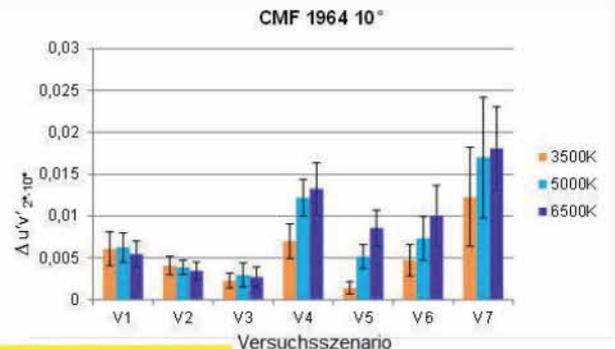
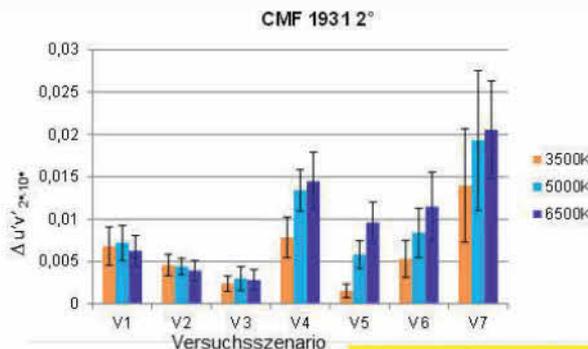


29.06.2013

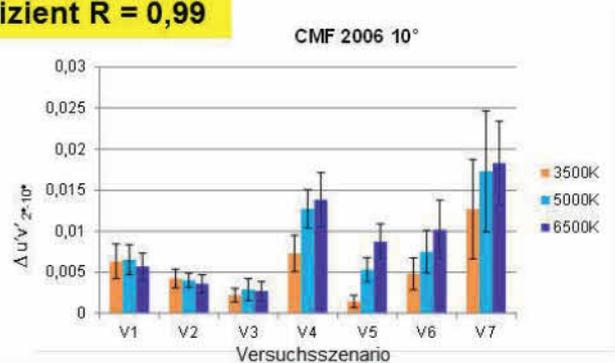
Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

21

# Ergebnisse: $\Delta u'v'_{2^\circ-10^\circ}$



**Korrelationskoeffizient R = 0,99**



29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

22

## Zwischenergebnis

- Die Abbildung metamerer Spektren auf denselben Farbort wird mit den weiterentwickelten Sehzapfen-Grundfunktionen gut modelliert:

⇒ CMF2012-2°  
CMF2012-10°

### ABER

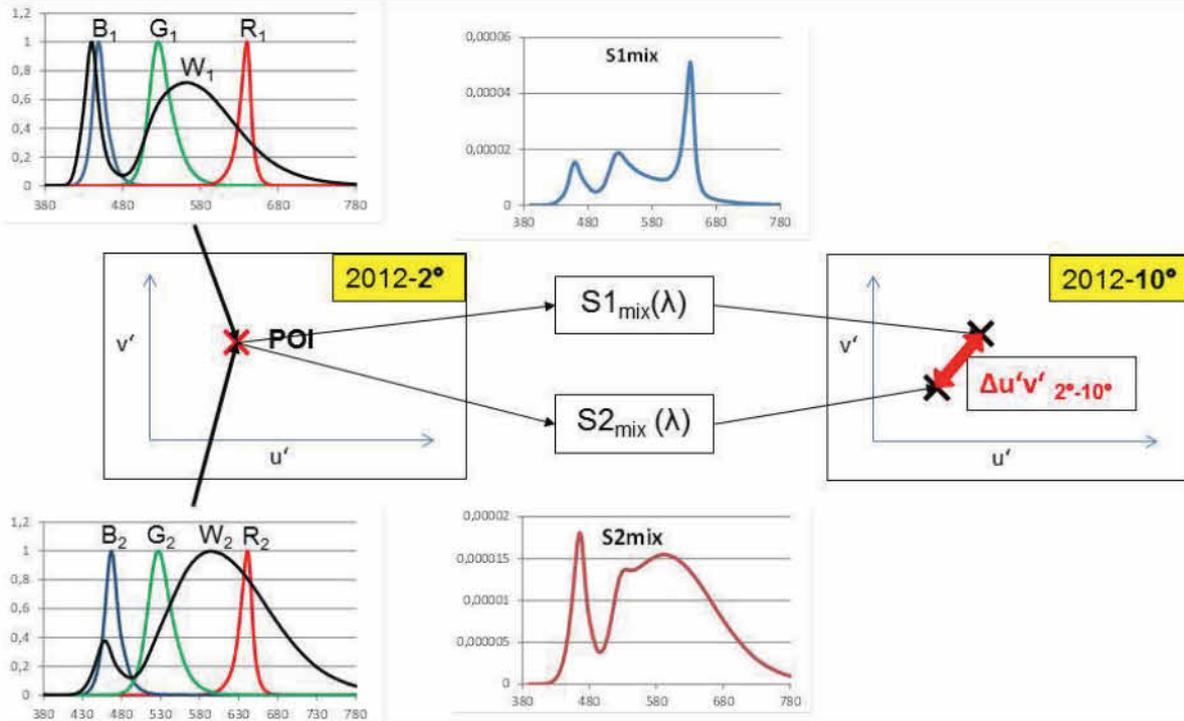
- Die visuell wahrgenommene Farbdifferenz zwischen zwei Spektren bei Betrachtung im 10°-Beobachterfeld trotz visueller Gleichheit im 2°-Beobachterfeld kann abhängig von der Spektralverteilung der zu vergleichenden Spektren größer als  $\Delta u'v'_{2^\circ-10^\circ} = 0,015$  werden.

⇒ Kein System kann zufriedenstellend den Farbeindruck einer großen beleuchteten Fläche modellieren, wenn der Einfluss der Beobachterfeldgröße zu groß ist

## Übersicht

- Motivation
- Versuchsaufbau
- Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien
- Test unterschiedlicher Farbräume
- **Einfluss der Beobachterfeldgröße**
- Zusammenfassung

# Berechnung der Farbortverschiebung



29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

25

# Berechnung der Farbortverschiebung

Mit Hilfe der beiden Farbräume basierend auf den Sehzapfen-Grundfunktionen von 2012 für das 2°-Beobachterfeld und das 10°-Beobachterfeld kann nun der Farbort berechnet werden, der wahrgenommen wird, wenn dieselben Spektren unter einem 2°- und einem 10°-Winkel beobachtet werden.

Zunächst werden mittels eines Algorithmus die Anteile der RGBW-Mischungen für die miteinander zu verwendenden RGBW-LED-Systeme für den gewünschten Farbort im 2°-System ermittelt. Werden nun beide LED-Systeme mit diesen Anteilen angesteuert, so werden sie in einem 2°-Beobachterfeld auch visuell gleich wahrgenommen werden. Ändert sich das Beobachterfeld in dem die beiden Spektren betrachtet werden, so treten möglicherweise Farbunterschiede auf. Diese können vorab berechnet werden, indem man für die beiden Mischspektren S<sub>1mix</sub>(λ) und S<sub>2mix</sub>(λ) die Farbörter im 2012-10° Farbraum ermittelt. Der resultierende Farbort zwischen den beiden Mischspektren ist ein Maß für die Kompatibilität der beiden Spektren für eine gemeinsame Verwendung in Anwendungen der großflächigen Beleuchtung homogener Flächen.

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

26

## Übersicht

- Motivation
- Versuchsaufbau
- Ergebnisse ausgewählter Versuchsszenarien
- Test unterschiedlicher Farbräume
- Einfluss der Beobachterfeldgröße
- **Zusammenfassung**

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

27

## Ergebnis

- Für eine homogene Ausleuchtung großer Flächen reicht die Definition metamerer Spektren für ein definiertes Beobachterfeld nicht aus.
  - ⇒ Ein neues Kriterium für die Charakterisierung von LED-Spektren wird benötigt. „Super-Metamerie“ bezeichnet Metamerie zweier Spektren, die unabhängig von der Beobachterfeldgröße erhalten bleibt.
- Die Änderung des Farbeindrucks bedingt durch eine Änderung der Beobachterfeldgröße lässt sich für jeden Farbort berechnen. Damit ist es möglich vorab zu bestimmen, in welchem Maße sich zwei zu vergleichende LED-Systeme für die gemeinsame Nutzung in einem großflächigen Beleuchtungssystem eignen.

29.06.2013

Saskia Polster | Fachgebiet Lichttechnik

28

Danksagung:

Diese Forschungsarbeit wird mit der Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprojektes UNILED (Förderkennzeichen: 13N10751) durchgeführt. Die Autorin bedankt sich herzlich beim BMBF für diese Finanzierungsmöglichkeit.



# AIC Tagungen 2011 und 2012

**Dipl.-Ing. Frank Rochow**

[offices@rochow-berlin.de](mailto:offices@rochow-berlin.de)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

1



## Gliederung:

- **Wer/was ist die AIC, was macht die AIC?**
- **AIC Midterm Meeting 2011 Zürich**
- **AIC Interim Meeting 2012 Taipei**
- **Ausblick auf den AIC Kongress 2013**

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

2



## Wer/was ist die AIC, was macht die AIC?

- AIC = **A**ssociation **I**nternationale de la **C**ouleur  
Internationale Vereinigung für die Farbe  
International Colour Association
- AIC Gründung: 21. Juni 1967,  
anlässlich der 16. CIE Session, Washington DC, USA
- Offizielle Sprachen: Deutsch, Englisch, Französisch
- Nur 1 "Farb"-Verband je Land konnte Mitglied werden

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

4



## Artikel 2 der AIC Satzung:

The objects of the AIC are to encourage research in all aspects of colour, to disseminate the knowledge gained from this research, and to promote its application to the solution of problems in the fields of science, art, design and industry on an international basis.

The AIC shall also aim for a close cooperation with existing international organizations, such as, for example, the International Commission on Illumination, the International Organization for Standardization and the International Commission for Optics, regarding issues concerned with colour. The AIC will neither duplicate the work of these bodies nor will it attempt to assume any of their responsibilities.

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

5

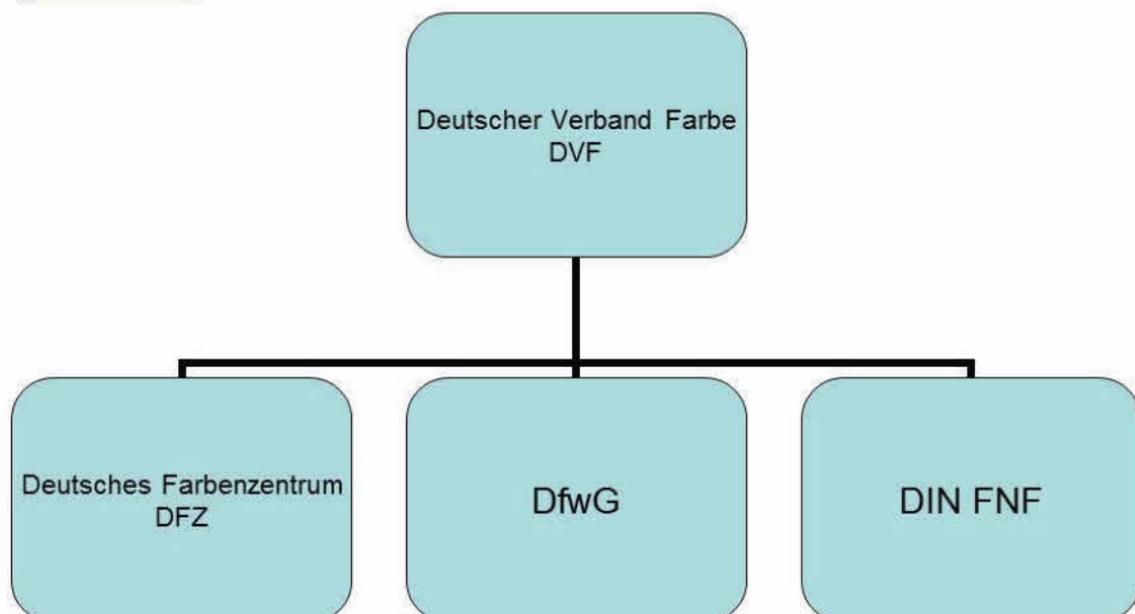


## Aktivitäten der AIC

- 1. AIC Kongress 9. bis 13. Juni 1969, Stockholm Schweden  
(Historiendetails unter <http://www.aic-color.org/histo.htm>)
- Seither alle 4 Jahre ein Kongress  
2 Jahre vor/nach dem Kongress  
ein AIC Midterm Meeting und in den übrigen zwei Jahren  
je ein AIC Interim Meeting
- JAIC - Journal of the International Colour Association  
<http://aic-colour-journal.org/index.php/JAIC>

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

6



DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

7



### **Study Group on Color Education (CE)**

Chair: Robert Hirschler

[robert.hirschler@honetkft.hu](mailto:robert.hirschler@honetkft.hu),  
[robert.hirschler@yahoo.com](mailto:robert.hirschler@yahoo.com)

### **Study Group on Environmental Color Design (ECD)**

Chair: Verena M. Schindler

[ecd.studygroup@yahoo.com](mailto:ecd.studygroup@yahoo.com)

### **Study Group on Visual Illusions and Effects (VIE)**

Chair: Osvaldo da Pos

[osvaldo.dapos@unipd.it](mailto:osvaldo.dapos@unipd.it)

### **Study Group on Color Perception of the Elderly (CPE)**

Chair: Katsunori Okajima - Secretary: Manuel Melgosa

### **Study Group on The Language of Color (LC)**

Chair: Jin-Sook Lee,

[is\\_lee@cnu.ac.kr](mailto:is_lee@cnu.ac.kr)

Co-chair: Paul Green-Armytage,

[p.green-armytage@curtin.edu.au](mailto:p.green-armytage@curtin.edu.au)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

8

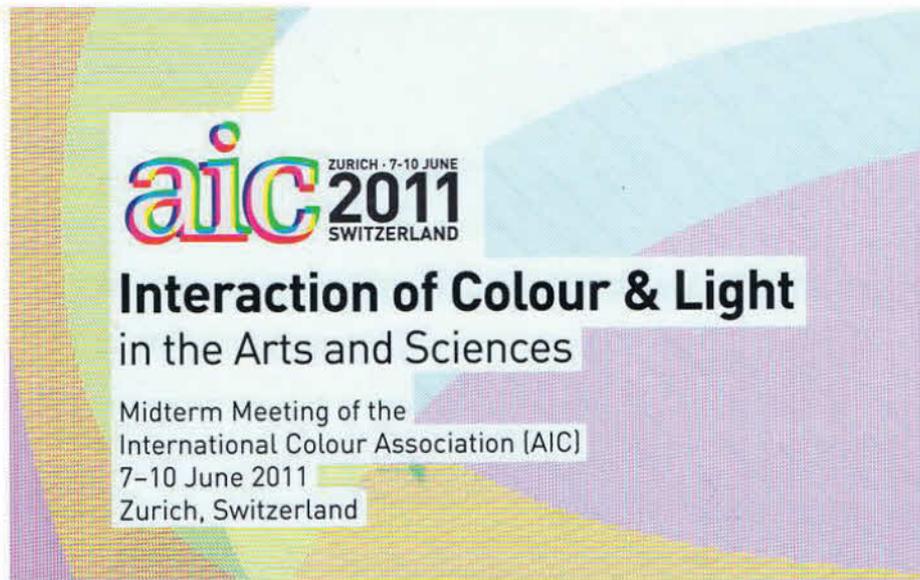


## **AIC Dean B. Judd Award**

- Seit Betty Judd 1973 anregte, einen AIC-Preis in Erinnerung an ihren Ehemann, Deane Brewster Judd, für die Anerkennung herausragender Arbeiten in der Farbwissenschaft zu schaffen, wählt die AIC alle zwei Jahre einen Empfänger dieses AIC Dean B. Judd Awards (<http://www.aic-color.org/judd.htm>)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

9



DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

11



## Fakten

332 Teilnehmer aus 38 Ländern

193 Präsentationen:

3 eingeladene Vorträge

1 Judd lecture (Preisträgerin Lucia Ronchi)

45 Vorträge

144 Poster

“Book of Abstracts” abrufbar über

[http://www.aic2011.org/downloads/AIC\\_2011\\_Book-of-Abstracts\\_web.pdf](http://www.aic2011.org/downloads/AIC_2011_Book-of-Abstracts_web.pdf)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

12



## Vortragsgruppen

### **Colour and Light Interaction in Space on Stage**

Chair: Karl Schawelka (Deutschland)

### **Colour and Light Interaction in Science and Technology I und II**

Chairs: Shoji Tominaga (Japan)  
Brian Funt (Kanada)

### **Art, Design and the Interaction of Colour and Light**

Chair: Jin-Sook Lee (Korea)

### **Light Interactions**

Chair: Libero Zuppiroli (Schweiz)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

13



### **Light and Colour Interaction in Education**

Chair: Tien-Rein Lee (Taiwan)

### **Light and Image Interacting**

Chair: Frank Rochow (Deutschland)

### **Interaction of Colour and Light in Psychology**

Chair: Katsunori Okajima (Japan)

### **Expressions of the Interaction of Colour and Light**

Chair: Maria Luisa Musso (Argentinien)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

14



*In Color We Live: Color and Environment*

# In Color We Live: Color and Environment

Interim Meeting of the  
International Colour Association (AIC)  
22-25 September 2012 Taipei, Taiwan

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

16



**AIC 2012 TAIPEI** *In Color We live: Color & Environment*



DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

17



## Fakten

164 Präsentationen:  
 4 eingeladene Vorträge  
 45 Vorträge  
 115 Poster

“Book of Abstracts” auf Anfrage bei mir vorhanden

Tagungsinfos über <http://www.aic2012.org/>

Bilder über <http://www.facebook.com/pages/AIC2012/275438365816562>

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
 AIC Tagungen 2011 and 2012

18



## Vortragsgruppen

### **Color and Environment I, II, III**

Chairs: Mitsuo Ikeda (Japan)  
 Maria Luisa Musso (Argentinien)  
 Verena Schindler (Schweiz/Frankreich)

### **Color Psychology I, II, III**

Chairs: Katsunori Okajima (Japan),  
 José Caivano (Argentinien)  
 Osvaldo da Pos (Italien)

### **Color Culture, Art and Design**

Chair: Nick Harkness (Australien)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
 AIC Tagungen 2011 and 2012

19



**Color Communication**

Chair: Jin-Sook Lee (Korea)

**Color Synesthesia and Visionary Projects**

Chair: I-Ping Chen (Taiwan)

**Color Science and Technology**

Chair: Shoji Tominaga (Japan)

**Color Education**

Chair: Javier Romero (Spanien)

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

20



**The Sage Gateshead**  
NewcastleGateshead, UK  
+44 (0)191 241 4523  
info@aic2013.org  
www.aic2013.org

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

23



## Call For Papers

### 12th International AIC Congress

8th-12th July, 2013

On behalf of the International Colour Association (AIC) the AIC 2013 organising committee invites submissions of papers or posters or interactive presentations on any aspect of colour. This Congress provides a unique forum bringing together researchers, academics, artists, architects, industrialists, engineers, designers, lighting experts, and business leaders from all over the world.

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

24



## Important Dates:

**2 July 2012**

Call for Papers & early registration opens

**17 December 2012**

Submissions close

**1 April 2013**

Notification of acceptance

**8 May 2013**

Submission deadline for full texts

**8 May 2013**

Early registration closes

DfwG Jahrestagung 2012 Aachen  
AIC Tagungen 2011 and 2012

25

# Die Sättigung der Farbe - Experimentelle Bestätigung der Formel für die Sättigung

Dr. Eva Lübke, Leipzig

## 1. Zum Unterschied zwischen Buntheit und Sättigung

Ehe wir uns mit der Formel zur Beschreibung der Sättigung beschäftigen, wollen wir uns an hand des farbtongleichen (bunttongleichen) Dreiecks den Unterschied zwischen Buntheit und Sättigung verdeutlichen.

Die folgende Abbildung zeigt ein farbtongleiches Dreieck. Der Begriff des farbtongleichen Dreiecks geht auf Ewald Hering zurück, aufgegriffen wurde das farbtongleiche Dreieck von Wilhelm Ostwald und in der Folge noch von sehr vielen. Insbesondere finden wir es auch heute noch im NCS (Natural Colour System).

An der rechten Spitze sitzt die reine Farbe. Oben finden wir Weiß und unten Schwarz. Wir können auch Linien der Weiß- und der Schwarzzumischung angeben. Von links nach rechts wächst die Buntheit.

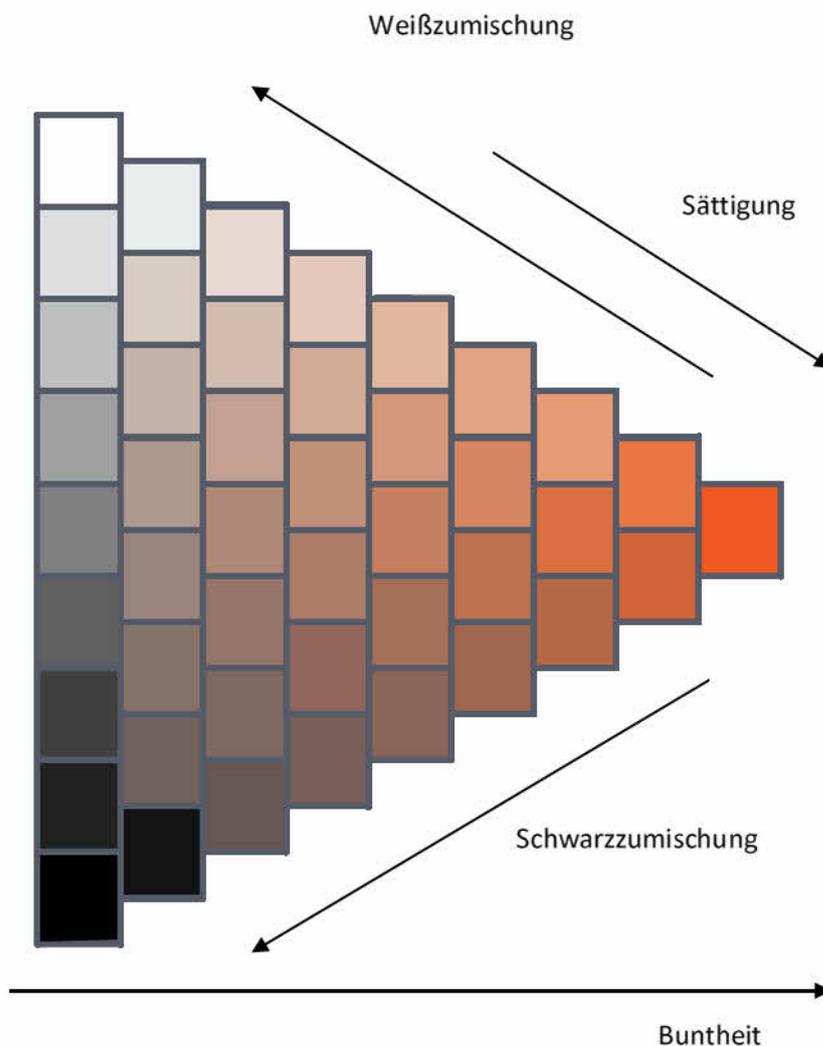


Abb. 1 Farbtongleiches Dreieck

Die bunteste Fläche befindet sich rechts an der Spitze des Dreiecks.



Die Zumischung von Schwarz beeinflusst die Sättigung der Farbe nur minimal, während die Zumischung von Weiß oder Grau die Farbe entsättigt. Erst bei starker Schwarzzumischung geht der Eindruck der Sättigung zurück und man nimmt nur noch ein getöntes Schwarz wahr. Eine geringe Menge an Schwarz vergrößert die wahrgenommene Sättigung.

Der in Abbildung 1 eingetragene Pfeil für die Sättigung ist nur als Näherung zu verstehen. Exakt kann der Begriff der Sättigung in dem Dreieck nicht dargestellt werden.

2007 wurde von mir zur Beschreibung der Sättigung die Formel.

$$S^+ = \frac{C_{ab}}{\sqrt{C_{ab}^2 + L_{ab}^{*2}}} 100\% \quad (1)$$

$S^+$  Sättigung

$C_{ab}$  Buntheit

$L^*$  Helligkeit

vorgeschlagen. Dabei wird die Buntheit  $C_{ab}$  berechnet aus der Rot-Grün-Buntheit  $a^*$  und der Blau-Gelb-Buntheit  $b^*$  nach

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

Diese Formel steht in Übereinstimmung mit einer verbalen Definition von Manfred Richter, aber im Widerspruch zur Sättigungsformel der CIE, die in mehreren der modernen Farberscheinungsmodellen [2] zur Anwendung kommt (Gleichung 3).

Gleichung 3 ist nicht für eine praktische Anwendung geeignet ist, weil sie der menschlichen Sättigungsempfindung widerspricht.

$$S = \frac{C}{L} \quad (3)$$

### 1. Experimentelle Bestätigung der Sättigungsformel

Für eine experimentelle Bestätigung der Sättigungsformel musste eine visuelle Skalierung der Sättigung neu erstellt werden. Als Farbsystem wurde dazu das japanische Farbsystem PCCS ausgewählt, das den Vorteil hat, dass sich die Farbcharts eines Farbtons auf einer Linie tatsächlich gleichen Farbtons befinden und nicht auf Geraden in der  $x$ - $y$ -Ebene des CIE Systems.

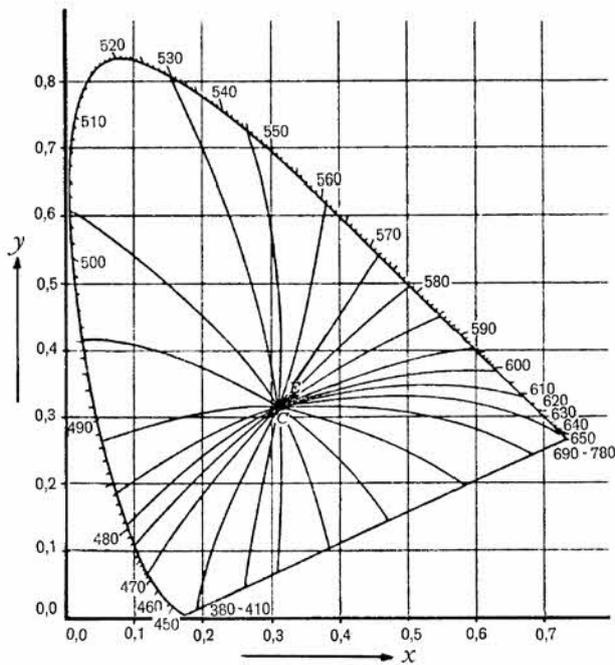


Abb. 2 Linien gleichen Farbtons in der xy-Ebene des CIE-Systems.

Bei den Farben des DIN System (DIN 6164) liegen die Farbcharts auf Geraden in der xy-Ebene. Dadurch sind die Farbtönschwankungen innerhalb eines Farbtönes so groß, dass man keinem Probanden eine solche Abmusterung zumuten mag, bzw. die Farbtönschwankung erschwert die Beurteilung der Sättigung.

Das PCS hat einen Farbkreis mit 24 Farbtönen, nur 12 davon sind in Abstufungen als Charts vorhanden. Es genügt aber, mit diesen 12 Farbtönen zu arbeiten, denn wie sich bei den Abmusterungen zeigte, erfordert schon das Abmattern von 12 Farbtönen große Anstrengung und Konzentration der Probanden. Für jeden der 12 Töne gibt es 14 Abstufungen, d. h. es müssen  $12 * 14 = 168$  Farbcharts betrachtet und an einen Platz auf der vorgegebenen Skalierung gelegt werden.

Im Folgenden wird die gewählte Strategie für die visuelle Abmusterung erläutert:

Als erstes erhält der Proband eine Erklärung zum Unterschied zwischen Buntheit und Sättigung. Erst danach kann mit der visuellen Probenabmusterung begonnen werden.

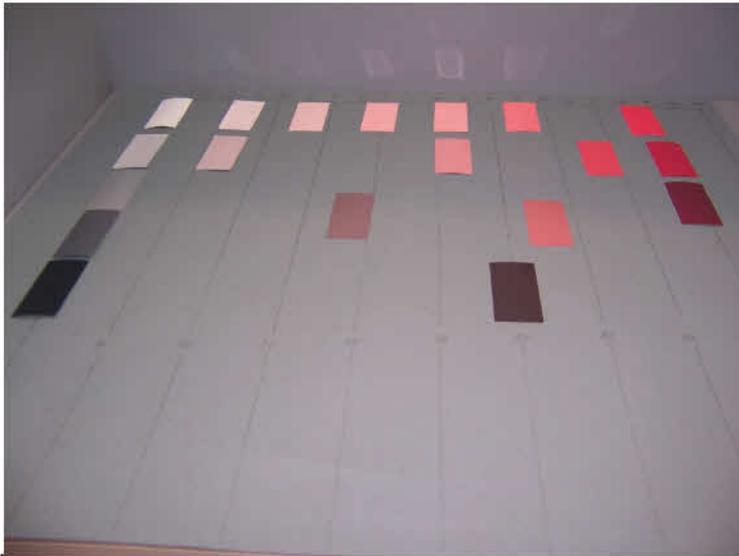
Für die visuelle Abmusterung wurde auf einer mittelgrauen Unterlage eine Skala von 0 bis 100 % mit Linien von links nach rechts markiert.

Links oben wird bei 0 % ein weißes Chart zur Festlegung des Nullpunkts vorgegeben, sowie darunter grau und ein schwarzes. Der Proband erhält nun die Aufgabe, für den ersten der zwölf Farbtöne, das ihm am sattesten erscheinende Chart rechts oben zu platzieren. Dabei ist die Frage zu entscheiden, wie weit rechts, d. h. wie nahe an 100 % das Chart gelegt werden muss. Dazu muss sich der Proband vorstellen, dass es noch sattere Farben als die vorgelegten Charts geben könnte; dass also das Satteste wahrscheinlich an einen Platz unter 100 % zu legen ist. Als nächstes werden die Charts mit Weißzumischung empfindungsgemäß zwischen Null und dem Sattesten von links nach rechts verteilt. Diese Aufgabe fällt den meisten Probanden leicht. Als nächstes müssen noch die mit Grau und Schwarz gemischten Farbcharts passend zu den grauen Charts darunter platziert werden. Dabei wird die Reihe der Charts mit Weißzumischung als Maßstab für das Hinlegen genutzt. Bei dieser Aufgabe ergaben sich relativ starke Schwankungen. „Wie groß ist die Farbsättigung eines getönten Grau?“ Diese Frage zu entscheiden fällt den meisten Probanden schwer.

Nachdem alle Charts des jeweiligen Farbtons platziert sind, wird die Lage der einzelnen Charts an den Skalenlinien abgelesen und auf dem für die Abmusterung erstellten Formblatt notiert.

Vom ersten Farbtone (2) blieb dabei zum Vergleich mit den nächsten das satteste Chart liegen und der Proband erhielt die Charts des nächsten Farbtone (4). Es wurde entsprechend der Nummerierung der Farbtöne des PCCS vorgegangen.

Die Abmusterung erfolgte entsprechend ISO 3664 bei der für die grafische Industrie empfohlenen Lichtart D50 (Tageslicht mit Farbtemperatur 5000 K) und einer Beleuchtungsstärke von 2000 lux.



*Abb.3. Visuelle Abmusterung der Charts des ersten Farbtone in der Lichtkabine mit Lichtart D50*

Abb. 3 zeigt die Abmusterungskabine Highlight 2000 mit D50 und mit den Charts des ersten Farbtone.

Eine solche Abmusterung dauert pro Proband anderthalb bis zwei Stunden. Die 14 teilnehmenden Probanden waren normalsichtig; es waren 6 Frauen und 8 Männer. Die Ergebnisse der Abmusterung sind in Abb. 4 dargestellt. Die Abbildung 4 enthält außerdem einen Vergleich zur Sättigung im System CIECAM02.

Der Verlauf der Sättigung in CIECAM02 in Abhängigkeit von den visuellen Werten ist zu flach, während  $S^+$  gut mit den Mittelwerten aus der visuellen Abmusterung übereinstimmt. Bei kleinen Sättigungswerten werden nach der Sättigungsformel im CIECAM02 viel zu große Werte bestimmt, d. h., die Kurve geht nicht durch den Nullpunkt.

Der Korrelationskoeffizient für  $S^+$  beträgt  $r = 0,97$  ( $R^2 = 0,94$ ), während er für die Sättigung nach CIECAM02 einen Wert von  $r = 0,95$  ( $R^2 = 0,90$ ) hat. Würde man die Kurve für CIECAM02 durch den Nullpunkt legen, würde der Korrelationskoeffizient für diese Kurve noch schlechter.

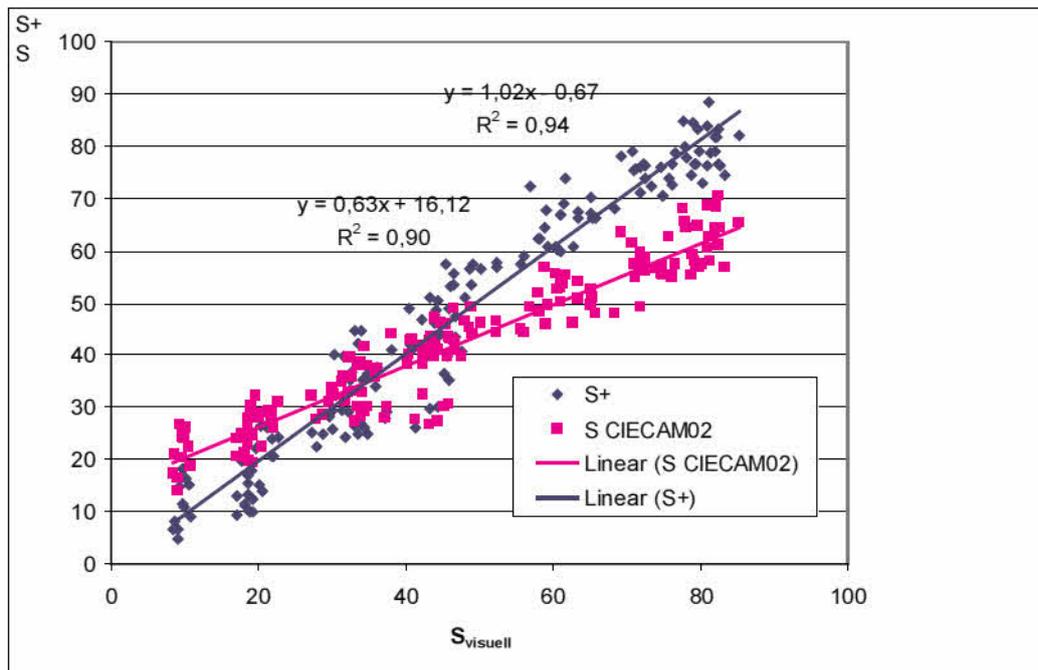


Abb. .4 Ergebnis des visuellen Abmusterungsversuches mit dem PCCS; aus den Messwerten der Charts wurde einmal  $S+$  bestimmt und zum Vergleich die Sättigung  $S$  im CIECAM02. Bei der Darstellung wurden sämtliche Ergebnisse der 14 visuellen Abmusterungen berücksichtigt. Jeder Datenpunkt entspricht einem Mittelwert über 14 Testpersonen.[4]

Mit dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich die vorgeschlagene Sättigungsformel zur Beschreibung der Sättigung eignet.

### Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Prof. Schierz von der TU Ilmenau, sowie der HTWK Leipzig und dem Sächsischen Institut für die Druckindustrie für die Unterstützung der Untersuchung danken.

### Literatur

- 1 Lübbe, E. Farbe im Kopf- Farbsysteme in der Realität, Muster-Schmidt Verlag Gleichen Zürich 2008
- 2 Fairchild, M. D. Color Appearance Models, Wiley John + Sohns 2005
- 3 Richter, M. Einführung in die Farbmetrik, Gryter, Berlin, New York 1981
- 4 Lübbe, E. Sättigung im CIELAB-Farbsystem und LSh-Farbsystem, Habilitationsschrift, BOD 2011

# Weißer leuchtstoff-basierte Hochleistungs-LEDs: eine umfassende lichttechnische Betrachtung

PD Dr.-Ing. habil. Peter Bodrogi, Ms. Sc. Trinh Quang Vinh, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh,  
Fachgebiet Lichttechnik, Technische Universität Darmstadt

## 1. Einführung

Die industrielle Revolution hat im 19. Jahrhundert begonnen und setzte sich bis heute in vielen Teilen der Erde fort. In dieser Zeit registriert man eine dynamische Entwicklung im Maschinenbau, Autobau, Schiff- und Flugzeugbau sowie in der Elektrotechnik. Mit der Erfindung der Glühlampen im Jahr 1880 durch Thomas Edison und durch die Entwicklung der Entladungslampen zu Anfang des 20. Jahrhunderts verlagerte sich der Ort der industriellen Wertschöpfungsketten in die Innenräume, die elektrisch beleuchtet werden. Die Aufgaben der Lichtwissenschaft bis zu den letzten Jahren des 20. Jahrhunderts waren es, die Kriterien für eine unfall- und ermüdungsfreie Beleuchtung zu entwickeln. Man konzentrierte sich auf die Bestimmung der Beleuchtungsniveaus und verwendete dabei physiologisch-optische Verfahren, arbeitsphysiologische Verfahren, die die Arbeitsleistung, die Ermüdung, die Fehlerhäufigkeit und die Unfallrate erfassen, sowie die psychologischen Verfahren (s./1). Die Bewertung der Beleuchtungssituationen kann schematisch in der Abb.1 dargestellt werden.

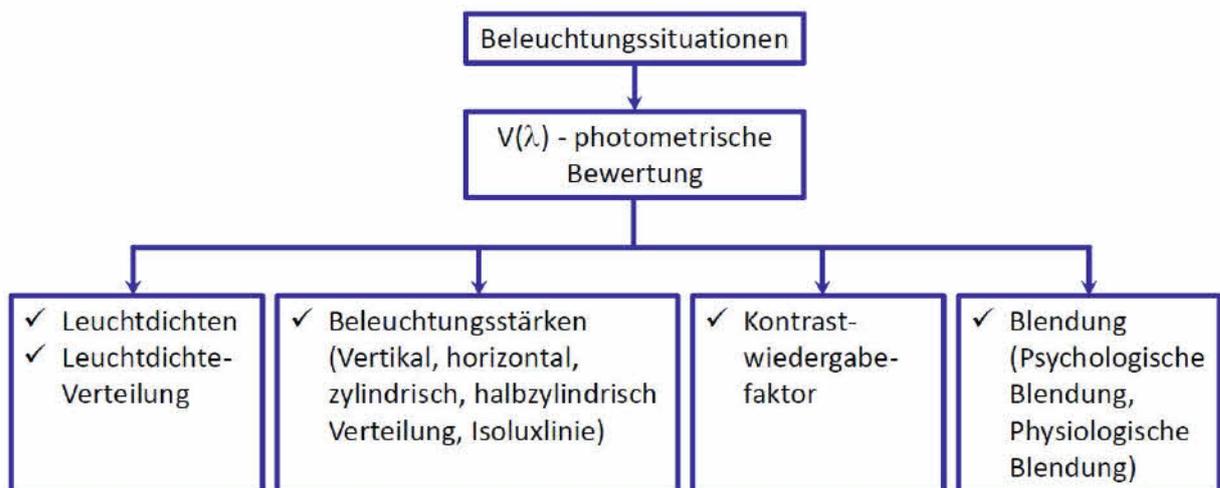


Abb. 1 - Das Schema der heutigen Bewertung der Beleuchtungssituation

Die Forschungsergebnisse der letzten Jahrzehnte (s./1, 2, 3, 4, 5, 6/) sind die Grundlagen der heutigen Normen für die Beleuchtungstechnik. Die Kenngrößen sind nach der Abb. 1 die Leuchtdichten, Beleuchtungsstärken und ihre Verteilungen, die physiologische und psychologische Blendung sowie der Kontrastwiedergabefaktor. Ihnen ist es gemeinsam, dass sie ein Ergebnis der  $V(\lambda)$ -photometrischen Bewertungen sind. Die  $V(\lambda)$ -Funktion repräsentiert die spektrale Hellempfindungsfunktion für das Tagessehen bis zu einem Sehwinkel von  $4^\circ$  und physiologisch gesehen den Luminanzkanal in unserem Hellempfindungsprozess. Die chromatischen Komponenten werden dabei nicht berücksichtigt. Basierend auf dieser bisherigen Kenntnis findet der derzeitige lichttechnische Prozess etwa wie folgt ab:

- **Auf der Lichtquellenebene:** die Lampenentwickler planen die Lampen nach den Kriterien wie Druck, Temperatur, Füllgas, Lampenkolbengeometrie, Elektrodenform und -material, um eine Langzeitstabilität und die höchste Lichtausbeute in lm/W zu erreichen. Für einige Anwendungen sind die Farbwiedergabe sowie der Farbort als wichtig erachtet.
- **Auf der Leuchtenebene:** Die Leuchtenentwickler verwenden die geeigneten Lampentypen und Vorschaltgeräte und entwickeln die Gehäusen und Optiken, damit die Blendung für eine

bestimmte Anwendung minimiert wird und eine definierte Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) realisiert werden kann. Die Langzeitstabilität der Leuchte und die Typprüfungen stehen dabei im Vordergrund.

- **Auf der Lichtplanerebene:** Die Lichtplaner planen die Räume an Hand der Raumgeometrie und Anwendungstypen und versuchen, die mittlere Beleuchtungsstärke, die Gleichmäßigkeit sowie die Blendung nach den gültigen Normen und berufsgenossenschaftlichen Richtlinien durch Variation der Leuchtentypen, Anzahl und Anordnungen zu erreichen. Die Kosten und die Energieeffizienz der Beleuchtungsanlagen stehen häufig im Vordergrund.

Für bestimmte Anwendungen und Beleuchtungssituationen kann man die Atmosphäre, die Raumwirkung, die Akzeptanz und die Bindung der Betrachter zu den beleuchteten Situationen durch diese oben genannte rationelle Arbeitsweise nicht erreichen. Über die photometrischen Kenngrößen hinaus sind für eine moderne Beleuchtung die Variation und Einstellung der direkten und indirekten Anteile mit ihrer Lichtintensität und ihren wohl-definierten Farborten, die chromatische Helligkeit, die Brillanz der Objektdarstellung, die Wirkung zwischen den Lichtspektren und der Materialität wichtig, um die Farbgebung und die Lenkung der Aufmerksamkeit der Betrachter auf die Beschaffenheit und die Anordnung der Objekte im Raum zu ermöglichen. Darüber gab es in der Vergangenheit einige wertvolle Literaturen (s./7,8/). Das sind die Absichten und Praktiken der Lichtarchitekten, die seit einigen Jahren durch Forschungsarbeiten der Vision- und Farbwissenschaftler untersucht und quantitativ formuliert sind. Die neu entstandenen farbqualitätstechnischen und circadianen Kenngrößen sind in der Abb. 2 veranschaulicht.

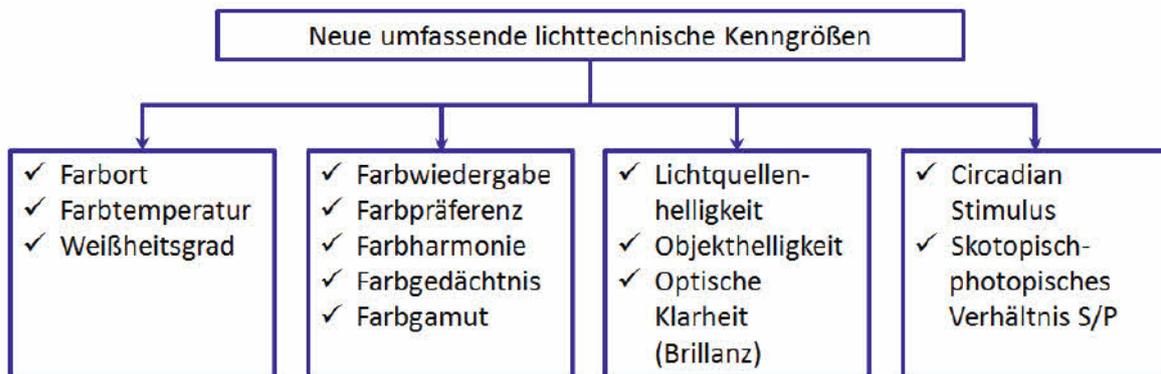


Abb. 2 – Lichttechnische Kenngrößen für eine umfassende Beleuchtungsbewertung

Der Unterschied zu den oben genannten  $V(\lambda)$ -photometrischen Kenngrößen liegt in der Hinzunahme der chromatischen, spektralen und gesundheitstechnischen Komponenten der optischen Strahlung in die Bewertung der Beleuchtungssituation. Diese Bewertung findet ohnehin bereits im visuellen und nichtvisuellen Wahrnehmungsprozess der Betrachter statt und findet nun allmählich durch die farbqualitätstechnischen und circadianen Parameter ihre Berücksichtigung in der Lichttechnik. Der vorliegende Artikel fasst einen Teil der Forschungsergebnisse zusammen und versucht folgende Aspekte zu klären:

- a. Definitionen der lichttechnischen und circadianen Parameter für eine umfassende lichttechnische Beleuchtungsbewertung
- b. Die Zusammenhänge der Parameter untereinander

## 2. Zusammenhänge unter den lichttechnischen Kenngrößen für weiße leuchtstoffkonvertierte LEDs

### 2.1. Definitionen der lichttechnischen Kenngrößen

#### 2.1.1. CRI: Farbwiedergabeindex der CIE /9/.

Die wichtigsten Schritte der Berechnung des CIE-Farbwiedergabeindex (*CRI, colour rendering index*):

- Es wird eine Referenzlichtquelle gewählt, die die gleiche ähnlichste Farbtemperatur ( $T_c$ ) wie die Testlichtquelle hat. Beträgt der Wert von  $T_c$  der Testlichtquelle weniger als 5000K, dann wird die Schwarzkörperstrahlung der gleichen Farbtemperatur als Referenzlichtart verwendet, sonst eine Tageslichtphase der gleichen ähnlichsten Farbtemperatur.
- Vierzehn Farbmuster aus dem Munsell-Farbatlas werden als Testfarben verwendet, s. Abbildung 3. Die ersten acht (ungesättigten) Farbmuster dienen zur Berechnung des allgemeinen Farbwiedergabeindex ( $R_a$ ). Außerdem kann für jedes einzelne Farbmuster ein sog. spezieller Farbwiedergabeindex berechnet werden. Dabei spielt das 9. Farbmuster (TCS09), wegen der Relevanz der roten Farbtöne in der Innenraumbeleuchtung, eine besonders wichtige Rolle. Es stellt nämlich die Wiedergabe der gesättigten roten Farbtöne dar, die der Wert von  $R_a$  nicht beschreiben kann. Für spezielle Anwendungen können aber auch andere spezielle Indizes (z.B. *Gelb, TCS10*) relevant sein.
- Die CIE 1931 Normfarbwerte  $X, Y, Z$  werden für die 14 Farbmuster unter der Testlichtquelle und der Referenzlichtquelle berechnet und in CIE 1960 UCS-Koordinaten ( $u, v$ ) sowie in den CIE 1964  $U^*, V^*, W^*$ -Farbraum transformiert.
- Die Farbart der Testlichtquelle wird mit einer *von Kries*-Transformation in die Farbart der Referenzlichtquelle transformiert.
- Die 14 CIE 1964 Farbabstände werden für die 14 Farbmuster ( $\Delta E_i, i=1-14$ ) zwischen den  $U^*, V^*, W^*$ -Werten unter der Testlichtquelle und der Referenzlichtquelle berechnet.
- Für jedes Farbmuster wird - mit Hilfe der Gleichung  $R_i=(100 - 4,6\Delta E_i)$  - ein spezieller Farbwiedergabeindex berechnet ( $i=1-14$ ).
- Der allgemeine Farbwiedergabeindex ( $R_a$ ) wird als arithmetischer Mittelwert der ersten 8 speziellen Farbwiedergabeindizes (s. Abbildung 3) definiert.



Abbildung 3 - 14 Farbmuster aus dem Munsell-Farbatlas, die als Testfarben für die Berechnung des CIE-Farbwiedergabeindex verwendet werden.

#### 2.1.2 CQS - Farbqualitätsskala des NIST

Die Methode des National Institute of Standards and Technology (*NIST, USA*) arbeitet mit der sog. CQS-Farbqualitätsskala /10/ im CIELAB-Farbraum. Statt der CIE-Testfarben (s. Abbildung 3) verwendet die CQS-Methode 15 andere, speziell ausgewählte sehr gesättigte Farben ebenfalls aus dem Munsell-Farbsystem (*VS1-VS15*), s. Abb. 4.



Abbildung 4 - Testfarben der CQS-Methode (NIST, USA) /10/

Der CIE-Farbwiedergabeindex bewertet diejenigen Testlichtquellen negativ, die die Sättigung der Objektfarbe – im Vergleich zur Referenzlichtquelle – steigern. Um die Farbpräferenz der Beobachter zu berücksichtigen, wird die Steigerung der Sättigung in der CQS-Methode – im Gegensatz zum CIE-Farbwiedergabeindex nicht negativ bewertet. (In zahlreichen visuellen Experimenten der Farbqualität ergab sich nämlich die Tendenz, dass die Beobachter eine allgemeine Erhöhung der Sättigung unter der Testlichtquelle bevorzugen.) In dieser Hinsicht ist die CQS-Metrik keine Farbwiedergabeskala, sondern eine Farbpräferenzmetrik /11/.

### 2.1.3. $L^{**}$ - Chromatische Relativhelligkeit

Diese Messzahl (sog.  $L^{**}$  /12/) beschreibt die chromatische Relativhelligkeit einer Objektfarbe (im Vergleich zur absoluten Helligkeit eines Weißstandards) unter Berücksichtigung des Helmholtz-Kohlrausch-Effektes. Der Helmholtz-Kohlrausch-Effekt besagt, dass Objekte gleicher (relativer) Leuchtdichten heller erscheinen, wenn die Farben dieser Objekte eine höhere Buntheit besitzen. Es gibt außerdem eine Bunntonabhängigkeit. Die  $L^{**}$ -Formel lautet:

$$L^{**} = L^* + f(L^*)g(h^\circ)C^* \quad \text{Gl. (1)}$$

Die Symbole der Gl. (1) bedeuten:

- ✓  $L^{**}$  - Messzahl für die chromatische Relativhelligkeit
- ✓  $L^*$  - Messzahl der achromatischen Relativhelligkeit nach CIELAB 1976
- ✓  $f(L^*)$  - Helligkeitsbasierte Korrekturfunktion
- ✓  $g(h^\circ)$  - Korrekturfunktion in Abhängigkeit des Bunntonwinkels  $h^\circ$
- ✓  $C^*$  - Buntheit nach CIELAB 1976

### 2.1.4. $L_{\text{äq}}$ - Äquivalente Leuchtdichte für die Testlichtquelle als Selbstleuchter

Mit Hilfe dieser Messzahl (Äquivalente Leuchtdichte  $L_{\text{äq}}$  nach Ware und Cowan /13/) kann die absolute Helligkeit zweier Testlichtquellen (als Selbstleuchter) unterschiedlichen Weißtons rechnerisch verglichen werden. Dabei wird der Helmholtz-Kohlrausch-Effekt berücksichtigt. Ist der Wert von  $L_{\text{äq}}$  für die Testlichtquelle  $T_1$  größer als für die Testlichtquelle  $T_2$ , dann ist auch die absolute Helligkeitsempfindung von  $T_1$  (als Selbstleuchter) größer als die Helligkeitsempfindung von  $T_2$ . Die Messzahl  $L_{\text{äq}}$  stellt aber keine absolute Skala der visuellen Helligkeitsempfindung dar. Im ersten Schritt der Berechnung der äquivalenten Leuchtdichte  $L_{\text{äq}}$  nach Ware und Cowan wird das Verhältnis ( $B/L$ ) von der Helligkeit  $B$  zur Leuchtdichte  $L$  der Testlichtquelle berechnet ( $B$ : brightness, Helligkeit,  $L$ : luminance, Leuchtdichte), s. Gl. (2). Im zweiten Schritt wird das ( $B/L$ )-Verhältnis mit der Leuchtdichte der Testlichtquelle (in  $\text{cd/m}^2$ ) multipliziert, s. Gl. (3).

$$\log(B/L) = 0,256 - 0,184y - 2,527xy + 4,656x^3y + 4,657xy^4 \quad \text{Gl. (2)}$$

$$L_{\text{äq}} = (B/L) L \quad \text{Gl. (3)}$$

### 2.1.5. G - Farbgamut

Der Farbgamut stellt den Farbumfang der wichtigsten Objektfarben in einem Farbraum unter der Testlichtquelle dar. Je größer die wahrgenommenen Farbunterschiede zwischen allen möglichen Paaren der farbigen Innenraumobjekte unter der Testlichtquelle, umso größer ist der Farbgamut. In diesem Artikel wird die Messzahl für den Farbgamut wie folgt definiert. Es werden alle möglichen Paare der CIE-Testfarben TCS09-TCS14 gebildet (*d.h.*  $5 \times 6 / 2 = 15$  Paare, TCS09 – TCS10, TCS09-TCS11, usw.) und der Farbunterschied  $\Delta E$  im CIECAM02  $J, a_C, b_C$  - Farbraum zwischen den beiden Testfarben jedes einzelnen Pairs berechnet. Die Messzahl  $G$  ist gleich die Summe dieser 15 Farbunterschiede. Abbildung 5 zeigt die sechs CIE-Testfarben TCS09-TCS14 im drei-dimensionalen CIECAM02  $J, a_C, b_C$  - Farbraum unter einer bestimmten Lichtquelle als Beispiel zur Veranschaulichung des Konzeptes, wie die Größe  $G$  definiert und berechnet wird.

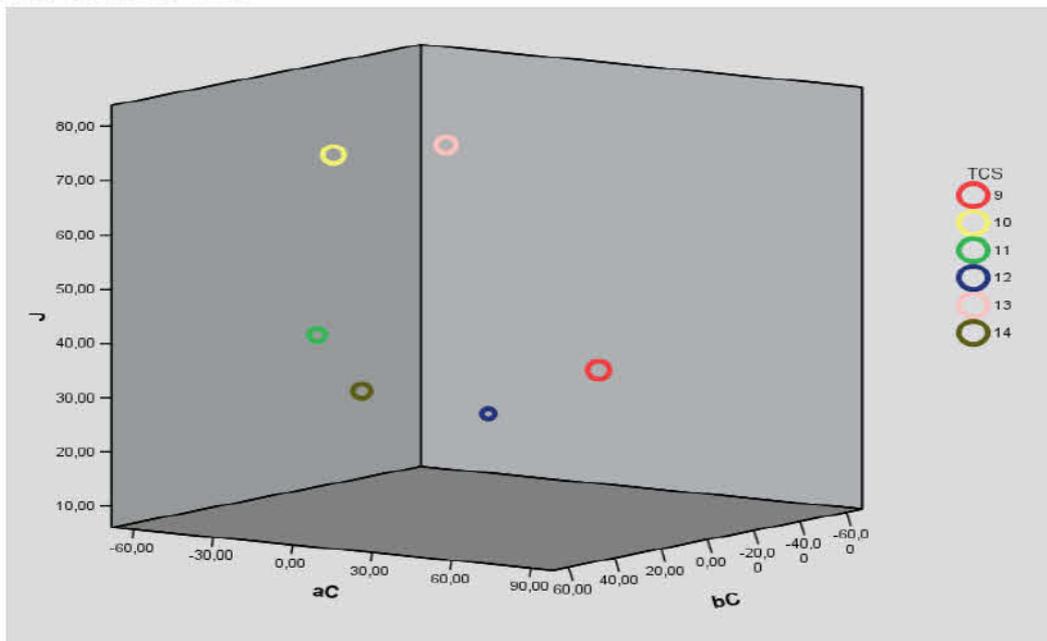


Abbildung 5 - Die sechs CIE-Testfarben TCS09-TCS14 im drei-dimensionalen CIECAM02- $J, a_C, b_C$  - Farbraum

### 2.1.6. S/P - Verhältnis

Diese Messzahl stellt das Verhältnis der skotopischen Leuchtdichte zur photopischen Leuchtdichte dar.

### 2.1.7. CS - Circadianer Stimulus

In der Publikation /14/ wurde ein Modell zur Berechnung der circadianen Aktivität vorgestellt. Der sogenannte circadiane Stimulus CS setzt sich in diesem Modell aus den Beiträgen der folgenden Mechanismen nichtadditiv zusammen: Ganglienzellen ( $ipRGC(\lambda)$ ), photopische Hellempfindlichkeit für ein  $10^\circ$ -Gesichtsfeld ( $V_{10}(\lambda)$ ), blauempfindliche Zapfen ( $S(\lambda)$ ), sowie die skotopische Hellempfindlichkeit ( $V'(\lambda)$ ). Je größer der Wert von CS, umso größer ist die circadiane Aktivität. Die Kenngröße CS ist so hergeleitet und skaliert, dass sie direkt proportional zur Melatonin-Unterdrückung in Prozent (%) ist. Der Wert von CS wird in diesem Artikel für jede betrachtete Lichtquelle unter der Annahme berechnet, dass die durchschnittliche Leuchtdichte der weißen Wände des Raumes, der mit der jeweiligen Lichtquelle beleuchtet wird, einen Wert von  $100 \text{ cd/m}^2$  beträgt.

## 3. Untersuchung der **lichttechnischen** und circadianen Leistung weißer leuchtstoff-basierter LEDs

### 3.1.Vorgehensweise

Im Wissen darüber, dass die Beobachter selten die Lichtquellen direkt betrachten, sondern dass die optische Strahlung der Lichtquellen mit einer bestimmten spektralen Zusammensetzung nach der Reflexion auf der Oberfläche der Raumgegenstände nun verändert und spektral-moduliert das Auge der Beobachter erreicht und im Gehirnapparat die Farbattribute wie Farbton, Farbsättigung sowie die Helligkeit mit ihrer achromatischen Komponente, die in der heutigen klassischen Lichttechnik als Leuchtdichte verwendet wird, auslöst, kann man die wissenschaftliche Vorgehensweise wie folgt konzipieren:

- Die spektralen Reflexionseigenschaften der Gegenstände werden gemessen. Das sind u.a. Obst, Gemüse, Fleisch, Fisch, Blumen, Blätter, Möbel, Textilien, Drucksachen, Hauttöne und Haarfarben. Diese Materialien wurden an der TU Darmstadt spektral gemessen und sind Gegenstände einer anderen Publikation. In der Abbildung 6 werden als Beispiel die spektralen Reflexionsgrade der roten Testfarbe CIETCS09, der roten Erdbeere, Rose und Tomate veranschaulicht.
- Etwa 53 verschiedene weiße leuchtstoff-basierte Hochleistungs-LED-Typen, die derzeit auf dem Markt *als übliche Serienprodukte unterschiedlicher Hersteller verfügbar* sind, wurden bei verschiedenen Temperaturen spektral gemessen. Die Autoren unterteilen die gemessenen LEDs in sechs Gruppen und analysieren sie sowohl getrennt als auch gemeinsam (s. Tabelle 1).
- Die gemessenen Spektren, gemeinsam mit den Reflexionsspektren der Materialien, wurden verwendet, um die Parameter chromatische Relativhelligkeit ( $L^{**}$ ), äquivalente Leuchtdichte ( $L_{\text{äq}}$ ), Farbwiedergabe ( $R_a$ ), Farbgamut ( $G$ ), Farbpräferenz (CQS), Circadian Stimulus (CS) und S/P-Verhältnis (S/P) zu berechnen. In diesem Artikel werden nur ausgewählte Zusammenhänge unter ausgewählten Parametern analysiert.

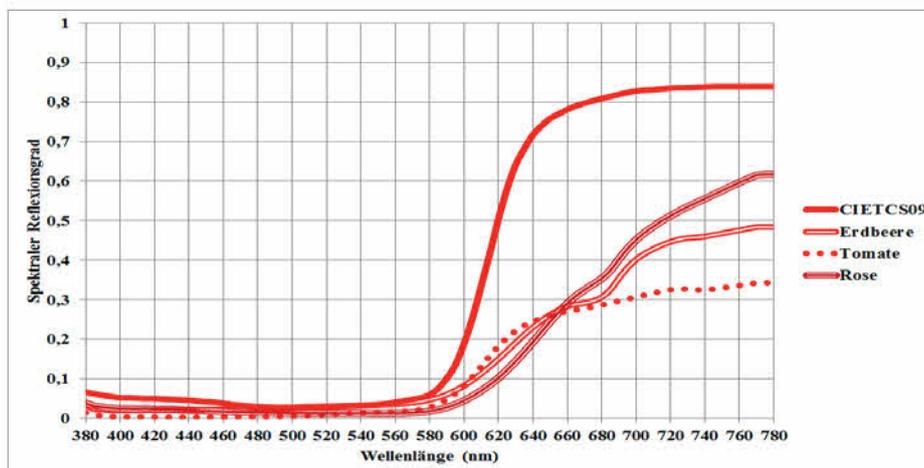


Abb.6 - Spektrale Reflexionsgrade von der roten Farbe CIETCS09, einer roten Erdbeere, einer roten Tomate und einer roten Rose

Ord.	LED-Typen	Kategorie	$R_a$ -Wert	$R_g$ -Wert
1	Warmweiße LED	Hohe Farbwiedergabe	93 - 99	83 - 99
2	Warmweiße LED	Moderate Farbwiedergabe	79 - 87	1 - 67
3	Neutralweiße LED	Hohe Farbwiedergabe	91 - 98	46 - 99
4	Neutralweiße LED	Moderate Farbwiedergabe	72 - 83	-20 - 28
5	Kaltweiße LED	Hohe Farbwiedergabe	90 - 96	39 - 84
6	Kaltweiße LED	Moderate Farbwiedergabe	74 - 86	-22 - 64

Tabelle 1 - Kategorien der gemessenen marktüblichen weißen leuchtstoff-basierten LEDs unterschiedlicher Hersteller

In der Abbildung 7 werden die spektralen Verteilungen von einigen gemessenen warmweißen LEDs mit einer Farbwiedergabe von Ra besser als 80 und von einer Glühlampe dargestellt. Diese warmweißen LEDs mit einer Farbtemperatur zwischen 2600 K und 3000 K sind sehr gut geeignet für die Entwicklung von LED-Retrofit-Lampen für die Wohnraumbeleuchtung und Beleuchtung von Restaurants sowie Hotels. Die Spektren haben ein Maximum eher bei 600-610 nm und 640 nm. Mit einem ähnlichen spektralen Anstieg wie bei einem Glühlampenspektrum sowie mit einem Farbwiedergabeindex von mehr als 94 ist die Farbwiedergabe des LED-Typs T17 exzellent und der Glühlampe ähnlich mit dem Unterschied, dass die blauen Farben wie eine blaue Jeanshose oder eine blaue Blume brillanter erscheinen als unter dem Licht einer Glüh- oder Halogenglühlampe. Es ist nämlich allgemein bekannt, dass thermische Strahler mit einer Verteilungstemperatur um 2600 K bis 3000 K einen sehr geringen Strahlungsanteil im blauen Bereich haben.

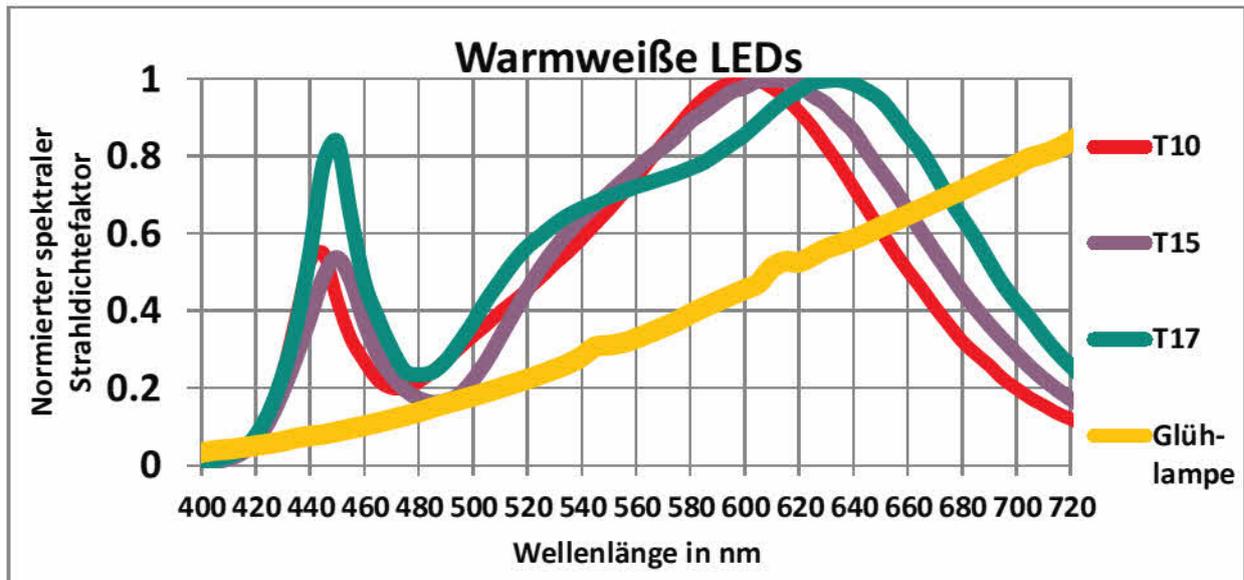


Abb.7 - Die spektralen Verteilungen der gemessenen marktüblichen warmweißen LEDs mit sehr guter Farbwiedergabe und von zwei Glühlampen

Für sehr gute Bürobeleuchtungen sowie für eine brillante Verkaufsbeleuchtung sind die neutralweißen LEDs mit einer hohen Farbwiedergabe erwünscht und auf dem Markt verfügbar. In der Abbildung 8 werden die Spektren der LEDs mit einer nicht guten Farbwiedergabe (Typ T2#3, Typ T8#1, Typ T12, allgemeine Farbwiedergabeindices  $R_a = 66,75$ ), mit einer für die Bürobeleuchtung gerade akzeptablen Farbwiedergabe (Typ T16,  $R_a = 82,8$ ) und mit einer sehr guten Farbwiedergabe (Typ T18,  $R_a = 90$ ) dargestellt. Die LED-Typen T2#3, T8#1 und T12 haben ein Spektrum von einem typischen YAG-Leuchtstoff mit einem Maximum um 560 nm. Der LED-Typ T16 hat einen orangenen Leuchtstoff mit einem Maximum um 590 nm-600 nm. Die Leuchtstoff-Systeme z.B. bei dem LED-Typ T18 mit einem Maximum um 630 nm haben eine bessere Farbwiedergabe, speziell für die roten und violetten Farben.

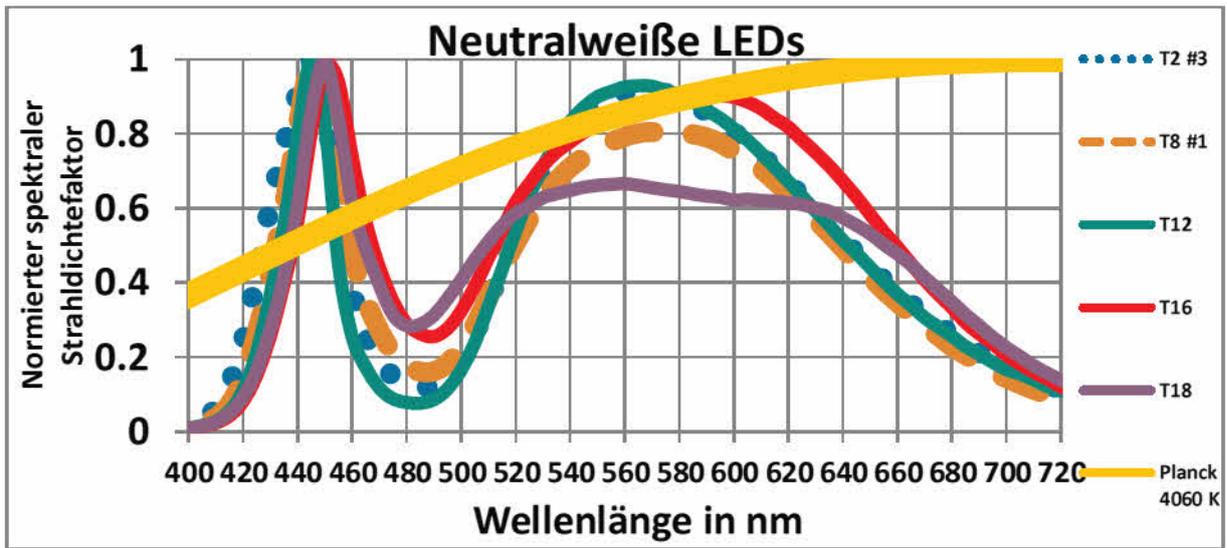


Abb. 8 - Die spektralen Verteilungen der gemessenen marktüblichen neutralweißen LEDs mit sehr guter Farbwiedergabe

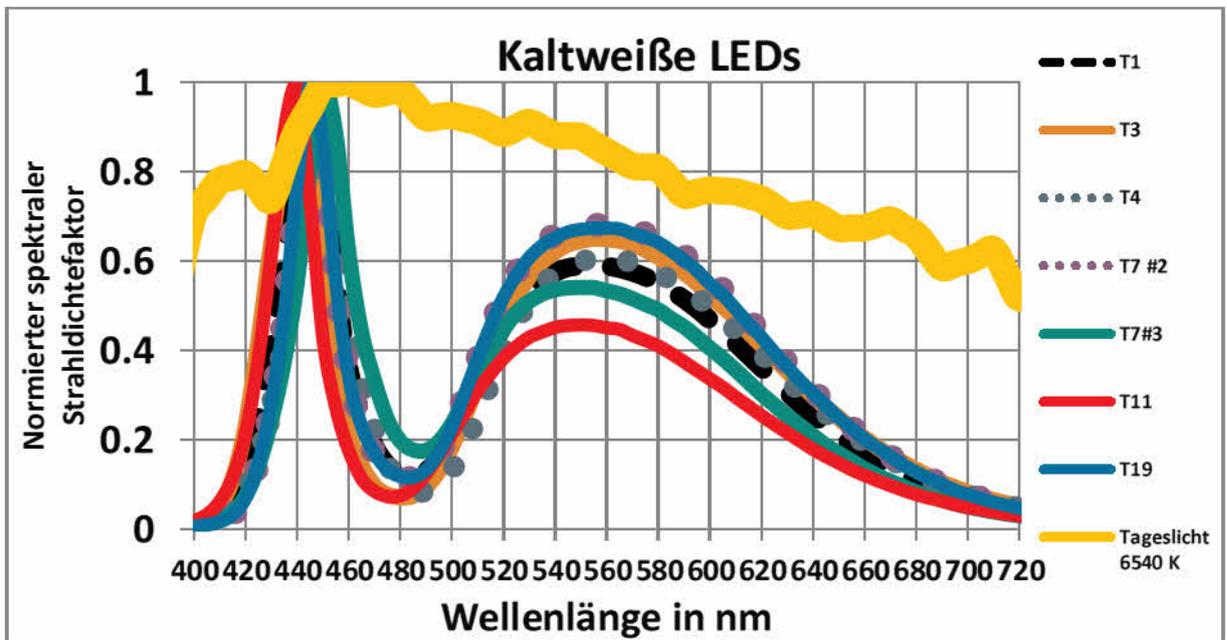


Abb.9 - Die spektrale Verteilung der gemessenen marktüblichen kaltweißen LEDs mit moderater Farbwiedergabe

In der Abb. 9 werden die spektralen Verteilungen der kaltweißen LEDs, wie sie auf dem heutigen Markt verfügbar sind, dargestellt. Das sind sehr effiziente LEDs im Sinne der heutigen Definition der Lichtausbeute mit der Einheit lm/W, die zurzeit zwischen 120 und 145 lm/W liegen kann. Die Farbwiedergabe reicht für die Straßenbeleuchtung sowie für die Innenraumbeleuchtung in den Lagerhallen, Parkhäusern und Kühlräumen aus. Die hohe Lichtausbeute kann man sehr gut erklären, da das Maximum der verwendeten YAG-Leuchtstoffe bei 555 nm - 565 nm und somit sehr nah am Maximum der  $V(\lambda)$ -Funktion liegt (siehe Abbildung 9). Ein Vergleich der Spektren der kaltweißen LEDs mit dem Spektrum der Tageslichtphase 6540 K in der Abbildung 9 zeigt deutlich die Defizite diese LEDs in der Lücke im Spektrum zwischen 460 nm und 520 nm (blau-cyan-grün) und im Wellenlängenbereich ab 580 nm (gelb-orange-rot).

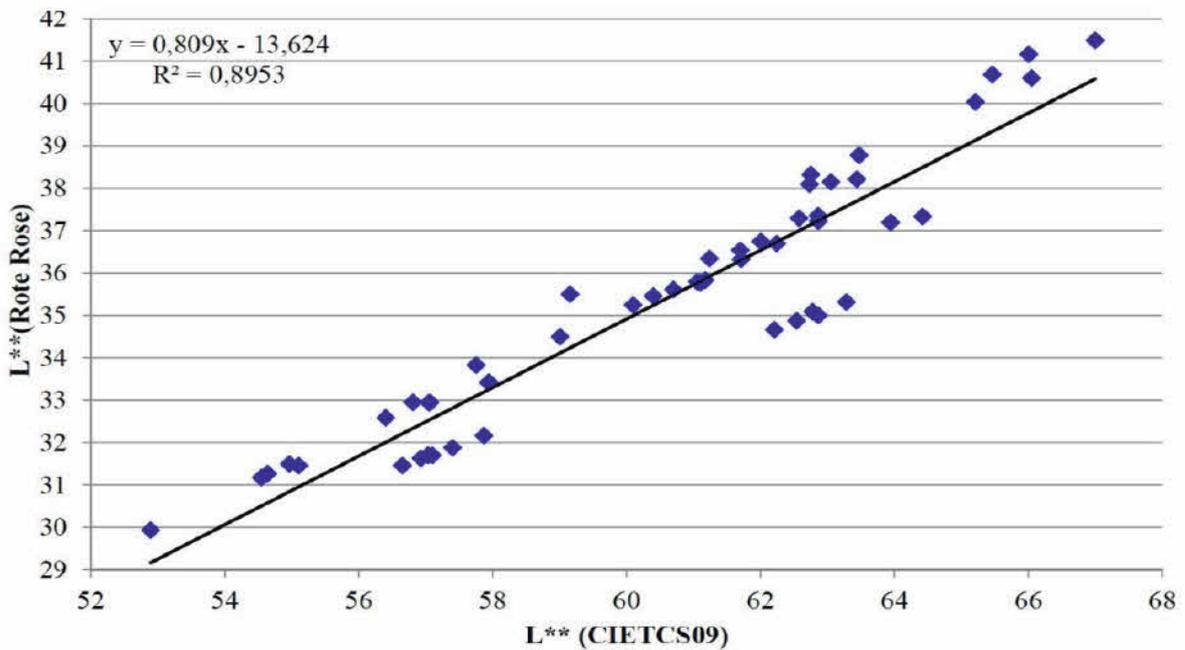


Abb. 10 - Korrelation der Objekthelligkeit der Farbe  $R_9$  und der roten Rose (s. auch Abb. 6)

Berechnet man nun die chromatische Relativhelligkeit für die rote Rose und die rote CIE Testfarbe CIETCS09 (s. Abb. 6), die jeweils mit den 53 untersuchten weißen LEDs beleuchtet werden, findet man gemäß der Abbildung 10 eine hohe Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten  $r^2 = 0,8953$ . Das soll bedeuten, dass diejenigen weißen LEDs, die eine niedrige oder hohe chromatische Relativhelligkeit der künstlichen Farbe CIETCS09 verursachen, rufen auch eine dementsprechend niedrige bzw. hohe chromatische Relativhelligkeit beim Naturprodukt „rote Rose“ hervor.

Neben einer derzeitigen Diskussion über die neue Definition des Farbwiedergabeindex gibt es auch aktuell eine internationale Diskussion darüber, ob und wie man die Farbpräferenz für die Beurteilung der Farbwiedergabe verwenden kann. Die häufig formulierten Argumente in diesem Diskussionsprozess sind, dass ein wahrnehmungstechnisch richtiger Farbwiedergabeindex für die Beurteilung der farbtreuen Darstellung der Objektfarben das richtige Instrument ist, da er auf der Basis der Differenz der Farbwarnnehmung einer bestimmten Objektfarbe bei der Beleuchtung einer bestimmten Lichtart gegenüber der gleichen Beleuchtung mit einer Referenzlichtart mit der gleichen Farbtemperatur begründet werden kann. Die Farbpräferenz basiert auf der mentalen Einstellung, die Objektfarbe in einem bestimmten Farbbereich lieber zu sehen (z.B. sie sollte gesättigter, rötlicher oder bläulicher sein). In dem Kontext der Farbpräferenz sind auch die Komponenten der Farbkultur, der Lebenserfahrung und der persönlichen Position mitintegriert, so dass die Farbpräferenz sicherlich für die Kunst (Film, Malerei) oder für die Produktpräsentation ein wichtiger Parameter sein kann. Für eine sachliche Beurteilung der Farbproduktion einer Objektfarbe unter einer bestimmten zu beurteilenden Lichtart ist die Farbwiedergabe das bessere Instrument. Da der Parameter „Farbpräferenz“ mittlerweile in verschiedenen LED-Firmen neben der heutigen Fassung des Farbwiedergabeindex verwendet wird, haben die Autoren für die 53 weißen untersuchten LEDs sowohl die Messzahl der Farbpräferenz (CQS) als auch die Messzahl der Farbwiedergabe (CIE  $R_a$ ) berechnet. Die Ergebnisse sind in der Abb. 11 dargestellt.

Ein hoher Korrelationskoeffizient von  $r^2 = 0,9368$  (Abb. 11) weist auf eine sehr gute Korrelation zwischen der Messzahl der Farbwiedergabe ( $R_a$ ) und der Farbpräferenz (CQS) bei den 53 untersuchten weißen LED-Lichtquellen hin. Laut dieser Messzahlen weist also eine weiße LED mit einer sehr guten Farbwiedergabe i. A. auch eine hohe Farbpräferenz auf. Umgekehrt verursacht eine LED mit niedriger Farbwiedergabe keine gute Farbpräferenz.

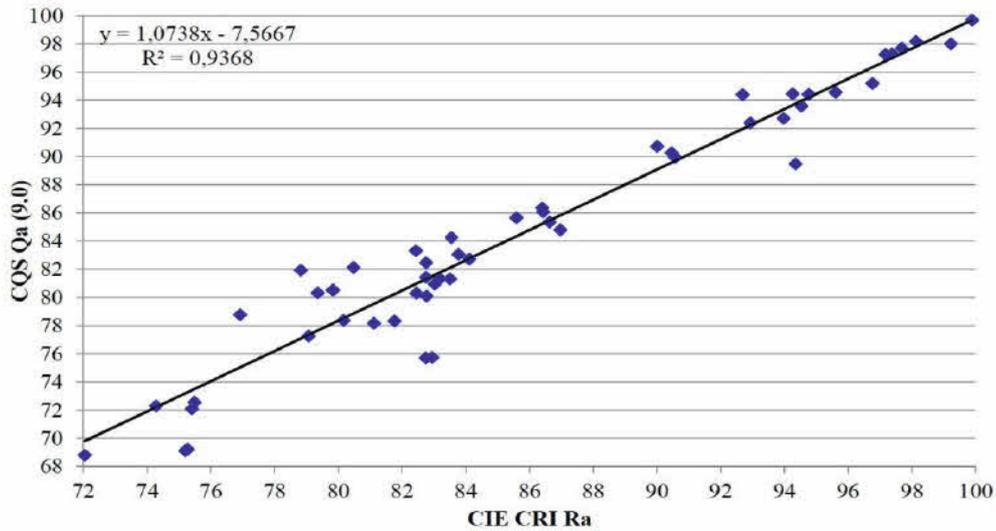


Abb. 11 - Korrelation zwischen den Messzahlen der Farbpräferenz (CQS) und der Farbwiedergabe (CIE Ra)

In der Abb. 12 wird der Zusammenhang zwischen der circadianen Aktivität (*CS entspricht der Höhe der Melatonin-Unterdrückung*) und dem S/P-Verhältnis dargestellt. Aus Abb. 12 geht hervor, dass eine weiße LED mit einem hohen skotopischen Anteil in ihrem Spektrum mehr helfen kann, Melatonin zu unterdrücken. Das ist die Konsequenz aus der sehr guten Korrelation zwischen dem CS-Parameter und dem S/P-Verhältnis.

Generell besteht zwischen der Farbwiedergabe und der wahrgenommenen chromatische Relativhelligkeit für alle Farben kein Zusammenhang. Speziell für rote Farbtöne (z. B. die CIE-Testfarbe CIETCS09 oder für rote Tomaten, rote Paprika, rote Blumen, Salami und rote Textilien) und innerhalb der Weißkategorien (warm-, neutral- oder kaltweiß) kann man dennoch einen guten Zusammenhang herleiten (s. Abb. 13). Das bedeutet, dass man generell für rote Farben, die in unserer Umwelt oft vorkommen, eine größere chromatische Relativhelligkeit wahrnimmt, wenn die weißen LEDs einen hohen speziellen Farbwiedergabeindex für die roten Farben aufweisen.

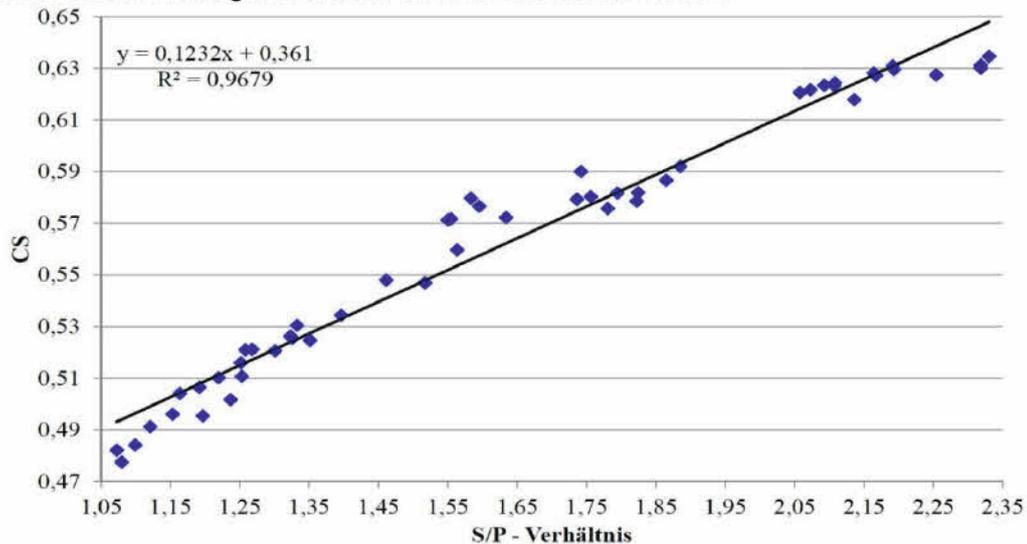


Abb. 12 - Korrelation zwischen dem circadianen Stimulus CS und dem S/P-Verhältnis

Generell besagen die bisherigen Ausführungen in dieser Arbeit, dass eine weiße LED mit einer sehr guten Farbwiedergabe auch eine sehr gute Farbpräferenz und für rötliche Farbtöne eine hohe Objektivhelligkeit liefert. Eine weiße LED mit einem sehr guten S/P-Verhältnis ruft auch eine hohe circadiane Aktivität hervor. Für die kompetenten Planer der LED-Beleuchtungsanlagen und für die LED-Leuchtenentwickler sind diese Kenntnisse sehr wichtig.

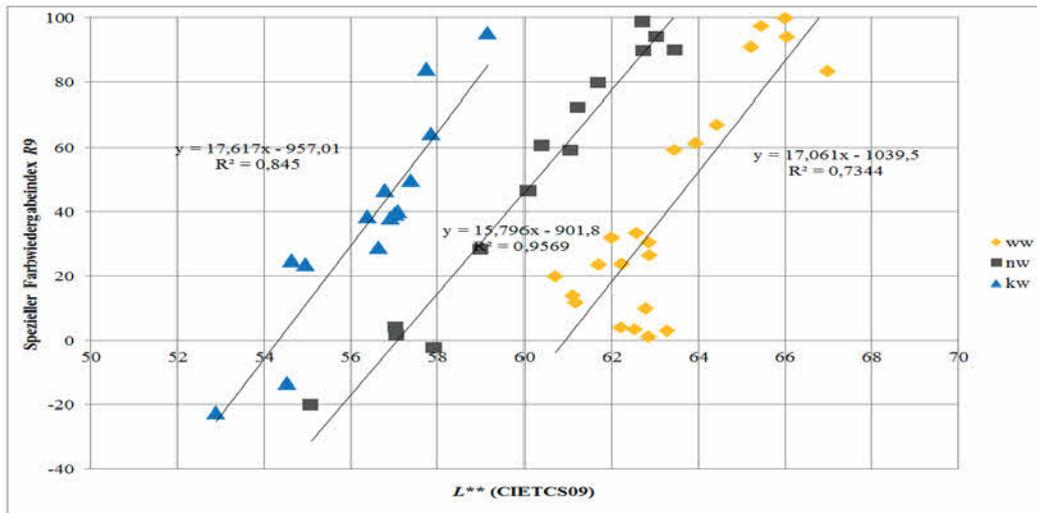


Abb. 13 - Zusammenhang zwischen der chromatischen Relativhelligkeit ( $L^{**}$ ) und des speziellen Farbwiedergabeindex ( $R_9$ ) am Beispiel der roten CIE Testfarbe CIETCS09 für die 3 Gruppen der ähnlichsten Farbtemperatur, warmweiß (ww), neutralweiß (nw) und kaltweiß (kw), vgl. mit Tabelle 1

### Literaturverzeichnis

- /1/ Völker, S.: Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungslevels, Dissertation, TU Ilmenau, 19.01.1999
- /2/ Weston, H.C.: The relation between illumination and visual performance. Medical Research Council, Report Nr. 87 (1945) and Joint Report (1935)
- /3/ Blackwell, H.R.: Development of procedures and instruments for visual task evaluation. Ill. Eng. Soc. 65 (1970) 4, 267-291
- /4/ Gall, D.: Die Kontrastempfindung als Ausgangspunkt für die Beleuchtungsplanung. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. sc. techn., TU Ilmenau, 1983
- /4/ Lindner, H.: Beleuchtung und Arbeitsleistung- Systematik experimenteller Grundlagen. Z. ges. Hyg. 21 (1975) 2, 101-106
- /5/ Muck, E; Bodmann, H.-W.: Die Bedeutung des Beleuchtungslevels bei praktischer Sehtätigkeit, Zts. Lichttechnik 13(1961) 19, S. 502
- /6/ Hentschel, H.-J.: Beleuchtungslevel in betriebswirtschaftlicher Sicht, Lichttechnik, 20 (1968), 7, 75 A-80A
- /7/ Lam W.M.C.: Perception & Lighting as form givers for architecture, Van Nostrand Reinhold, New York (1992)
- /8/ Zajonc A.: Die gemeinsame Geschichte von Licht und Bewusstsein. Rowohlt, Hamburg (1994)
- /9/ Commission Internationale de l'Éclairage: Publ. CIE 13.3-1995, Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, 1995.
- /10/ Davis W, Ohno Y, Color quality scale, *Optical Engineering* **49**/3, 033602, 2010.
- /11/ Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.: Stellungnahme der LiTG über CQS (Color Quality Scale), [www.litg.de](http://www.litg.de), 2011.
- /12/ M. D. Fairchild, E. Pirrotta: Predicting the Lightness of Chromatic Object Colours using CIELAB, *Color Res. Appl.* **16**/6, pp. 385-393, 1991.
- /13/ Commission Internationale de l'Éclairage: Publ. CIE 118-1995, CIE Collection in Colour and Vision, 118/2: Models of heterochromatic brightness matching, 1995.
- /14/ Rea MS, Figueiro MG, Bierman A, Bullough JD: Circadian light, *Journal of Circadian Rhythms*, 2010, 8:2.

Nachdruck mit Genehmigung der Redaktion "LICHT und TAGESLICHT" des Richard Pflaum Verlages.



