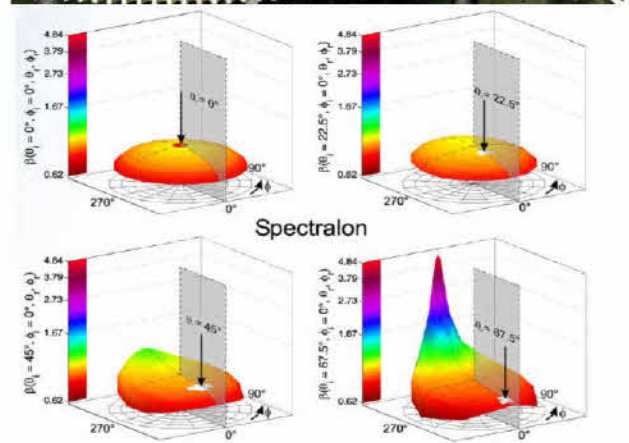
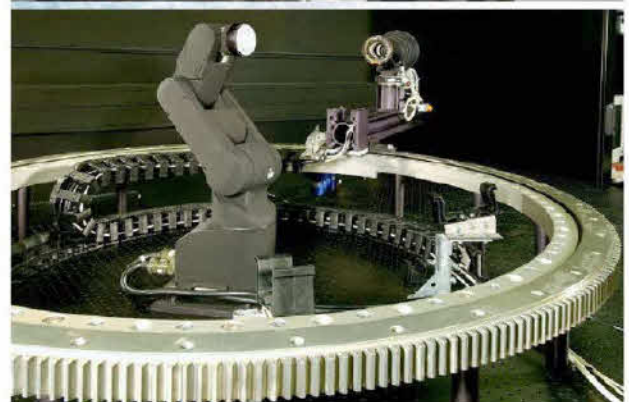
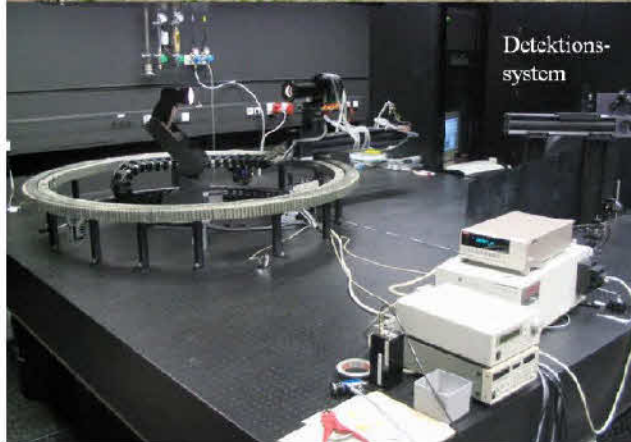
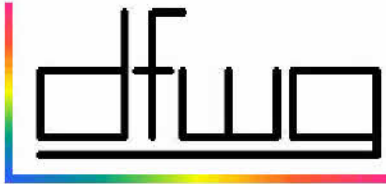


## Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG  
Verantwortlich: Dr. Gerhard Rösler

### Einstimmung auf die DfwG Jahrestagung mit der PTB in Braunschweig vom 4.-6. Oktober 2011





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

*Inhaltsverzeichnis Report 02 2011*

<i>Impressum</i> .....	<i>2</i>
<i>Liebe Farbgemeinde,</i> .....	<i>3</i>
<i>Dienstag 4. Oktober 2011</i> .....	<i>4</i>
<i>Mittwoch 5. Oktober 2011</i> .....	<i>4</i>
<i>Donnerstag 6. Oktober 2011</i> .....	<i>4</i>
<i>Was bestimmt die Lichtqualität in der Innenraumbeleuchtung?</i> .....	<i>5</i>
<i>Rückführung von diffusen Reflexionsstandards für die Farbmessung in Multigeometrie Konfigurationen</i> .....	<i>12</i>
<i>Untersuchung von Messgeräteunterschieden von Labormessgeräten zur Bewertung von Normlichtkabinen</i> .....	<i>30</i>
<i>DIN 99 in der Praxis</i> .....	<i>37</i>
<i>Vorschau DfwG Report 03 2011</i> .....	<i>56</i>

***Impressum***

***ISSN 1860-2835***

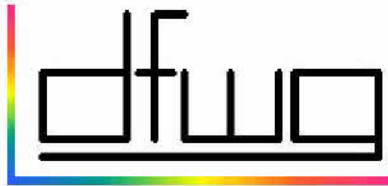
*Titel: Aus den Vorträgen von Herrn Andreas Höpe (PTB) aus den Jahren 2006 und 2010*

*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: NN  
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)

August 2011

**Liebe Farbgemeinde,**

*Langsam wird es ernst - die DfwG Jahrestagung wird vom 4.-6. Oktober 2011 als Gemeinschaftsveranstaltung der DfwG und der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB im Gelände der PTB in Braunschweig stattfinden. Neben dem 80. Jahrestag des 2° Normalbeobachters in diesem Jahr feiert die PTB im Jahr 2012 ihr 125 jähriges Bestehen. Wir haben Prof. Schanda zu einem Übersichts-vortrag eingeladen und können auch weitere interessante Vorträge ankündigen.*

*Bei den Anmeldungen freuen wir uns über rege Teilnahme, sind aber noch nicht an der Kapazitätsgrenze angekommen. Also bitte gleich anmelden im Internet unter [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de). Dort ist auch das aktuelle Programm verfügbar.*

*Viele Grüße und bis bald in Braunschweig  
Ihr Gerhard Rösler*

### Braunschweig - PTB, Bahnhof und mehr...

Nicht gelistet - 2 Mitbearbeiter - 108 Ansichten  
Erstellt am 18. Apr. 2010 - Von koh0815 - Aktualisiert am 24. Aug.  
Karte bewerten - Kommentar verfassen - KML

- Bahnhof - Nord
- Bahnhof - Ost
- Bahnhof - Süd
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt
- Einstein Bau (PTB)
- Seminarzentrum (PTB)  
hier noch nicht gebaut!
- Tolle Knolle
- Restaurant La Cupola e.K.



Es gibt einige Hotels in Bahnhofsnähe. z.B. das Hotel Mercure (<http://www.mercure.com/de/hotel-0871-mercure-hotel-atrium-braunschweig/index.shtml>) weitere Hotels z.B. unter [www.hrs.de](http://www.hrs.de)) und alle 30 min. einen Bus (461) zur PTB <http://www.efa.de/>.

## Dienstag 4. Oktober 2011

**Ort:** Raum 234 Viewegbau (oder neues Konferenzzentrum), PTB, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

**10:00 DIN Normenausschusssitzung FNF 24 (nur für FNF 24 Mitglieder)**

**13:30 Öffentliche Sitzung AG Multigeometrie Farbmessung (Dr. Rösler)**

- Ziel Überarbeitung DIN 6175-2
- Projektplanung: Visuelle Überprüfung DIN 6175-2
- Aktivitäten ASTM und CIE TC 2-53

15:30 Pause

**16:00 Fortsetzung Multigeometrie Farbmessung**

17:00 Ende

**19:00 Vorbesprechung: "Tolle Knolle",**

Stobenstr. 15/16, 38100 Braunschweig Tel. 0531 43733

## Mittwoch 5. Oktober 2011

**Ort:** Raum 234 Viewegbau (oder neues Konferenzzentrum), PTB, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

**08:30 Arbeitssitzung AG Fluoreszenz (Dr. Puebla)**

10:30 Pause

**11:00 Arbeitssitzung AG Farbbildverarbeitung (Prof. Hill)**

**12:00 Imbiss**

**13:00 Eröffnung 37. DfwG Jahrestagung**

Begrüßung, Ehrungen

**13:30 Grußworte Leitung PTB**

**14:00 Vorträge**

- Prof. Schanda: (80 Jahre CIE Normalbeobachter und Übersicht über Aktivitäten der CIE Divisionen 1 und 2)
- Prof. Tran Quoc Khanh, P. Bodrogi (TU Darmstadt): Farbwiedergabeeigenschaften von modernen phosphorkonvertierten weißen LEDs und von multikomponenten-weißen LEDs

15:30 Pause

**16:00 Vorträge**

- A. Sperling: (PTB Photometrie)
- A. Höpe: (PTB Reflektometrie)

**17:00 DfwG Mitgliederversammlung**

**Tagesordnung**

0. Genehmigung der Tagesordnung

1. Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 07. Oktober 2010 in Berlin

2. Kassenbericht 2010

3. Weiterentwicklung DfwG, Arbeitsgruppen

4. Verschiedenes

**19:00 Tagungsabend: "La Cupola", im Haus der Wissenschaft,**

Pockelsstr. 11, 38106 Braunschweig, Tel. 0531 16608, [www.lacupola.de](http://www.lacupola.de)

## Donnerstag 6. Oktober 2011

**Ort:** Raum 234 Viewegbau (oder neues Konferenzzentrum), PTB, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

**09:00 Vorträge**

- Lübbecke: Experimentelle Bestätigung der Sättigungsformel
- Förderpreisträger 2011
- N. Krause, P. Bodrogi, Prof. Khanh (TU Darmstadt): Spektrale Reflexionsgrade von Naturprodukten und Materialien in dem Innenraumbereich.

10:30: Pause

**11:00 Vorträge**

- Werner Rudolf Cramer: "Eine Frage der Geometrie - visuelle und instrumentelle Abmusterungen"
- A. Kraushaar (Fogra): Farberwartungen im Digitaldruck - identische, medienrelative und konsistente Farben.

**12:00 Ende der DfwG Jahrestagung 2011**

Imbiss

**ab 13:00 Besichtigung der Abteilungen Photometrie und Reflektometrie der PTB**

**Ende ca. 15:00**

# Was bestimmt die Lichtqualität in der Innenraumbeleuchtung?

Stefan Brückner, Fachgebiet Lichttechnik, TU Darmstadt

---

## Inhalt



- Einführung
- Aufbau für visuelle Versuche (Tabletop)
- Ergebnisse
  - Helligkeitswahrnehmung
  - Farbwiedergabe
  - Annehmbarkeit
- Schlussfolgerungen

---

## Einführung



- Gute Lichtquellen für Innenraumbeleuchtung sollen Objekte ohne Verfälschung wiedergeben
- CIE-Farbwiedergabeindex (CRI) Ra bewertet Leuchtdioden (LEDs) unter Umständen nicht richtig
- Weitere Lichtqualitätsparameter müssen betrachtet werden
  - Helligkeitswahrnehmung
  - Annehmbarkeit
  - Farbpräferenz
  - Farbharmonie
  - Optische Klarheit

## Tabletop-Aufbau



07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 5

## Lichtquellen

- 3 Lichtquellen: GL, CFL, LED
- 400 Lux auf dem Tisch
- 30 Testpersonen, Alter 16-57 (Mittelwert 28,3), 17 weiblich / 13 männlich
- Test auf Farbfehlsichtigkeit (Farnsworth D-15) fehlerfrei

	Leuchtdichte [cd/m <sup>2</sup> ] Weißstandard	CCT [K]	R <sub>a</sub>
Glühlampe (GL)	107	2589	99,7
CFL	103	2480	83,9
LED	106	2684	89,4

07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 6

## Geplante Auswertung

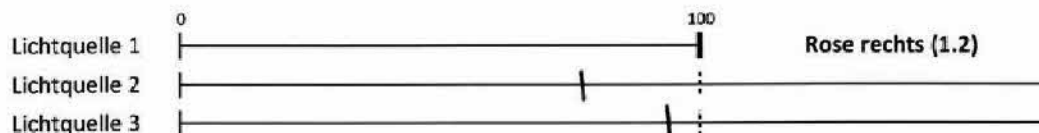


1. Visuelle Ergebnisse
  - Abfrage mit Fragebogen
  - Berechnung von Mittelwerten, Konfidenzintervallen und Signifikanzniveaus
2. Berechnete Korrelate
  - Messung mit Spektroradiometer und Leuchtdichte-Kamera
  - Berechnung von Korrelaten (Leq, Delta-E usw.)
3. Vergleich von visuellen Ergebnissen und berechneten Korrelaten
  - Korrelation

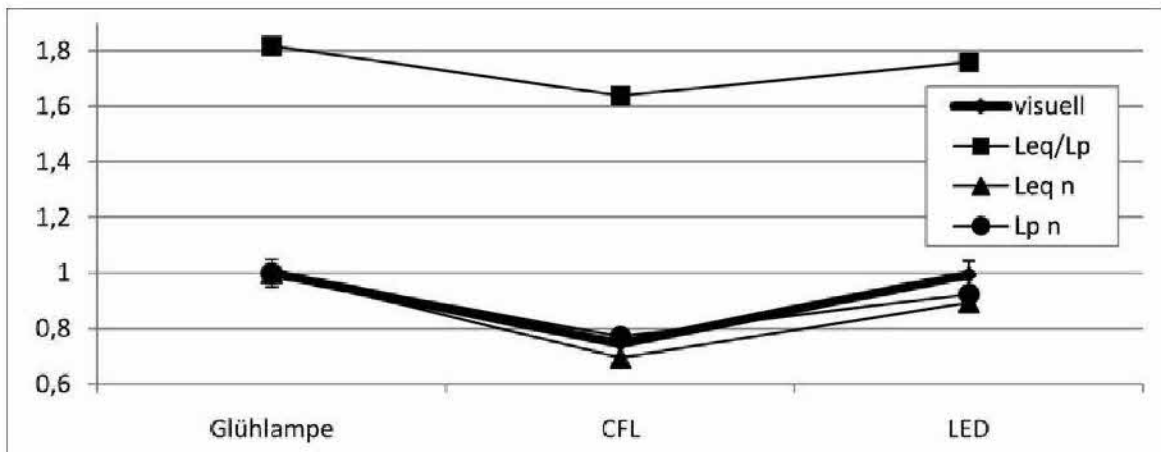
## Frage 1/3 – Helligkeitsbewertung



- Objekte
  - Weißstandard
  - Rote Rosen
  - Grüne Blätter
  - Blaue Wolle
- Bewertung relativ zu Lichtquelle 1 (GL = 100)



## Frage 1/3 – Helligkeitsbewertung



R <sup>2</sup>	Weißstandard	Rote Rose	Grüne Blätter	Blaue Wolle
Leuchtdichte photopisch (Lp)	0,00006	0,9063	0,1167	0,7379
Sagawa-Modell (Leq)	Negativ	0,8955	0,000003	0,2468
Leq / Lp	Negativ	0,9067	Negativ	Negativ

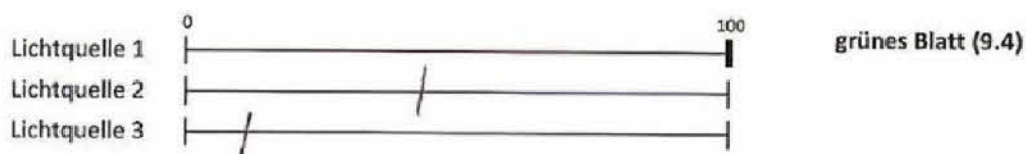
07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 9



## Frage 2/3 – Farbwiedergabe (Referenzlichtquelle)



- Objekte
  - Rote Rose
  - Hautton
  - Karotte
  - Grüne Paprika
  - Grünes Blatt
  - Blaue Jeans
- Farbdifferenzen im Vergleich zur Referenzlichtquelle (GL = 100)
- Keine Farbdifferenz → 100, sonst <100



07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 10

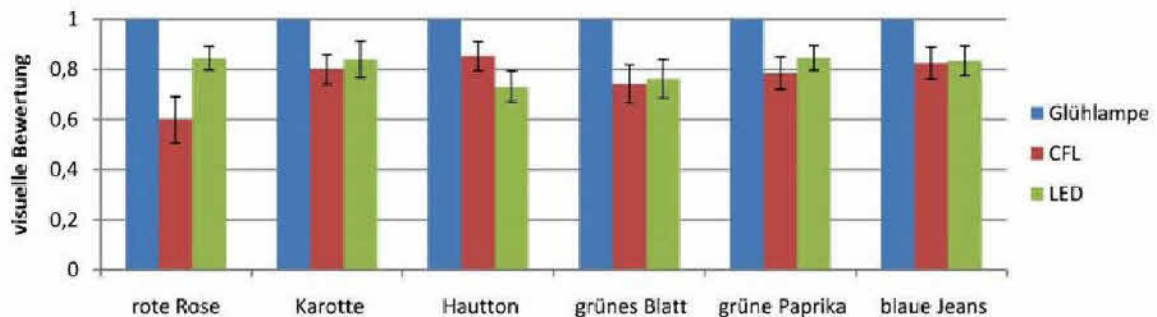




## Frage 2/3 – Farbwiedergabe (Referenzlichtquelle)



- Rote Rose und Hautton:  
CFL und LED signifikant unterschiedlich ( $p = 0,001$ )
- Alle anderen Objekte:  
Kein signifikanter Unterschied zwischen CFL und LED



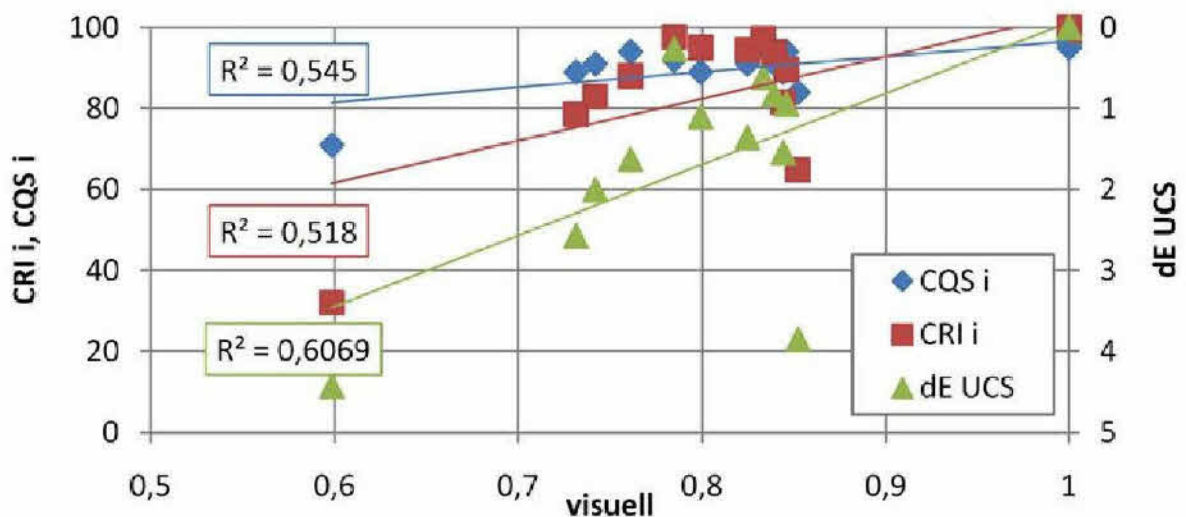
07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 11



## Frage 2/3 – Farbwiedergabe (Referenzlichtquelle)



Die beste Korrelation mit den visuellen Ergebnisse zeigt CIECAM02-UCS



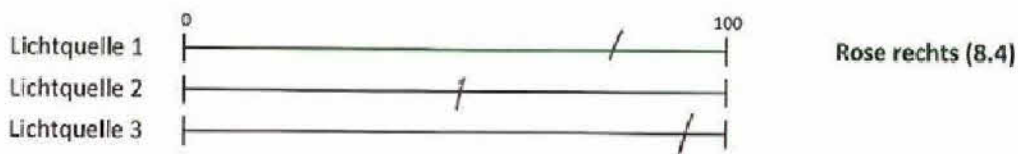
07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 12



### Frage 3/3 – Annehmbarkeit (innere Referenz)



- Objekte
  - Rote Rose
  - Hautton
  - Grünes Blatt
  - Blaue Jeans
  
- Farberscheinung im Vergleich zu Sonnenlicht (Farberinnerung)
  
- Alle drei Lichtquellen werden bewertet



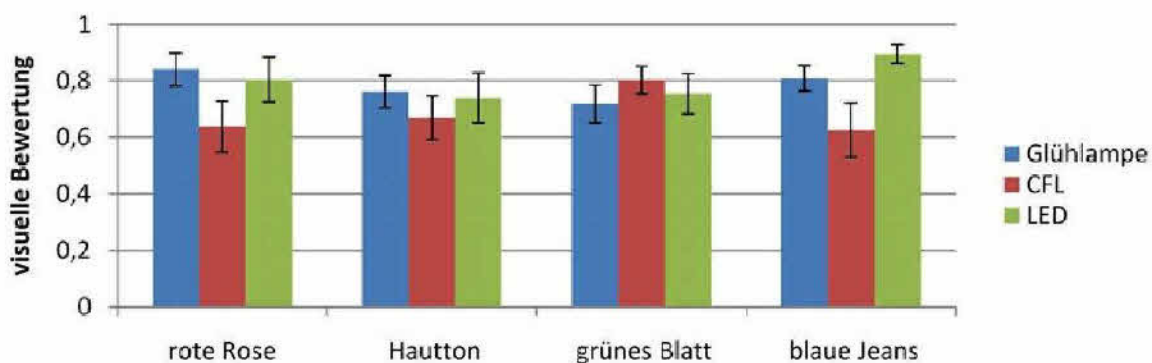
07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 13



### Frage 3/3 – Annehmbarkeit (innere Referenz)



- Rote Rose und blaue Jeans: GL und LED besser als CFL
- Blaue Jeans: LED signifikant besser als GL ( $p = 0,002$ )
- Hautton: keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,1$ )
- Grünes Blatt: CFL signifikant besser als GL ( $p = 0,019$ )



07.10.2010 | TU Darmstadt | Fachgebiet Lichttechnik | Stefan Brückner | DfwG-Jahrestagung 2010 | 14



---

## Schlussfolgerungen



- Helligkeitswahrnehmung
  - Ein Helligkeitsmodell soll Objekte jeder Farbe beschreiben können
  - Das Sagawa-Modell lieferte in diesem Versuch schlechte Korrelationen
  - Besseres Modell wird entwickelt, Forschungsgegenstand
- Farbwiedergabe
  - LED wird visuell besser bewertet als CFL, besonders bei der roten Rose
  - $\Delta E$  im CIECAM02-UCS Farbraum liefert beste Korrelation mit visuellen Werten  
→ zukünftiger Farbwiedergabe-Index sollte mit diesem Farbraum arbeiten
- Annehmbarkeit
  - LED wird visuell besser bewertet als CFL
  - Rote Rose und blaue Jeans unter CFL besonders schlecht bewertet



# Danke für die Aufmerksamkeit

Vielen Dank an die Firma Lemnis Lighting (NL) für die  
Unterstützung mit LED-Lichtquellen

# Rückführung von diffusen Reflexionsstandards für die Farbmessung in Multigeometrie-Konfigurationen

Dr. Andreas Höpe, Physikalisch Technische Bundesanstalt, Braunschweig

DfwG-Jahrestagung 2010

07.10.10

## Rückführung von diffusen Reflexionsstandards für die Farbmessung in Multigeometrie-Konfigurationen

Dr. Andreas Höpe  
Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
AG 4.52 „Reflektometrie“  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



### Übersicht:

- **Begriffsbildung Reflektometrie**
- **Strahldichtefaktor  $\beta > 1$ , geht das überhaupt?**
- **Allgemeines zur Reflektometrie**
- **“Appearance” von Standardreflexionsmaterialien**
- **Messung an gedruckten Interferenzpigmenten**
- **Zusammenfassung**

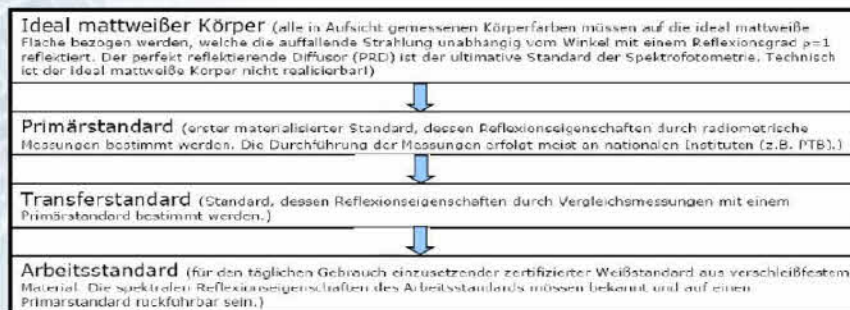


Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Absolut mattweißer Körper

- Der absolut mattweiße Körper (Perfekt Reflektierender Diffusor: PRD) ist ein theoretisches Konzept in der Radiometrie/Photometrie. Er reflektiert definitionsgemäß die auf ihn auftreffende Strahlung verlustfrei, vollständig diffus und mit einer lambertschen Richtungscharakteristik. Da es sich beim PRD jedoch nur um ein theoretisches Konzept handelt, welches experimentell bzw. materiell nicht realisiert werden kann, erfolgt die Realisierung eines Primärnormals mit physikalischen Methoden, d.h. durch die Messapparatur selbst, im Rahmen einer Absolutmessung.



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



## Begriffe Reflektometrie

DIN 5036/1: „Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien (Begriffe, Kennzahlen)“, (Juli 1978)

- |                           |                            |                               |
|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| • Reflexionsgrad          | reflectance                | } alles dimensionslose Größen |
| • Strahldichtefaktor      | radiance factor            |                               |
| • Strahldichtekoeffizient | radiance coefficient, BRDF |                               |
| • Reflexionsfaktor        | reflectance factor         |                               |
| • Reflektometerwert       |                            |                               |

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionskennzahlen

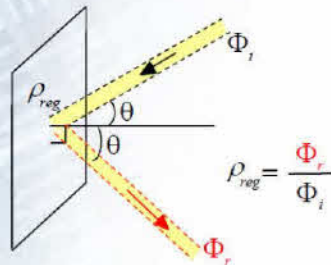
- Reflexionsgrad (reflectance)**

Verhältnis der (des) reflektierten Strahlungsleistung (Lichtstroms) zu der (dem) einfallenden Strahlungsleistung (Lichtstrom).

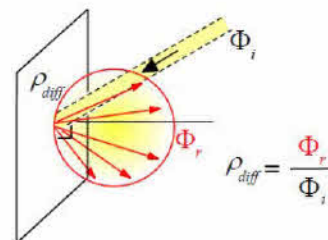
Formelzeichen:  $\rho$       $\rho(\lambda) = \frac{\Phi_{el,\rho}}{\Phi_{el}}$       $\Phi$ : Strahlungsleistung [W]

Anmerkung: Die auf ein Material fallende Strahlung kann gerichtet, gestreut oder gemischt reflektiert werden.

Reguläre (spekulare) Reflexion



Diffuse Reflexion



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionskennzahlen

- Strahldichtefaktor (Leuchtdichtefaktor) (radiance factor)**

Verhältnis der Strahldichte (Leuchtdichte) des Materials zu der Strahldichte (Leuchtdichte) des vollkommen mattweißen Materials bei Reflexion, das in gleicher Weise bestrahlt (beleuchtet) wird.

Formelzeichen:  $\beta$       $\beta(\lambda) = \frac{L_{el}}{L_{el,w}}$       $\beta = \frac{L_r(\phi_i, \Theta_i, \phi_r, \Theta_r, \lambda)}{L_r^{PRD}}$       $L$  [W/m<sup>2</sup>sr]

Anmerkung: Der Strahldichtefaktor wurde früher auch als Remissionsgrad bezeichnet. Nach Einführung des Reflexionsfaktors ist der nicht eindeutige Begriff Remissionsgrad zu vermeiden.

Von der CIE, der internationalen Beleuchtungskommission, werden drei Geometrien für die Messung des Leuchtdichtefaktors empfohlen: 45/0, 0/45 und d/0.

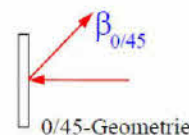
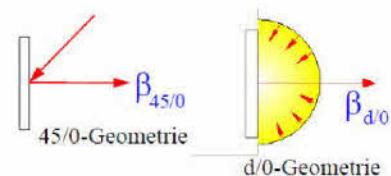
- Für absolut mattweißen Körper gilt:

$$\beta = 1$$

- Für lambertschen Strahler gilt:

$$\beta = \rho$$

- $\beta$  kann > 1 werden (geometrieabhängig)



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionskennzahlen

- Reflexionsfaktor (reflectance factor)**

Verhältnis der (des) in einen gegebenen Raumwinkel reflektierten Strahlungsleistung (Lichtstroms) zu der Strahlungsleistung (dem Lichtstrom), die (der) in den gleichen Raumwinkel durch das vollkommen mattweiße, in gleicher Weise bestrahlte (beleuchtete) Material reflektiert wird.

Formelzeichen:  $R$       $R(\lambda) = \frac{I_r(\lambda)}{I_r^{PRD}(\lambda)}$       $I$ : Strahlstärke      $I = \frac{d\Phi}{d\Omega}$  [W/sr]

Anmerkung 1: Der Reflexionsfaktor kann größer als 1 werden, wenn der Raumwinkel in dem gemessen wird, das Spiegelbild der Strahlungsquelle enthält.

Anmerkung 2: Wenn die Größe des Raumwinkels, in welchem gemessen wird, den Wert  $2\pi$  sr (Halbraum) annimmt, geht der Reflexionsfaktor in den Reflexionsgrad über.

Es gilt:  $\Omega \rightarrow 0$ ,  
 Reflexionsfaktor  $\rightarrow$  Strahldichtefaktor     ( $R \rightarrow \beta$ )

Es gilt:  $\Omega = 2\pi$ ,  
 Reflexionsfaktor = diffuser Reflexionsgrad     ( $R = \rho$ )

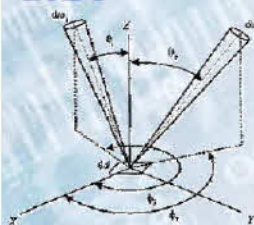
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionskennzahlen

- Strahldichtekoeffizient (Leuchtdichtekoeffizient) (radiance coefficient, BRDF)**

BRDF



(an einem Flächenelement auf der Oberfläche eines nicht selbststrahlenden (selbstleuchtenden) reflektierenden Materials in einer Richtung, unter gegebenen Bestrahlungs-(Beleuchtungs-)bedingungen)

Verhältnis der Strahldichte (Leuchtdichte) des Materials zu der Bestrahlungsstärke (Beleuchtungsstärke) auf dem Material.

Formelzeichen:  $q$       $q(\lambda) = \frac{L_\lambda}{E_\lambda}$       $q = \frac{L_r(\phi_i, \theta_i, \phi_r, \theta_r, \lambda)}{E_i(\phi_i, \theta_i, \lambda)}$  [sr<sup>-1</sup>]



Anmerkung 1: Bei Einstrahlung aus nur einer Richtung wird der spektrale Strahldichtekoeffizient auch als spektrale Reflexionsfunktion  $\gamma_r(\lambda)$  bezeichnet. Die Reflexionsfunktion beschreibt die Reflexionseigenschaften eines Materials für jedes Paar von Einfall- und Reflexionsrichtung. Ihre Zahlenwerte sind daher **unabhängig** von der räumlichen Verteilung der Einstrahlung.



Anmerkung 2: (Internationales Wörterbuch Lichttechnik): Abgesehen davon, dass sie für gerichtet auffallende Bestrahlung definiert ist, entspricht die in den USA gebräuchliche „BRDF“ dem oben genannten Koeffizienten.

• DIN 5036/1

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionskennzahlen

- **Reflektometerwert**

Ein mit einem bestimmten Reflektometer gemessener Wert.

Formelzeichen:  $R'$

Das zur Messung verwendete Gerät ist anzugeben.

Anmerkung: Der Reflektometerwert hängt im Allgemeinen von der Messgeometrie des Gerätes, von der Lichtart des beleuchtenden Lichtes, von der spektralen Empfindlichkeit des Empfängers und vom verwendeten Standard ab.

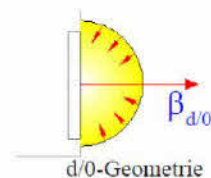
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



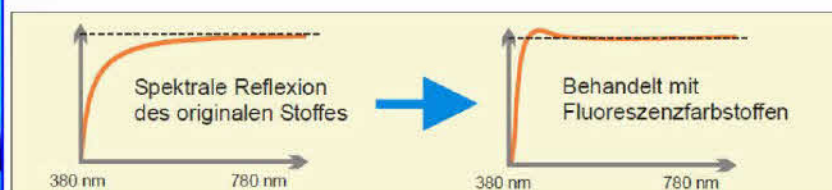
## Strahldichtefaktor $\beta > 1$ ?

### 1.) Fluoreszenz

- Für Kugelgeometrien wie z.B. d/0, d/8, 8/d ist  $\beta$  immer kleiner als 1, sonst liegt Fluoreszenz vor



- Spezielle Farben, Fluoreszenzfarbstoffe



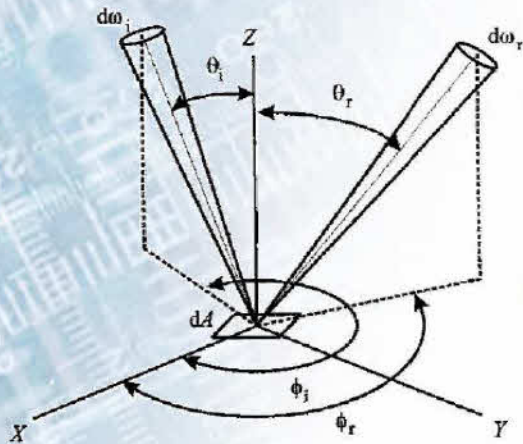
Physikalisch-Technische Bundesanstalt





# Strahldichtefaktor $\beta > 1$ ?

## 2.) Gonioreflektometrie, gerichtet/gerichtete Geometrien



- Normiert wird auf den absoluten mattweißen Körper (PRD) ( $\beta = 1$ , Lambert-Strahler)

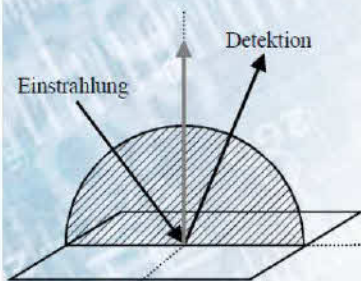
$$\Phi_r = \Phi_o \cos \theta_r$$

- Reflektiert ein Material (eine Oberfläche) in der betreffenden Geometrie mit den gegebenen Öffnungswinkeln  $d\omega_i, d\omega_r$  stärker als der PRD, so kann  $\beta > 1$  werden.

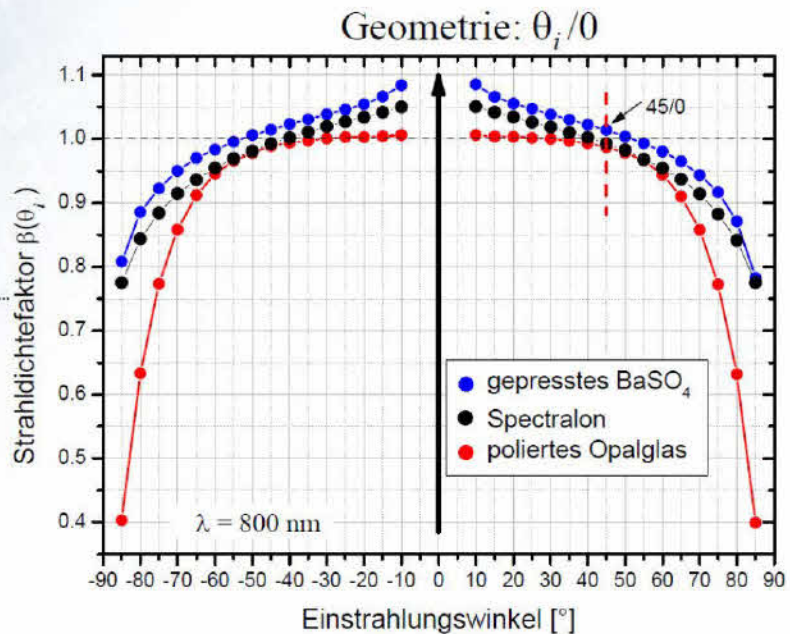
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Reflexionsindikator



- Für absolut mattweißen Körper gilt:  
 $\beta = 1$
- $\beta$  kann  $> 1$  werden



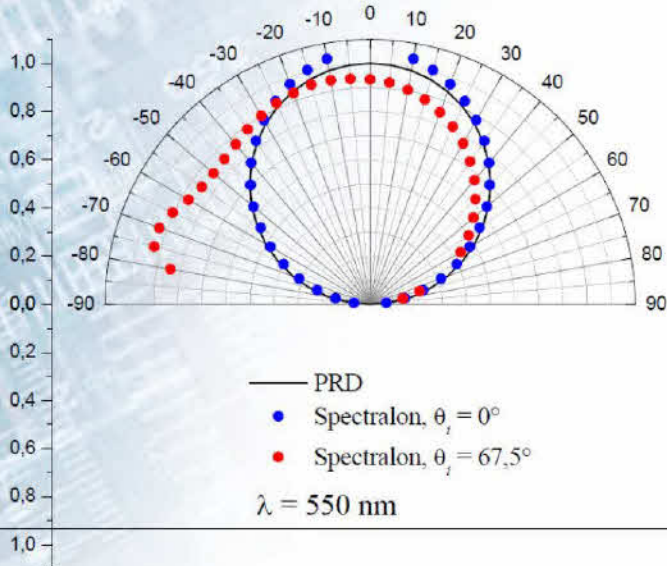
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



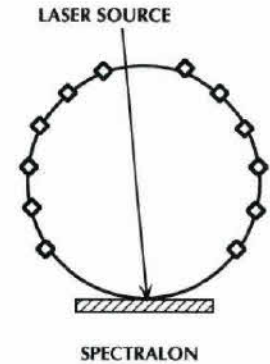
# Reflexionsnormale, lambertsch?

## Beispiel: Spectralon

Reflexionsindikatrix:



Labsphere Katalog:



Spectralon SRS-99  
 Einfallswinkel  $\theta_i = 5^\circ$   
 $\lambda = 633 \text{ nm}$

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Kalibrierungen: „Historisches“

- Kalibrieranfrage von 1973:

H. Klaus c/o **MERCK** CG 4

PTB Gb. Nr. 455

17.04.1973

H. MERCK, 81 Darmstadt 4, Postfach 1119

Herrn DRH.  
 Dr. Erb  
 c/o Physik.-Techn. Bundesanstalt  
 Abteilung 4  
 33 Braunschweig  
 Bundesallee 100

81 Darmstadt, Frankfurt Straße 210  
 Bilanz Oktoberzahl Darmstadt 0010  
 Versicherung 00 01  
 Ausland Darmstadt 00 01  
 Telefon 41 91 35 und 4  
 Kabelnummer Darmstadt  
 Johannes Stark AG, Filiale Darmstadt  
 Dresdner Bank AG, Filiale Darmstadt  
 Frankfurter Bank, Filiale Darmstadt  
 Commerzbank AG, Filiale Darmstadt  
 Stadt- und Kreissparkasse Darmstadt  
 L&M Darmstadt, Gleisstraße Nr. 49/91  
 Fernsprechnetz Frankfurt/Main 19 46  
 Analytisches Zentrallaboratorium

Der Zeichner: Dr. Sächter von: 060 722593 ks-vo Unsere Zeichen: Datum: 28.12.1972

Sehr geehrter Herr Doktor Erb,

Für das mit getrennter Post abgesandte Muster Bariumsulfat mit der Bezeichnung 1748 BaSO<sub>4</sub> für Primär-Verdichtungsstandard AA 860 bitte ich um Messung des spektralen Strahlendichtefaktors  $\beta(\lambda)_{45^\circ/0}$  bzw. des spektralen Leuchtdichtekoeffizienten  $L(\lambda)_{45^\circ/0}$  nach DIN 5093 für den Wellenlängenbereich 320 nm <math>\lambda</math> <math>780 \text{ nm}</math>.

Mit freundlichen Grüßen  
 Ihr

H. Klaus

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Kalibrierungen: „Historisches“

Blatt 3 vom Bericht der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt  
 Geom.-Nr. 4 PCB-4.13-455/73

**5. Messergebnisse**

Spektraler Leuchtdichtekoeffizient  $l(\lambda)$  für die Maßgeometrie 45/0 in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$   
 (Die in der folgenden Tabelle angegebenen  $l(\lambda)$ -Werte sind Mittelwerte aus Messungen an 2 Tabletten)

$\lambda$ nm	$l(\lambda)$
394	0,3155
405	0,3164
435	0,3161
437	0,3172
467	0,3184
485	0,3184
545	0,3203
578	0,3211
606	0,3213
661	0,3215
709	0,3212
712	0,3212

$$1/\pi = 0,318$$

Die  $l(\lambda)$ -Werte sind auf  $\pm 0,5\%$  sicher.

**4. Zusammenfassung**

Der Leuchtdichtekoeffizient entspricht dem Leuchtdichtefaktor und unterscheidet sich von ihm durch den Faktor  $T \cdot \Omega_0 / \Omega_m$  (mit dem Streuwinkelabstand  $m$ ).

Die Möglichkeit des spektralen Leuchtdichtekoeffizienten von der Oberflächeneigenschaft der Substrate, von Empfindung und Luftfeuchtigkeit sowie die Änderungen der Reflexionseigenschaften des gepulsten Röntgenstrahls bei kurzweiliger Bestrahlung wurden nicht untersucht.

Das oben angegebene wertliche Ergebnis ist auf der mit Röntgenstrahl gefüllten Kammer nicht abgelesen worden.

Bremen, den 29. Januar 1973

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
 Abteilung 4  
 In Auftrag  
 (Dr. Hüb)  
 Oberregierungsamt

- Kalibrierschein von 1973: bzgl. Leuchtdichtekoeffizient in Geometrie 45/0

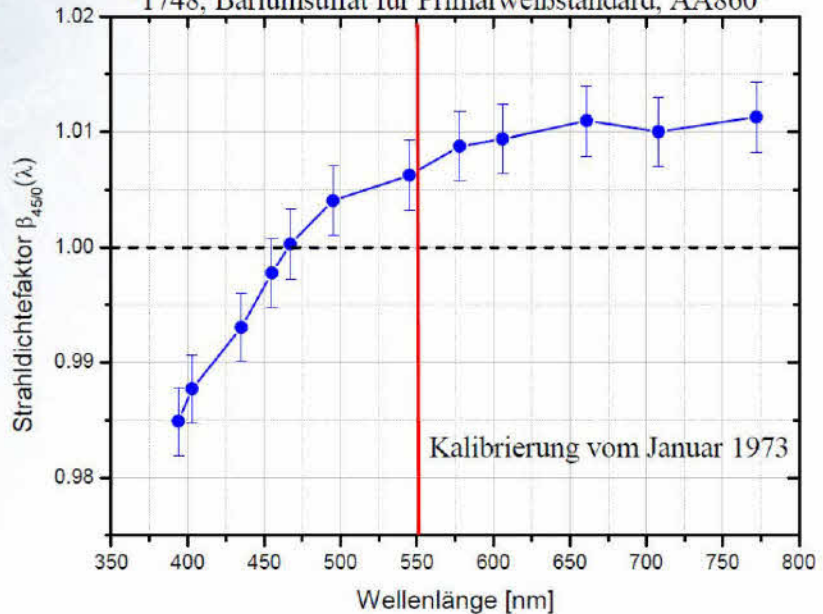
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Kalibrierungen: „Historisches“

Kalibrierung: Merck BaSO<sub>4</sub>-Pulver,

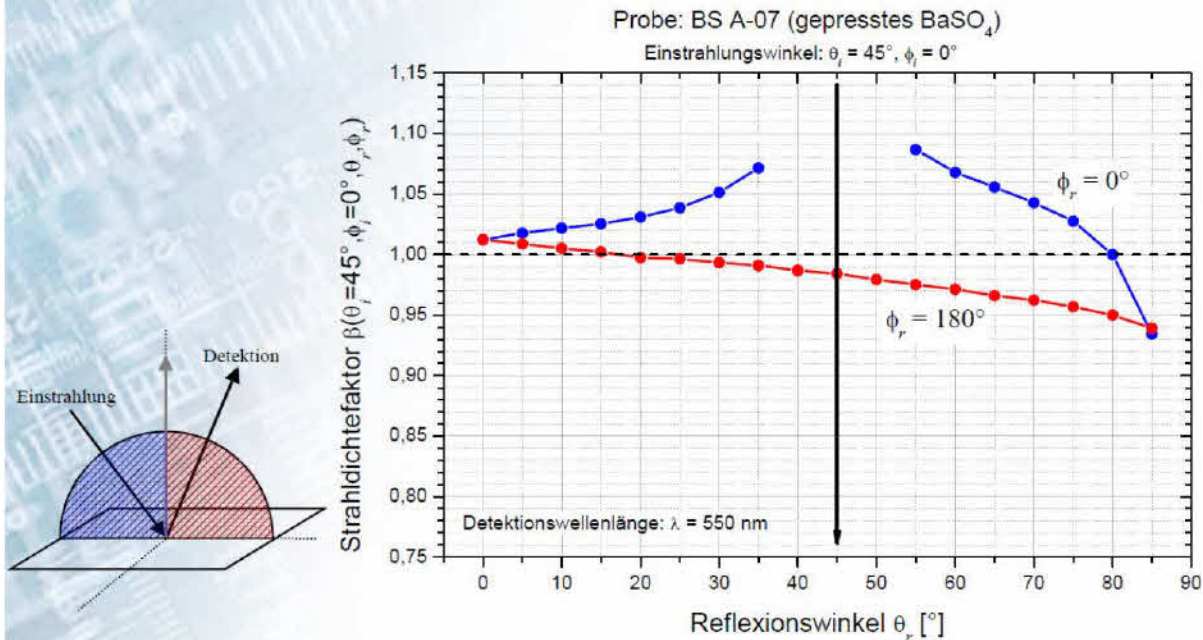
"1748, Bariumsulfat für Primärweißstandard, AA860"



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Kalibrierungen: BaSO<sub>4</sub> in-plane Indikatrix



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

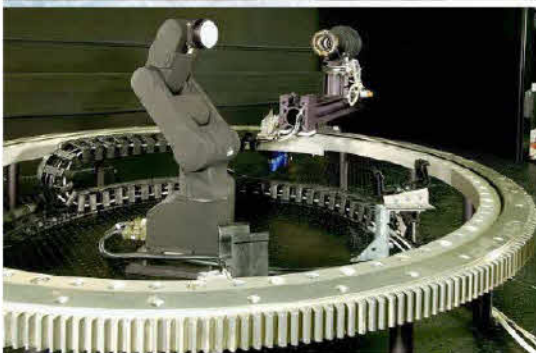


## PTB Reflektometrie, Apparaturen



Realisierung, Bewahrung und Weitergabe der Skalen der diffusen Reflexion, standardisierendes Laboratorium der ISO

- Messung des (absoluten) spektralen Strahllichteffektors, für:
  - Kugelgeometrien (d/0 - d/10), VIS, IR
  - genormte bidirektionale Geometrien (z.B. 45/0, 0/45) mit Gonioreflektometrie
- Roboterbasiertes Gonioreflektometer
  - Messung von Indikatrices (beliebiger Einfallswinkel- und Reflexionswinkel)



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# „Appearance“, Was ist das?

- Appearance  $\Leftrightarrow$  äußeres (optisches) Erscheinungsbild
- Appearance: "A visual sensation through which an object is perceived to have attributes such as size, shape, colour, texture, gloss, transparency, and opacity."  
CIE: TC 1-65 „Visual Appearance Measurement“

Abhängig von:

- Eigenschaften des Messobjektes (Objektbedingungen)
- Beleuchtungsbedingungen  
(Geometrie von Einstrahlung und Beobachtung)

Beschreibung:

- Reflexionsindikatrix,  
BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



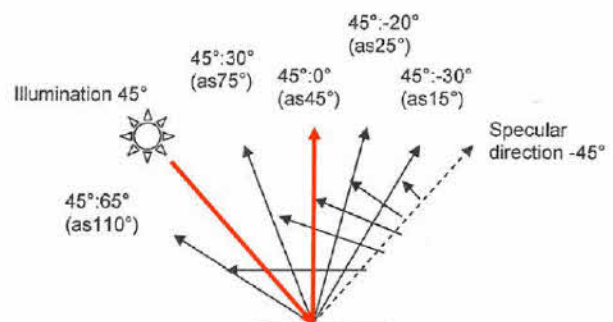
# „Appearance“

## Charakterisierung von Effektlackierungen



Wiesmann MF3

- Empfohlene Messgeometrien für Metallic-Lacke



- Ist dieser Satz von sechs Geometrien hinreichend um Effektlackierungen basierend auf Interferenzpigmenten zu charakterisieren?  
DIN 6175-2: Farbtoleranzen für Automobillackierungen, Teil 2: Effektlackierungen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Überblick, Standardreflexionsmaterialien

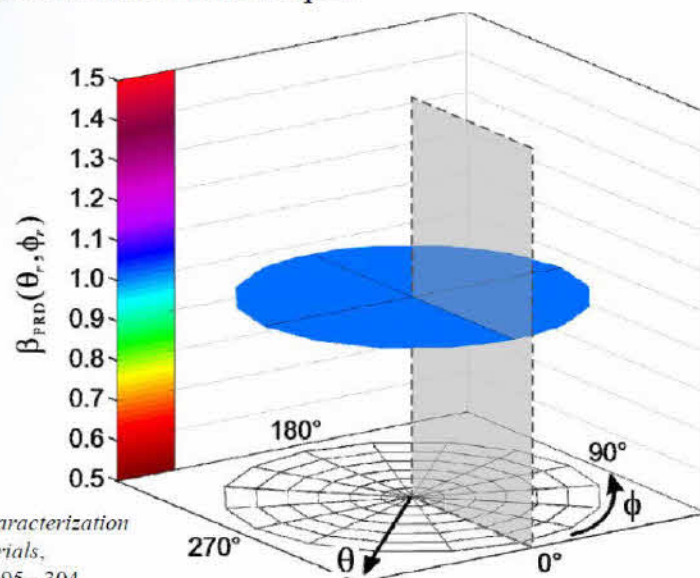
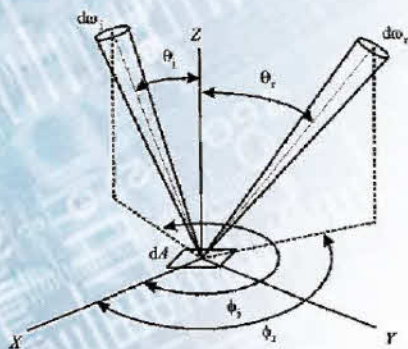


Physikalisch-Technische Bundesanstalt



## „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien

- Strahldichtefaktor  $\beta_{PRD}$  des absoluten mattweisen Körpers

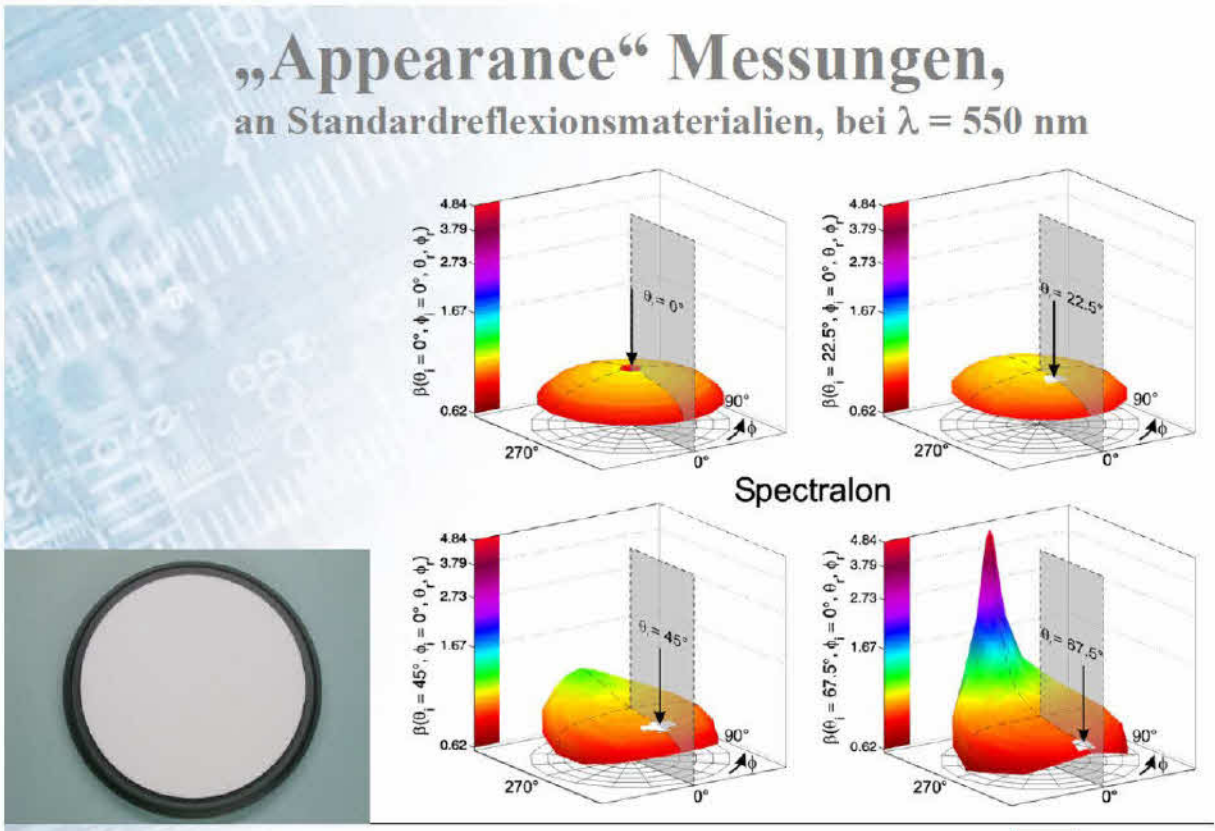


A. Höpe, K.-O. Hauer,  
*Three-dimensional appearance characterization  
of diffuse standard reflection materials,*  
Metrologia Vol. 47, No. 3 (2010) 295 - 304

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



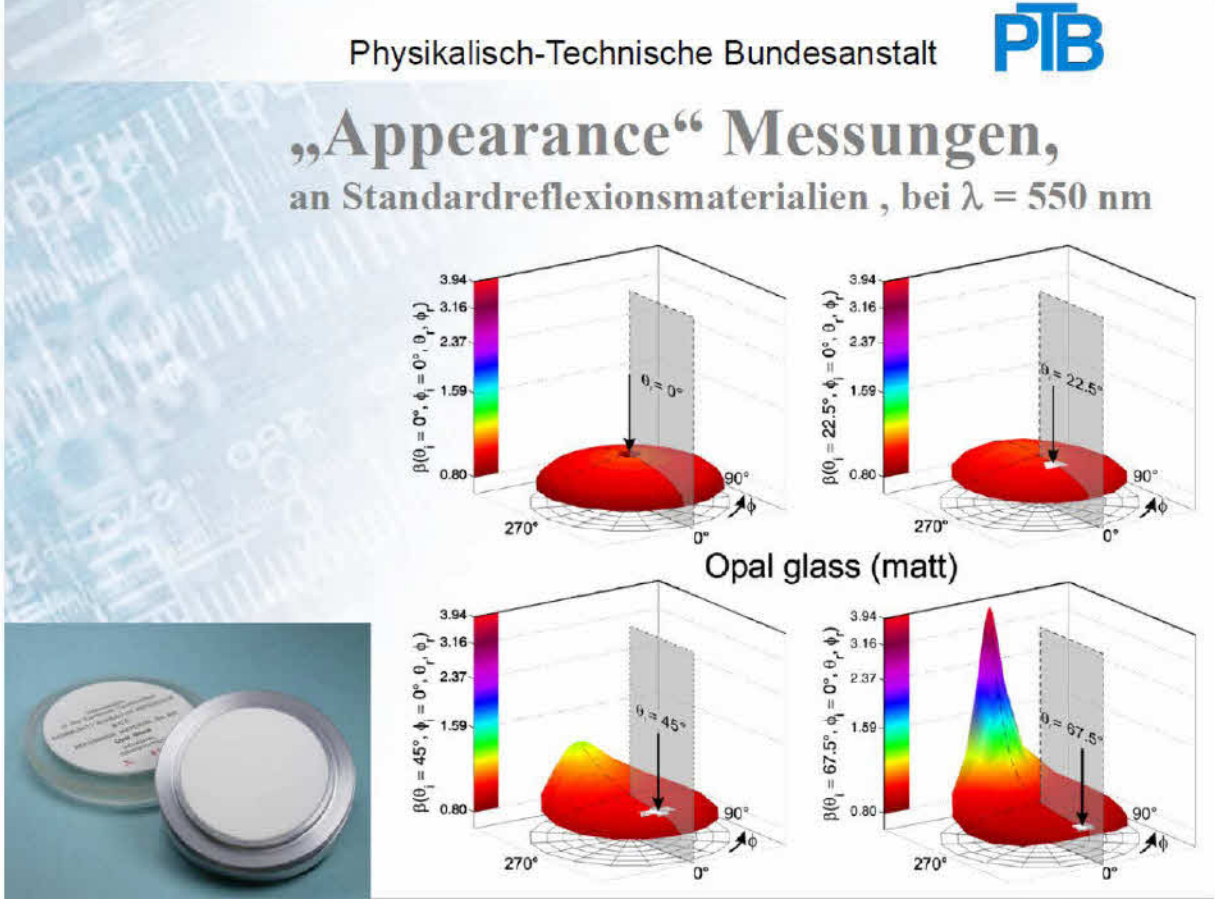
# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien, bei $\lambda = 550 \text{ nm}$



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



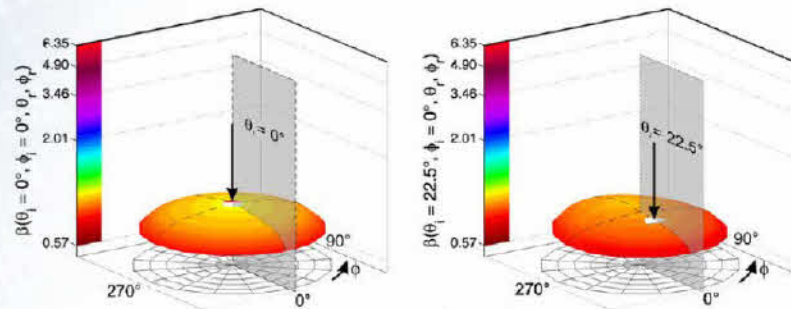
# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien, bei $\lambda = 550 \text{ nm}$



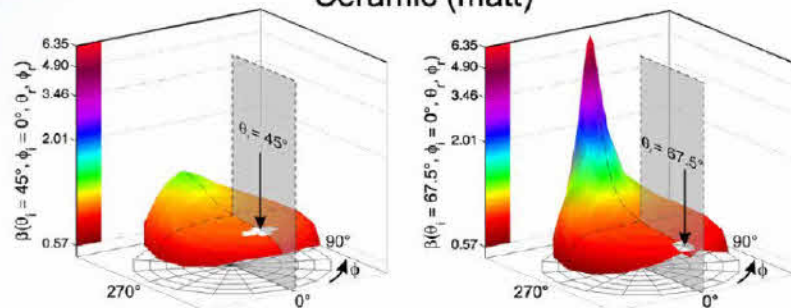
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien , bei $\lambda = 550 \text{ nm}$



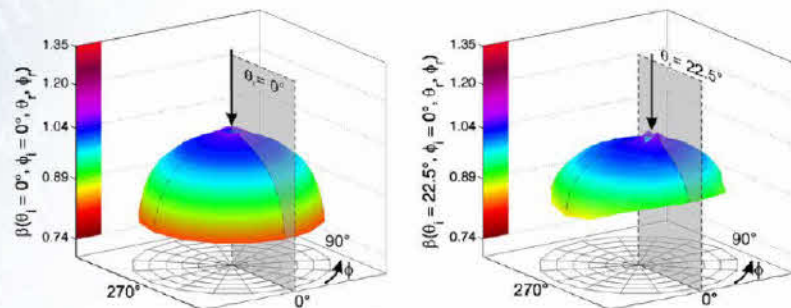
Ceramic (matt)



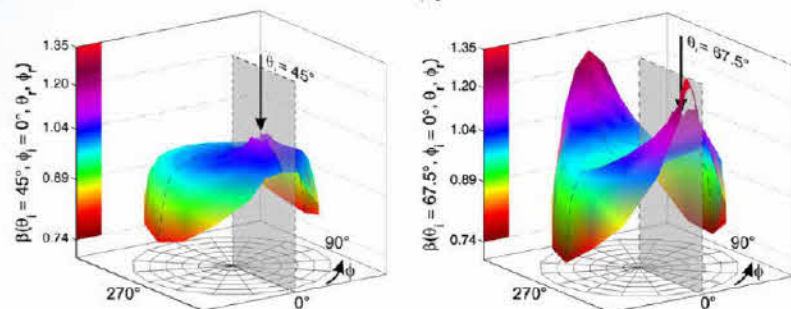
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien , bei $\lambda = 550 \text{ nm}$



BaSO<sub>4</sub> pressed

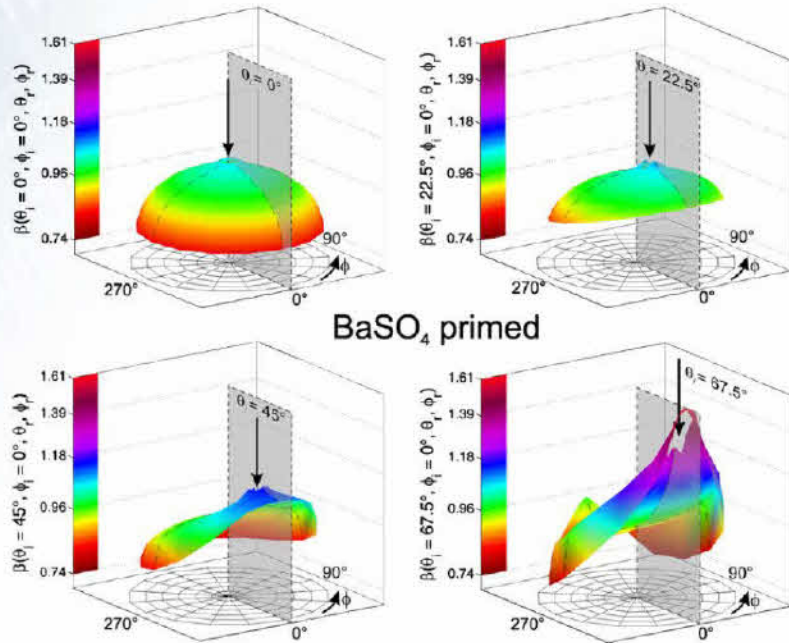


Physikalisch-Technische Bundesanstalt





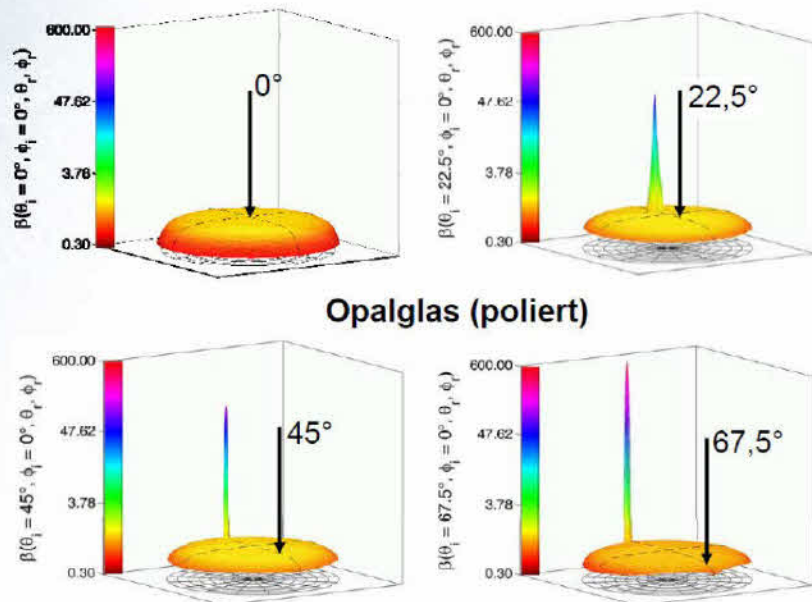
# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien , bei $\lambda = 550 \text{ nm}$



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# „Appearance“ Messungen, an Standardreflexionsmaterialien , bei $\lambda = 550 \text{ nm}$

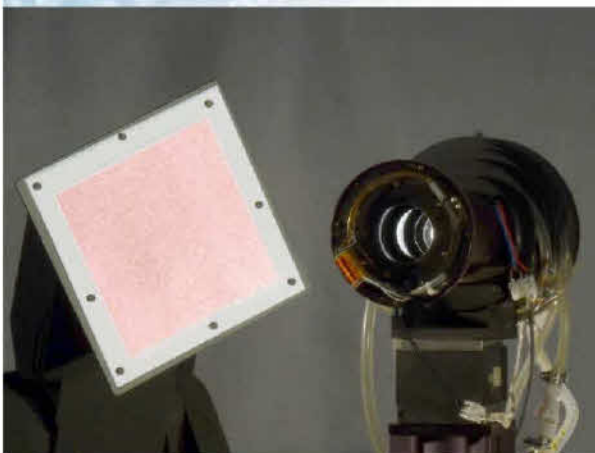


Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflektometrie, Appearance von gedruckten Effektpigmenten

Kooperation mit dem IDD, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren Darmstadt



- Messung des spektralen Strahldichtefaktors im Wellenlängenbereich: 350 nm – 850 nm
- Für zwei verschiedene Proben:
  - Iridin 7215 Ultra Rot im Vollton auf Pop' Set 87 Schwarz
  - Iridin 7215 Ultra Rot im Vollton auf Tauro
- In 14 verschiedenen Geometrien

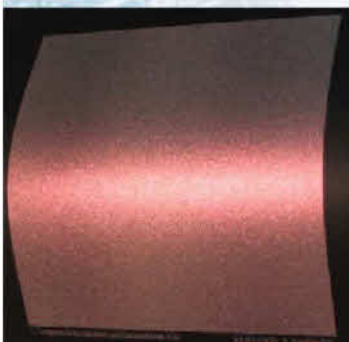
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflektometrie, Appearance von gedruckten Effektpigmenten



- Iridin 7215 Ultra Rot im Vollton auf Tauro



- Iridin 7215 Ultra Rot im Vollton auf Pop' Set 87 Schwarz

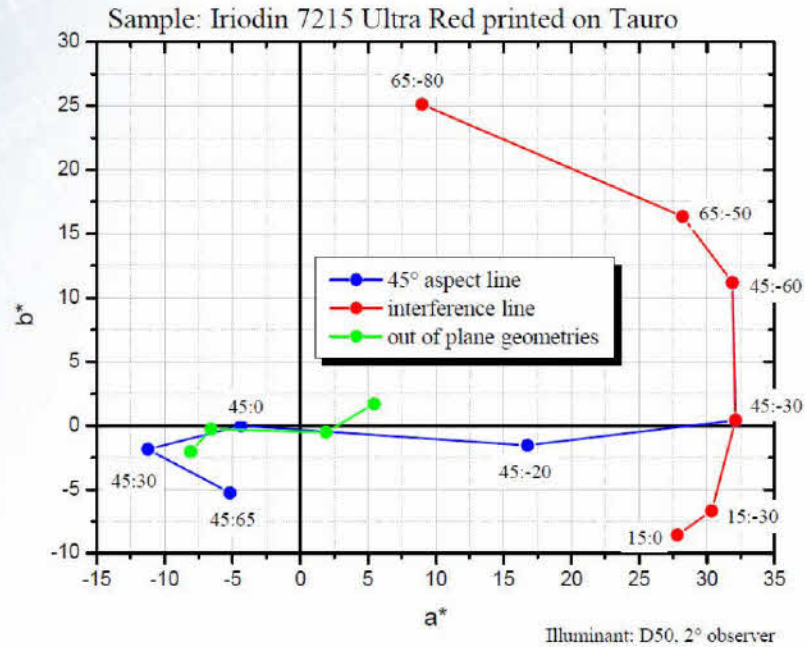
- Messung des spektralen Strahldichtefaktors in den Geometrien:

In-plane geometries $\theta_i : \theta_r (\phi_r = 0^\circ \text{ or } 180^\circ)$	Out-of-plane geometries $(\theta_i, \phi_i) : (\theta_r, \phi_r)$
45° : 65°	(45°, 0°) : (45°, 90°)
45° : 30°	(45°, 0°) : (50.14°, 146.6°)
45° : 0°	(15°, 0°) : (45°, 90°)
45° : -20°	(15°, 0°) : (50.14°, 146.6°)
15° : 0°	
15° : -30°	
45° : -30°	← 45° aspect line
45° : -60°	← interference line (±15° from gloss peak)
65° : -50°	
65° : -80°	

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



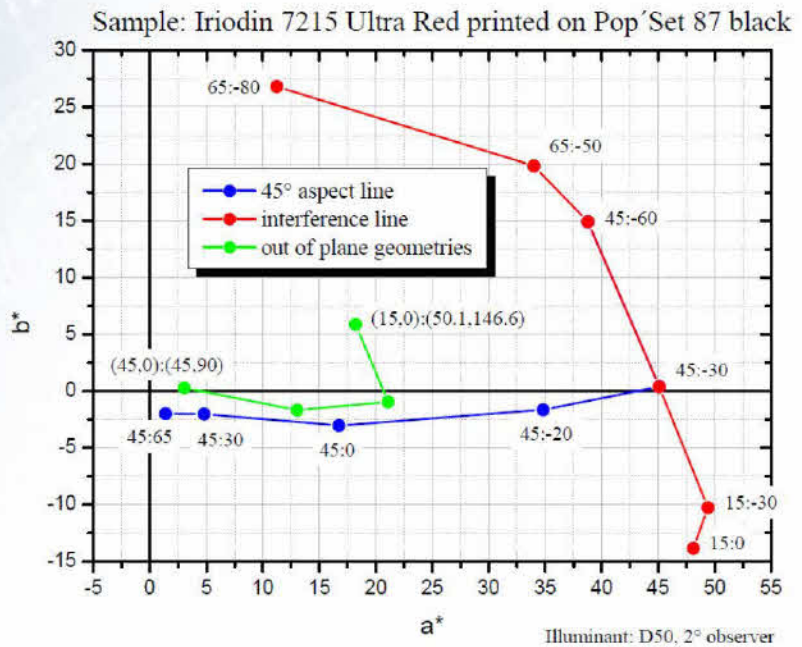
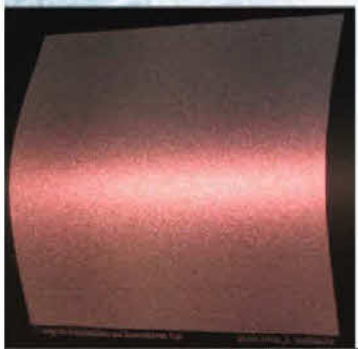
# Gonioreflektometrie, Appearance von gedruckten Effektpigmenten



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflektometrie, Appearance von gedruckten Effektpigmenten

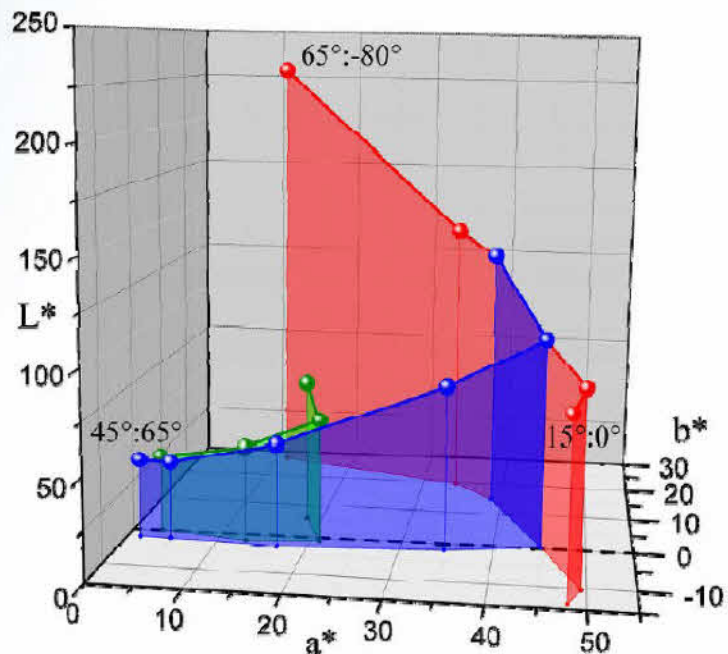
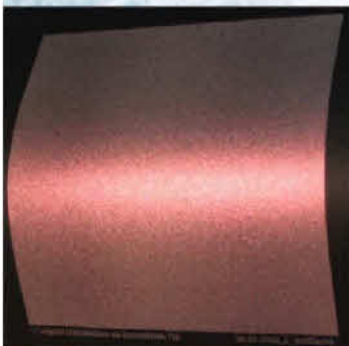


Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflektometrie, Appearance von gedruckten Effektpigmenten

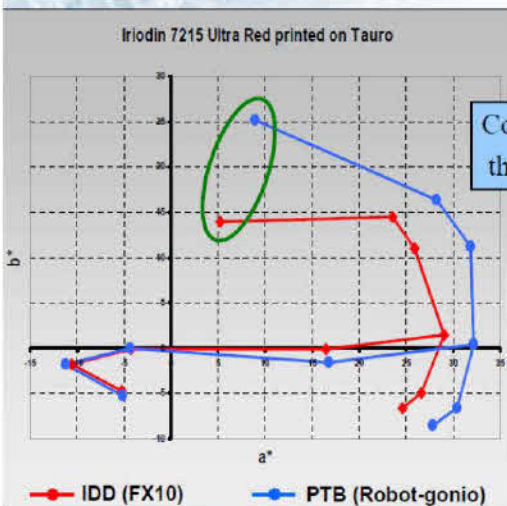
A. Höpe, K.-O. Hauer, T. Atamas, K. Kehren  
*Appearance of printed interference effect ink in commercially used multi-geometry configurations*, 2nd CIE Expert Symposium on Appearance - When appearance meets lighting.... Ghent, Belgium, 08. - 10. Sept.2010



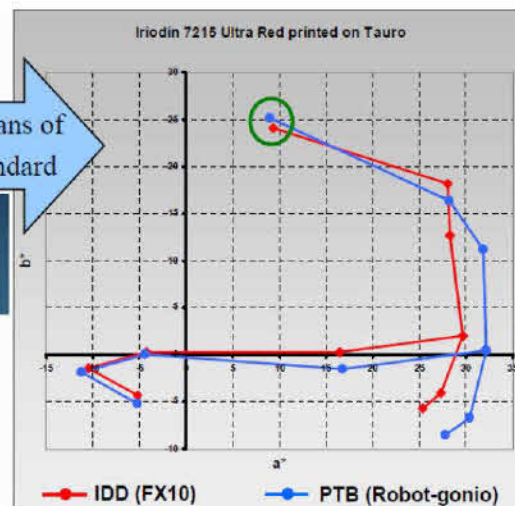
Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflectometry, Appearance of printed effect pigments



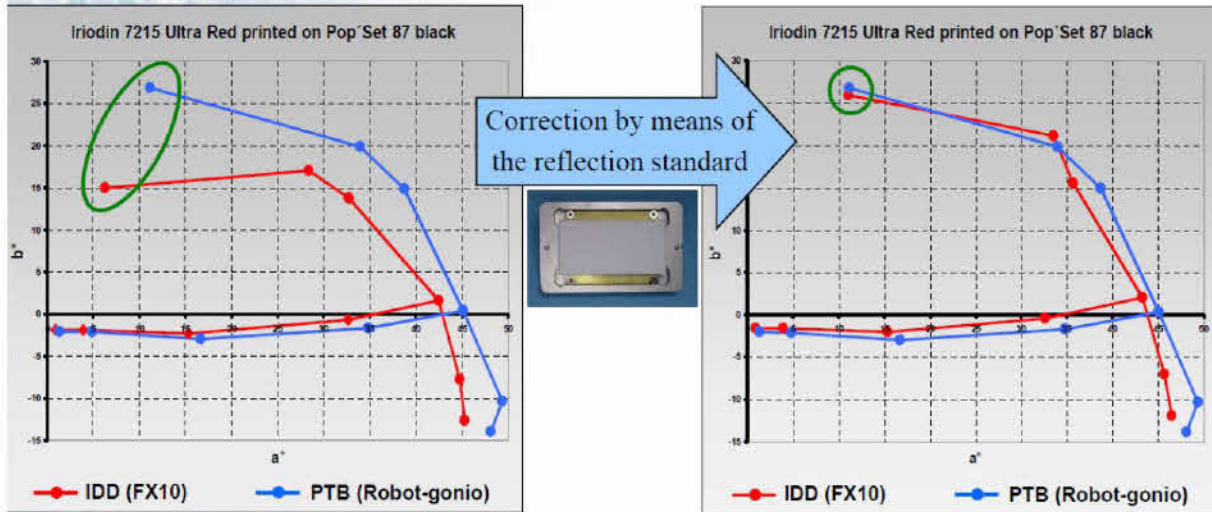
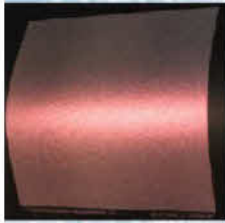
Correction by means of the reflection standard



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Gonioreflectometry, Appearance of printed effect pigments



Physikalisch-Technische Bundesanstalt



## Zusammenfassung

- Bei der Rückführung von Weißstandards in extremen Geometrien (sehr flache Ein- und Ausfallswinkel bzgl. der Probenoberfläche) kommt es zu sehr großen Abweichungen vom idealen Reflexionsverhalten des „Perfekt Diffusen Reflektors“
- d.h. der Strahldichtefaktor  $\beta$  kann stark von 1 abweichen

Physikalisch-Technische Bundesanstalt



# Untersuchung von Messgeräteunterschieden von Labor- messgeräten zur Bewertung von Normlichtkabinen

Andreas Kraushaar, FOGRA, München

DMG, 2010, Darmstadt  
**Agenda**



1. Motivation und Problemstellung
2. "Toleranzen und Toleranzen"
3. Einflussgrößen und deren Zusammenspiel
4. Durchführung
5. Ergebnisse für zwei ausgewählte Lichtarten
6. Zusammenfassung & Diskussion

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org  
 DfWG, 2010, Darmstadt



## 1. Problemstellung I/II

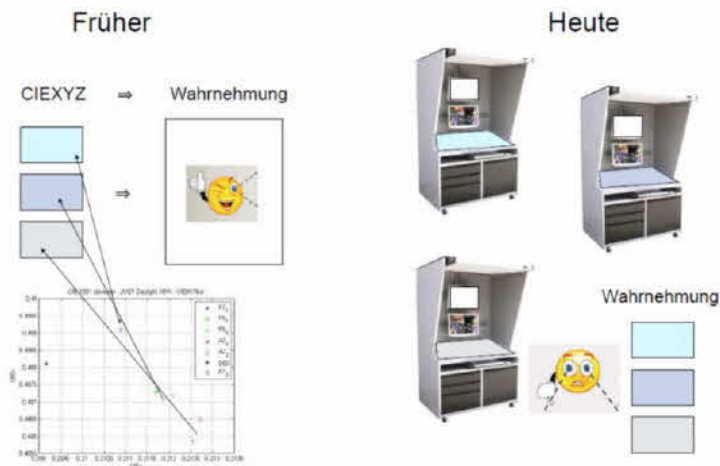


- Früher:
  - Abstimmung an/in einer "Kabine"
  - Unterschiede in der Beleuchtung aufgrund der Farbkonstanz minimal und nicht praxisrelevant
- Heute:
  - Globale Abstimmung ⇒ "Remote"
  - Hochgenaue Bildschirmtechnik
  - Unterschiede in der Beleuchtung verbleiben aufgrund konstanter Bildschirmtechnik

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org  
 DfWG, 2010, Darmstadt



## 1. Problemstellung II/II



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org



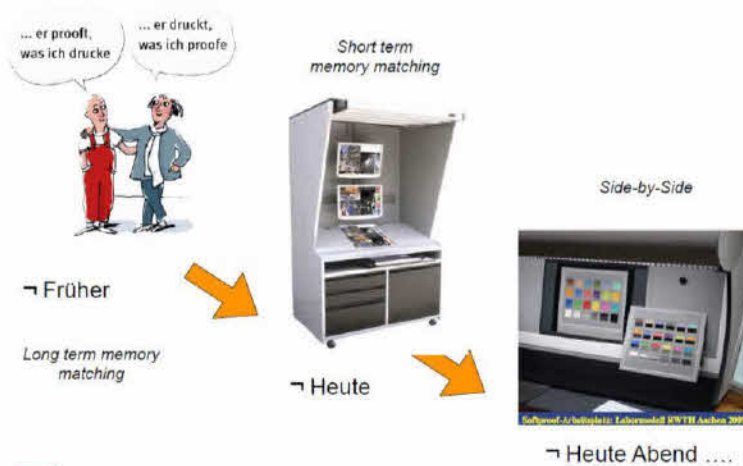


## 1. Das bedeutet .....

- Zusammenspiel von zunehmend höheren Qualitätsanforderungen mit sehr stabilen Bildschirmen (gleichen Typs) in "Remote-Softproof-Applikationen" verdeutlicht Unterschiede in der Beleuchtung ⇒ Abmusterkabinen
- Vorhandene Toleranzen werden häufig nicht mehr akzeptiert
- Dies verhindert die herstellerunabhängige Verwendung von Abmusterkabinen ⇒ Standardisierungskonzept
- Wunsch 1: Diagnose the jeweiligen Beleuchtungssituation
- Wunsch 2: Lösungsansätze zur Verringerung des Problems



## 2. "Toleranzen und Toleranzen"



## 2. Toleranzen: Realisierbarkeit vs. Kundenwunsch

- Anforderungen, die technisch mit vertretbarem Aufwand umsetzbar sind
- Toleranzen, die eine Konformitätsbestimmung ermöglichen (Ja/Nein)
- Toleranzen, die eine einstellbare Qualitätsskala ermöglichen ( \* \* \* \* )
- In der grafischen Industrie definiert ISO 3664 the relevanten Größen

### Viewing conditions - Graphic technology and photography

#### Scope

This International Standard specifies viewing conditions for images on both reflective and transmissive media, such as prints (both photographic and photomechanical) and transparencies, as well as images displayed in isolation on colour monitors

DfwG, 2010, Darmstadt

## 2. ISO 3664 definiert ....



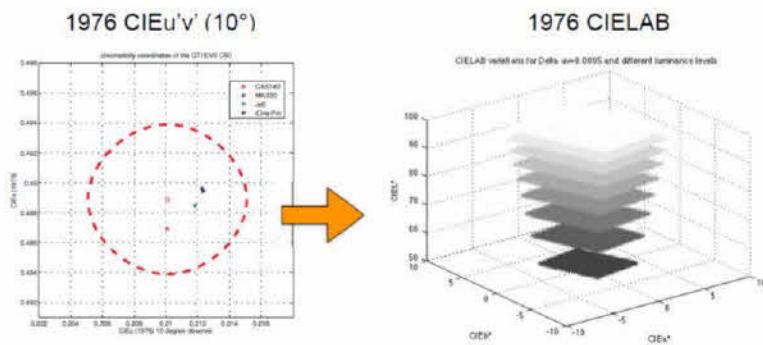
- Minimalen Farbwiedergabeindex
- Farbwiedergabe [allg. und spezieller Farbwiedergabeindex]
- Farbwiedergabe [Metamerieindex  $MI_{vis}$ ]
- Korrekter UV-Anteil [Metamerie index  $MI_{UV}$ ]
- Farbgenauigkeit [D50]
- Homogenität
- Umfeldbeschaffenheit
- Wartungsvorrichtungen

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

8

DfwG, 2010, Darmstadt

## 2. Was bedeutet $\Delta CIEuv \leq 0.005$ visuell?



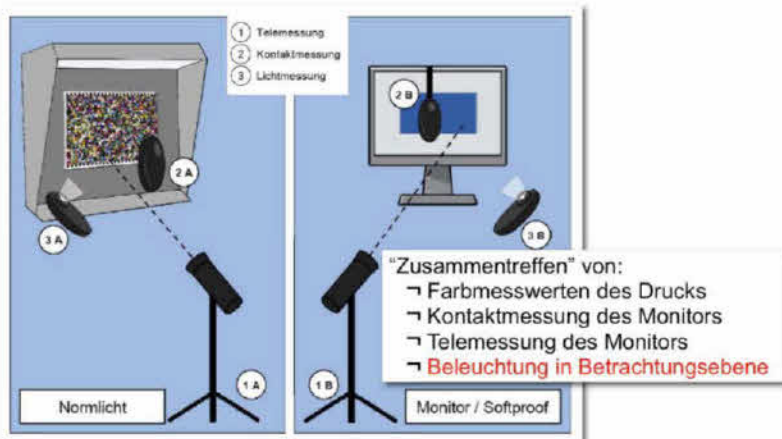
- Verwendung moderner (gleichabständiger Metriken)
- Feststellung der visuellen Wahrnehmbarkeits- und Akzeptanzschwellen
- Feststellung des Beitrags der absoluten Messgeräteunterschiede

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

9

DfwG, 2010, Darmstadt

## 3. Einflussgrößen und deren Zusammenspiel



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

10



DfwG, 2010, Darmstadt

## 4. Konkrete Aufgabenstellung



### Untersuchung von Messgeräteunterschieden von Labormessgeräten zur Bewertung von Normlichtkabinen

- ↳ D.h. kein Shoot-Out der Messgeräte an sich
- ↳ Vergleich der Ergebnisse im Sinne lichttechnischer und farbmetrischer Unterschiede
- ↳ Gegenwärtig: CIExy, CIEuv, CIELAB, Mlvis, Mluv, CRI

#### Lichtquellen

#### Messgeräte

Stabilisiert

LED Normale [Techno Team]



Streumessung (Lichtmessung):

- ↳ MAS30 und CAS140 der Firma Instrument Systems
- ↳ specbos 1211UV der Firma JETI Technische Instrumente GmbH
- ↳ PROFI SPECTROMETER der Firma GL optic
- ↳ USB4000 der Firma Ocean Optic

Tele-Messung (Objektmessung)

- ↳ Minolta CS-2000 der Firma Konica- Minolta

Abmusterkabinen

EVS der Firma GTI  
LED Color Viewing Light, Virtual Proofing Station,  
Pantone Color Viewing Light [CVL] der Firma Just  
Spectralight III der Firma X-Rite

- + LMT Colormeter
- + EyeOne Pro der Firma X-Rite

Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

11

DfwG, 2010, Darmstadt

## 4.1 direkte und indirekte Messung



- ↳ abbildenden Optik
- ↳ CS2000 [1°]
- ↳ Reflexionsnormal mit bekannter Reflexion [45°:0°]
- ↳ Messgröße: spektrale Strahlendichte

- ↳ cosinuskorrigierte Einkoppeloptik
- ↳ Via Lichtfaser zum Radiometer
- ↳ Messgröße: Spektrale Bestrahlungssärke

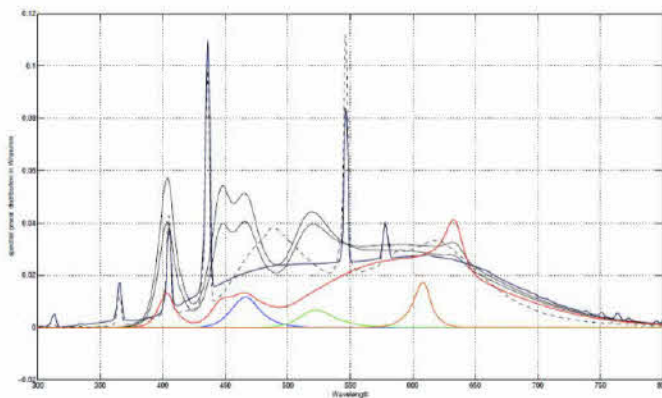


Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

12

DfwG, 2010, Darmstadt

## 4.2 Die Lichtquellen



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

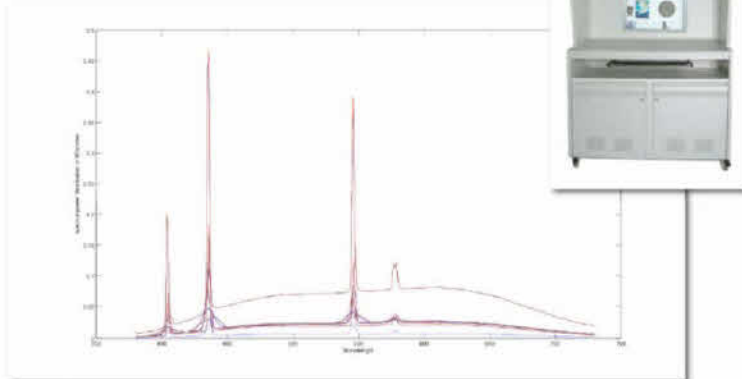
13

DfwG, 2010, Darmstadt

### 5.1 Ergebnisse: GTI EVS



- ↪ Hersteller: GTI
- ↪ 5x36W Leuchtstoffröhren
- ↪ CCT=5000K
- ↪ 7 Verschiedene Geräte



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

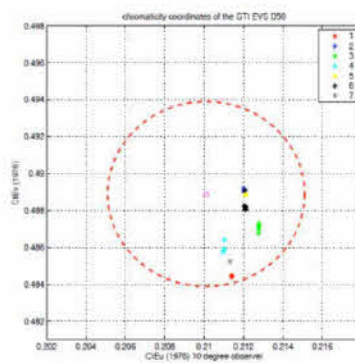
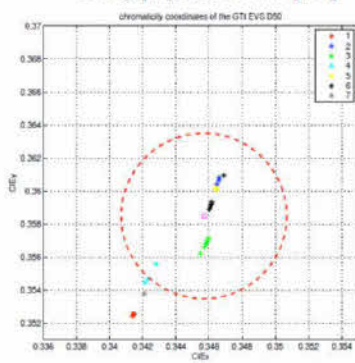
14

DfwG, 2010, Darmstadt

### 5.1 Ergebnisse: GTI EVS



- ↪ Mittelpunkt: D50 (Radius = 0.005)
- ↪ 7 Geräte
- ↪ CIE<sub>x</sub>y [2°] und CIE<sub>u</sub>'v' [10°]



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

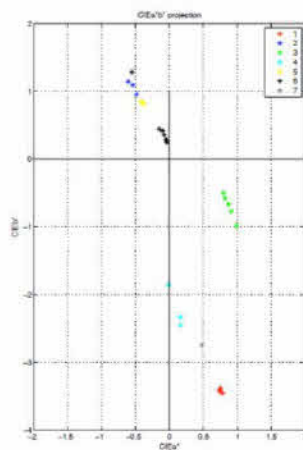
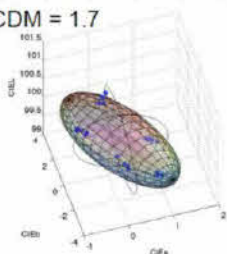
15

DfwG, 2010, Darmstadt

### 5.1 Ergebnisse: GTI EVS



- ↪ CIELAB intuitiver
- ↪ Bezug: CIE<sub>x</sub>n, Y<sub>n</sub>, Z<sub>n</sub> = D50
- ↪ andere Bezugsgrößen denkbar
- ↪ Relative Anordnung relevant
- ↪ ΔE76 zum Mittelwert  
2.5, 2.1, 0.8, 1.3, 1.9, 1.7, 1.8
- ↪ MCDM = 1.7



Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

MCDM=Mean Colour Difference of Mean

16



### 5.1 Ergebnisse: GTI EVS

Metrik								Alle		Ohne Dev. 5	
	1	2	3	4	5	6	7	Mittel	Var.-Koeff.	Mittel	Var.-Koeff.
MIVis 1	0.8	0.7	0.6	0.8	1.6	0.5	0.4	0.784	50.21%	0.6	22.3%
MIVis 2	0.9	0.8	0.8	0.8	1.0	0.8	0.8	0.858	5.54%	0.8	2.6%
MIVis 3	1.1	1.1	1.0	1.0	1.7	0.8	0.9	1.095	26.62%	1.0	12.3%
MIVis 4	1.5	1.4	1.2	1.5	2.4	0.9	1.1	1.431	34.69%	1.3	20.0%
MIVis 5	1.8	1.7	1.4	1.7	2.8	1.1	1.3	1.688	31.98%	1.5	17.8%
MIVis 6	2.0	2.0		1.5	2.4			2.001	18.63%	1.9	15.9%
MIVis 7	2.3	2.4		0.8	2.6			2.010	40.33%	1.8	48.4%
MIVis 8	2.6	2.8		0.3	3.2			2.204	58.24%	1.9	72.4%
CRI 1	90.8	89.5	90.9	93.9	89.2	90.3	90.4	90.742	1.71%	91.0	1.7%
CRI 2	93.0	91.8	92.5	95.6	92.0	92.5	92.7	92.854	1.36%	93.0	1.4%
CRI 3	91.1	89.4	90.6	93.3	88.6	91.8	90.8	90.778	1.70%	91.1	1.4%
CRI 4	90.6	89.7	91.6	92.5	85.0	91.6	91.7	90.363	2.80%	91.3	1.1%
CRI 5	91.1	89.6	91.3	93.9	88.3	90.8	90.7	90.804	1.89%	91.2	1.6%
CRI 6	90.3	88.2	89.5	94.0	88.6	89.5	89.6	89.958	2.14%	90.2	2.2%
CRI 7	91.7	91.4	92.3	93.0	87.7	93.1	93.3	91.785	2.13%	92.5	0.9%
CRI 8	88.7	86.2	87.6	89.2	82.7	87.5	87.7	86.795	2.35%	87.5	1.2%
CRI 9	64.6	62.1	65.4	72.1	60.2	64.5	64.3	64.743	5.74%	65.5	5.2%
CRI 10	80.9	77.4	79.9	86.8	77.4	80.5	79.8	80.368	3.92%	80.9	3.9%
CRI 11	89.8	87.8	90.5	92.2	84.4	90.1	89.6	89.206	2.79%	90.0	1.0%
CRI 12	85.3	83.5	85.7	88.8	79.7	86.0	85.5	84.924	3.30%	85.8	2.0%
CRI 13	91.5	90.1	91.1	94.6	90.6	90.6	91.0	91.350	1.66%	91.5	1.8%
CRI 14	94.6	93.6	94.3	95.7	93.0	95.0	94.4	94.365	0.96%	94.6	0.8%

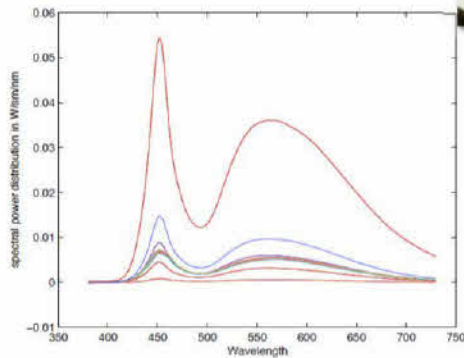
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

17



### 5.2 Ergebnisse: Techno Team - LED-Normal

- Hersteller: Techno Team
- Strom- und Temperaturstabilisierte Lichtquelle
- 7 verschiedene Geräte



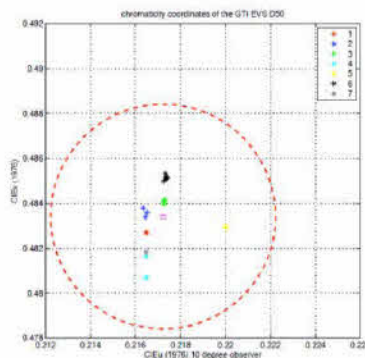
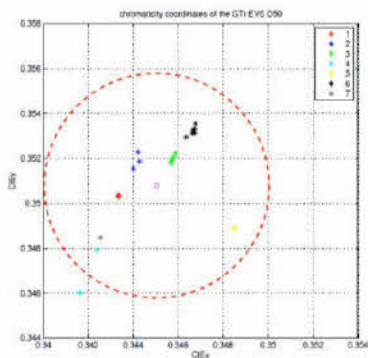
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

18



### 5.2 Ergebnisse: LED-Normal

- Mittelpunkt: Mittelwert (Radius=0.005)
- 7 Geräte
- CIExy [2°] und CIEu'v' [10°]



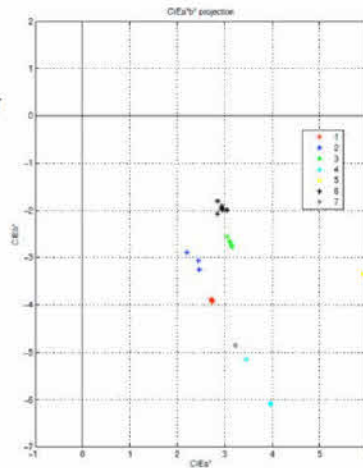
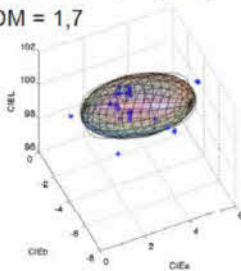
Andreas Kraushaar | kraushaar@fogra.org

19

## 5.2 Ergebnisse: LED-Normal



- ↪ CIELAB intuitiver
- ↪ Bezug: CIE $X_n, Y_n, Z_n$  = D50
- ↪ andere Bezugsgrößen denkbar
- ↪ Relative Anordnung relevant
- ↪  $\Delta E_{76}$  zum Mittelwert  
0,6, 0,7, 0,8, 2,5, 2,9, 1,8, 2,6
- ↪ MCDM = 1,7



## 5.2 Ergebnisse: LED-Normal



Alle										
Metrik	1	2	3	4	5	6	7	Mittel	Var.-Koeff	
Mvis	1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	1.10	5.7%
Mvis	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.4	1.8	1.8	1.75	9.5%
Mvis	3	2.2	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.18	1.5%
Mvis	4	2.3	2.2	2.2	2.4	2.3	2.0	2.4	2.35	6.3%
Mvis	5	2.0	1.9	1.9	2.2	2.0	2.3	2.1	2.05	6.7%
Muv	1	3.2	3.0		3.0	3.1			3.09	2.9%
Muv	2	4.3	4.1		4.2	4.2			4.20	1.6%
Muv	3	6.0	5.8		5.9	5.9			5.89	1.3%
CRI	1	74.7	74.9	76.2	76.1	80.5	75.4	75.2	76.15	2.6%
CRI	2	83.1	83.2	84.0	85.1	85.2	84.3	83.9	84.11	1.0%
CRI	3	85.9	86.1	86.4	87.5	84.1	87.4	86.4	86.25	1.3%
CRI	4	74.3	74.7	76.2	74.2	80.6	74.7	74.2	75.57	3.1%
CRI	5	74.3	74.6	75.8	75.5	79.4	74.9	74.7	75.60	2.3%
CRI	6	74.0	74.3	75.2	76.2	75.7	75.2	74.7	75.02	1.0%
CRI	7	84.8	85.0	85.9	84.6	88.1	85.7	84.8	85.56	1.4%
CRI	8	64.1	64.4	66.2	64.3	74.0	64.8	64.4	66.02	5.4%
CRI	9	-2.1	-1.5	-3.4	1.2	24.1	0.1	-0.3	3.57	258.6%
CRI	10	56.5	56.9	58.5	60.7	60.1	59.2	58.0	58.54	2.6%
CRI	11	68.2	68.8	70.2	68.1	74.9	68.2	68.0	69.40	3.6%
CRI	12	50.1	50.7	52.3	52.7	51.9	51.2	50.5	51.33	1.9%
CRI	13	76.5	76.6	77.8	78.3	81.1	77.3	77.2	77.83	2.0%
CRI	14	91.7	91.9	92.0	92.7	90.4	92.7	92.1	91.92	0.8%

## 6. Zusammenfassung & Diskussion



- ↪ Steigende Anforderungen an die "Farbqualität"
- ↪ Unterschiede innerhalb hochwertiger Labormessgeräte sind bereits im Rahmen der geforderten Toleranzen der zu bewertenden Farben [Verengung der Toleranzen notwendig aber technisch nicht angemessen]
- ↪ Visuelles Urteil (Feinjustage) bleibt weiterhin notwendig
- ↪ Unterschiede können vermutet werden:
  - ↪ Unterschiedliche Rückführbarkeit [NIST, PTB, Metas, etc]
  - ↪ Unterschiedliche Qualität der dispergierenden Elemente [Streulicht, Bandpass]
  - ↪ tbd
- ↪ Ergebnisse repräsentieren aktuellen Stand
- ↪ Mitarbeit ist willkommen ⇒ [www.fogra.org](http://www.fogra.org)

# DIN 99 in der Praxis

Renate Hiesgen und Georg Meichsner, Hochschule Esslingen

## Gliederung

---

- Motivation und Vorgehensweise
- Beispiele:
  - Vergleich marktverfügbarer RAL-Farben
  - DIN 6175-1 von 2009: Farbtoleranzen für Automobillackierungen  
Ausblick Pulverlack und Architektur
  - Bewertung von Systemen zur Farbrezeptberechnung
  - Anwendung von DIN99 bei Effektlackierungen und Mehrwinkel-Spektraldaten
- Zukunft:
  - Standardisierung von Messgeräten (Präzisionsangaben)
  - Farbmusterkarten
  - Vergleich mit DIN99o



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 2

## Motivation

---

Motivation

Beschichtungstechnologie in Deutschland ist weltweit Spitzenklasse

- moderne, innovative Beschichtungssysteme
- qualitativ hochwertig
  - konstantes Qualitätsniveau
  - QS-Systeme müssen Farbe mit einbeziehen

⇒ verstärkte Einbindung der Farbmatrik in die QS

⇒ Farbmatrik muss einfach sein und korrekt angewandt werden

⇒ Normen dazu müssen vorbereitet werden



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 3

## Farbmatrik in der Qualitätssicherung

---

### ... Hemmnisse

Motivation

- mangelhafte Kenntnis der Farbmatrik (Halbwissen)
- Berührungängste vor komplexer Mathematik oder Programmierung  
(dies ist auch ein Kostenfaktor)
- verbreitete Unkenntnis der Fehlerrechnung (Messunsicherheit, Statistik, ...)
- teils unhandliche Formeln (Audiformel - DIN 6175-2),  
teils unverständene, nicht oder falsch angewandte Verfahren (DIN 55600, Farbtoleranzen im DIN Fachbericht 49)
- es ist häufig unklar, wie sich die Farbmatrik in die QS korrekt einbinden lässt
- etablierte Prozesse sind schwer zu ändern



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 4

## Vorteile der DIN99-Farbabstandsformel

Motivation

Einfachheit (euklidische Farbabstände, Gleichabständigkeit, eigener Farbenraum)

daraus folgt:

- geringere Anfälligkeit gegen Fehler
- geringer Schulungsaufwand
- einfache Einführung in die SPC möglich
- einfach in automatisierte Auswertung einzubinden.

Beispiel: übersichtliche Darstellung aller Farbabstände in einem Diagramm möglich



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 5

## Vorgehensweise

Vorgehensweise

### Grundlagen

Signifikanz von Farbabständen (nach DIN 55600 und H. Schmelzer und H. G. Völz, in DIN-Fachbericht Nr. 49, Verfahren zur Vereinbarung von Farbtoleranzen)

### Vorgehensweise

- ⇒ CIELAB zur Bestimmung von Farbörtern
- ⇒ DIN99 zur Bestimmung von Farbabständen

mindestens 20 Einzelmessungen auf einer Mustertafel

Schätzung von Prognoseellipsoiden mit der F-Verteilung in CIELAB und in DIN99 (nicht mit der Chi-Quadrat-Verteilung - abweichend von DIN 55600 )

Nutzung dreidimensionaler Darstellung

### Zukunft

Erarbeitung geeigneter Software (MATLAB, Gnu-Octave, Gnu-R, EXCEL-VBA)



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 6

## Prognoseellipsoid

Das Prognoseellipsoid ist ein Streuungsmaß der Verteilung. Innerhalb des Prognoseellipsoids liegen im Mittel  $100 \cdot (1 - \alpha)\%$  der Grundgesamtheit.

$$\begin{aligned}
 &g_{11} \cdot (\bar{a}^* - \bar{a}^*)^2 + g_{22} \cdot (\bar{b}^* - \bar{b}^*)^2 + g_{33} \cdot (\bar{L}^* - \bar{L}^*)^2 \\
 &+ 2 \cdot g_{12} \cdot (\bar{a}^* - \bar{a}^*) \cdot (\bar{b}^* - \bar{b}^*) + 2 \cdot g_{23} \cdot (\bar{b}^* - \bar{b}^*) \cdot (\bar{L}^* - \bar{L}^*) \\
 &+ 2 \cdot g_{13} \cdot (\bar{a}^* - \bar{a}^*) \cdot (\bar{L}^* - \bar{L}^*) \leq (n+1) \cdot \frac{F_{3,n-3;1-\alpha}}{n} \cdot \frac{(n-1) \cdot 3}{n-3}
 \end{aligned}$$

Größe des Ellipsoides



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 7

## Verteilungsdichte für eine und drei Variablen

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma^2}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \delta s^2\right) \quad \text{1-dimensional}$$

$$\delta s^2 = \frac{\Delta x^2}{\sigma^2} \quad \Delta x = x - \bar{x}$$

$$f(x, y, z) = \frac{|G|^{\frac{1}{2}}}{(2 \cdot \pi)^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \delta s^2\right) \quad \text{3-dimensional}$$

**G** = Streumatrix  
**s** = Streuungsellipsoid



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 8

## Verteilungsdichte für drei Variablen

$$f(x, y, z) = \frac{|G|^{\frac{1}{2}}}{(2 \cdot \pi)^{\frac{3}{2}}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \cdot \delta s^2\right) \quad \text{um das Streuungsellipsoid zu erhalten, muss die Streumatrix mit dem Ortsvektor des Fehlers von rechts und links multipliziert werden.}$$

$$\delta s^2 = (\Delta x, \Delta y, \Delta z) \cdot G \cdot \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

$$= g_{11} \cdot \Delta x^2 + g_{22} \cdot \Delta y^2 + g_{33} \cdot \Delta z^2 + 2g_{12} \cdot \Delta x \cdot \Delta y + 2 \cdot g_{13} \cdot \Delta x \cdot \Delta z + 2 \cdot g_{23} \cdot \Delta y \cdot \Delta z$$



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 9

## Berechnung der Streumatrix (s. a. DIN 55600)

$$G = V^{-1} = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{21} & g_{31} \\ g_{12} & g_{22} & g_{32} \\ g_{13} & g_{23} & g_{33} \end{pmatrix} \quad V = \begin{pmatrix} v_{11} & v_{12} & v_{13} \\ v_{21} & v_{22} & v_{23} \\ v_{31} & v_{32} & v_{33} \end{pmatrix}$$

Die Streumatrix **G** ist die Inverse der Kovarianzmatrix **V**

$v_{ij}$  sind die Varianzen für  $i = j$

$v_{ij}$  sind Kovarianzen für  $i \neq j$



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 10

## Varianzen der Farbkoordinaten $L^*$ , $a^*$ , $b^*$

$$v_{11} = \text{var}(a^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i^* - \bar{a}^*)^2$$

Indices

 $a^*$ -Achse = 1

$$v_{22} = \text{var}(b^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i^* - \bar{b}^*)^2$$

 $b^*$ -Achse = 2

$$v_{33} = \text{var}(L^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i^* - \bar{L}^*)^2$$

 $L^*$ -Achse = 3

© Renata Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 11

## Kovarianzen der Farbkoordinaten $L^*$ , $a^*$ , $b^*$

$$v_{12} = v_{21} = \text{cov}(a^*, b^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i^* - \bar{a}^*) \cdot (b_i^* - \bar{b}^*)$$

$$v_{13} = v_{31} = \text{cov}(a^*, L^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i^* - \bar{a}^*) \cdot (L_i^* - \bar{L}^*)$$

$$v_{23} = v_{32} = \text{cov}(b^*, L^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i^* - \bar{b}^*) \cdot (L_i^* - \bar{L}^*)$$



© Renata Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 12

## Beispiel 1

### Wie rot ist Rot?

#### Untersuchung von RAL-Farben

R. Hiesgen und G. Meichsner: Wie rot ist Rot – Farbtonübereinstimmung bei Lacken aus dem Dekor- und Industriebereich, Farbe und Lack **115**, 4 (2009) 132 - 135.



## Untersuchung von RAL-Farben

Beispiel 1

RAL-Farbkarten:  
Farbabstand zum Urmuster von  $\Delta E^*_{ab} < 0.5$

Präzision der Messgeräte:  
Inter-Instrument-Agreement  $\Delta E^*_{ab} = 0.3$

Wie präzise werden RAL-Farben in der Praxis getroffen?

Untersuchung von 7 Farben, 58 Lacken  
(hauptsächlich Industrielacke)

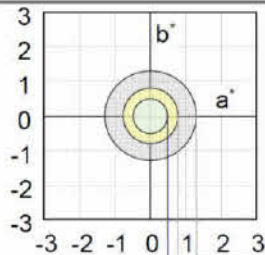
Messung von  $\Delta E^*_{ab}$  zwischen Farbmusterkarte und Probe



© Renate Hiesgen und Georg Melchauer, 2009, Folie 14

## Erwartete Streuung

Beispiel 1



- gilt das für alle Farben?
- ist diese Angabe sinnvoll?

CIELAB ist für kleine Farbabstände ( $\Delta E^*_{ab} < 5$ ) nicht gleichabständig!

Toleranz RAL  
+ Vergleichbarkeit  
+ 0,5 für Applikation

Toleranz RAL  
+ Vergleichbarkeit von Farbmessgeräten

Toleranz von RAL-Farbkarten

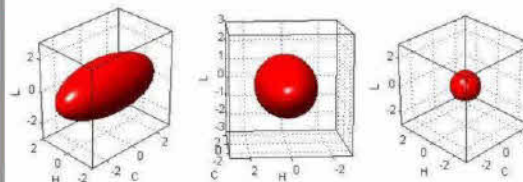


© Renate Hiesgen und Georg Melchauer, 2009, Folie 15

## Farbabstände im brillanten und pastelligen Rot

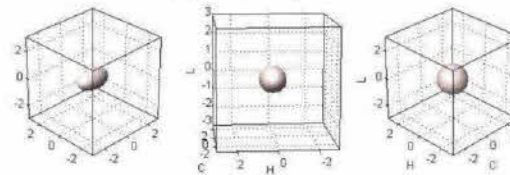
Beispiel 1

1	Brillantes Rot	
2	$\Delta E^* = 3,3$	3
		$\Delta E^* = 6,0$
1	Pastelliges Rot	
2	$\Delta E^* = 3,3$	3
		$\Delta E^* = 6,0$



CMC (1.37 : 1)

DIN99



© Renate Hiesgen und Georg Melchauer, 2009, Folie 16

## DIN99-Farbabstandsformel zum Vergleich aller Farben

Beispiel 1

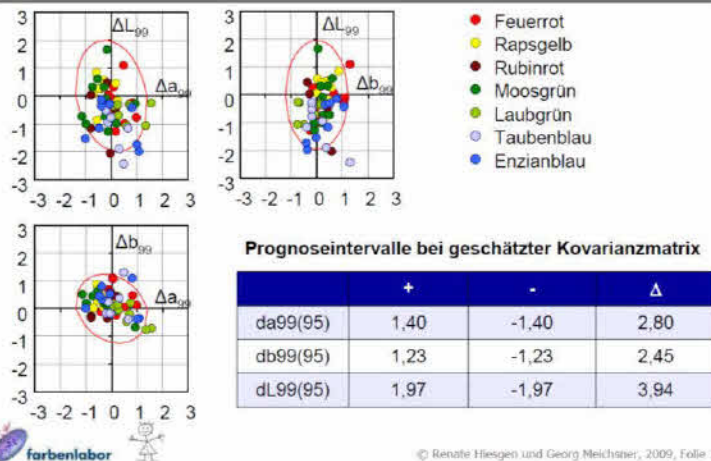
- Bildung der Farbabstände untersuchter Proben zur RAL-Farbmusterkarte
- Umrechnung der Farbabstände in DIN99 und Vergleich aller Farben
- Berechnung der Streuung über das Prognoseellipsoid und die Prognoseintervalle für  $(1 - \alpha) = 95\%$



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 17

## Projektionen des Prognoseellipsoids $(1-\alpha) = 95\%$

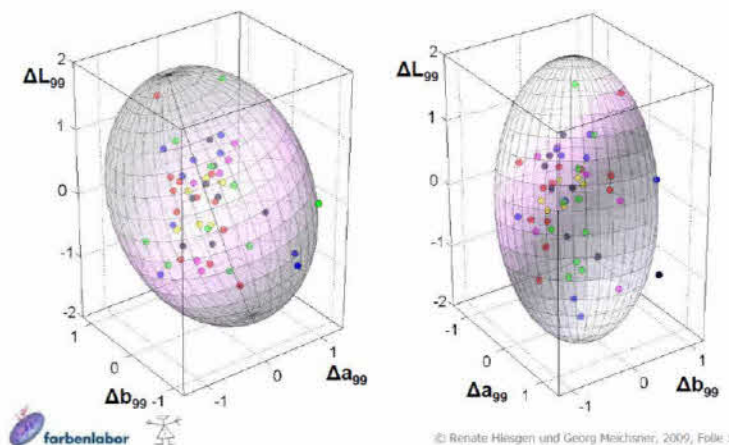
Beispiel 1



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 18

## Prognoseellipsoid für $(1-\alpha) = 95\%$

Beispiel 1



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 19

## Stand der Technik bei der Farbtoleranz

Beispiel 1

- DIN99 bewertet die Farbabstände unabhängig vom Farbort, dadurch können alle Farbdifferenzen verglichen werden
- erwartete Streuung  $\Delta E^*_{ab} = 0.9$  bis  $1.3$ .
- Streubreite der untersuchten Proben liegt bei  $\Delta E_{99} = 1.2$  bis  $2.0$
- sinnvolle Farbtoleranzen sollten entweder
  - an diese Werte angepasst sein oder
  - es müssen zusätzliche Maßnahmen zur Erzielung kleinerer Farbtoleranzen getroffen werden (Kostenfaktor)

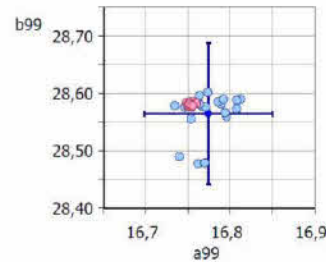
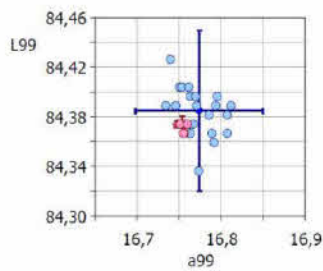


© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 20

## RAL-Farbmusterkarten (Bsp.: Rapsgebl RAL 1021)

ortsfeste Messung (rosa) - Messgeräte-Streuung

ortsvariable Messung (blau) - Messgeräte-Streuung + Probeninhomogenität



Messgerät: BYK-Gardner-Spectroguide 45/0

Film

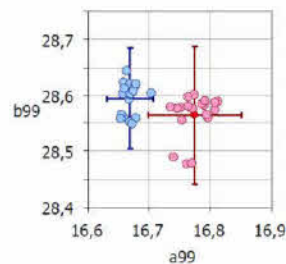
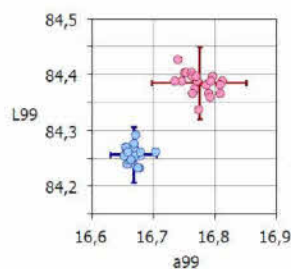


© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 21

## RAL-Farbmusterkarten (Bsp.: Rapsgebl RAL 1021)

ortsvariable Messung auf zwei Farbmusterkarten RAL 1021

Messung unter Wiederholbedingungen



Messgerät: BYK-Gardner-Spectroguide 45/0

Film



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 22

# Beispiel 2

## Farbtoleranzen für Automobillackierungen

### Teil 1: Unilackierungen

R. Hiesgen und G. Meichsner: Den richtigen Ton treffen - Farbortstreuung und Akzeptierbarkeit der Farbe von Lacken, Journal, f. Oberflächentechnik, 6/2010, S. 88 – 91

### DIN 6175-1 umgestellt auf DIN99

Beispiel 2

DEUTSCHE NORM		Juli 2009
	<b>DIN 6175-1</b>	<b>DIN</b>
ICS 17.180.20	Ersatz für DIN 6175-1:1986-07.	
<p><b>Farbtoleranzen für Automobillackierungen – Teil 1: Unilackierungen</b></p> <p>Tolerances for automotive paints – Part 1: Uni paints</p> <p>Tolérances de couleurs pour peintures automobiles – Partie 1: Peintures unies</p>		



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 24

### DIN 6175-1 (1986)

Beispiel 2

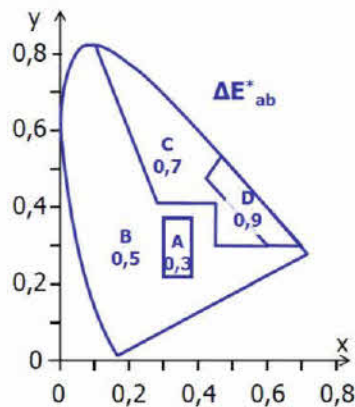
Die Grafik legt Bereiche unterschiedlicher Toleranz fest

**bei der Lieferungen von Lacken**  
(Chargenkonstanz)  $\Delta E^*_{ab}$

**bei Ausführung von**

- OEM-Lackierungen ( $1,5 \cdot \Delta E^*_{ab}$ )
- Reparaturlackierung ( $2,0 \cdot \Delta E^*_{ab}$ )
- bei durch Sicken, Zierleisten und Hohlräume getrennte reparierte Flächen ( $4,0 \cdot \Delta E^*_{ab}$ )

(A, B, C, D – Benennung in VdL-Richtlinie Nr. 10)



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 25

## Umstellung von DIN 6175-1 auf DIN99

Beispiel 2

Bereich	$\Delta E^*_{ab}$ nach DIN 6175-1 (1986) a)			$\Delta E_{99}$ nach DIN 6175-1 (2009)		
	Lacklieferung b)	Lackierung OEM    Rep. c)		Lacklieferung b)	Lackierung OEM    Rep. c)	
A	0,3	0,45	0,6	0,3	0,45	0,6
B	0,5	0,75	1,0			
C	0,7	1,05	1,4			
D	0,9	1,35	1,8			

a) Bedingungen: D65, 10°-Normalbeobachter. – b) gleiche Größen für den Metamerieindex zwischen Rep.-OEM bei Lichtart A. – c) bei Trennung der Flächen durch Zierleisten, Sicken oder Hohlräume darf der Wert nochmals verdoppelt werden.



© Renate Hiesgen und Georg Melchsner, 2009, Folie 26

## Fragestellungen

Beispiel 2

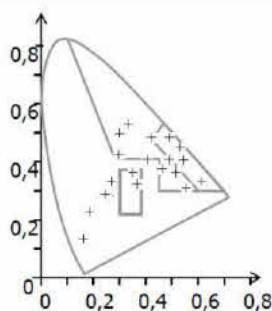
- wie ändert sich der Toleranzraum?
  - zum Vergleich transformierte man die in DIN99 kugelförmigen Toleranzräume in CIELAB-Koordinaten
  - Vergleich wurde mit 22 RAL-Farben durchgeführt
  
- welche Auswirkungen auf die VdL-Richtlinie Nr. 10 gibt es?
  - Untersuchung an Pulverlacken



© Renate Hiesgen und Georg Melchsner, 2009, Folie 27

## RAL-Farben für die eine DIN99-Toleranzraum nach CIELAB transformiert wurde

Beispiel 2



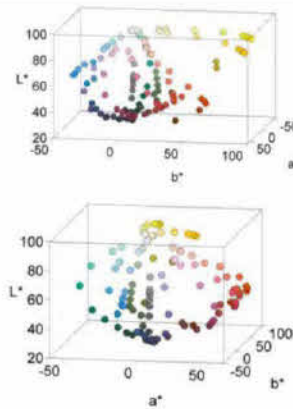
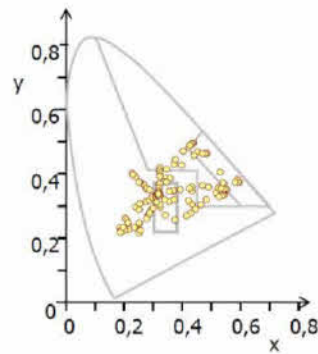
- Hellelfenbein RAL 1015, Schwefelgelb RAL 1016
- Rapsgelb RAL 1021, Melonengelb RAL 1028
- Pastellorange RAL 2003, Tieforange RAL 2011
- Lachsorange RAL 2012
- Karminrot RAL 3002, Weinrot RAL 3005
- Hellrosa RAL 3015,
- Ultramarinblau RAL 5002, Taubenblau RAL 5014
- Himmelblau RAL 5015, Pastellblau RAL 5024
- Smaragdgrün RAL 6001, Tannengrün RAL 6009
- Gelbgrün RAL 6018, Pastelltürkis RAL 6034
- Khakigrau RAL 7008
- Rehbrau RAL 8007, Mahagonibraun RAL 8016



© Renate Hiesgen und Georg Melchsner, 2009, Folie 28

## Farbörter von Eichreihenstufen in der CIE-Normfarbtafel

Beispiel 2



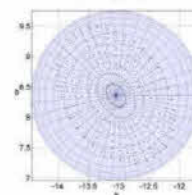
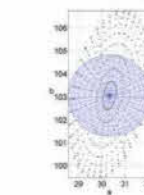
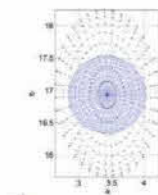
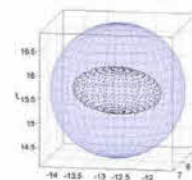
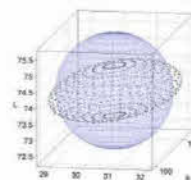
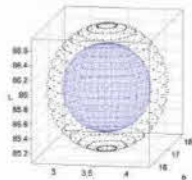
© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 29

Toleranzraum  $\Delta E_{99} = 0,6$  transformiert nach CIELAB (gepunktetes Ellipsoid) und  $\Delta E^*_{ab}$  nach DIN 6175-1 von 1986 (blaue Kugeln)

RAL 1015 Hellelfenbein

RAL 1028 Melonengelb

RAL 6009 Tannengrün



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 30

## Farbtoleranzen nach DIN 6175-1 (1986) und VdL-Richtlinie Nr. 10

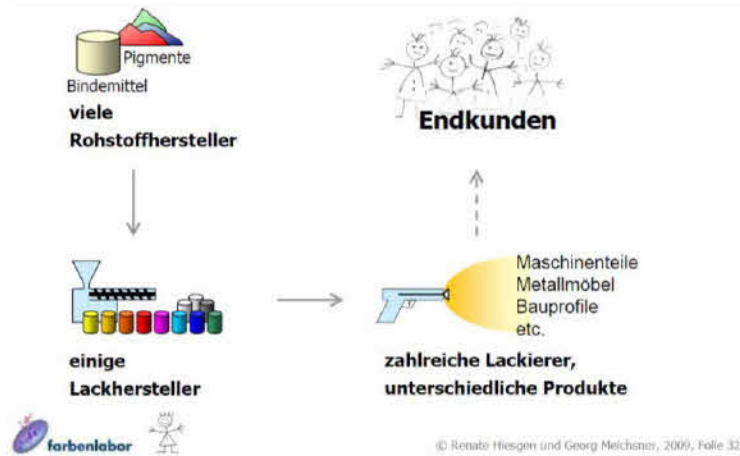
Bereich	$\Delta L^*$	$\Delta E^*_{ab}$ nach DIN 6175-1 <sup>a)</sup>		$\Delta E^*_{ab}$ nach VdL-Richtlinie Nr. 10			
		Lacklieferung <sup>b)</sup>	Lackierung		Lacklieferung	Lackierung (60°-Glanz)	
			OEM	Rep. <sup>c)</sup>		$\geq 65$	$< 65$
<b>A</b>	>85	0,3	0,45	0,6	0,5	0,8	1,0
	60-80				0,7	1,0	1,3
	<60				1,0	1,4	1,8
<b>B</b>		0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,6
<b>C</b>		0,7	1,05	1,4	2,0	2,8	3,6
<b>D</b>		0,9	1,35	1,8	2,5	3,6	4,7

a) Bedingungen: D65, 10°-Normalbeobachter. - b) gleiche Größen für den Metamerieindex zwischen Rep.-OEM bei Lichtart A. - c) bei Trennung der Flächen durch Zierleisten, Sicken oder Hohlräume darf der Wert nochmals verdoppelt werden.



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 31

## Prozesskette Pulverlackierung



## Lack im Gespräch

### Farbtoleranzen Neue Norm definiert Farbtreue

Farbkonzistenz ist ein wichtiges Kennzeichen der Produktqualität von Automobilen. Das gilt für Neufahrzeuge ebenso wie für die Ausführung von Reparaturlackierungen. Da das Auge auch kleine Abweichungen des Farbtons einer reparierten Fläche gegenüber benachbarten Bereichen wahrnimmt, müssen die sogenannten Farbtoleranzen möglichst gering gehalten werden. Beschrieben wurden solche Farbtoleranzen in der DIN 6175, die bereits 1996 erschien und nun teilweise überarbeitet wurde. Diese Norm definiert Farbtoleranzen für Automobillackierungen mit Uni- und Effekt-Lacken. Für beide gelten aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften unterschiedliche Toleranzwerte.



Die Norm behandelt die für Lackierungen im Kfz-Bereich zulässigen Farbtoleranzen, beispielsweise zwischen einer Vorlage und ihrer Nachstellung, und definiert den jeweils größten noch zulässigen Farbabweichungsmaßstab. Abgehandelt werden Toleranzen für ausgeformte Lackprodukte, die unterschiedlichen Karosserieteile nach der Lackierung und die Reparaturlackierung von Automobilflächen oder -teilen gegenüber der Originallackierung.

Teil 1 für Uni-Lackierungen, der Farbtoleranzen für Uni-Serien und Reparaturlackierungen von Karosserieteilen und Anbauteilen beschreibt, ist nun aktualisiert worden, weil sich die Messtechnik inzwischen wesentlich verbessert hat. Heute sind gute tragbare und preisgünstige Farbmessgeräte verfügbar. Zudem haben Weiterentwicklungen der Farbmetrik (vgl. DIN 6176 „Farbmetrische Bestimmung von Farbabweichungen bei Körperfarben nach der DIN 99-Formel“) die Aufspaltung des Farbtraums ersetzt, die der Fassung von 1996 zugrunde lag. Diese war bislang erforderlich, um die Fehler des CIE-Lab-Farbtraums, der dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen angepasst ist, zu kompensieren. Da dies jetzt durch die sogenannte DIN 99-Formel erfolgt, ist die Anwendung der Norm DIN 6175 einfacher und auch verständlicher geworden.



Melchsner, 2009, Folie 33

## mittlere Farbkoordinaten der untersuchten Proben

handelsübliche Pulverlacke auf Probetafeln

21 weiße Probetafeln, gleiche Charge an unterschiedlichen Tagen appliziert, an einem Tag gemessen

10 rosa Probetafeln

9 rote Probetafeln

9 dunkelgraue Probetafeln

aus unterschiedlichen Chargen, an unterschiedlichen Tagen appliziert und gemessen



	L*	a*	b*	x	y	Y	L99	a99	b99
weiß	94,50	-0,45	0,65	0,3143	0,3325	86,44	96,39	-0,25	0,52
rosa	77,47	18,99	-5,62	0,3321	0,3050	52,32	84,34	12,19	-5,43
rot	43,07	41,81	25,54	0,5076	0,3393	13,20	54,77	25,14	4,85
dunkelgrau	34,02	-1,52	-2,38	0,3001	0,3233	8,02	45,39	-2,00	-1,24



© Renate Hiesgen und Georg Melchsner, 2009, Folie 34

### Toleranzen der untersuchten Proben

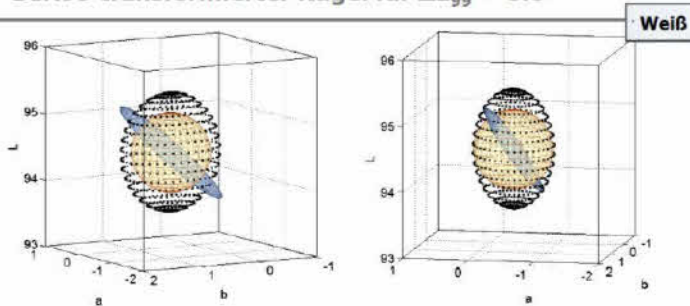


	x	y	Y	L*	$\Delta E_{ab}^{DIN 6175, 1986}$	$\Delta E_{ab}^{VdL 10 2003}$	$\Delta E_{99}^{DIN 6175, 2009}$
weiß	0,3143	0,3325	86,44	94,50	0,3 / 0,6	0,5 / 0,8	0,3 / 0,6
rosa	0,3321	0,3050	52,32	77,47	0,3 / 0,6	0,7 / 1,0	0,3 / 0,6
rot	0,5076	0,3393	13,20	43,07	1,1 / 1,4	2,0 / 2,8	0,3 / 0,6
dunkelgrau	0,3001	0,3233	8,02	34,02	0,3 / 0,6	1,0 / 1,4	0,3 / 0,6



© Renate Hiesgen und Georg Meixner, 2009, Folie 35

### Toleranz von Weiß - DIN 6175-1 (1986) mit aus DIN99 transformierter Kugel für $\Delta E_{99} = 0.6$



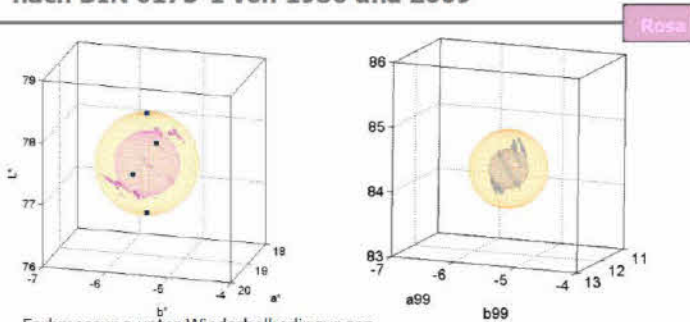
transformiert man den Toleranzraum aus mit  $\Delta E_{99} = 0.6$  (kugelförmig) nach CIELAB, so erhält man ein Ellipsoid (schwarze Punkte), das  $\Delta E_{ab}^* = 0.6$  einschließt.

Bei dem weißen Pulverlack ist die DIN 6175-1 (2009) mit DIN99-Koordinaten toleranter als die alte DIN 6175-1 (1986) mit CIELAB-Koordinaten



© Renate Hiesgen und Georg Meixner, 2009, Folie 36

### Vergleich der Toleranz bei Rosa nach DIN 6175-1 von 1986 und 2009



Farbmessung unter Wiederholbedingungen

die meisten Probetafeln liegen

- außerhalb der Grenzen für die Chargenkonstanz  $\Delta E_{ab}^* = 0,3$
- alle innerhalb der Grenzen für die Reparatur  $\Delta E_{ab}^* = 0,6$

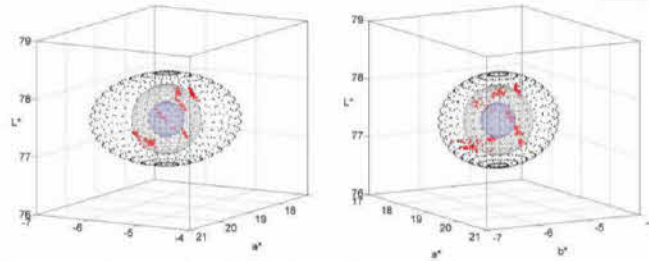


© Renate Hiesgen und Georg Meixner, 2009, Folie 37



**Toleranz Rosa - DIN 6175-1 (1986) mit  
aus DIN99 transformierter Kugel für  $\Delta E_{99} = 0.6$**

Rosa



Toleranzraum  $\Delta E_{99} = 0.6$  (kugelförmig) aus DIN99 nach CIELAB transformiert, man erhält ein Ellipsoid (schwarze Punkte), das  $\Delta E^*_{ab} = 0.6$  einschließt.

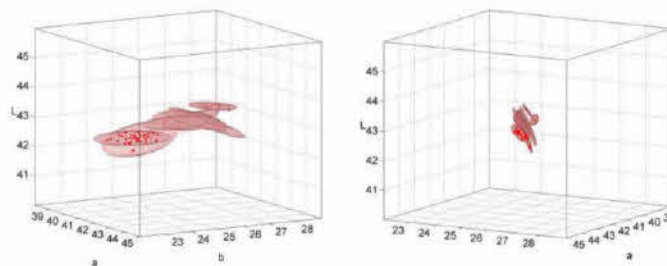
Bei dem rosa Pulverlack ist die DIN 6175-1 (2009) mit DIN99-Koordinaten toleranter als die alte DIN 6175-1 (1986) mit CIELAB-Koordinaten



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 38

**Prognoseellipsoide der Probetafeln Rot CIELAB**

Rot



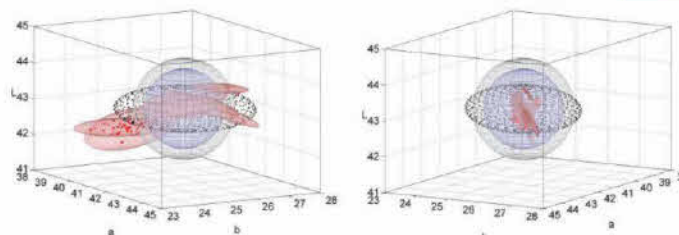
Überprüfung der Homogenität auf roten Probetafeln  
Rückstellmuster aus Pulverlackproduktionen



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 39

**Toleranz von Rot - DIN 6175-1 (1986)  
mit aus DIN99 transformierter Kugel für  $\Delta E_{99} = 0.6$**

Rot



Toleranzraum aus mit  $\Delta E_{99} = 0.6$  (kugelförmig) nach CIELAB transformiert man erhält ein Ellipsoid (schwarze Punkte), das  $\Delta E^*_{ab} = 1.4$  nicht vollständig einschließt (durchsichtige äußere Kugel, innere Kugel  $\Delta E^*_{ab} = 1.1$ ).

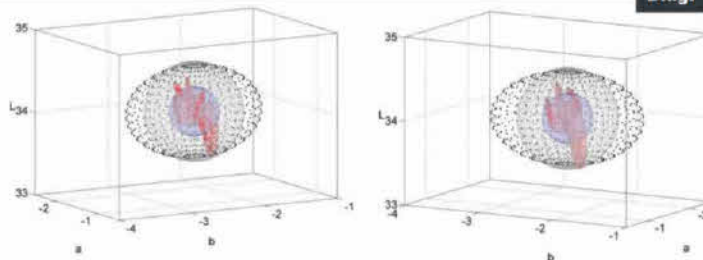
Bei dem roten Pulverlack ist die DIN 6175-1 (2009) mit DIN99-Koordinaten intoleranter als die alte DIN 6175-1 (1986) mit CIELAB-Koordinaten



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 40

### Toleranz von Dunkelgrau - DIN 6175-1 (1986) mit aus DIN99 transformierter Kugel für $\Delta E_{99} = 0.6$

Dklgr



Toleranzraum aus mit  $\Delta E_{99} = 0.6$  (kugelförmig) nach CIELAB transformiert man erhält ein Ellipsoid (schwarze Punkte), das  $\Delta E'_{ab} = 0.6$  einschließt.

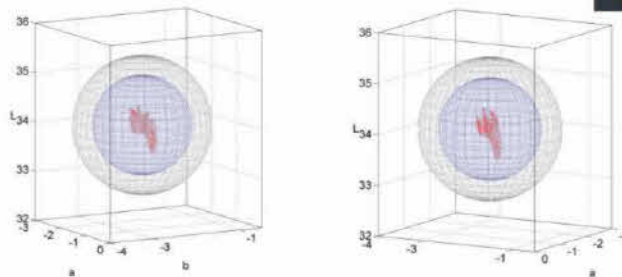
Bei dem dunkelgrauen Pulverlack ist die DIN 6175-1 (2009) mit DIN99-Koordinaten toleranter als die alte DIN 6175-1 (1986) mit CIELAB-Koordinaten



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 41

### Messpunkte von Dunkelgrau und Toleranz nach VdL-Richtlinie 10 ... CIELAB

Dklgr



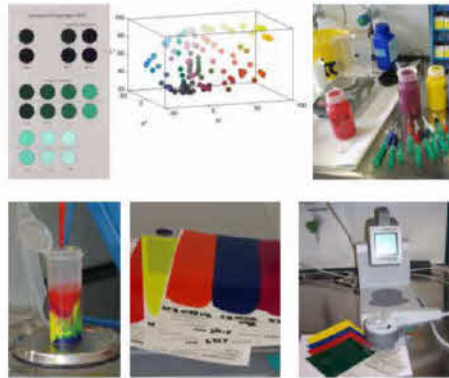
alle Probetafeln liegen  
in den Grenzen für die Chargenkonstanz  $\Delta E'_{ab} = 1,0$   
alle innerhalb der Grenzen für die Lackierung  $\Delta E'_{ab} = 1,4$



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 42

### Beispiel 3 Bewertung der Farbrezeptierung mit der DIN99-Farbabstandsformel

## Farbenmischsystem



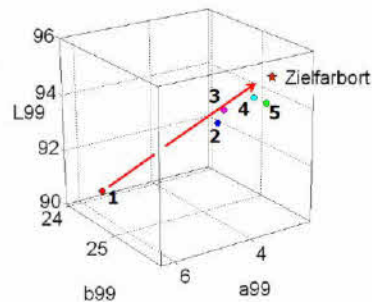
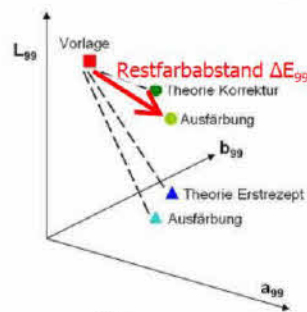
- Pigmentpräparationen
- Bindemittellösung
- Lackherstellung
- Lackapplikation
- Farbmessgerät
- Eichreihen
- Rezeptberechnungssoftware



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 44

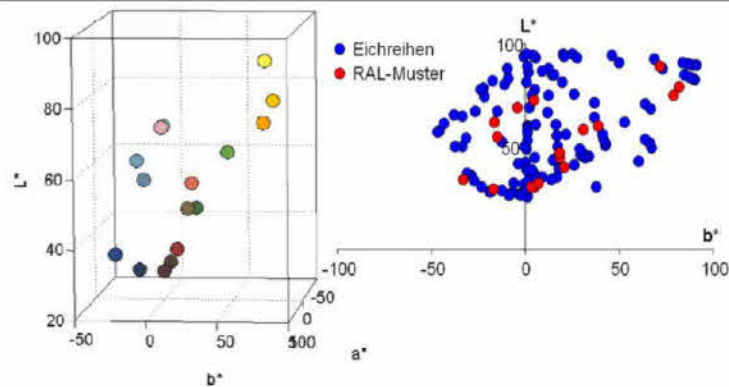
## Bewertungskriterien

- Restfarbabstand  $\Delta E_{99}$
- Zahl der Korrekturen bis  $\Delta E_{99} < 1,0$



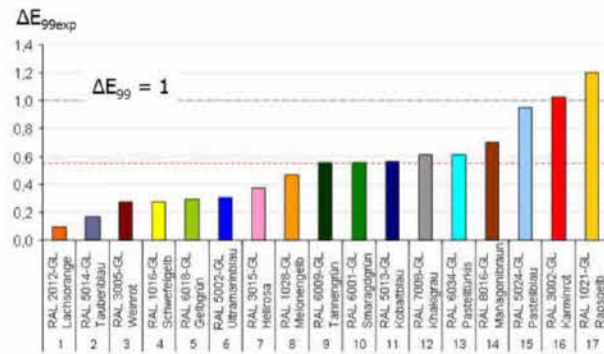
© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 45

## Die Eichreihen und die RAL-Muster



© Renate Hiesgen und Georg Meichsner, 2009, Folie 46

### Darstellung des Restfarbabstandes $\Delta E_{99exp}$

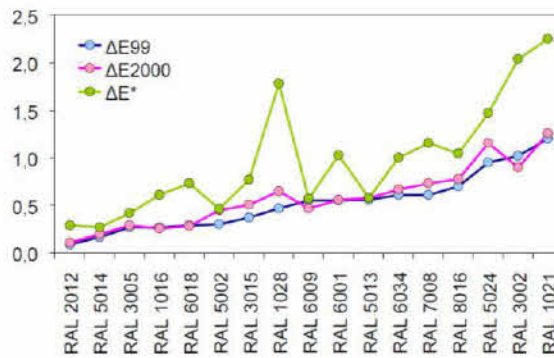


Mittelwert der experimentell erreichten Restfarbabstände = 0,53



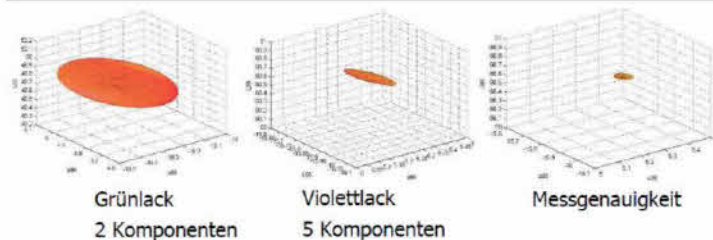
© Renate Hiesgen und Georg Meichner, 2009, Folie 47

### Vergleich von Restfarbabständen



© Renate Hiesgen und Georg Meichner, 2009, Folie 48

### Prognoseellipse (95%) für 10 Lackansätze



#### Prognoseintervalle

Bezeichnung	$\Delta L_{99}$	$\Delta a_{99}$	$\Delta b_{99}$	$\Delta E_{99}$
Messgenauigkeit Spektralphotometer	0,07	0,04	0,07	0,11
Grünlack Rezept 1.3	0,80	0,47	0,35	0,99
Violettack Rezept 6.3	0,19	0,14	0,22	0,32



© Renate Hiesgen und Georg Meichner, 2009, Folie 49

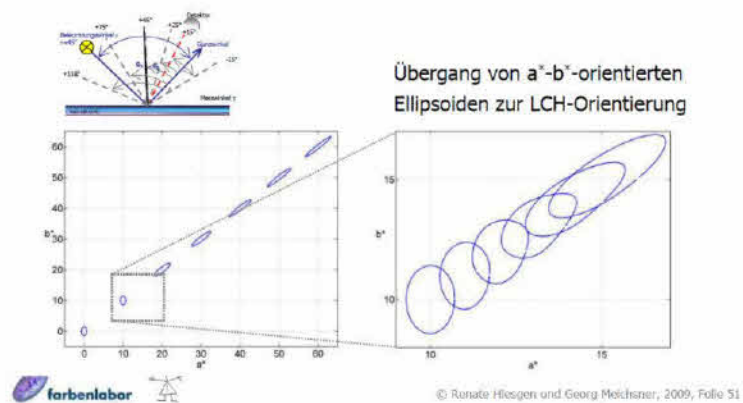
### Beispiel 4

#### Effektlackierungen

#### Darstellung der DIN 6175-2-Toleranzen in DIN 99-Koordinaten

#### Toleranzellipsoide (15°) nach DIN 6175-2

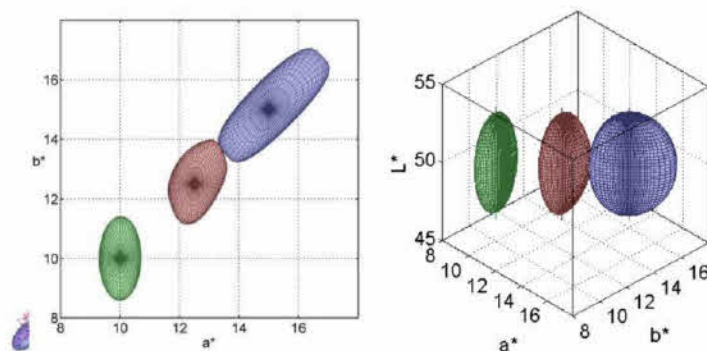
L=50, Sicht auf a\*-b\*-Ebene, Effektwinkel  $\gamma=15^\circ$



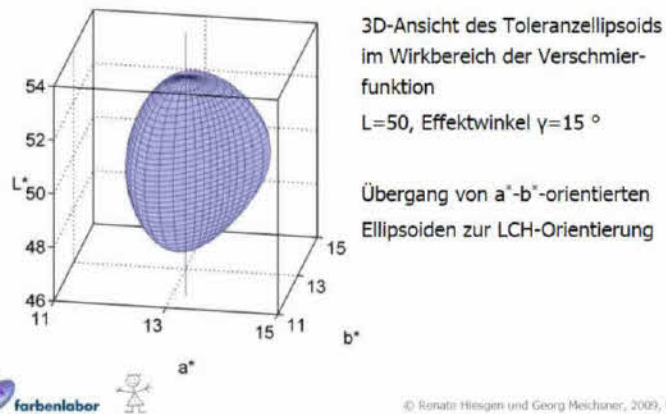
#### Toleranzellipsoide (15°) nach DIN 6175-2

L=50, konstanter Bunttonwinkel, 3D-Ansicht, Effektwinkel  $\gamma=15^\circ$

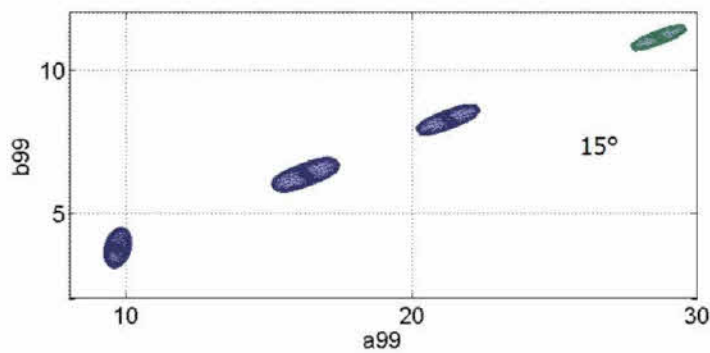
Übergang von a\*-b\*-orientierten Ellipsoiden zur LCH-Orientierung



### Toleranzanzellipsoid (15°) nach DIN 6175-2

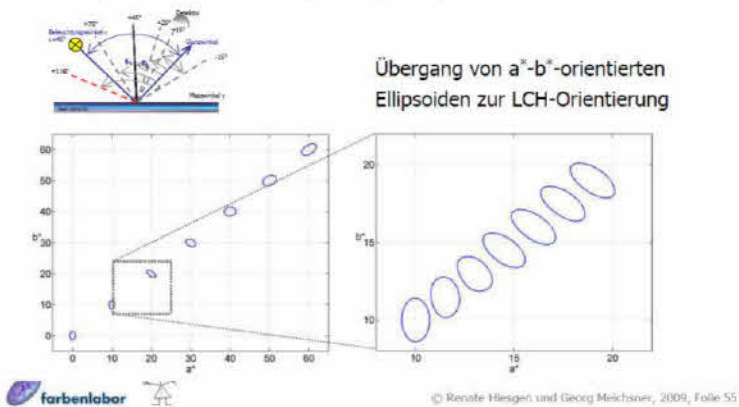


### DIN 6175-2 Toleranzräume nach DIN99 transformiert - 15°-Winkel

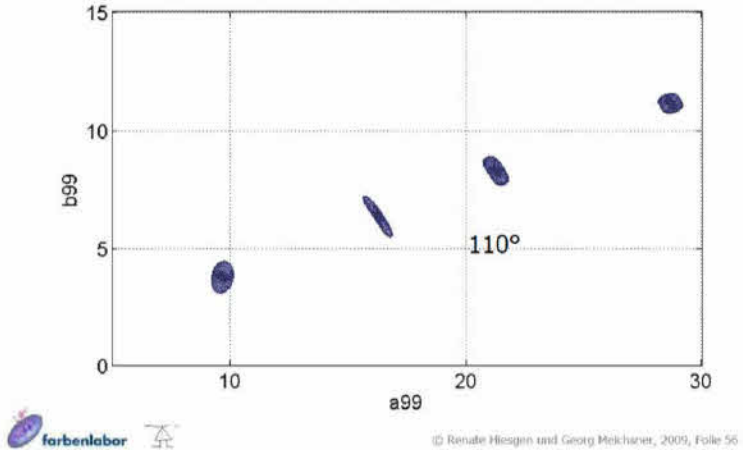


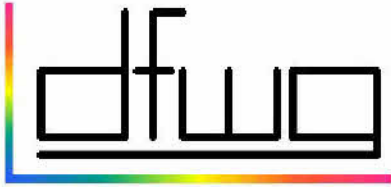
### Toleranzanzellipsoide (110°) nach DIN 6175-2

$L=50$ , Sicht auf  $a^*-b^*$ -Ebene, Effektwinkel  $\gamma=110^\circ$



DIN 6175-2 Toleranzräume nach DIN99 transformiert - 110°-Winkel





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

## **Vorschau DfwG Report 03 2011**

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

*Bericht und Vorträge von der DfwG Jahrestagung 2011*