

ISSN 1860-2835

## Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Andreas Kraushaar



**Voller Farbkontrast zu heute:**

**Bis Mitte der 80er Jahre war das Straßenbild von bunten Fahrzeugen geprägt**

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



## **Inhaltsverzeichnis**

<i>Impressum.....</i>	<i>4</i>
<i>Liebe Farbgemeinde .....</i>	<i>5</i>
<i>Einnahmen und Ausgaben 2019 .....</i>	<i>7</i>
<i>Nachruf Reinhard Feld .....</i>	<i>8</i>
<i>Aktuelles Programm der DfwG-Jahrestagung 2020 .....</i>	<i>10</i>
<i>Vortragsskizzen, Mittwoch, 16. September 2020 .....</i>	<i>12</i>
<i>Farbthemen in der CIE und Anwendungen .....</i>	<i>16</i>
<i>Bericht zum AIC Midtherm Meeting 2019 Buenos Aires.....</i>	<i>27</i>
<i>Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs .....</i>	<i>33</i>
<i>Eine theoretische Betrachtung der Bedeutung und Modellierung der Metamerie .....</i>	<i>43</i>
<i>3D-Scannerprofilierung mit KI-Methoden .....</i>	<i>53</i>
<i>Die Welt der Autofarben .....</i>	<i>68</i>

## Impressum

*Präsident* *Dr. Andreas Kraushaar*

*Telefon* 089/43182335

*E-Mail* [kraushaar@fogra.org](mailto:kraushaar@fogra.org)

*Vize-Präsident* *Prof. Dr. Christoph Schierz*

*Telefon* 03677/693731

*E-Mail* [Christoph.schierz@tu-ilmenau.de](mailto:Christoph.schierz@tu-ilmenau.de)

*Schatzmeister* *Dr. Carsten Steckert*

*Telefon* 030/6032554

*E-Mail* [Carsten.steckert@gmx.de](mailto:Carsten.steckert@gmx.de)

*Sekretärin* *Dr. Karin Bieske*

*Telefon* 03677/693737

*E-Mail* [Karin.bieske@tu-ilmenau.de](mailto:Karin.bieske@tu-ilmenau.de)

*Geschäftsstelle* *Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.*  
*(DfwG)*  
*c/o Technische Universität Ilmenau*  
*Fakultät für Maschinenbau*  
*Fachgebiet Lichttechnik*  
*Postfach 10 05 65*  
*D-98684 Ilmenau*

*Bankverbindung* *IBAN: DE81 1005 0000 2060 0235 83*

*Arbeitsgruppenleiter*

*Farbbildverarbeitung*

*Dr. Andreas Kraushaar*

*Telefon 089/43182335*

*E-Mail kraushaar@fogra.org*

*Farbmetrik und Grundlagen*

*PD Dr. habil. Peter Bodrogi*

*Telefon 06151/1675095*

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

*Fluoreszenz*

*Dr. Claudio Puebla*

*Telefon 07621/174729*

*E-Mail Claudio.puebla@axiphos.com*

*Multigeometrie*

*Dr. Alfred Schirmacher*

*Telefon 0531/592-4240*

*E-Mail Alfred.schirmacher@ptb.de*

*Internet*

*www.dfwg.de*

*ISSN 1860-2835*

*Verleger und Herausgeber*

*Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.*

*Vereinsregister*

*VR 4979 NZ, Amtsgericht Charlottenburg (Berlin)*

*Redaktion und Layout*

*Werner Rudolf Cramer*

*Druckbetreuung*

*Andreas Kraushaar*

*Titelfotos*

*Werner Rudolf Cramer*

*Für die Inhalte von fachlichen Artikeln sind die jeweiligen Autoren verantwortlich.*

### **Liebe Farbgemeinde,**

auch diese Zeilen entstehen erneut in Wohnraumarbeit. Obwohl mein Arbeitsalltag als Farbforscher in der Fogra schon wieder sehr an Prä-Corona erinnert, sind alle öffentlichkeitsrelevanten Aktivitäten ins Digitale verlagert. So auch, als Novum, unsere diesjährige Jahrestagung am 16.9.2020, doch dazu später mehr.

Bevor ich über unsere digitale Jahrestagung sowie die Inhalte dieses Reports informiere, muss ich der traurigen Aufgabe nachkommen, Ihnen den Tod von Herrn Reinhard Feld (X-Rite) mitzuteilen, der seit 1994 DfwG-Mitglied war. Er ist am 3.6.2020 verstorben. Ich bedanke mich herzlich bei Felix Schmollgruber, der ihm in diesem Report unseren Respekt und Dank für sein Lebenswerk ausdrückt.

Die vorliegende zweite Ausgabe des DfwG-Reports beginnt mit den Details zur kommenden Jahrestagung. Sie wird erstmalig rein online stattfinden und einen Tag von 10 Uhr bis 16 Uhr umfassen. Die Vorträge stehen fast alle fest und ich denke, es ist wieder ein spannendes Programm herausgekommen. Lesen Sie alle Details zur Anmeldung und zum Inhalt der beiden Themenblöcke sowie der Tagesordnung zur Mitgliederversammlung in dieser Ausgabe. Leider sind dieses Jahr keine Vorschläge für einen Förderpreis eingegangen, sodass wir heuer auf Preisträger verzichten müssen. Als Eichsfelder (Nordthüringen) ist "heuer" wahrscheinlich das einzige bayerische Wort, das mir ohne Überlegen über die Lippen bzw. über die Finger kommt.

Mit dem Ziel die finanzielle Situation unseres Vereins zu stabilisieren und junge Teilnehmer an der Teilnahme zu ermutigen wird auf die Verrechnung eines Beitrags zugunsten einer 100% freiwilligen Spende verzichtet. Somit kann jeder Farbforscher und jede Farbforscherin selber entscheiden, was in den aktuellen Zeiten möglich ist. Ich persönlich orientiere mich am üblichen Preis von 90€ für 2 Tage und werde 45€ spenden. Die Veranstaltung wird aufgezeichnet und wird dann allen Mitgliedern auf der neuen Webseite zur Verfügung stehen. Ich denke, dass ist eine gute Visitenkarte für unsere DfwG.

Zu Beginn dieses Reports berichtet Klaus Richter in seiner bekannten, kompakten Form über die Arbeiten der CIE in den für uns relevanten Bereichen der Divisionen 1

("Farbe und Sehen") und 8 ("Bildtechnologie"). Dem folgt ein Bericht über das AIC Mid-term Meeting 2019 aus Buenos Aires, Argentinien, bei dem auch Tango getanzt wurde.

Die Fachbeiträge umfassen die letzten Vorträge von der letztjährigen Jahrestagung in Leipzig. Es beginnt mit Nicole Stubenrauch von der TU-Ilmenau. Sie berichtet über die Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs. Ich kann an dieser Stelle nicht verschweigen, dass ich erfreut vor Ort feststellte, dass wir verwandt sind (unsere Großeltern waren Geschwister). Dem folgen abschließend zwei Themen, die hervorragend zeigen, dass Methoden der künstlichen Intelligenz bzw. des maschinellen Lernens perfekt in die Farbwissenschaft passen. Es sind Tarek Stiebel von der RWTH-Aachen und Julie Klein von der Fogra. Tarek Stiebel berichtet über eine theoretische Betrachtung der Bedeutung und Modellierung der Metamerie für die (Farb) Messtechnik. Frau Klein zeigt, dass mit KI-Methoden die farbmtrischen Charakterisierung (Profilierung) eines 3D-Scanners verbessert werden kann.

Zuletzt möchte ich noch auf ein neues Projekt des Deutschen Farbenzentrums und der Bergischen Universität Wuppertal hinweisen. Unter [www.colour.education](http://www.colour.education) finden Sie viele interessante Beiträge zur Farbe in all ihren interdisziplinären Spielarten.

Ich wünsche Ihnen liebe Mitglieder, dass Sie die Corona bedingten Einschränkungen, privater und geschäftlicher Art, weiter mit Geduld und soweit möglich frohen Gemüt aushalten und freue mich, Sie zahlreich zur Jahrestagung am 16.9 im "Chat-Fenster" zu begrüßen.

**Liebe Grüße**

**Andreas Kraushaar**



## Nachruf Reinhard Feld



### **Reinhard Theodor Feld** **(\*03.03.1956 †03.06.2020)**

*Senior Inside Sales Representative,  
Sales Central Europe*

**X-Rite Pantone: Dezember 1995 bis Juni 2020**  
*Mehrere Aufgaben in Vertrieb, Produkt Management  
und Anwendungstechnik*

**CAT Inc. Princeton, NJ, USA**  
*Sales Manager für EMEA*

**Brocolor GmbH, Marl 1991 - 1993**  
*Qualitätsicherung und Koloristik*

**Datacolor GmbH, ACS, Marl 1989 – 1991**  
*Applikations-Ingenieur*

In tiefer Trauer müssen wir Sie informieren, dass unser Freund und Kollege Reinhard Feld in der Nacht vom 3. Juni 2020 nach längerem Krebsleiden verstorben ist.

Sein Beitrag zum Geschäftserfolg von X-Rite drückt sich einerseits in der Länge seiner Karriere im Unternehmen von 25 Jahren und in der Vielfältigkeit seiner Tätigkeiten aus, die immer im Kundenfokus zu finden waren.

Reinhard startete 1995 bei X-Rite im Verkauf für Norddeutschland, spezialisierte sich rasch im Bereich der industriellen Farbmessung und dem Retail-Paint Bereich, als die Firma – auch durch seine hervorragende Arbeit – zu wachsen begann und wurde später auch noch mit der Betreuung der Vertriebspartner in der Türkei beauftragt.

Mit dem steigenden Erfolg in der Automobilindustrie durch die damals einzigartigen Mehrwinkel-Handmessgeräte eröffnete sich für Reinhard die Möglichkeit ins Produktmanagement für diesen Bereich zu wechseln. Reinhard's Kenntnis der Kundenbedürfnisse und seine strukturierte Art der Aufbereitung und Weitergabe dieser Informationen verhalf X-Rite zu einer Marktführerschaft in diesem Segment. Mit der Fusion von GretagMacbeth und X-Rite und der Markteinführung eines Mitbewerbsproduktes der Firma BYK-Gardner änderten sich Reinhard's Aufgabenbereiche und er wurde zum Applikations-Ingenieur für die industrielle Farbmessung in Zentraleuropa.

Nach über neun Jahren in dieser intensiven Aussendienst-Tätigkeit und mit steigendem Alter fiel ihm das lange Reisen mit dem Auto immer schwerer und aufgrund seines Wissens und seines Verkaufstalents konnte er bis zu guter Letzt im Vertriebs-Innendienst wertvolle Arbeit leisten und zudem noch zwei neue Kollegen im Verkauf und in der Anwendungstechnik hervorragend in Ihre Tätigkeit einführen.

Reinhard's besonderes Talent lag in der Anpassungsfähigkeit auf neue Situationen und Bedürfnisse und in der konsequenten Verfolgung seiner Ziele. Seine strukturierte Arbeitsweise und sein ausserordentliches Talent zur Erstellung strukturierter Dokumentationen zu Themen des Vertriebs – wie Marktanalysen oder Segmentübersichten – oder zu technischen Themen der Anwendungstechnik – wie Konfigurationshandbücher oder Trainingsdokumentationen – hinterlassen uns einen Fundus, von dem wir noch lange profitieren werden.

Reinhard's «Drive» und Leidenschaft für die Farbmessung und die Bedürfnisse unserer Kunden werden uns fehlen.

Franz-Josef Eilerts  
Sales Director Print & Packaging EMEA

Felix Schmollgruber  
Manager Application Engineering EMEA



MA98 Launch Event, Hockenheimring, 2010



Reinhard als Gast auf der K-Show in Düsseldorf  
Oktober 2019

## Aktuelles Programm der DfwG-Jahrestagung 2020

Online-Veranstaltung. Anmeldung auf [www.dfwg.de](http://www.dfwg.de) oder  
direkt hier: <https://register.gotowebinar.com/register/8683426473381464846>

### **Programm Mittwoch, 16. September 2020**

- 10.00 Eröffnung der Jahrestagung A. Kraushaar
- 10.10 Marco Mattuschka, Fogra  
Objektive Bewertung der Separationsgüte bildhafter Motive im Mehrfarbendruck
- 10:40 Sebastian Babilon, TU Darmstadt  
Eine neue Metrik für die gedächtnisfarbenbasierte Bewertung von Lichtquellen
- 11:10 Werner Rudolf Cramer, Münster  
Berechnung der Farbe - Aus Lichtstrahlen werden Empfindungen
- 11:40 Manuel Spitschan, University of Oxford  
Thema wird noch bekanntgegeben

### **12.10 bis 13.00 Mittagspause**

- 13:00 *Christian Dietz, Konica Minolta & Donatela Saric, Fogra*  
*Stand der AG-Appearance (ca. 5 min) & Teil 1: Feature-Vergleich von fünf Appearance Messgeräten*
- 13:30 *Felix Schmollgruber, X-Rite*  
*Quo Vadis: Total Appearance Capture*
- 14:00 *Sandra Weixel, BYK*  
*Neue Technologie zur objektiven Beurteilung der Gesamtwahrnehmung von strukturierten Oberflächen (spectro2profiler)*
- 14:30 *Michael Becker, Jürgen Neumeier, Instrument Systems*  
*Reproduzierbare Charakterisierung von nützlichen und störenden Reflexionen - von bedrucktem Papier zu emittierenden elektro-optischen Anzeigen.*  
*Eine Implementierung der Methode von Sharp-Little aus dem Jahr 1920.*
- 15:00 *Pause*
- 15:30 *DfwG-Mitgliederversammlung*

### **Tagesordnung der Mitgliederversammlung:**

1. Genehmigung der Tagesordnung
2. Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung 2019
3. Bericht des Präsidenten
4. Vorstellung der neuen Webseite
5. Kassenbericht 2019 des Schatzmeisters
6. Bericht der Kassenprüfer
7. Bericht der Sekretärin
8. Entlastung des Vorstandes für das Geschäftsjahr 2019
9. Verschiedenes
10. Termin und Tagungsort der nächsten Mitgliederversammlungen

---

16:30      Ende der Jahrestagung

Dieses Jahr sind keine physischen Treffen der Arbeitsgruppen mehr geplant.

## Vortragskurzfassungen, Mittwoch, 16. September 2020

Stand: 7.8.2020

### Objektive Bewertung der Separationsgüte bildhafter Motive im Mehrfarbendruck

Marco Mattuschka, [Mattuschka@fogra.org](mailto:Mattuschka@fogra.org)

Fogra, Einsteinring 1a, 85609 Aschheim bei München

Wird der konventionelle 4-Farbdruck (CMYK) um weitere Prozessfarben mit gleicher Priorität erweitert, spricht man vom Mehrfarbendruck (auch ECG, extended colour gamut). Dadurch kann zwar ein größerer Farbraum gedruckt werden (Gamut), aber die Komplexität für die Separation von In-Gamut-Farben nimmt enorm zu. Generell ist die Farbseparation, selbst für 4 Prozessfarben, ein überbestimmtes Problem und kann nur durch eine Randbedingung eindeutig beschrieben werden ("Schwarzaufbau"). Um die Frage nach der Bewertung einer "guten Separation" bildhafter Motive zu beantworten, wurde im laufenden Forschungsvorhaben ein umfassender Ansatz entwickelt. Im Vortrag wird der Ansatz, das zugrunde liegenden psychophysische Experiment sowie der Bewertungsalgorithmus vorgestellt.

### Eine neue Metrik für die gedächtnisfarbenbasierte Bewertung von Lichtquellen

Dr.-Ing. Sebastian Babilon, [babilon@lichttechnik.tu-darmstadt.de](mailto:babilon@lichttechnik.tu-darmstadt.de)

TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt

Bei der Bewertung der Farbwiedergabe von Weißlichtquellen hinsichtlich visueller Präferenz hat sich das Konzept der Gedächtnisfarben als vielversprechender Ansatz erweisen, der, im Vergleich zu alternativen Farbpräferenzmetriken, ohne die künstliche Einführung einer Referenzlichtquelle auskommt. Bisherige, der Literatur zu entnehmende gedächtnisfarbenbasierte Farbqualitätsmetriken lassen bei näherer Betrachtung allerdings einige Nachteile in ihrer grundsätzlichen Konzeptionierung erkennen. Aus diesem Grund wurde im Zuge unserer aktuellen Forschung eine neue Probandenstudie erarbeitet, deren Hauptziel es war, eine verbesserte Version einer gedächtnisfarbenbasierten Farbqualitätsmetrik zur Bewertung der Farbpräferenz von Lichtquellen abzuleiten. Dieser sogenannte „Memory Color Preference Index“ (MCPI) basiert im Grunde genommen auf der Bewertung der Ähnlichkeit zwischen der Farberscheinung einer Auswahl an Testobjekten, die von einer beliebigen, zu evaluierenden Lichtquelle be-

leuchtet werden, und der jeweiligen Vorstellung, wie diese Objekte bei gegebener Adaptation für den Beobachter idealerweise auszusehen haben. Der Grad dieser Ähnlichkeit wird mit Hilfe von multivariaten Gauß-Verteilungen ermittelt, deren bestimmende Parameter für jedes der Testobjekte anhand der im Rahmen der Probandenstudie erhobenen Farberscheinungsbewertungen ermittelt wurden. Zusätzlich zum Einfluss unterschiedlicher Adaptationsbedingungen wurde außerdem durch Vergleich Chinesischer und Deutscher Probanden untersucht, inwieweit der kulturelle Hintergrund eine Auswirkung auf diese Farberscheinungsbewertungen und damit auf die schlussendliche MCPI Definition hat. Im Rahmen einer umfassenden Meta-Korrelationsanalyse konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass die unterschiedlichen MCPI Versionen (kulturell-spezifisch vs. global) studienübergreifend signifikant besser mit den visuellen Farbpräferenzbewertungen unterschiedlicher Lichtsituationen korrelieren als bisherige, aus der Literatur bekannte alternative Ansätze.

### **Berechnung der Farbe - Aus Lichtstrahlen werden Empfindungen**

Werner Rudolf Cramer, [wrcramer@muenster.de](mailto:wrcramer@muenster.de)

Hafenweg 22, D-48155 Münster

Viele Künstler und Forscher haben sich über Jahrhunderte an einer Ordnung oder Sammlung von Farben gemacht. Johann Wolfgang Goethe war einer der bekanntesten, der mit seiner Veröffentlichung „Zur Farbenlehre“ bis heute die Farbenwelt beeinflusst. Allerdings haben seine Ausführungen einen entscheidenden Nachteil: Sie beschreiben die Verhältnisse beim Farbmischen. Diese haben aber nichts mit unserem Farbsehen zu tun!

Hermann von Helmholtz und Thomas Young entwickelten im 19. Jahrhundert die Dreifarbenlehre, die von drei Grundfarben Blau, Grün und Rot ausgeht. Entsprechend postulierte Helmholtz drei Rezeptorentypen im Auge.

Im Gegensatz zur Dreifarbenlehre veröffentlichte Ewald Hering im gleichen Jahrhundert seine Vierfarbenlehre beruhend auf den Gegenfarbpaaren Gelb – Blau und Rot – Grün. Diese Theorie stimmt mit den Farbempfindungen überein, dass kein Gelb bläulich und kein Blau gelblich sein kann. Das Gleiche gilt für Grün und Rot.



Johannes von Kries entwickelte aus beiden Theorien die Zonentheorie und löste so den Widerspruch zwischen ihnen.

Diese theoretischen Ansätze waren Basis für die Versuche zum Normalbeobachter, deren Ergebnisse im Jahre 1931 von der CIE veröffentlicht wurden. Sie brachten den entscheidenden Schritt für die Umrechnung physikalischer Messwerte in physiologische Farbwerte. Heute liefern die Messgeräte und ihre Software automatisch die Farbwerte nach einer Messung. In diesem Vortrag soll der Weg zu den Farbwerten schrittweise nachvollzogen werden.

## **Neue Technologie zur objektiven Beurteilung der Gesamtwahrnehmung von strukturierten Oberflächen**

Sandra Weixel, [Sandra.Weixel@altana.com](mailto:Sandra.Weixel@altana.com)  
BYK-Gardner GmbH, Lausitzer Strasse 8, 82538 Geretsried

Ein einheitliches Aussehen ist für viele Produkte ein wichtiges Qualitätskriterium. Die Materialwahl und Prozessschwankungen beeinflussen die Oberflächenqualität. Zum Beispiel ist die Zellgröße von Pulverbeschichtungen stark von Schichtdicke und Aushärtebedingungen abhängig. Ein weiteres Beispiel sind Kunststoffspritzgussanwendungen, bei denen sich Schwankungen des Werkzeugdrucks und der Temperatur in Glanz- und Kontrastschwankungen zeigen.

Bisher war die visuelle Beurteilung die einzige Möglichkeit, eine ganzheitliche Aussage über eine strukturierte Oberfläche einschließlich Farb- und Glanzbewertung abzugeben. Die jüngsten Entwicklungen von Farb- und Glanzmessgeräten haben die Qualitätskontrolle deutlich verbessert, zeigen jedoch nicht die Auswirkungen von Strukturvariationen oder komplexen Glanzverhaltens von 3D-Oberflächen. Daher werden zu Forschungszwecken 3D-Mikroskope verwendet, um detaillierte Informationen über die Oberflächenstruktur zu erhalten. Sie sind jedoch nicht für eine schnelle und einfache Analyse zur Produktionskontrolle geeignet. Mit der bahnbrechenden Technologie des neuen spectro2profiler können jetzt Farbe, Glanz, 2D-Reflektionsvermögen und 3D-Topographie mit einem robusten und portablen Messgerät in Sekundenschnelle ganzheitlich erfasst und ausgewertet werden.

Aufgrund hervorragender technischer Eigenschaften bezüglich Wiederholbarkeit und Geräte-übereinstimmung können digitale Standards als Referenz verwendet werden und ermöglichen so eine reibungslose Kommunikation innerhalb der globalen Lieferkette.

1/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019  
**Farbthemen in der CIE und Anwendungen**



[http://farbe.li.tu-berlin.de/\\_DfwGD\\_19.PDF](http://farbe.li.tu-berlin.de/_DfwGD_19.PDF) oder [http://farbe.li.tu-berlin.de/\\_DfwGE\\_19.PDF](http://farbe.li.tu-berlin.de/_DfwGE_19.PDF)

### 1. Zusammenfassung

Die internationale Beleuchtungskommission (CIE) publiziert Technische Berichte und Normen in der Division 1 *Farbe und Sehen* sowie der Division 8 *Bildtechnologie*. Arbeiten der letzten vier Jahre wurden auf der CIE-Tagung in Washington 2019 vorgestellt und Trends diskutiert.

#### Tagung der CIE Division 1 *Farbe und Sehen (Colour and Vision)*

Etwa 40 Teilnehmer vertraten 20 Mitgliedsländer der CIE Division 1. Diese wird seit 2015 von Frau Kwak (Korea) geleitet. Die nächste Tagung ist in Honkong im April 2020 geplant.

In den letzten 4 Jahren wurden zwei CIE-Gremien für neue technische Berichte gegründet:

JTC-16 (D1/D8) *Validity of chromatic adaptation*.

JTC-17 (D1/D2/D8) *Gloss measurement and gloss perception: A framework for the definition and standardization of visual cues to gloss*.

Es wurden 4 Technische Berichte aus dem Farbbereich veröffentlicht:

CIE 230:2019 *Validity of Formulae for Predicting Small Colour Differences*,

CIE 015:2018 *Colorimetry, 4th Edition*.

CIE 224:2017 *CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use*.

CIE 217:2016 *Recommended Method for Evaluating the Performance of Colour-Difference Formulae*.

#### Tagung der CIE Division 8 *Bildverarbeitung (Image Technology)*

Unter Leitung von *Po-Chieh Hung* (USA) wurde folgender Technische Bericht veröffentlicht:

CIE 223:2017 *Multispectral Image Formats*.

Anmerkungen:

2/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



Der Reportership Bericht CIE R8-09:2015 *Output Linearization Methods for Displays and Printers* an dem Mitarbeiter aus sechs Ländern beteiligt waren, ist als internes CIE-Dokument nur für Mitglieder der CIE Division 8 erhältlich. Die ISO-Anwendung wird in Abschnitt 3 beschrieben.

Die Division 1 nennt die ISO-Liaison Komitees nicht mehr auf ihrer Webseite. Diese Webseite enthielt bis 2018 Links zu öffentlichen Reportership-Berichten, z. B. zu CIE R1-47 *Hue Angles of Elementary Colours* und R1-57 *Border between Luminous and Blackish Colours* von *Thorstein Seim* (Norwegen). Diese Links wurden auf der CIE-Webseite gelöscht. Bild 15 nennt Links für die weitere Verfügbarkeit und Anwendung, zum Beispiel in bestehenden DIN- und ISO-Normen.

### 2. Besonderer Bericht zur Güte von Farbdabstandsformeln

CIE 230 befasst sich mit der Güte von Farbdabstandsformeln, die auf experimentellen Ergebnissen zur visuellen Farbdabstandsbewertung beruhen. Der Bericht beschäftigt sich mit kleinen Farbdabständen von aneinandergrenzenden Farben. Visuelle Bewertungen ( $\Delta V$ ) werden mit berechneten Farbdifferenzen ( $\Delta E$ ) für fünf Farbdabstandsformeln verglichen: CIELAB, CMC, LABJND, CIE94 und CIEDE2000. Eine Potenzfunktion-(PF)-Korrektur dieser Formeln ist eingeschlossen. Der STRESS-Index wird benutzt, um die Güte der Farbdabstandsformeln ohne und mit der Potenzfunktions-Korrektur zu testen.

Zusätzlich zum COM-Datensatz, der für die Entwicklung von CIEDE2000 benutzt wurde, werden neun neue Datensätze in diesem Bericht benutzt (mit besonderem Schwerpunkt von Farbdifferenzen unterhalb von 2 CIELAB-Einheiten). Die 13 Datensätze können vom CIE-Server heruntergeladen werden, siehe [http://files.cie.co.at/TC181\\_Datasets.zip](http://files.cie.co.at/TC181_Datasets.zip)

Verglichen mit der Originalformel CIEDE2000 ohne Potenzfunktion gibt die Formel CIEDE2000 mit Potenzfunktion (CIEDE2000\_PF) die besseren Ergebnisse. Aus diesem Grunde empfiehlt dieser CIE-Bericht die Formel CIEDE2000\_PF zur Vorhersage von Farbdifferenzen im Bereich 0,0 bis 5,0 CIELAB-Einheiten. Die LABJND Farbdabstandsformel mit Potenzfunktion-Korrektur (LABJND\_PF) erzeugt gute Resultate für visuelle Datensätze mit einem mittleren Farbdabstand unter 1,0 CIELAB-Einheiten.



3/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019  
 Die LABJND-Formel von K. Richter (1985) basiert auf dem logarithmischen Weber-Fechner-Gesetz für aneinandergrenzende Farben. Die CIELAB-Formel benutzt das Stevens-Potenzgesetz mit dem Exponenten 1/3. Die CIELAB-Formel wurde zunächst für separat liegende Farbmuster auf grauer Umgebung entwickelt. Die CIEDE2000-Formel und alle anderen Formeln sind Modifikationen von CIELAB, siehe z. B. <http://farbe.li.tu-berlin.de/BUA4BF.PDF>

Das Interesse zur Mitarbeit an Dokumenten der CIE-Divisionen 1 und 8 hat sehr nachgelassen. Während bis 2011 oft 20 oder mehr Mitarbeiter an den Technischen Sitzungen teilnahmen, waren es in Washington oft nur wenige.

Die Erstellung von zum Beispiel CIE 230:2019 hat nach der einstimmigen Verabschiedung der CD in 2015 durch Mitarbeiter aus 5 Ländern noch 3 Jahre anstelle von einigen Monaten gedauert. Gründe sind aus meiner Sicht:

1. die lange Bearbeitungszeit von einzelnen CIE-Mitarbeitern (bis zu 16 anstelle von 4 Wochen).
2. die lange Bearbeitungszeit von CIE CB (bis zu 7 anstelle von 2 Monaten).
3. die weiter geforderte Einstimmigkeit von CIE CB auch nach der einstimmigen CD in 2015.
4. CIE CB akzeptiert keine EPS-Vektorfarbgrafiken (wie ISO und DIN) im Bereich Farbe.

Wegen dieser vier Schwierigkeiten wurde die Weiterarbeit an einem Working Draft (2015) von CIE TC1-63 über die Güte von Farbdifferenzformeln für grosse Farbabstände eingestellt.

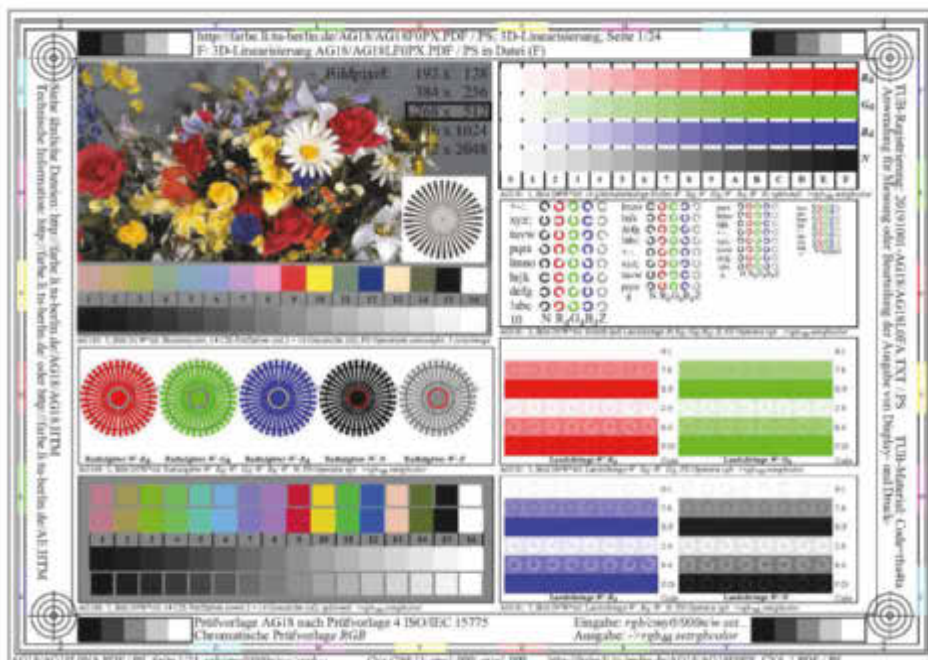
Der Reportership-Bericht CIE R8-09:2015 *Output Linearization Methods for Displays and Printers* hat mit zur Anwendung in ISO 9241-306:2018 (60 Seiten) für die Bildschirmausgabe am Arbeitsplatz geführt. Der technische Inhalt von CIE R8-09 ist im Internet verfügbar, siehe [http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16\\_01.PDF](http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16_01.PDF)

Im folgenden wird diese Anwendung von CIE R8-09 in ISO 9241-306 vorgestellt. Diese ISO-Norm für die Farbausgabe auf Displays am Arbeitsplatz benutzt auch die Elementarfarbausgabe nach CIE R1-47.

4/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



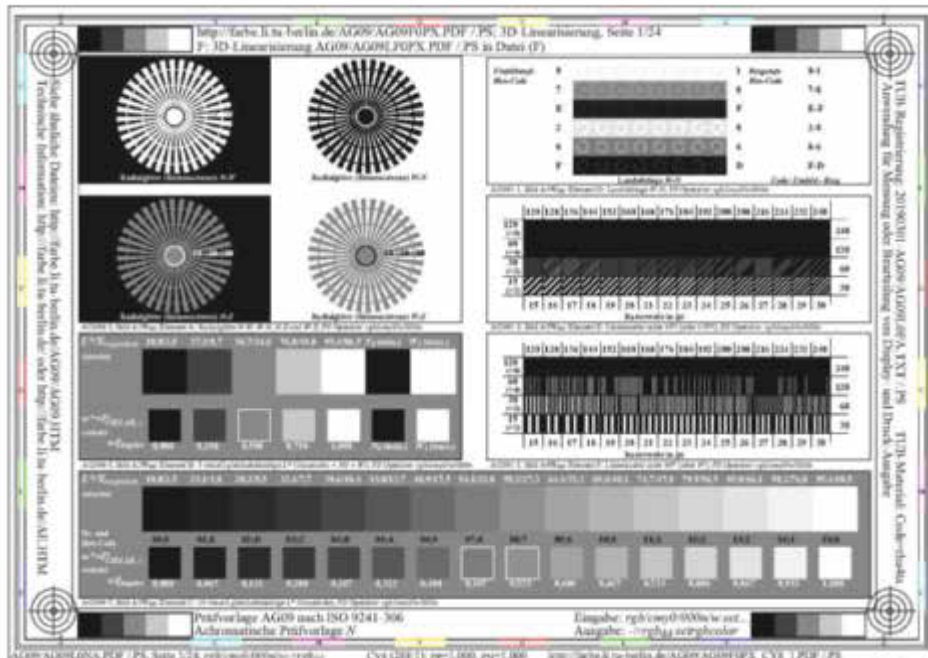
### 3. Einführung Displayausgabe



**Bild 1: Displayausgabe ähnlich der chromatischen Prüfvorlage AG18 nach ISO 9241-306**  
 Bild 1 zeigt oben eine URL zum Herunterladen dieser Referenz Prüfvorlage für 8 Kontrastbedingungen.

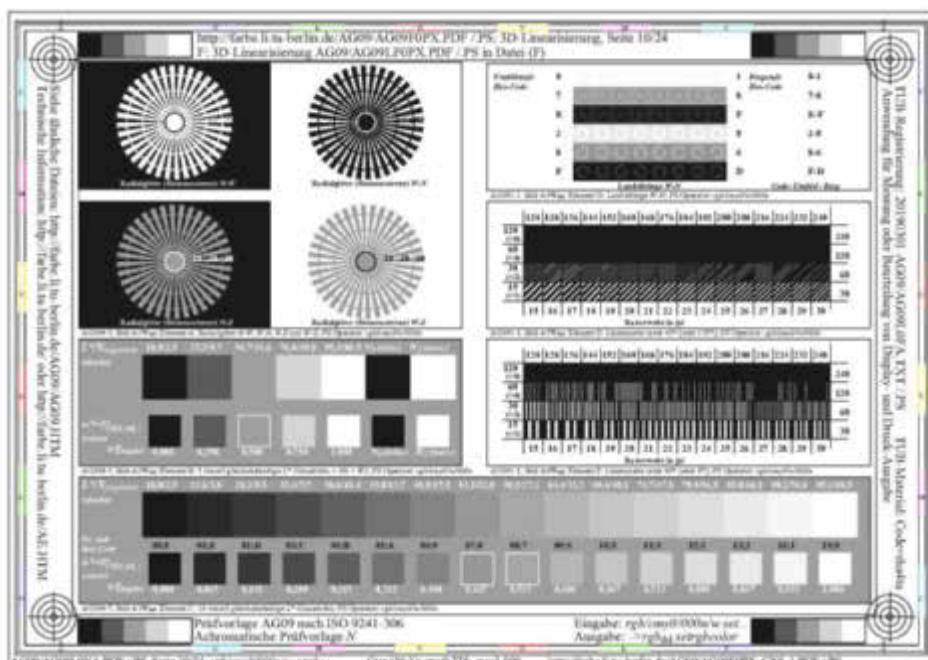


5/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



**Bild 2: Displayausgabe ähnlich der achromatischen Prüfvorlage AG09 nach ISO 9241-306**  
 Bild 2 zeigt oben die URL zum Herunterladen dieser Prüfvorlage für 8 Kontrastbedingungen. Nur eine dieser 8 Seiten erfüllt gewöhnlich die Bedingung zur Unterscheidung aller 16 Graustufen.

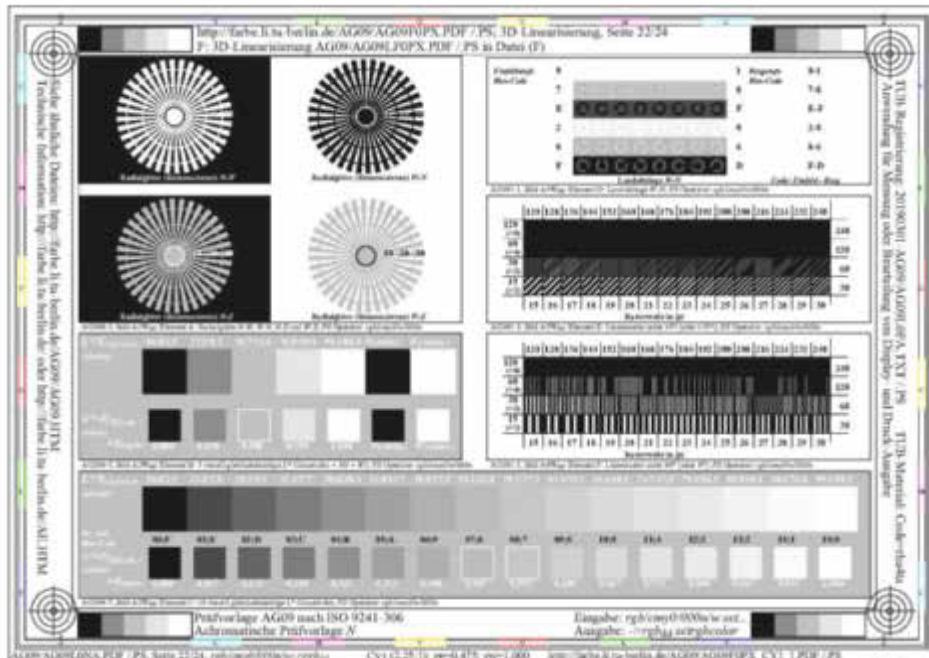
6/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



**Bild 3: Displayausgabe ähnlich der achromatischen Prüfvorlage AG09 nach ISO 9241-306**  
 Die hier dargestellte Seite zeigt gewöhnlich eine gleichabständige Unterscheidung aller 16 Graustufen für etwa 2,5%-Reflektion des Umgebungslichtes im Büro am Bildschirm.



7/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



**Bild 4: Displayausgabe ähnlich der achromatischen Prüfvorlage AG09 nach ISO 9241-306**  
 Die Seite zeigt gewöhnlich eine gleichabständige Unterscheidung aller 16 Graustufen, wenn z. B. bei Datenprojektoren die Leuchtdichte von Projektor und Tageslicht am Display gleich ist.

8/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



**Bild 5: Displayausgabe einer chromatischen Prüfvorlage AG49**  
 Bild 5 zeigt 729 (=9x9x9) Farben mit gleichabständigen Stufen, 243 Farben von gegenfarbigen Bunttönen, 9- und 16-stufige Grauskalen sowie 8 Grundfarben mit besonderen Ausgabezielen.



4. Kontraste am Display-Arbeitsplatz im Dunkelraum, im Büro und bei Datenprojektoren

Kontraststufe $C_{Yl}$ , siehe ISO 9241-306 <sup>1)</sup>		
Kontrast-Stufe $C_{Yl}$ ( $i=1 \dots 8$ ) und $F$ - Verhältnis $C_{Yl} : F_W : F_N$	CIE-Norm-Farbwert; Verhältnis Weiß $W$ und Schwarz $N$ $F_W : F_N$	Papier (S)- Leuchtdichte <sup>2)</sup> ; Verhältnis $L_{WS} : L_{NS}$
$C_{Y8} 288 : 1$	88,9 : 0,31	142 : 142/288
$C_{Y5} 36 : 1$	88,9 : 2,50	142 : 142/36
$C_{Y1} 2,25 : 1$	88,9 : 40,0	142 : 142/2,25

<sup>1)</sup> <http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/index.html>  
30661: 19

Digitale $rgb$ -Exponentialtransformation und Messdaten der drei Displayausgaben				
ISO-Farben in A049 Name	Position	Seite 1 $C_{Y8}=288:1$ ( $r, g, b$ ) <sup>1,000</sup>	Seite 4 $C_{Y5}=36:1$ ( $r, g, b$ ) <sup>0,775</sup>	Seite 8 $C_{Y1}=2,25:1$ ( $r, g, b$ ) <sup>0,475</sup>
Weiß $W$	(01,b)	1,00 1,00 1,00	1,00 1,00 1,00	1,00 1,00 1,00
Hellrot $R_{Wd}$	(01,f)	1,00 0,50 0,50	1,00 0,58 0,58	1,00 0,72 0,72
Rot $R$	(01,j)	1,00 0,00 0,00	1,00 0,00 0,00	1,00 0,01 0,00
Dunkelrot $R_{Nd}$	(05,j)	0,50 0,00 0,00	0,58 0,00 0,00	0,72 0,01 0,01
Schwarz $N_d$	(09,j)	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	0,01 0,01 0,01

Ein Software- oder Hardware-Raster-Image-Processor (RIP) ändert die ( $r, g, b$ )-Daten von Seite 1 durch einen Exponenten  $n$  für die Displayausgabe. Acht Exponenten benutzt die ISO-Datei:  
<http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/AG49/AG49F010.PDF>  
30661: 19

Bild 6: Drei Kontraststufen und Gammawerte zur Änderung der  $rgb$ -Daten

Die Tabelle zeigt links drei Kontraststufen  $C_{Y8}$ , 5 und 1 der Displayausgabe. Rechts ergeben sich durch eine Exponentialfunktion geänderten  $rgb$ -Daten, die für die visuelle gleichabständige Ausgabe notwendig sind.

Das folgenden Bild 7 ist eine Teilausgabe (Spalten  $b$  bis  $n$ ) von Bild 5.

Der linke Teil von Bild 7 zeigt die erwartete Ausgabe (nur  $rgb$ -Dateidaten werden benutzt).

Der mittlere Teil von Bild 7 zeigt eine Ausgabe der äquivalenten  $PS$ -Datei anstelle der  $PDF$ -Datei mit der Software *Mac Preview*. *Adobe Distiller* hat eine Option *Glättung (Ja/Nein)*. Bei *Mac Preview* fehlt diese Option und *Glättung* ist voreingestellt, siehe geglätteter mittlerer Teil von Bild 7 auch mit Artefakten.

Auch der rechte Teil von Bild 7 zeigt eine Teilausgabe von Bild 5, das 1080 Farben enthält. Das Farbproblem entsteht weitgehend durch eine *Anticopy-Software*, die mit der seit 20 Jahren eingesetzten *EPS*-Vektorgrafik von *Adobe* nicht kompatibel ist. Das Beispiel ist in einem Normungsworkflow entstanden und verhindert aus meiner Sicht die Überarbeitung und neue Normung im Bereich Farbe, falls Farbvektorgrafiken z. B. für Erkennbarkeit notwendig sind.



5. Probleme und affine Transformationen

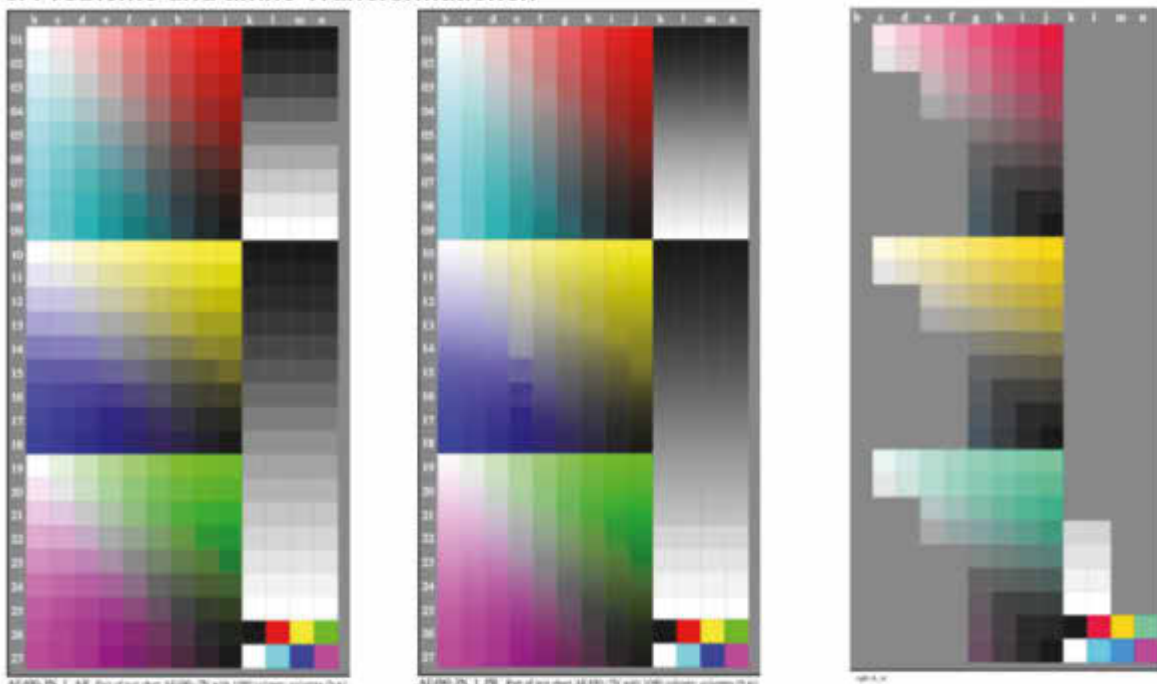
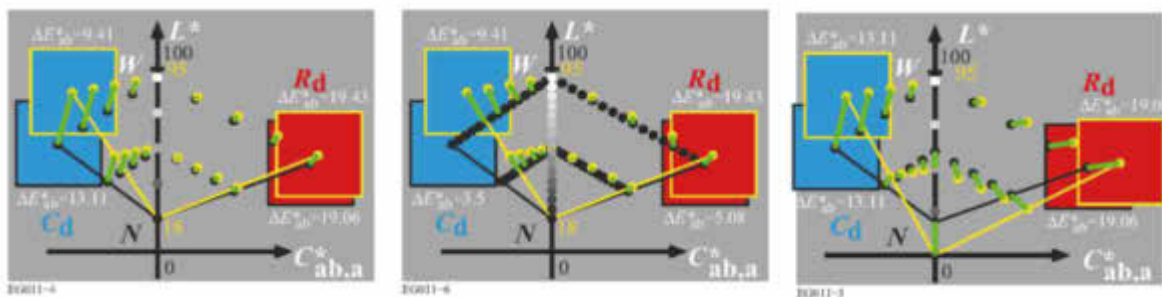


Bild 7: Displayausgabe von Bild 5 mit 351 Farben, definiert mit  $rgb$ -Farbdaten

Die 3 Bilder zeigen Ausgaben der Farben der Zeilen 1 bis 27 und der Spalten  $k$  bis  $n$  von Bild 5.



**Figure 8: 16stufige Bunttonkreisausgabe mit Adobe Reader und Adobe FrameMaker**  
 Bild 8 enthält Farbdaten  $rgb$  und  $cmY0$  (innerer Kreis), die nach der 1-Minus-Relation berechnet sind. Im mittleren und rechten Bild sollten die  $rgb$ -Daten auf einem  $S_{rgb}$ -Bildschirm die CIELAB-Bunttonwinkel  $h_{ab} = 26, 92, 152$  und  $272$  ergeben. Die Ausgabe der  $rgb$  und  $cmY0$ -Daten ist mit *Adobe Reader* (links und in der Mitte) verschieden und mit *Adobe FrameMaker* (rechts) gleich. Die rechte Ausgabe wird farbmetrisch und von der PS-Programmiersprache *PostScript* erwartet. Ähnlich ist es auf einem *PostScript*-Drucker der Firma *OKI*, wenn die Option *Farbmanagement OFF* verwendet wird. Jedoch sind die Ausgaben (links und Mitte) von *Adobe Reader* am Display und mit der Option *Farbmanagement OFF* am *OKI*-Drucker mit den  $rgb$  und  $cmY0$ -Daten verschieden. Für den Benutzer ist diese Vielfalt verwirrend und Normung ist erforderlich.



**Bild 9: Affine Transformation von Farben in CIELAB-Bunttonebenen**  
 Die Farben in den Bunttonebenen von Druck und Display haben unterschiedlichen Umfang in der CIELAB Buntheit  $C^*_{ab}$ . Die dargestellte affine Transformation ist eindeutig definiert. Sie ist hier nur für den gleichen Bereich  $L^* = 18$  bis  $L^* = 95$  dargestellt.  
 Die Transformation rechts mit dem Ziel möglichst gleicher CIELAB-Farbwerte im Druck und am Display schneidet viele Bereiche ab. Es gibt viele Lösungen mit Glättungskompromissen, die mit ICC-Farbprofilen angestrebt werden und oft nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führen. Farbprofile mit der affinen Transformation in der Mitte wurden zum **Druck des Farbatlasses RECS (Relatives Elementarfarbsystem)** mit über 2000 Farbmustern eingesetzt.

Ein Software- oder Hardware-RIP (*Raster Image Processor*) erlaubt die Transformation von 16 Millionen ( $256 \times 256 \times 256$ )  $rgb$ -Eingabewerten in neue  $rgb'$ -Ausgabewerte. Die eindeutige Transformation benutzt den Eingabewert als Index und findet so schnell der Ausgabewert. Für der Druck von *RECS* wurde eine *geeignete feste* Transformation von  $rgb$  nach  $cmYk$  benutzt, welche schon die Erstausgabe der 729 Farben der ISO-Prüfvorlage AG49 enthielt. Diese Transformation wurde beim linearisierten Druck des Farbatlasses *RECS* beibehalten.



13/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019  
 6. Ergonomie der Bildschirmausgabe, Zusammenarbeit CIE-ISO

**Beschluss 31/2007 ISO TC159/SC4/WG2**  
*Ergonomie – Visuelle Displayanforderungen*

ISO TC159/SC4/WG2 realizes that the colour spaces CIELAB and CIELUV of *CIE Division 1* will soon become ISO/CIE standards. In applications we use these CIE colour spaces and *device-dependent* relative RGB colour spaces. For users of visual display systems a *device-independent* RGB colour space is useful. This produces via software the elementary hues Red, Green and Blue for the RGB data 100, 010 and 001 and equally spaced output in CIE colour spaces for equally spaced RGB input. We recommend that *CIE Division 1* study the colorimetric definition of such a space, which can be used in visual display applications.

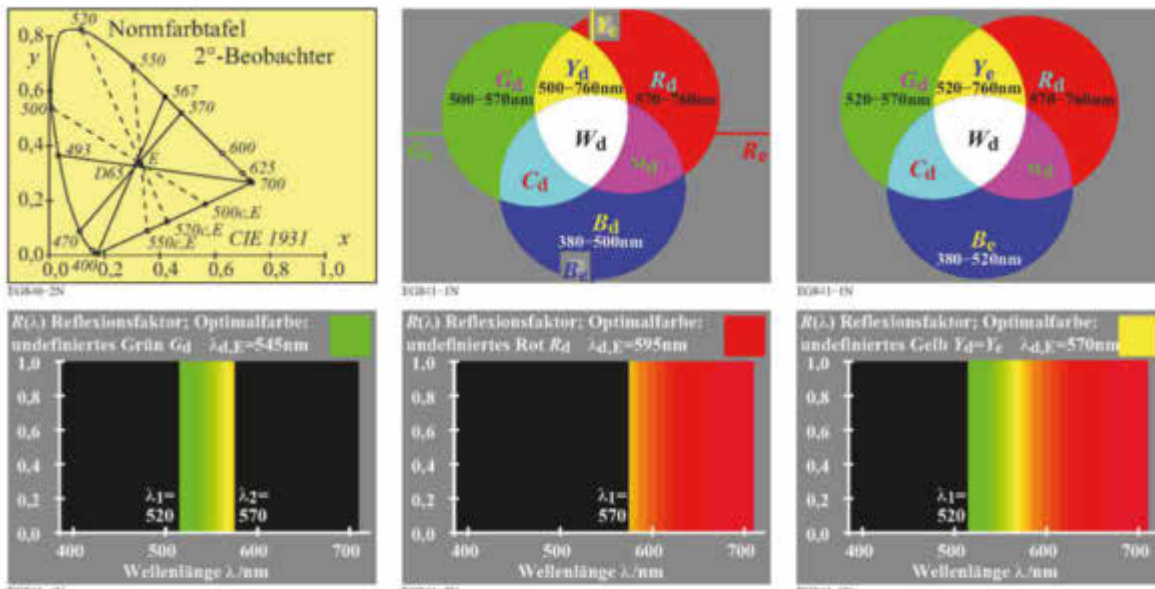
*Remark: We have realized that an example colour space of this type is published in CIE X030:2006, p. 139–144.*  
*Bemerkung: Für diesen Tabellentext vergleiche Seite 2 des Dokumentes CIE R1–47, siehe <http://files.cie.co.at/526.pdf>*



**Bild 10: Ergonomische visuelle Displayanforderungen zur Produktion von Elementarfarben**

CIE R1-47 definiert die CIELAB-Bunttonwinkel  $h_{ab}=26, 92, 162$  und  $272$  für  $R_e, Y_e, G_e$  und  $B_e$ .

14/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



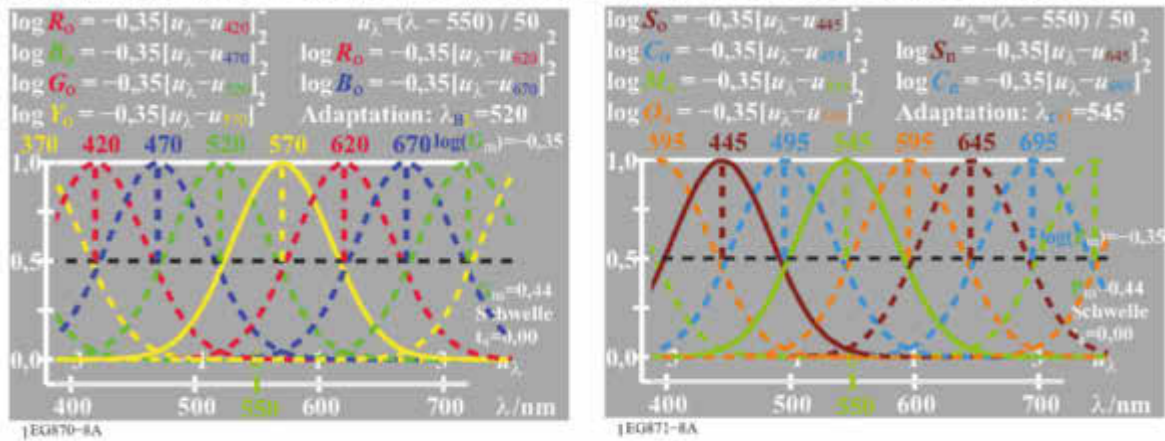
**Bild 11: Mischung der Elementarfarbe  $Y_e$  aus zwei Optimalfarben  $G_d$  und  $R_d$**

Bild 11 zeigt die Mischung komplementärer Optimalfarben in der Normfarbtafel. Die Mischungen links und rechts von Geraden zum Beispiel durch die Farbart D65 mischen sich zu Weiß. Die Elementarfarbe Gelb  $Y_e$  mit der buntongleichen Wellenlänge 570nm entspricht aus einer Mischung des Spektralbereichs 520nm bis 760nm. Dieser besteht aus den Farben  $G_d$  und  $R_d$ . CIE R1-47 empfiehlt die CIE-Testfarben Nr. 9 bis 12 von CIE 13.3 für die  $h_{ab}$ -Definition.



15/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019

7. Empfindlichkeiten von drei LMS-Rezeptoren und von berechneten LMS-Rezeptoren

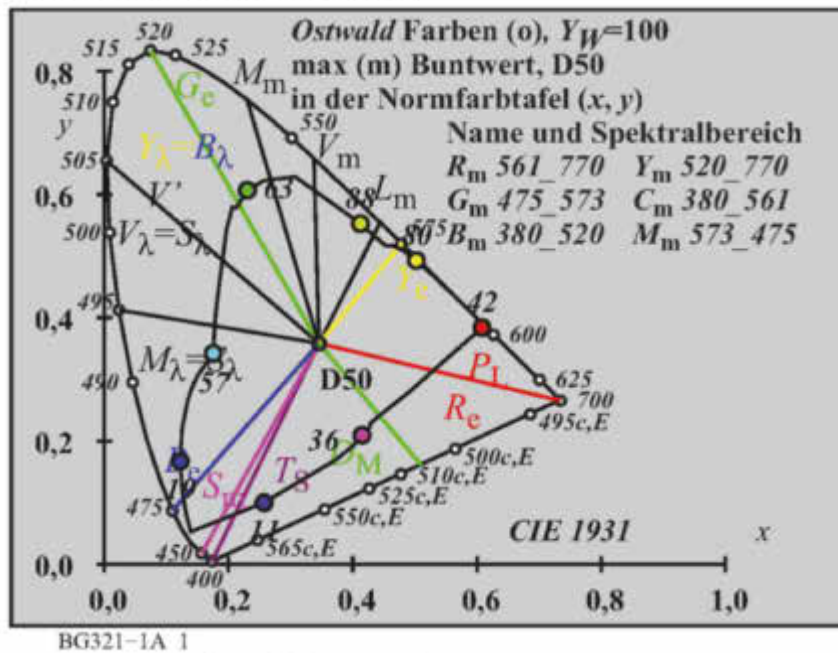


**Bild 12: Modellempfindlichkeiten L(570nm), M(545nm), und S(445nm) von gleicher Form.** Die LMS-Modellempfindlichkeiten stimmen angenähert mit denen von CIE170-2 überein. Bild 12 zeigt zwei Klassen von Empfindlichkeiten gleicher Bandbreite (100nm) mit Maxima bei 420, 470, 520 und 570nm sowie um 25nm verschoben bei 445, 495, 545 und 595nm. Die Formeln zur Berechnung sind im Bild angegeben. Die Farben sind entsprechend den Elementarfarben und ihren Zwischenfarben gewählt. Die Buntonlage entspricht Bild 10. Von besonderer Bedeutung sind die Gegenfarben, z. B. Gelb und Blau. Ihre Farbwerte sind angenähert antisymmetrisch entsprechend der 1-Minus-Beziehung (1MR), zum Beispiel  $C=1-R$ . Alle Modellempfindlichkeiten berechnen sich durch *logarithmische* oder *lineare Summen* oder *Differenzen* der LMS-Modellempfindlichkeiten. Dies ergibt eine besondere Farbmatrik.

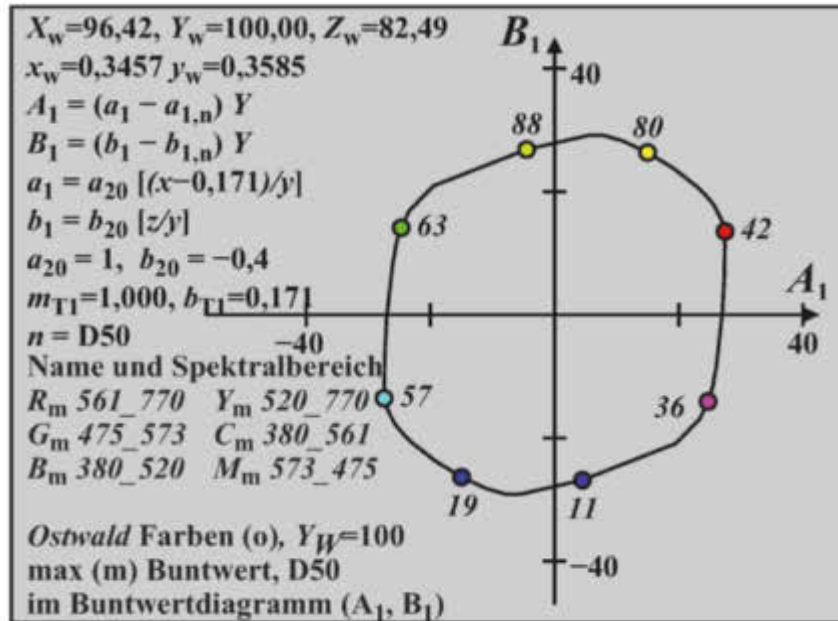
16/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



8. Besondere Farbmatrik der Ostwald-Farben



**Bild 13: Normfarbtafel mit Ostwald-Optimalfarben; (L,M,S)m; Fehlsichtigkeitsgeraden** Bild 13 zeigt einen Ostwald-Buntonkreis von Optimalfarben. Die maximalen Empfindlichkeiten (L, M, S)m und Verwechslungsgeraden der Farbenfehlsichtigkeiten PL und TS sind angegeben.



BG321-3A 1

**Bild 14: Buntwerte der Ostwald-Optimalfarben (Farbenhalb) als Bunttonkreis für D50**  
 Bild 14 zeigt ein Ostwald-Bunttonkreis von Optimalfarben mit den angegebenen sechs Wellenlängenbereichen und dem Hellbezugswert Y als Parameter. Die Buntwerte sind antisymmetrisch. Die angenäherte Kreisform für die Farben mit  $11 \leq Y \leq 88$  ergibt eine besondere Farbmetrik.



**9. Normung und Überarbeitung auf ergonomischer farbmetrischer Basis**

Ein-gabe	Aus-gabe	Ein- und Ausgabemedium sowie Anwendungen		Technischer Bericht oder Norm		Methode & Test: Linearisierung	
Ein-gabe	Aus-gabe	Ein-gabe	Ausgabe	Anwendung	Anwendung	Anwendung	Anwendung
-	-	-	-	Grundlagen	ISO/IEC TR 24705 <sup>1)</sup> alte DIS 19839-1 <sup>1)</sup>	DIN 33866-1 DIN 33872-1	
analog <sup>2)</sup>	analog	ISO/IEC-Datei. Serien gleich gestuft in rgb*	Hardcopy	Kopierer	ISO/IEC 15775 under revision	DIN 33866-2 <sup>2)</sup> JIS X 6933 <sup>1) 2)</sup>	
analog <sup>2)</sup>	digital	ISO/IEC-Prüfvorlage Serien gleich gestuft in Lch*	Datei	Scanner	ISO/IEC TR 24705 <sup>3)</sup> alte DIS 19839-3 <sup>3)</sup>	DIN 33866-4	
digital <sup>1)</sup>	analog	ISO/IEC-Prüfvorlage (Datei) Serien gleich gestuft in rgb*	Hardcopy Softcopy	Drucker Display	ISO/IEC TR 24705 <sup>3)</sup> alte DIS 19839-2 <sup>3)</sup> ISO/IEC TR 24705 <sup>3)</sup> alte DIS 19839-4 <sup>3)</sup> ISO 9241-306:2018 <sup>1)</sup>	DIN 33866-3 DIN 33872-2,4 DIN 33866-5 DIN 33872-2,4	
<sup>1)</sup> Digitale ISO-Prüfvorlagen zum Herunterladen: <a href="http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/index.html">http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/index.html</a> <sup>2)</sup> Analoge ISO-Prüfvorlagen lieferbar von 3 Quellen: DIN 33866-2, JIS X 6933, Richter, 2012, Offsetdruck (3600dpi), see Farbe und Farbschen, vergleiche als Datei <a href="http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/GS15.PDF">http://standards.iso.org/iso/9241/306/ed-2/GS15.PDF</a> <sup>3)</sup> Freies Herunterladen des Inhaltes der ISO-Dokumente zum Beispiel für neue Normprojekte, siehe viele URLs in: <a href="http://farbe.li.tu-berlin.de/EG68/EG681-3N.PDF">http://farbe.li.tu-berlin.de/EG68/EG681-3N.PDF</a>							
ISO/IEC-Eingabe Linearisierungsmethode				ISO/IEC-Ausgabe Linearisierungsmethode, OUTLIN16_01			
Eingabe	Ausgabe	Anwendung	Technischer Bericht oder Norm	Eingabe	Ausgabe-Medium	Anwendung	Technischer Bericht oder Norm
Original-scene + CIE-Farben	ISO/IEC-Bild-Datei	Referenz-Bild-Datei	ISO/IEC 15775 ISO/IEC TR 24705	ISO/IEC-Datei ISO/IEC-Datei ISO/IEC-Datei	Hardcopy Softcopy Softcopy Hardcopy Hardcopy	Drucker Display Display Offset Drucker	ISO/IEC TR 19797 <sup>3)</sup> ISO 9241-306:2018 8 Beobachtungen CIE R8-09:2015 (CIE-intern) + <a href="http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16_01.PDF">http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16_01.PDF</a>

**Bild 15: Zusammenhang von Normdokumenten von CIE, ISO, und DIN im IT-Bereich.**  
 Eine Überarbeitung der Normen von Bild 15 erfordert erhebliche Anstrengungen.



19/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019

## 10. Ausblick

Einige neue Ergebnisse der Farbmimetrik wurden dargestellt, die angewendet werden können. Hierzu gehören:

1. die Elementar-Optimalfarben und Elementarfarben nach CIE 13.3 und CIE R1-47.
2. die *Ostwald*-Optimalfarben für die *geräteunabhängige rgb\**-Farbcodierung nach CIE R1-57.
3. der Zusammenhang der *LMS*-Farbrezeptorempfindlichkeiten mit Elementar-Optimalfarben.

Diese Zusammenhänge sind ein neues Fundament für die

1. *geräteunabhängige* Elementar-Buntonausgabe nach ISO 9241-306:2018,
2. die *völlig geräteunabhängige rgb\**-Farbcodierung nach CIE R1-57 für alle Körperfarben

Die *geräteunabhängige* Buntonausgabe und *affine* Reproduktion wurde bereits 2009 zum Druck des Farbatlasses *RECS* mit über 2009 Farben erfolgreich angewendet. Wegen der stark gestiegenen Rechenleistung könnten Software- oder Hardware-*RIPs* zur Harmonisierung der Farbausgabe wesentlich beitragen. Eine Normung der Schnittstelle eines *RIPs* oder Filters mit

16,7 Millionen *rgb*-Eingabewerten als Index und

16,7 Millionen *rgb\**- oder *cmyk\**-Ausgabewerten,

die von den Benutzern gefüllt und benutzt werden können, ist besonders vorteilhaft. Acht dieser Profile sind auch für die Anwendung von ISO 9241-306 notwendig.

Eine Überarbeitung der Normen von Bild 15 erfordert erhebliche Anstrengungen. Die *ergonomische farbmimetrische* und *geräteunabhängige* Buntonausgabe ist ein besonderer Schritt und wird durch die obigen Grundlagen unterstützt.

Die letzten Versionen von ISO/IEC DIS 19839-1 bis -4 könnten als Startpunkt für eine Überarbeitung der Normen dienen. Sie sind frei verfügbar, weil bis 2006 alle ISO/IEC-Dokumente öffentlich waren. Jedoch möchten Firmen ihre eigenen Interessen zur Farbausgabe verwirklichen.

20/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019



## 11. Literatur

*Adobe PostScript* (PS) and Portable Document Format (PDF) Reference Manuals, siehe <http://adobe.com>

ISO 9241-306:2008, ISO/DIS 9241-306:2017, ISO EN DIN 9241-306:218: Ergonomics of human-system interaction - Part 306: Field assessment methods for electronic visual displays (*the first two documents use EPS vector graphic and are of high quality. The last one includes only pixel graphic. The images are of low quality*)

IEC 61966-2-1, Multimedia systems and equipment — Colour measurement and management — Part 2-1: Colour management; Default RGB colour space; sRGB

ISO/IEC 15775:1999 and 2005 (*under revision in 2019*), Information technology — Office machines — Method of specifying image reproduction of colour copying machines by analog test charts — Realization and application

ISO/IEC TR 24705:2005 (*withdrawn in 2019*), Information technology — Office machines — Machines for colour image reproduction — Method of specifying image reproduction of colour devices by digital and analog test charts. *For test charts for specifying image reproduction with different PS parameters, different resolutions, and an ISO/IEC-image, see* <http://farbe.li.tu-berlin.de/A/24705TE.html>

DIN 33872-1 to -6:2010, Information technology — Office machines — Method for specifying relative colour reproduction properties with YES/NO criteria. *For test charts for specifying relative image reproduction, see* <http://farbe.li.tu-berlin.de/A/33872E.html>

For a filled out form for output questions see for example (look for many others nearby) <http://farbe.li.tu-berlin.de/LE95>.

ISO 11664-4:2008(E)/CIE S 014-4/E:2007: Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry — Part 4: CIE 1976  $L^*a^*b^*$  Colour Space

ISO/CIE 11664-6:2014(E): Joint ISO/CIE Standard: Colorimetry — Part 6: CIEDE2000 Colour Difference Formula

Richter, Klaus (2016a), Colour and Colour Vision and Elementary Colour in Colour Information



21/21 K. Richter, Farbthemen in der CIE und Anwendungen, DfwG-Tagung, Leipzig, 2019  
Technology, 85 pages (A5), see <http://farbe.li.tu-berlin.de/color>. This paper includes printed achromatic and chromatic test charts according to ISO/IEC 15775, ISO/IEC TR 24705, and ISO/DIS 9241-306:2017, Annex D. These prints may be used as reference outputs. In addition this paper is available in 6 languages (85 pages (A5)) in PDF format for mobile reading.

Richter, Klaus (2014), Trends for CIE-ISO-colour standards for input and output of all colour devices with relative CIELAB coordinates  $rgb^*$  (15 pages, 700 KB), see [http://farbe.li.tu-berlin.de/CIE\\_TC42\\_DFWG\\_14E.PDF](http://farbe.li.tu-berlin.de/CIE_TC42_DFWG_14E.PDF)

Richter, Klaus (2009), Colorimetric supplement for DIN 33872-1 to 6 (available in German and English), see the URL (41 pages, 1,4 MByte)

<http://farbe.li.tu-berlin.de/A/D33872-AE.PDF>

The following two **public** papers are given in the **standard reference format MLA** which gives two options to find these papers:

Thorstein Seim, Reportership Report CIE R1-47, Hue angles of elementary colours, 2009, see (35 pages),

[<http://files.cie.co.at/526.pdf>].\_Internet Archive\_. [<http://web.archive.org/web/20160304130704/http://files.cie.co.at/526.pdf>].

Thorstein Seim, Reportership Report CIE R1-57, Border between Blackish and Luminous Colours, 2013, see (23 pages),

[[http://files.cie.co.at/716\\_CIE%20R1-57%20Report%20Jul-13%20v.2.pdf](http://files.cie.co.at/716_CIE%20R1-57%20Report%20Jul-13%20v.2.pdf)

Klaus Richter (2016), Output linearization method *OLM16* for displays, offset, and printers, see (60 pages, 1,3 MB)

[http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16\\_01.PDF](http://farbe.li.tu-berlin.de/OUTLIN16_01.PDF)

Remark: There is a closed similar Reportership Report CIE R8-09:2015 which is freely available only for members of CIE Division 8 via the CIE CollTool area with a member password.

Author: *Klaus Richter*, TU Berlin (TUB)

internet: <http://farbe.li.tu-berlin.de> or <http://130.149.60.45/~farbmetrik>

email: [klaus.richter@mac.com](mailto:klaus.richter@mac.com)



## Bericht zum AIC Midterm Meeting 2019 Buenos Aires, Argentinien,

- Frank Rochow, Berlin - [aic@rochow-berlin.de](mailto:aic@rochow-berlin.de)

**14.-17. Oktober 2019, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentinien**  
**Organisator: Grupo Argentino del Color (GAC)**

**Proceedings-Download über:**

[https://aic-color.org/resources/Documents/AIC\\_2019\\_abstr.pdf](https://aic-color.org/resources/Documents/AIC_2019_abstr.pdf)

Da der Wahlzyklus der AIC nur noch 2 Jahre beträgt, wird eine Hauptversammlung (General Assembly) der AIC-Mitgliedervertreter mit Wahl nun nicht nur, wie bisher, alle 4 Jahre auf den Kongressen, sondern in der Übergangsphase bis auch die Kongresse alle 2 Jahre stattfinden sollen, auch auf dem Midterm Meeting durchgeführt.

Die Tagesordnung war

1. Begrüßung durch den Präsidenten Tien-Rein Lee
2. Genehmigung des Protokolls der Hauptversammlung 2017
3. Bericht des Präsidenten
4. Bericht der Vizepräsidentin
5. Bericht der Sekretärin/Schatzmeisterin
6. Diskussion und Genehmigung der geplanten AIC Vorhaben (geplantes Online-Voting und weitere Satzungsänderungen)
7. Wahl des nächsten Exekutivkomitees (EC)

Zur Wahl standen:

Als Vizepräsidentin: Leslie Harrington (USA),

als reguläre EC-Mitglieder: Ralf Weber (Deutschland) und Robert Hirschler (Ungarn)

Alle drei wurden ohne Gegenstimmen gewählt.

Das AIC Exekutivkomitee ab Januar 2020 besteht somit aus

Altpräsident (Past President): Tien-Rein Lee (Taiwan) – ex officio

Präsidentin: Vien Cheung (Großbritannien) – ex officio

Vizepräsidentin: Leslie Harrington (USA) – neu gewählt

Sekretär/Schatzmeister: Ralf Weber (Deutschland) – neu gewählt

Reguläre EC-Mitglieder: Paula Csillag (Brasilien) - fortgesetzte 2. Amtsperiode

Takahiko Horiuchi (Japan) - fortgesetzte 2. Amtsperiode

Maurizio Rossi (Italien) -Ausrichter des nächsten Kongresses

Robert Hirschler – neu gewählt

### 8. Verschiedenes

Wer Interesse am detaillierten Protokoll hat, wende sich bitte an [aic@rochow-berlin.de](mailto:aic@rochow-berlin.de).

AIC Midterm Meetings sind, anders als die thematisch weiter angelegten AIC Kongresse, ein Forum für Vorträge und Diskussionen zu einem speziellen Thema der Farbe. Das AIC Midterm Meeting 2019 bot Gelegenheit, sich über das Thema **Color and Landscape** auszutauschen.

Im Rahmen dieses Hauptthemas gab es Vorträge und Workshops

- Environmental Color Design Architecture and Landscape
- Urban landscape
- Seminar on color ambiances
- Color and cultural landscapes
- Color in art and design
- **Color and psychology**
- **The language of color**
- **Color education**
- **Light and color**
- **Color science and technology**
- **Color vision and psychophysics**

Die Titel und Kurzfassungen aller Vorträge sind über die Proceedings von der AIC-Webseite über [https://aic-color.org/resources/Documents/AIC\\_2019\\_abstr.pdf](https://aic-color.org/resources/Documents/AIC_2019_abstr.pdf) abrufbar.

Für die Mehrheit der DfwG- Mitglieder sind vermutlich Vorträge aus den dunkel gedruckten Gebieten interessant, aus denen eine Auswahl unten aufgelistet ist:

#### **A summary of the parametric studies on colour difference evaluation**

*Ming Ronnier Luo*

Zhejiang University, Hangzhou, China ; University of Leeds, School of Design, Leeds, United Kingdom, [m.r.luo@leeds.ac.uk](mailto:m.r.luo@leeds.ac.uk)

#### **Evident color and underlying color - A color constancy approach**

*Alfonso de Lucas Tron*

Universidad Nacional Autónoma de México

#### **Effect of intensity of short-wavelength light on human alertness**

*Jing Lin\*, Stephen Westland*

University of Leeds, Leeds, United Kingdom; \* [cm14jl@leeds.ac.uk](mailto:cm14jl@leeds.ac.uk)

#### **A method for scaling impressions of a scene**

*Tzuhao Liu (a), John Hutchings (b), Ming Ronnier Luo (ab)\**

(a) State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou, China

(b) University of Leeds, School of Design, Leeds, United Kingdom

\* [m.r.luo@leeds.ac.uk](mailto:m.r.luo@leeds.ac.uk)

#### **Colour influence of input button on user's pressing motivation: Analysis using different background colour and shape of button**

*Saori Kitaguchi, Yoshikazu Mizutani, Sumako Suzuki, Tetsuya Sato\**

Kyoto Institute of Technology, Kyoto, Japan; \* [tsato@kit.ac.jp](mailto:tsato@kit.ac.jp)

#### **Color preference and emotion among Japanese students**

*Mahshid Baniani*

University of Tsukuba, Tsukuba, Japan; [m\\_bani@hotmail.com](mailto:m_bani@hotmail.com)

#### **Memory effects for metallic colored objects in different memory periods**

*Paru Kondo, Midori Tanaka\*, Takahiko Horiuchi*

Chiba University, Japan; \* [midori@chiba-u.jp](mailto:midori@chiba-u.jp)

#### **Would a digital colour-picker based on 3D be more user-friendly?**

*Nicoline Kinch*

Kolormondo AB, Sweden; [nicoline@kolormondo.com](mailto:nicoline@kolormondo.com)

### Colour training at IACC Academy, Salzburg, Austria

**Edda Mally**

IACC Academy Salzburg, Austria;  
[eddamally@outlook.com](mailto:eddamally@outlook.com)

### Color rendering of window glass: Analysis of the occupant's view with hyperspectral imaging

**Sophie Jost (a)\*, Coralie Cauwerts (b)**

(a) University of Lyon, ENTPE, LGCB, Vaulx-en-Velin, France; ; \* [sophie.jost@entpe.fr](mailto:sophie.jost@entpe.fr)  
(b) Université catholique de Louvain, Architecture et Climat, Louvain-la-Neuve, Belgium

### Quantitative condition for making the appearance of fluorescence in actual architecture using chromatic light

**Mai Minami, Toshiki Torimitsu, Nozomu Yoshizawa\***

Tokyo University of Science, Chiba, Japan;  
[yosizawa@rs.noda.tus.ac.jp](mailto:yosizawa@rs.noda.tus.ac.jp)

### LEDs and urban landscape

**Carlos Colonna\*, Pablo Ixtaina, Agustín Pucheta**

Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, LAL CICPBA, Argentina; \*  
[lionelcolonna@gmail.com](mailto:lionelcolonna@gmail.com)

### Color reproduction problems of telemedicine with the use of smartphone

**Yuki Akizuki (a)\*, Takahiro Goto (a), Futoshi Ohyama (b), Satoshi Iwamoto (b)**

(a) University of Toyama, Toyama, Toyama, Japan; \*  
[akizuki@edu.u-toyama.ac.jp](mailto:akizuki@edu.u-toyama.ac.jp)  
(b) Tokai University, Isehara, Kanagawa, Japan;

### Comparison of colorimetric data from spectroradiometers and spectrophotometers

**Chelsea Sullivan (a)\*, Stephen Westland (a), Roger Ellwood (b)**

(a) University of Leeds, Leeds, United Kingdom; \*  
[cp15crs@leeds.ac.uk](mailto:cp15crs@leeds.ac.uk)  
(b) Colgate-Palmolive Dental Health Unit, Manchester, United Kingdom

### What is the goal of the wine chromatic characterization in a CIE color space?

**Andrés Martín (ab)\*, Bárbara Silva (a), Cecilia M. Lasagno (c), Victor Novello (d), Sergio Gor (ae)**

(a) ILAV, Conicet, Tucumán, Argentina  
(b) Universidad Tecnológica Nacional (UTN), FRT, Tucumán, Argentina  
(c) INAAE-Conicet, Mendoza, Argentina  
(d) Viña Las Perdices SA, Mendoza, Argentina  
(e) Universidad Nacional de Tucumán (UNT), Tucumán, Argentina  
\* [amartin@herrera.unt.edu.ar](mailto:amartin@herrera.unt.edu.ar)

### Determination of a digital camera quantum efficiency from a single image

**Yuri Rzhhanov**

Center for Coastal and Ocean Mapping, University of New Hampshire, Durham, NH, USA  
[yuri.rzhhanov@unh.edu](mailto:yuri.rzhhanov@unh.edu)

### Experimental consideration on the effect of ipRGC for color reproduction on display device

**Kota Akiba (a), Midori Tanaka (b), Takahiko Horiuchi (c)\***

(a) Graduate School of Science and Engineering, Chiba University, Chiba, Japan  
(b) College of Liberal Arts and Sciences, Chiba University, Chiba, Japan  
(c) Graduate School of Engineering, Chiba University, Chiba, Japan  
\* [horiuchi@faculty.chiba-u.jp](mailto:horiuchi@faculty.chiba-u.jp)

### Do color matching functions explain individual differences in color appearance?

**Yasuki Yamauchi (a)\*, Tomonori Tashiro (a), Yuki Kawashima (b), Atsushi Konno (a), Kunihiro Hatakeyama (a), Takehiro Nagai (c)**

(a) Yamagata University, Yonezawa, Japan  
(b) NIST, Gaithersburg, USA  
(c) Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan  
\* [yamauchi@yz.yamagata-u.ac.jp](mailto:yamauchi@yz.yamagata-u.ac.jp)

### A framework and methodology for spectral color vision deficiency imaging

**Raju Shrestha**

Oslo Metropolitan University, Oslo, Norway;  
[raju.shrestha@oslomet.no](mailto:raju.shrestha@oslomet.no)

**Pupil role in color brightness perception in relation with "the dress" explanations**

**Andrés Martín (ab)\*, Juan Ignacio Contino (a)**

(a) ILAV, Conicet-UNT, Tucumán, Argentina  
(b) Universidad Tecnológica Nacional (UTN), FRT, Tucumán, Argentina

\* [amartin@herrera.unt.edu.ar](mailto:amartin@herrera.unt.edu.ar)

**Improving the appearance of HDR images based on visual characteristics**

**Shogo Nishi\*, Takuto Katanozaka**

Osaka Electro-Communication University, Neyagawa, Japan

\* [s-nishi@osakac.ac.jp](mailto:s-nishi@osakac.ac.jp)

**Does melanopsin help to explain color constancy in natural environments?**

**Pablo A. Barrionuevo (a)\*, Dingcai Cao (b)**

(a) Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión, Conicet -UNT, Tucumán, Argentina  
(b) Department of Ophthalmology and Visual Sciences, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL, USA

\* [pbarrionuevo@herrera.unt.edu.ar](mailto:pbarrionuevo@herrera.unt.edu.ar)

---

**Verleihung des AIC Judd Awards 2019 an Hirohisa Yaguchi (Japan)**

1973 schlug Betty Judd vor, in Erinnerung an ihren Ehemann Deane Brewster Judd einen AIC-Preis zu vergeben, um herausragende Arbeiten auf dem Gebiet der Farbwissenschaft anzuerkennen. Die AIC führt alle zwei Jahre eine Auswahl für die Empfänger dieses Preises durch. Die Auswahl ist ein umfangreiches Verfahren, das Nominierungen von AIC-Mitgliedern und die Analyse der Vorgeschichte der Nominierten durch ein Komitee umfasst, das sich aus früheren Empfängern des Preises zusammensetzt. Die Forscher, die diese Auszeichnung erhalten haben, werden auf der Webseite <https://aic-color.org/award-judd> vorgestellt. Die Liste ihrer wichtigsten Veröffentlichungen (siehe <https://aic-color.org/resources/Documents/SELECTED%20PUBLICATIONS%20Judd%20award%202019%20KFA.pdf>) ist eine solide Sammlung von Farbforschungen, an die man sich erinnern und die man verwenden sollte.

Anlässlich des AIC Midterm meetings in Buenos Aires, Argentinien wurde der AIC Judd Award 2019 an Prof. Hirohisa Yaguchi (Japan) für seine wissenschaftlichen Leistungen in den Bereichen Farbsehen, Farbumterscheidung, Farbdefekte, Lichtausbeute, Untersuchung des Helmholtz-Kohlrausch-Effekts, Modellierung der Farberscheinung, Farbkonstanz, Farbnamenwiedergabe und Hautfarbe verliehen. Hirohisa Yaguchi ist emeritierter Professor der Chiba University. Er war Vorsitzender des Lenkungsausschusses des Interim Meetings der AIC 2015 in Tokio. Außerdem war er von 2002 bis 2005 Mitglied des Exekutivkomitees der AIC.

Der Judd Award 2019 wurde von der Grupo Argentino del Color gesponsert.

Die Laudatio, die die wissenschaftlichen Stationen und Arbeiten Hirohisa Yaguchis ausführlich würdigte, hielt Prof. Ronnier Ming Luo.

Es sei daran erinnert, dass Empfänger des AIC Judd Awards, neben vielen herausragenden internationalen Farbwissenschaftlern, auch unsere deutschen Farbkollegen Günter Wyszecki (1979), Manfred Richter (1981) und Heinz Terstiege (1995) waren.



Erinnerung an Albert Einsteins Besuch in Belgrano



Ronnier-Luos Laudatio auf Hirohisa



Hirohisa Yaguchi



Tango-Vorführung beim Bankett

## UNILED2 – TU-IL AP2:Farbwahrnehmung

# Entwicklung eines Robustheitsmaßes für die Farbwahrnehmung von LEDs

*Technische Universität Ilmenau*  
*Fakultät Maschinenbau*  
*Fachgebiet Lichttechnik*



M. Sc. Nicole Stubenrauch

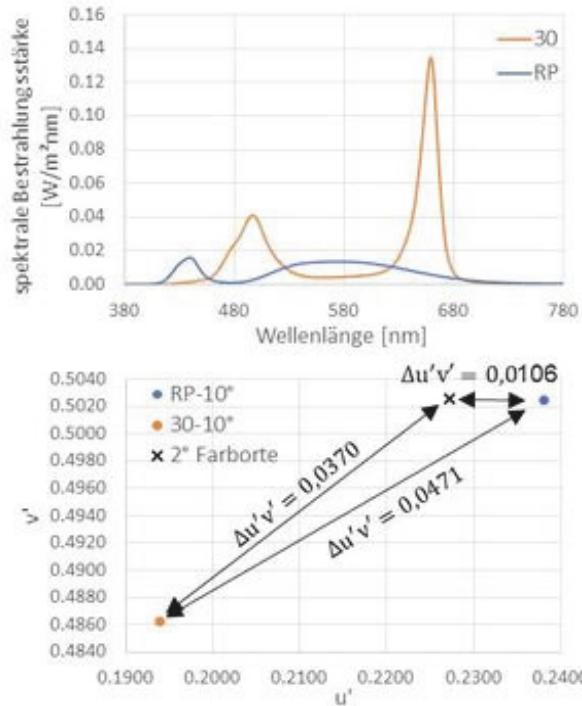
## Gliederung

1. Motivation
2. Versuchsaufbau
3. Methodik
4. Spektrenauswahl
5. Untersuchungen zum Raster
6. Auswertung

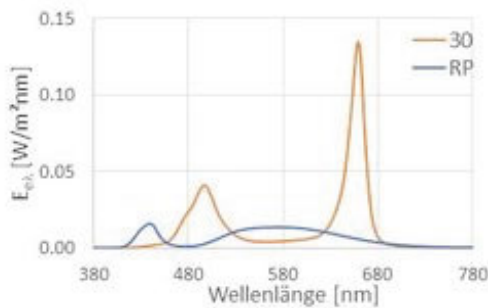
# 1. Motivation

- Ein Spektrum hat viele Farbörter, je nach gewählter Spektralwertfunktion (CMF):
  - Alter
  - Feldgröße, usw.

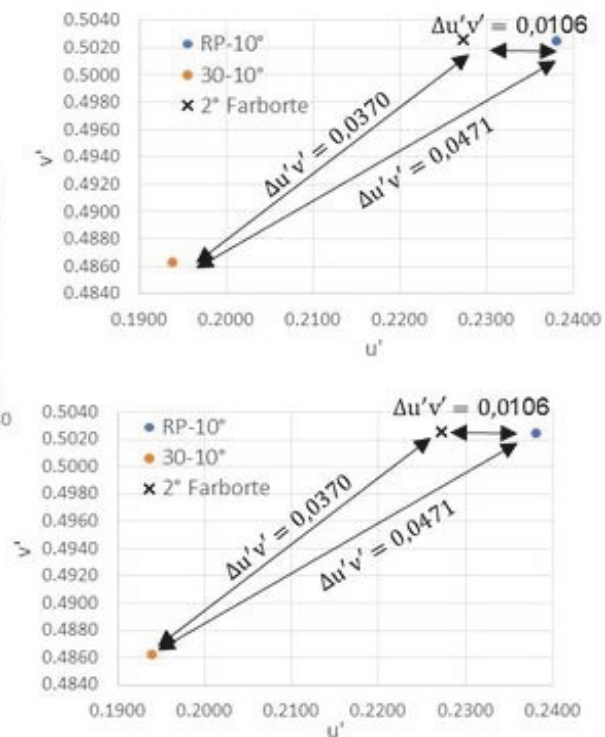
➔ Farbabstände von bis zu  $\Delta u'v'_{CIE\ 2006\ 2^\circ-10^\circ} = 0,0370$  bei einem Spektrum



# 1) Motivation



➔ Farbabstände von bis zu  $\Delta u'v'_{CIE\ 2006\ 2^\circ-10^\circ} = 0,0370$  bei einem Spektrum

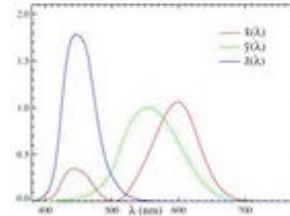


## 1) Motivation

- Über 7 Milliarden Menschen verschiedener Kontinente und Kulturen von 0 bis über 100 Jahre



- ➔ über 7 Milliarden verschiedene Farbempfindlichkeiten



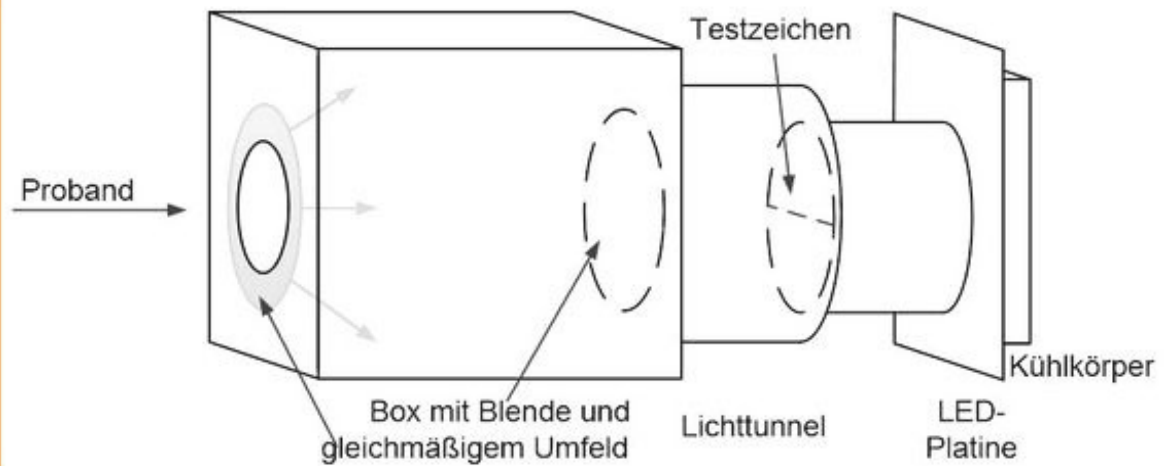
- Bewertet mit den Normspektralwertfunktionen der CIE 1931
- Ohne jegliche Angabe von Toleranzbereichen

<http://www.wwf.de/2012/august/die-welt-ist-nicht-genug/>  
<https://swetlanalokstet.wordpress.com/2013/05/27/wir-sind-die-welt/>

## 1) Motivation - Fragestellungen

- Welche Spektren sind robust gegenüber Veränderungen der Bedingungen?
  - Veränderung des Probandenalters
  - Veränderung der Feldgröße
- Welche Spektralwertfunktion beschreibt die Wahrnehmung am Besten?
  - Für die jeweiligen Probanden und Testbedingungen

## 2) Versuchsaufbau



Nach: Haag, S.; Hartwig, U. M.: Aufbau einer Untersuchungskabine zur Abmusterung von Lichtfarben, Projektseminar, Ilmenau, 2015.

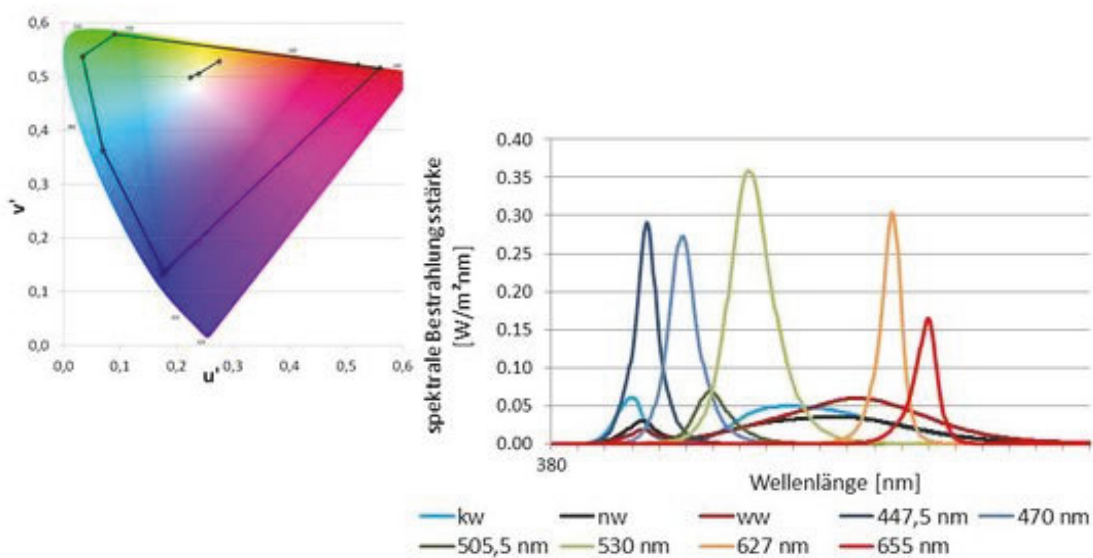
05.08.2020

Seite 7

Nicole Stubenrauch

tu  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

## 2) Versuchsaufbau



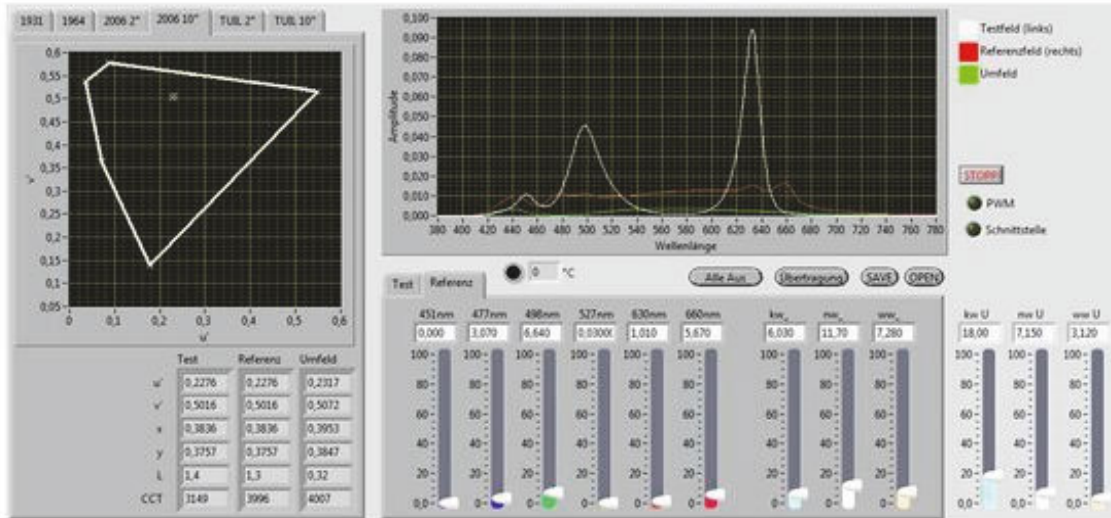
05.08.2020

Seite 8

Nicole Stubenrauch

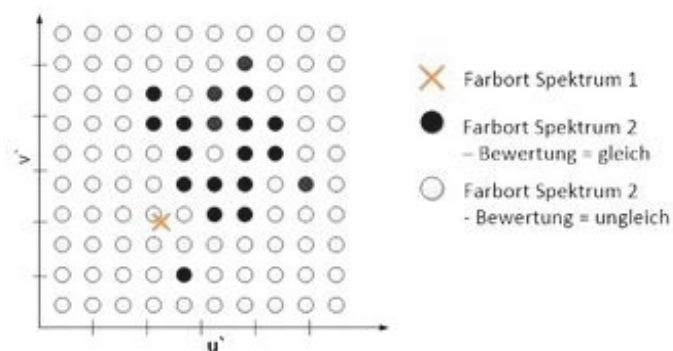
tu  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

## 2) Versuchsaufbau



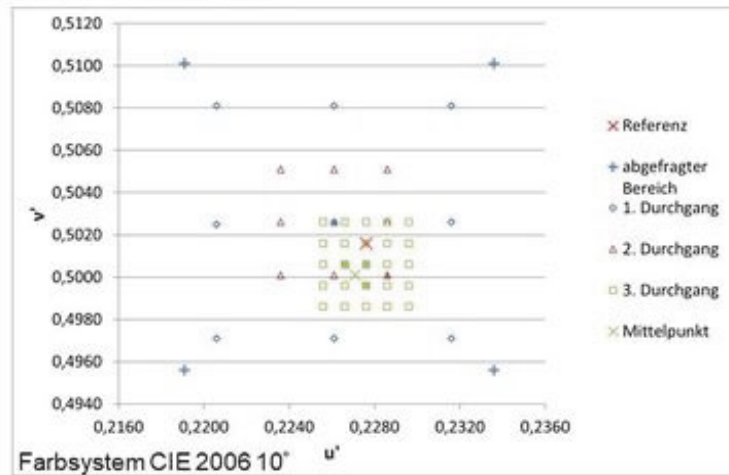
## 3) Methodik

- Punktwolke identischer Farbörter für jedes Testspektrum, für jeden Probanden
- Schwerpunkt und Streuung der Bewertungen werden ausgewertet



### 3) Methodik

- Systematisches Absuchen eines Rasters nach dem identischen Farbort und dem entsprechendem Bereich



05.08.2020

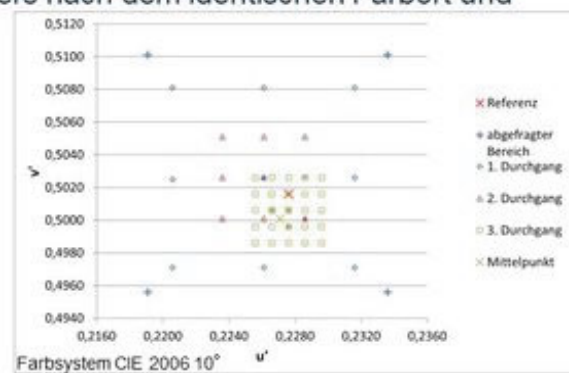
Seite 11

Nicole Stubenrauch


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

### 3) Methodik

- Systematisches Absuchen eines Gitters nach dem identischen Farbort und dem entsprechendem Bereich



- Es war nicht möglich ein Gitter für alle Probanden zu finden, da die gefundenen gleichen Farbtörter sehr weit auseinander liegen

05.08.2020

Seite 12

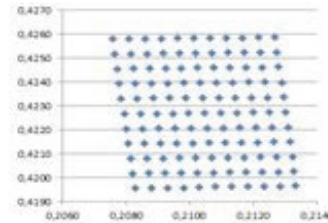
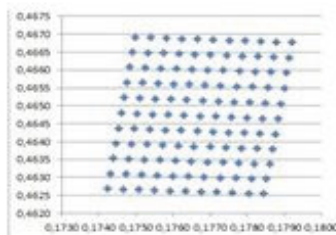
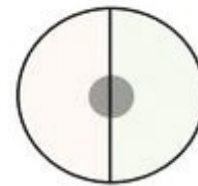
Nicole Stubenrauch


 TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

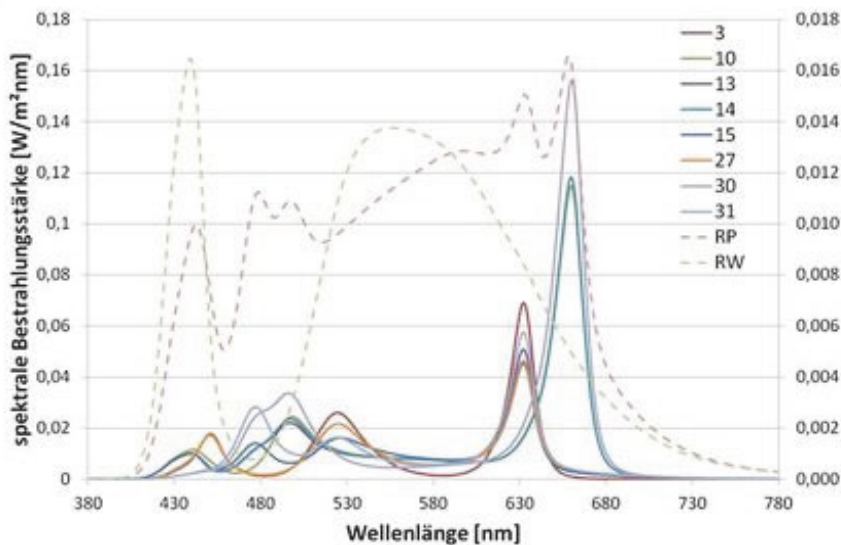
### 3) Methodik

- Untersuchung von
  - jungen und alten Probanden
  - 2<sup>0</sup>- und 10<sup>0</sup>-Beobachterfeld
  - 8 verschiedenen Testspektren mit 2 verschiedenen Referenzen
- Auswertung in 72 verschiedenen Spektralwertsystemen

Testzeichen



### 4) Spektrenauswahl



- Jede Kombination wird mit beiden Referenzen untersucht

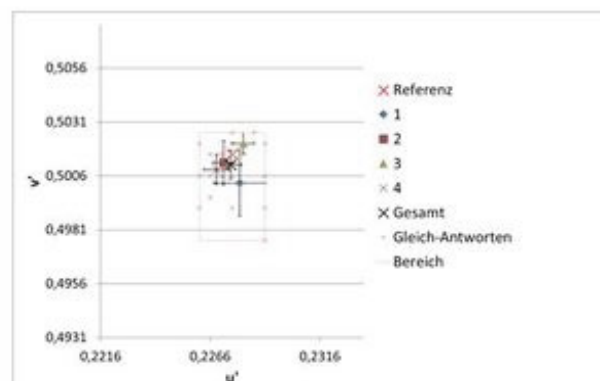
## 5) Probandenversuche

- Probandenkollektiv bestand aus 4 Probanden
  - Versuchsdauer pro Proband jeweils über 20h, in mindestens 8 Sessions

Nummer	Geschlecht	Alter	Auge
1	w	69	rechts
2	m	58	links
3	w	29	rechts
4	m	27	links

## 5) Probandenversuche

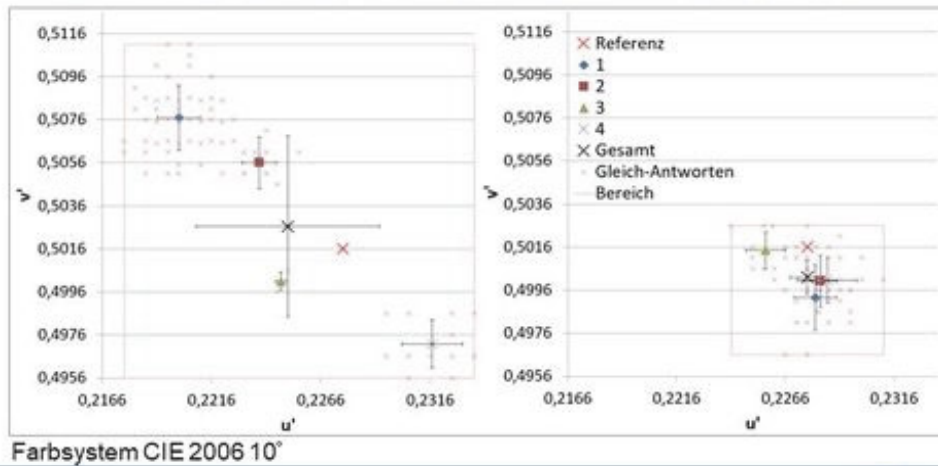
- Überprüfung gleicher Spektren anhand der Referenz RW als Testgitter



Farbsystem CIE 2006 10°

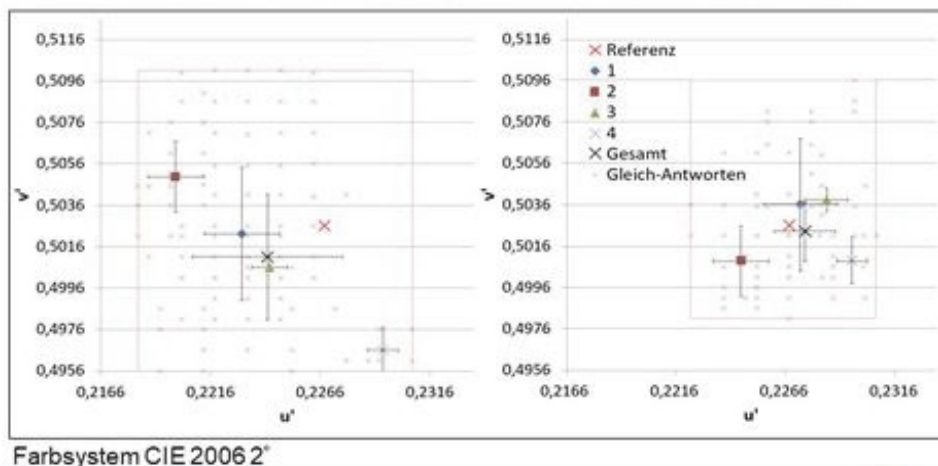
## 5) Probandenversuche

- Beispielhafte Ergebnisse für das 10°-Feld
  - Kombination 3, Referenz RW (links) sowie Referenz RP (rechts)



## 5) Probandenversuche

- Beispielhafte Ergebnisse für das 2°-Feld
  - Kombination 3, Referenz RW (links) sowie Referenz RP (rechts)



## 6) Ausblick

- **Komplette Auswertung der Versuche**
  - Vergleich der Probanden (alt und jung)
  - Vergleich der Feldgrößen
  - Vergleich der Spektren
  - Bewertung der Ergebnisse und Entwicklung von Robustheitsmaßen bezüglich Alter und Feldgröße
  - Ermittlung der am besten passenden CMF

## Vielen Dank!

Dieses Projekt wird im Rahmen des UNILED2-Projekts (Förderkennzeichen: 13N13395) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und von der Firma Zumtobel gefördert. Wir bedanken uns herzlich für die Unterstützung.



GEFÖRDERT VOM


 Bundesministerium  
 für Bildung  
 und Forschung

# Eine theoretische Betrachtung der Bedeutung und Modellierung der Metamerie für die Messtechnik

Tarek Stiebel und Dorit Merhof

*Lehrstuhl für Bildverarbeitung, RWTH Aachen*

## Zusammenfassung

Die Metamerie beschreibt das Phänomen, dass unterschiedliche spektrale Stimuli von einem menschlichen Beobachter als identische Tristimuli wahrgenommen werden. Das Prinzip gilt gleichermaßen bei der Verwendung von Kamerasystemen: Unterschiedliche Spektren können zu identisch gemessenen Kamerasignalen führen. Die Umrechnung eines gemessenen Signals auf den Signalraum eines anderen, möglicherweise maschinellen, Beobachters stellt im Allgemeinen eine Herausforderung dar. Ursprünglich metamere Spektren, die mit dem gemessenen Signal assoziiert werden können, werden auf eine Menge an möglichen Farbsignalen für den zweiten Beobachter abgebildet. Ein 'Metamer Mismatch Volume'(MMV) entsteht. Die vorliegende Arbeit widmet sich einer theoretischen Betrachtung und untersucht, wie präzise die Menge an realistischen Spektren derzeit modelliert werden kann. Insbesondere wird eine Erweiterung der aktuellen Modellierung spektraler Objektreflektanzen um Einschränkungen hinsichtlich der Glattheit beschrieben und ausgewertet.

## 1 Einleitung

Metamerie beschreibt das Phänomen, dass verschiedene Objekte einem menschlichen Beobachter gleichfarbig erscheinen können, obwohl ihre spektralen Reflexionsfunktionen nicht übereinstimmen. Weiterhin können all diese verschiedenen Objekte für einen bestimmten Beobachter zwar identisch erscheinen, sich aber für einen anderen Beobachter erheblich unterscheiden. Dieser Effekt wird als *Metamer Mismatching* bezeichnet [1] und kann entweder durch einen Wechsel des Beobachters (beobachterinduziert), durch einen Wechsel der Lichtquelle (beleuchtungsinduziert) oder durch eine Kombination von beiden verursacht werden. Der Effekt tritt immer dann auf, wenn die Luther Bedingung [2, 3] verletzt wird. Im beobachterinduzierten Fall liegt dies beispielsweise daran, dass der Zusammenhang zwischen den jeweiligen spektralen Empfindlichkeiten nicht durch eine lineare Transformation dargestellt werden kann. Statt direkter Korrespondenzen zwischen den Tristimuluswerten der jeweiligen Beobachter, d.h. einer bijektiven Abbildung, kann aus einem Tristimuluswert des einen Beobachters nur auf eine Menge von möglicherweise korrespondierenden Tristimuli des anderen Beobachters geschlossen werden. Solch eine Menge an Möglichkeiten wird auch als *Metamer Mismatch Volume*(MMV) [1, 4] bezeichnet. Die Erzwingung einer tatsächlichen Punkt-zu-Punkt-Transformation ist aus theoretischer Sicht nicht möglich und führt zu einem erzeugten Fehler.

Während das Konzept der Metamerie ursprünglich durch das menschliche Sehen motiviert war und daher streng genommen auf menschliche Beobachter beschränkt ist, kann es analog auf ein allgemeines Kamerasystem angewendet werden, das durch seine spektrale Empfindlichkeitsfunktionen definiert ist. Verschiedene Objekte unter einer festen Lichtquelle können dasselbe Kamerasignal hervorrufen. Die Betrachtung der gleichen Objektmenge in der gleichen Umgebung mit einem anderen Kamerasystem führt

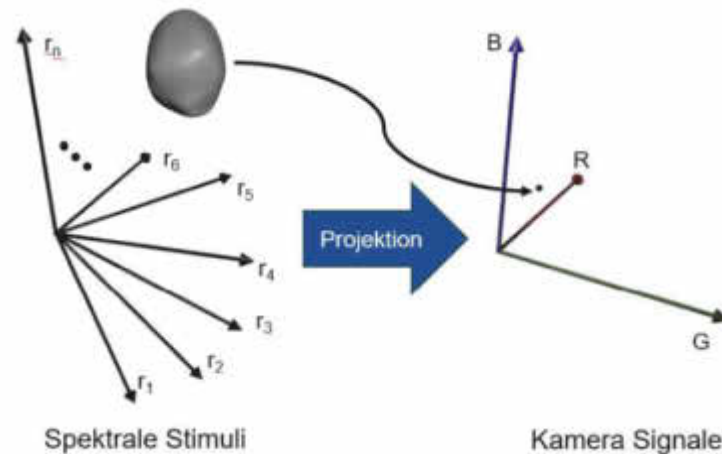


Abbildung 1: Visualisierung der Metamerie: Verschiedene Spektren können zum identischen Kamerasignal führen.

hingegen zu einer mehr-elementigen Menge möglicher Kamerasignale, wenn die jeweiligen spektralen Empfindlichkeitsfunktionen nicht durch eine lineare Transformation ineinander überführt werden können. In Analogie zum menschlichen Beobachter kann dies als *Signal Mismatch Volume* bezeichnet werden. Ein Beispiel für die beschriebene Herausforderung ist die Analyse von Strategien zur Durchführung der Transformation zwischen verschiedenen RAW-RGB-Farbräumen durch Nguyen *et al.* [5].

Abschließend ist auch eine Kombination von menschlichen Beobachtern und Kamerasystemen möglich. Die Aufnahme farbtreuer Bildern im Sinne der menschlichen Farbwahrnehmung ist ein typisches Beispiel. Die Umwandlung der gemessenen Kamerasignale im Hinblick auf einen menschlichen Beobachter, z.B. in Form von CIE XYZ-Koordinaten, ist eine bekannte Herausforderung, die allgemein als *Farbmanagement* bezeichnet wird. Existierende Methoden lassen sich grob in zwei Klassen einteilen, nämlich zielbasierte und modellbasierte [6]. Erstere versucht, eine Beziehung auf der Grundlage einer Reihe bekannter Korrespondenzen, wie sie z.B. aus bekannten Kalibrierkörpern entnommen werden können, zu bestimmen. Im einfachsten Fall wird eine lineare Transformation mit Hilfe von Regressionstechniken gewählt, um eine Fehlermetrik zu minimieren [7]. Aufgrund der allgemeinen Nichtlinearität der tatsächlichen Abhängigkeit kann ein solcher Ansatz zu hohen Farbunterschieden führen. Erweiterte Methoden versuchen, die Beziehung mit allgemeineren Funktionen wie Polynomen [8] oder neuronalen Netzen [9] zu beschreiben. Dieser Ansatz kann heutzutage als Standard im industriellen Umfeld angesehen werden. Im Gegensatz dazu stehen modellbasierte Methoden, die den eigentlichen physikalischen Prozess der Bilderfassung berücksichtigen. Sie minimieren die eingeführte Farbdifferenz durch Schätzung zentraler oder statistisch wahrscheinlicher Positionen innerhalb des MMV, teilweise auch über den Umweg einer spektralen Rekonstruktion [10, 6, 11]. Der größte Nachteil ist sicherlich eine hohe Rechenkomplexität bei vergleichsweise geringen Verbesserungen. Daher sind modellbasierte Verfahren für die praktische Anwendung derzeit schwer zu rechtfertigen. Obwohl es sowohl in der Praxis als auch in der Theorie Interesse an der Berechnung von MMVs gab, bleibt es bis heute eine nicht triviale Aufgabe. Diese Arbeit beschäf-

tigt sich mit einer rein theoretischen Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung der Glattheit von Spektren. Logvinenko [10] ist es gelungen, einen Satz an Differentialgleichungen aufzustellen, die das MMV in Bezug auf seine Grenze mathematisch exakt beschreiben. Der Theorie liegt dabei genau eine Annahme zu Grunde: spektrale Objektreflektenzen sind immer positiv und können nicht größer als Eins werden. Es hat sich gezeigt, dass diese Bedingung alleinstehend leider nicht ausreichend ist, schließlich haben natürliche Spektren die Eigenschaft glatt zu sein. Da die Glattheit ignoriert wird, sind die damit berechneten Mismatch Volumen folglich vergleichsweise zu groß und ungenau. Deshalb schlagen wir ein Verfahren vor, das auch die Glattheit von spektralen Objektreflektenzen berücksichtigt.

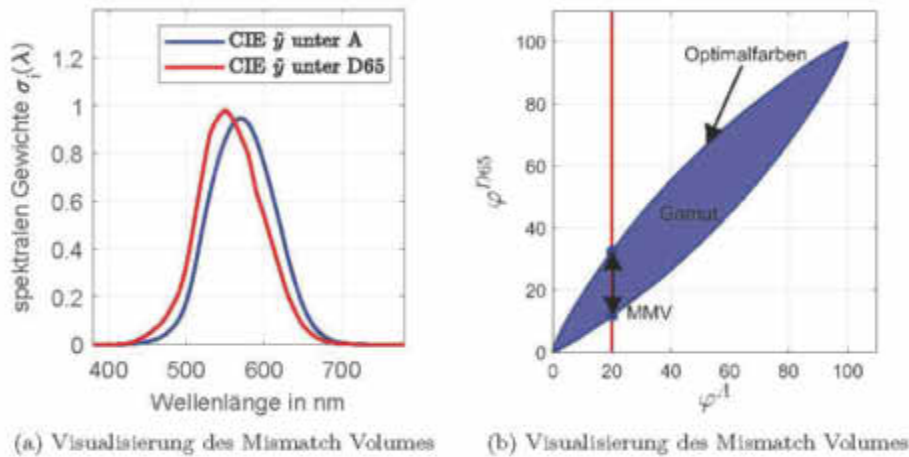
## 2 Methoden

Das Entstehen von Farbsignalen für einen spektral  $q$ -dimensionalen Beobachter wird durch die Gleichung

$$\varphi_i(\tau) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} l(\lambda) s_i(\lambda) r(\lambda) d\lambda \quad (i = 1, \dots, q) \quad (1)$$

modelliert, wobei  $s_i$  die spektrale Empfindlichkeit des  $i$ 'ten Kanals beschreibt,  $r$  die spektrale Objektreflektenz des betrachteten Objekts und  $l$  die spektrale Leistungsverteilung der Beleuchtung. Für eine einfachere Beschreibung wird die Kombination aus spektraler Empfindlichkeit und einer spektralen Leistungsverteilung des Lichts zu spektralen Gewichtungsfunktionen zusammengefasst,  $\sigma_i(\lambda) = s_i(\lambda)l(\lambda)$ . Die Kernfrage dieser Arbeit kann nun konkretisiert werden: Zwei unterschiedliche Beobachter (Mensch oder Maschine) sind in Form ihrer spektralen Empfindlichkeiten bekannt. Beide Beobachter befinden sich unter möglicherweise unterschiedlichen Lichtverhältnissen, deren spektrale Leistungsverteilungen ebenfalls bekannt sind. Wenn der erste Beobachter ein Objekt betrachtet und nur das resultierende Farbsignal (Tristimulus oder Kamerasignal) bekannt ist, welche Farbsignale könnten bei Betrachtung desselben Objekts durch den anderen Beobachter möglicherweise auftreten? Das Vorgehen, um diese Frage zu beantworten, besteht aus zwei Schritten. Aus dem bekannten Farbsignal wird auf die Menge aller entsprechenden metameren Objekte geschlossen. In Abb. 1 würde das bedeuten, die Projektion zu invertieren und vom Kamerasignalraum zurück in den Spektralraum zu gehen. In einem zweiten Schritt wird die so erhaltene Menge an Spektren mit Hilfe der bekannten spektralen Gewichte des zweiten Beobachters in seinen zugehörigen Signalraum abgebildet. Die nun resultierende Menge an Signalen ist das gesuchte Volumen.

Das beschriebene Konzept lässt sich mathematisch formalisieren. Für eine genaue Herleitung und Beschreibung der entsprechenden Gleichungen sei an die einschlägige Literatur verwiesen, etwa [10] für die Herleitung der Gleichungen und [12] für einen effizienten Lösungsansatz. Stattdessen werden an dieser Stelle lediglich die grundlegenden Konzepte veranschaulicht. Dafür soll ein einfaches Beispiel in Form von zwei je spektral ein-dimensionalen Gewichtungsfunktionen dienen, die aus dem CIE Standardnormalbeobachter  $\bar{y}(\lambda)$  unter den Lichtarten A und D65 bestehen. Es ist damit ein Beispiel für eine beleuchtungsinduzierte metamere Fehlanpassung. Die spektralen Gewichte sind in Abbildung 2a dargestellt. In einem ersten Schritt werden beide einzelne Gewichtungsfunktionen als eine gemeinsame, in diesem Beispiel zweidimensionale, Funktion aufgefasst. Im Anschluss wird der Farbgamut der Vereinigung betrachtet, d.h. die Menge aller möglichen Farbsignale, die auftreten können. Der Farbgamut wird



unter der Annahme berechnet, dass spektrale Objektreflektanzen nicht negativ und nicht größer als Eins sein können, d.h.  $r(\lambda) \in [0, 1]$ . Die Menge aller modellierten Objektreflektanzen kann als ein hochdimensionaler Würfel angesehen werden. Der Farbgamut respektive spektraler Gewichte entspricht einer Projektion des Hyperkubus auf den Signalraum, wobei die Projektion durch die spektralen Gewichte definiert ist. Für das konstruierte Beispiel ist der Farbgamut sowie seine Begrenzung in Abbildung 2b dargestellt. Aufgrund der Berechnungsweise des Farbgamuts haben alle seine Randpunkte die Eigenschaft, Projektionen von Randpunkten des Hyperkubus zu sein. Die korrespondierenden Spektren werden auch als *optimale Reflektanzen* bezeichnet und zeichnen sich dadurch aus, dass sie als eine Summe von Sprungfunktionen darstellbar sind. Analog werden die Randpunkte des Gamuts als *Optimalfarben* bezeichnet. Optimale Reflektanzen und Optimalfarben stehen in der besonderen Beziehung zueinander, dass eine Abbildung zwischen beiden eindeutig ist: Es gibt keine Metamerie. Nun betrachten wir den Fall, dass der erste Beobachter das Farbsignal  $\varphi^A = 20$  wahrnimmt. Dieses Signal ist durch die rote Linie in Abbildung 2b visualisiert. Wie der Grafik zu entnehmen, ist das MMV vollständig durch den Schnitt der Linie mit dem Farbgamut bestimmt. Für eine kompakte Beschreibung des MMV's ist es dabei ausreichend, seine Berandung zu kennen. Die Berandung kann wiederum durch Optimalfarben beschrieben werden. Ein jedes MMV ist somit ein von Optimalfarben begrenztes Volumen. Es ist lediglich notwendig, die entsprechenden Optimalfarben zu bestimmen. Das beschriebene Konzept lässt sich auf beliebig spektral hochdimensionale Kamerasysteme anwenden.

## 2.1 Optimale Reflektanzfunktionen

Einen großen Kritikpunkt stellt das bislang unrealistische Erscheinungsbild der optimalen Reflektanzen dar. In Abbildung 3 sind beispielhaft Sprungfunktionen (rot) gezeigt, die ein MMV für die Umrechnung von Kamerasignalen in den menschlichen Normfarbraum begrenzen würden. Schrödinger [13] postulierte bereits, dass die maximal mögliche Anzahl an Sprüngen, welche in einer optimalen Reflektanz enthalten sein können, gleich der Dimensionalität des Beobachters abzüglich Eins ist. Das bedeutet, dass optimale Reflektanzen bei einem menschlichen Beobachters maximal zwei

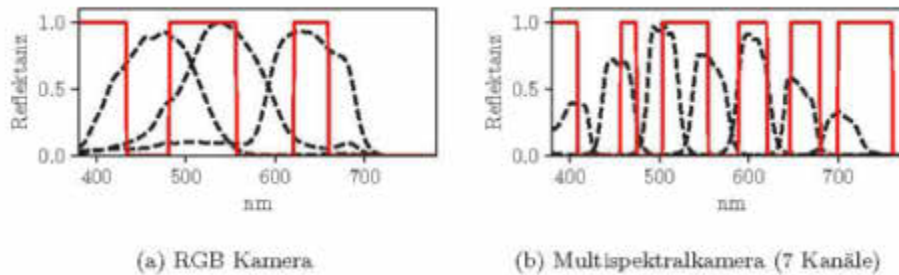


Abbildung 3: Beispiele für optimale Reflektanzen, die ein MMV begrenzen, auf Basis der aktuellen Modelle ohne Glattheitsbeschränkungen.

Sprünge haben dürfen. Optimale Reflektanzen, die ein MMV begrenzen, das bei einer Umwandlung eines RGB-Kamerasygnals in den Normfarbraum entsteht, hätte maximal fünf Sprünge (3+3-1). Obwohl sich Schrödingers Aussage als falsch herausstellte [14], ist dennoch ein grundsätzlicher Trend vorhanden: Je mehr Kanäle ein messendes Kamerasystem hat, desto höher wird im Mittel die Anzahl an Sprüngen der optimalen Reflektanzen ausfallen. Dieser Trend ist ebenfalls in Abb. 3 zu sehen. Dadurch nehmen optimale Reflektanzen ohne weitere Einschränkungen des Modells unrealistisch kantige und wenig glatte Formen an, wenn multispektrale Kamerasysteme betrachtet werden. In der Praxis sind Objektreflektenzen, die auf einer Summe aus Sprungfunktionen basieren nicht vorstellbar. Für einen natürlicheren Kurvenverlauf sind zwingend Einschränkungen hinsichtlich der Glattheit erforderlich.

In einem ersten Schritt ist es daher notwendig, 'Glattheit' zu formalisieren. Dies geschieht indem das bestehende Modell erweitert wird: Von einer glatten Objektreflektenz wird erwartet, dass sowohl die erste als auch die zweite Ableitung beschränkt sind. So gelangen wir auf die erweiterten Einschränkungen, die wir einer jeden glatten spektralen Objektreflektenz,  $\tau(\lambda)$ , zu Grunde legen:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \tau(\lambda) \leq 1 \\ -0.0115 &\leq \tau'(\lambda) \leq 0.0248 \\ -0.0018 &\leq \tau''(\lambda) \leq 0.0019 \end{aligned} \quad (2)$$

In der Vergangenheit gab es schon eine Vielzahl an Untersuchungen zu der Frage, wie natürliche Reflektanzfunktionen aussehen. Für die gezeigten Werte dient die Arbeit von Flinkman et al. [15] als Grundlage. Die Werte sind im Wesentlichen assoziiert mit Acrylfarben, welche die größten Steigungen aufwiesen, und somit eine obere Schranke darstellen.

Im nächsten Schritt gilt es ein mögliches MMV unter Berücksichtigung der erweiterten Glattheitsbeschränkungen zu berechnen. Dies erfolgt mittels linearer Programmierung [4], die allgemein in der Lage ist, Optimierungen linearer Zielfunktionen über eine Menge, die durch lineare Gleichungen und Ungleichungen beschrieben ist, durchzuführen. Es kann als eine Brute-Force-Methode zur Lösung der angepassten Gleichungen angesehen werden, die korrekte Ergebnisse zwar garantieren kann, dafür jedoch sehr zeitaufwendig ist. Die Berechnung einer einzelnen optimalen Reflektanz, die ein MMV begrenzt, liegt für die Umrechnung von RGB-Signalen in den Normfarbraum noch unter einer Sekunde, basierend auf der Grundlage, dass der sichtbare Wellenlängenbereich von 380nm bis 780nm in 1nm Schritten repräsentiert wird. Für die Umrechnung

multispektraler Kamerasignale, z.B. 7-dimensional, werden schon über 10 Sekunden benötigt. Für eine präzise Abtastung des Euklidischen Volumens eines einzelnen MMV's werden etwa 10.000 optimale Reflektanzen benötigt, für eine gute Näherung 'nur' ein- bis zweitausend. Gepaart mit der langen Rechenzeit pro Reflektanz sind umfassende Untersuchungen so schwierig. Dennoch ist es möglich, Ergebnisse für einen ersten Vergleich zu erhalten.

### 3 Simulation und Ergebnisse

Ein jedes MMV basiert auf der expliziten Kenntnis der folgenden Informationen:

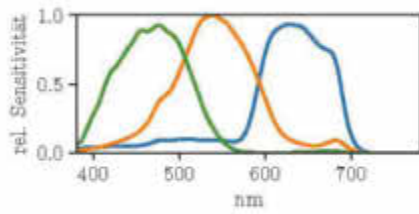
- die spektralen Gewichte eines Ursprungs-Beobachters.
- die spektralen Gewichte eines Ziel-Beobachters.
- ein Farbsignal, wie es der Ursprungs-Beobachter wahrnimmt.

Um zunächst ein Gefühl für die berechenbaren Volumen zu erhalten, werden als Ursprungs-Beobachter zwei unterschiedliche Kamerasysteme - RGB und multispektral - unter der Lichtart D65 betrachtet. Die Empfindlichkeiten der Kameras sind in Abb. 4a und 4b dargestellt. Als Zielbeobachter dient der CIE-Standardbeobachter unter der Beleuchtung CIE D65. Jedes Kamerasystem betrachtet den mittleren Grauton  $r(\lambda) = 0.5$ . Die resultierenden MMVs bei Umwandlung der Kamerasignale in den menschlichen Farbraum können nun berechnet werden und sind in Abbildung 4 für die Methode ohne Einschränkungen hinsichtlich der Glattheit gezeigt. Für eine bessere Einordnung der Größe der Volumen sind sie innerhalb des Farbgamuts visualisiert. Insbesondere für das RGB-Kamerasystem ist die mögliche Unsicherheit in Bezug auf korrespondierende menschliche Wahrnehmung enorm. Das MMV nimmt hier etwa ein Viertel des Farbgamuts ein.

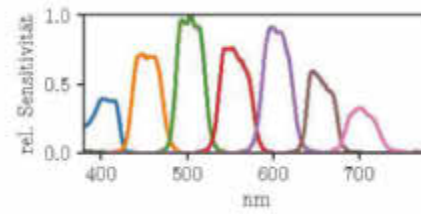
Die Betrachtung einer größeren Menge an verschiedenen und realistischen Objektreflektanzen kann durch die Verwendung einschlägiger Datensätze erfolgen. So werden beispielhaft 1600 Objektreflektanzen, wie sie der "Munsell glossy edition"[16] zu entnehmen sind, betrachtet. Als Ursprungsbeobachter beschränken wir uns an dieser Stelle auf das RGB Kamerasystem unter D65. Der Zielbeobachter bleibt der Standardnormalbeobachter unter D65. Für jede einzelne Reflektanz der Munsell-Daten wird das dazugehörige MMV berechnet. Zusätzlich werden für jede Reflektanz die entsprechenden CIELAB Koordinaten bestimmt. In Abbildung 5 ist die Größe aller berechneten MMVs qualitativ über die CIELAB Koordinaten visualisiert. Es ist erkennbar, dass die Größe der Volumen systematisch mit der Position im Farbraum variiert. Grundsätzlich gilt, dass je achromatischer die Werte sind, desto größer ist das MMV.

#### 3.1 Glatte Reflexionsfunktionen

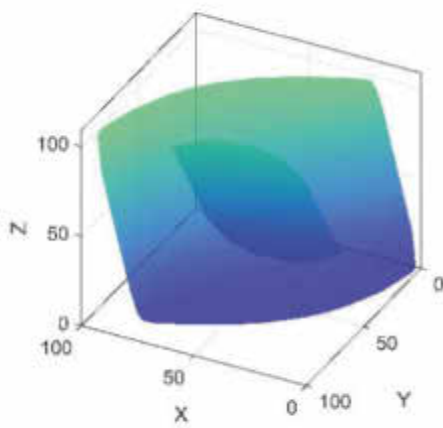
Obwohl die zuvor gezeigten Ergebnisse die theoretisch möglichen Grenzen eines MMV darstellen, sollten ihre absoluten Werte mit Vorsicht betrachtet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass viele Objektreflektanzen, obwohl sie nach dem derzeitigen Modell theoretisch plausibel sind, in der Natur nicht vorkommen. Wie beschrieben wird bislang nur angenommen, dass die Objektreflektanzen innerhalb des Intervalls  $[0, 1]$  liegen müssen. Deshalb wurden die in Gleichungen 2 beschriebenen Einschränkungen hinsichtlich der Glattheit ergänzt. Um einen direkten Vergleich visuell darstellen zu können, betrachten wir wieder den mittleren Grauton,  $r(\lambda) = 0.5$ , und jeweils das RGB und



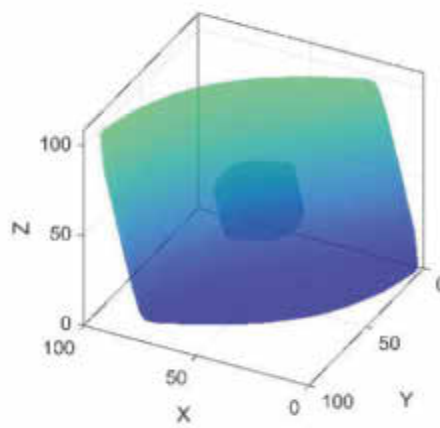
(a) Sensitivität der RGB Kamera



(b) Sensitivität der Multispektralkamera



(c) MMV für die RGB-Kamera



(d) MMV für die Multispektralkamera

Abbildung 4: MMV (innen) im Verhältnis zum Farbgamut (außen) für verschiedene Kamerasysteme ohne Berücksichtigung der Glattheit.

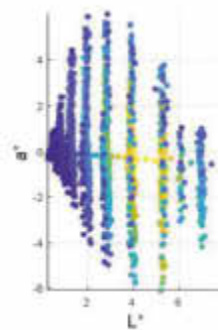
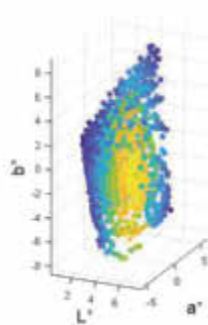


Abbildung 5: Die relative Größe von Mismatchvolumen abhängig von CIELAB Koordinaten.

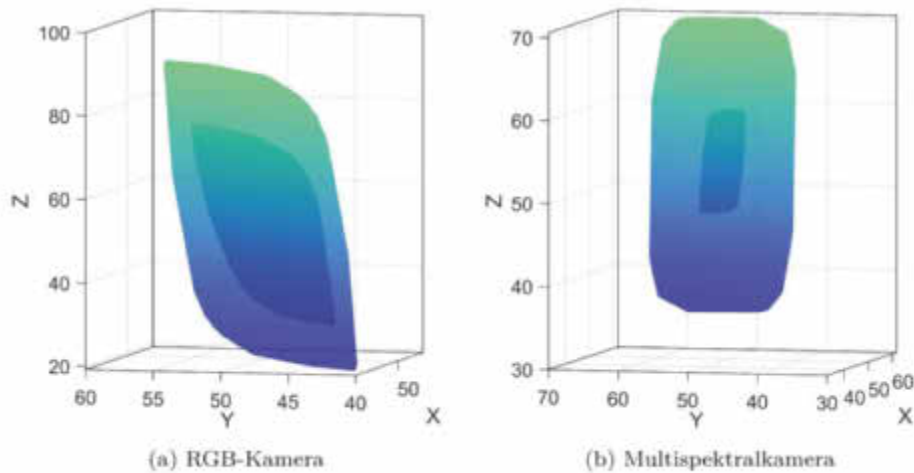


Abbildung 6: MMV mit Beschränkungen (dunkler) hinsichtlich der Glattheit der Spektren im Verhältnis zum MMV ohne Beschränkungen (heller).

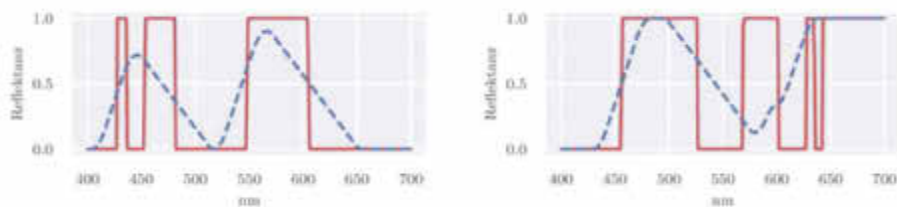


Abbildung 7: Direkter Vergleich beispielhafter optimaler Reflektanzen, die ein MMV assoziiert mit der RGB Kamera begrenzen, ohne (rot) und mit (blau) Beschränkungen hinsichtlich ihrer Glattheit.

multispektrale Kamerasystem, deren Signale in den Normfarbraum des Menschen abgebildet werden sollen. Abb. 4 zeigt die MMV's mit und ohne Glattheitsbeschränkungen im direkten Vergleich. Es ist direkt ersichtlich, wie stark die Volumen sich verkleinern. Für die Multispektralkamera verkleinert sich dabei das Volumen relativ gesehen deutlich stärker. In Abb. 7 sind zur besseren Veranschaulichung beispielhaft optimale Reflektanzen mit und ohne Glattheitsbeschränkungen visualisiert.

Wird diese Auswertung über die 1600 Munsell Spektren wiederholt, zeigt sich, dass die Verkleinerung der Volumen sich konsistent über den gesamten Datensatz fortsetzt. Insbesondere für Spektren, die stark gesättigten Farben entsprechen, kollabieren die dazugehörigen MMVs fast vollständig. Es bleibt zusammenfassend festzuhalten, wie wichtig die korrekte Modellierung der Menge aller spektralen Objektreflektanzen ist. Bereits die zusätzliche Berücksichtigung der Beschränktheit der ersten und zweiten Ableitung hat einen massiven Einfluss auf den theoretischen Schweregrad einer möglichen metameren Fehlanpassung.

## 4 Zusammenfassung

Es wurde ein Verfahren vorgestellt, das es ermöglicht, die theoretischen Grenzen einer metameren Fehlanpassung zu bestimmen. Der Algorithmus ermöglicht die Berechnung und nachfolgend die Bewertung sogenannter "Metamer Mismatch Volumes", auch für die Multispektraltechnik. Eine mögliche Anwendung ist die simulative Bewertung und Optimierung der spektralen Empfindlichkeit von Kamerasystemen hinsichtlich ihrer möglichen Farbgenauigkeit unter verschiedenen Rahmenbedingungen. Bislang beruht die Modellierung der Menge aller möglichen spektralen Objektreflektanzen auf einem Würfel, d.h.  $r(\lambda) \in [0, 1]$ . Obwohl solch eine Einschränkung sicherlich nachvollziehbar ist, ist sie alleinstehend nicht ausreichend. Insbesondere Beschränkungen hinsichtlich der Glattheit der Spektren sind für eine realitätsnähere Betrachtung notwendig.

Um den Effekt möglicher Beschränkungen zu demonstrieren, haben wir auf Basis von Linearer Programmierung eine Berechnung von Mismatch Volumen beschrieben, welche die Glattheit von Objektreflektanzen berücksichtigt. Dadurch konnte die Euklidische Größe der Volumen signifikant reduziert werden. Der Effekt ist dabei umso stärker, je mehr Kanäle ein verwendetes Kamerasystem aufweist. Insbesondere für Spektren, die gesättigten Farben entsprechen, verschwinden im Gegensatz zu vorher die Mismatch Volumen fast vollständig und eine direkte Punkt-zu-Punkt Transformation wird möglich.

## Literatur

- [1] Wyszecki, G., W.S.Stiles: *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, 2nd edition. (1982)
- [2] Luther, R.: Aus dem Gebiet der Farbreizmetrik. *Zeitschrift für technische Physik* **8** (1927) 540–558
- [3] Ives, H.E.: The transformation of color-mixture equations from one system to another. *J. Franklin Inst.* (1915)
- [4] Centore, P.: *An Open-Source Algorithm for Metamer Mismatch Bodies*. unpublished (2017)
- [5] Rang Nguyen, D.K.P., Brown, M.S.: Raw-to-raw: Mapping between image sensor color responses. *The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (2014) 3398–3405
- [6] Urban, P., R.-R.Grigat: The metamer boundary descriptor method for color correction. *Journal of Imaging Science and Technology* **49**(4) (2005) 418–430
- [7] Francisco Martinez-Verdu, J.P., Capilla, P.: Characterization of a digital camera as an absolute tristimulus colorimeter. *Journal of Imaging Science and Technology* **47**(4) (2003) 279–295
- [8] Guowei Hong, M.R.L., Rhodes, P.A.: A study of digital camera colorimetric characterization based on polynomial modeling. *Color Research & Application* **26**(1) (2001) 76–84
- [9] Yan, Z., Zhang, H., Wang, B., Paris, S., Yu, Y.: Automatic Photo Adjustment Using Deep Neural Networks. *ACM Trans. Graph.* **35**(2) (2016) 11:1–11:15

- [10] Logvinenko, A.D., Funt, B., Godau, C.: Metamer mismatching. *Trans. Img. Proc.* **23**(1) (January 2014) 34–43
- [11] Finlayson, G., Morovic, P.: Metamer constrained color correction. *Journal of Imaging Science and Technology* **44**(4) (2000) 295–+
- [12] Stiebel, T., Merhof, D.: A robust algorithm for computing boundary points of the metamer mismatch body. In: *Twenty-sixth Color and Imaging Conference (CIC)*, (2018)
- [13] Schrödinger, E.: Theorie der Pigmente von grösster Leuchtkraft. *Annalen der Physik* **62**(4) (1920) 603–622
- [14] West, G., Brill, M.H.: Conditions under which schrödinger object colors are optimal. *J. Opt. Soc. Am.* **73**(9) (Sep 1983) 1223–1225
- [15] Flinkman, M., Laamanen, H., Vahimaa, P., Hauta-Kasari, M.: Number of colors generated by smooth nonfluorescent reflectance spectra. *J. Opt. Soc. Am. A* **29**(12) (Dec 2012) 2566–2575
- [16] : *Munsell Book of Color — Glossy Finish Collection*. (Munsell Color, Baltimore, Md., 1976)



# 3D-Scannerprofilierung mit KI-Methoden

DfwG-Jahrestagung 2019

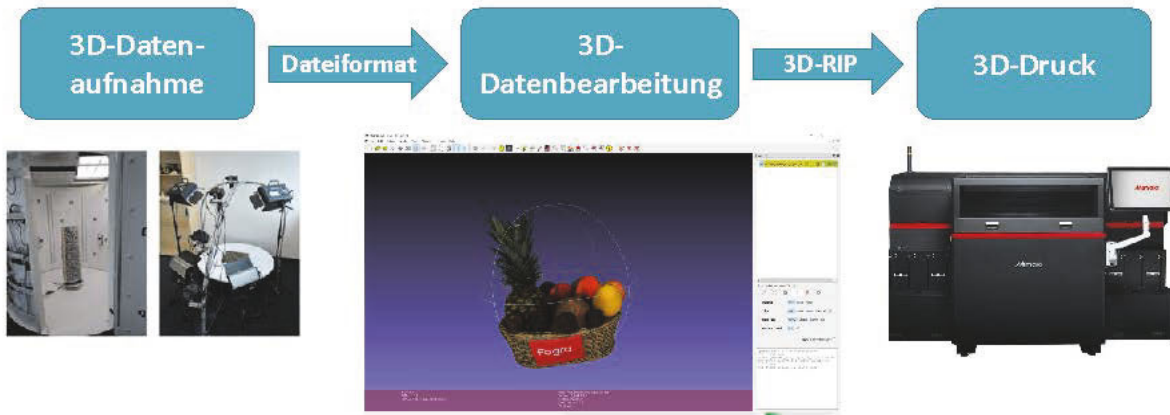
Dr.-Ing. Julie Klein  
Fogra Forschungsinstitut für Medientechnologien e.V.

## Agenda



1. Einleitung
2. Farbtreue von 3D-Daten
3. Inverse metamere Charakterisierung
4. Einsatz von KI
5. Untersuchung
6. Zusammenfassung

## 1. Graphischer 3D-Druck und 3D-Scanner



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

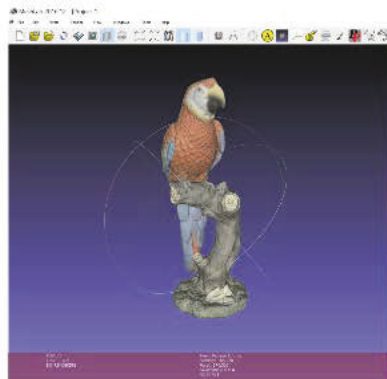
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

3

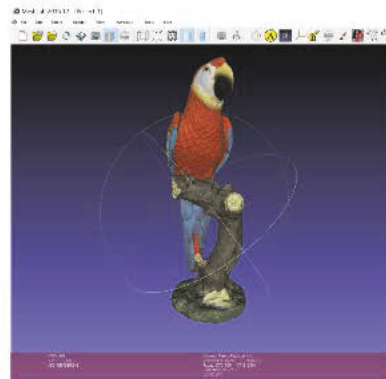
## 2. Beispiel



ohne Farbmanagement



mit Farbmanagement



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

4

## 2. Farbtreue von 3D-Daten



- Ziel = Farbmanagement von der Datenerfassung bis zum Druck
- Voriges Fogra-Projekt 11.002: „Prozessstandardisierung im graphischen 3D-Druck für 3DP- und FDM-Verfahren“
- Jetzt: Einsatz von künstlicher Intelligenz / neuronaler Netzen

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

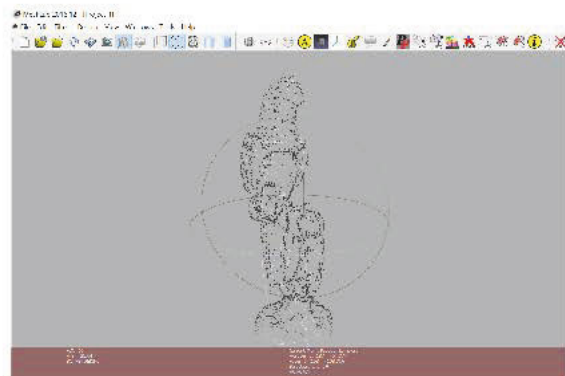
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

5

## 2. obj-Dateien



- Aufbau von obj-Datei:
  - Vertices



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

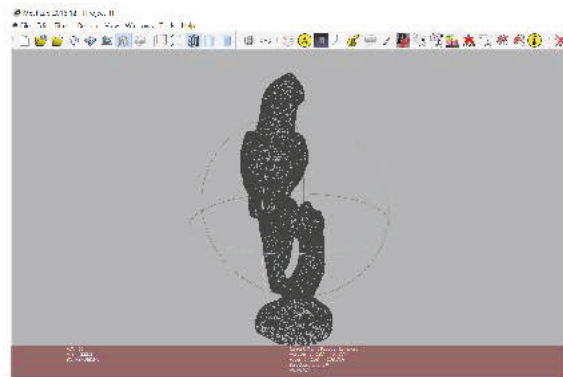
6

## 2. obj-Dateien



### • Aufbau von obj-Datei:

- Vertices
- Faces



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

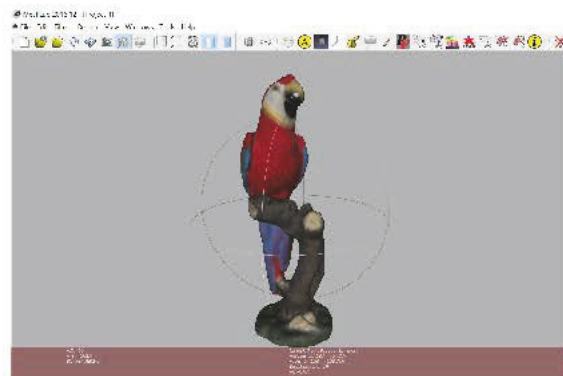
7

## 2. obj-Dateien



### • Aufbau von obj-Datei:

- Vertices
- Faces
- Textur-Map



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

8

## 2. 3D-Scanner und Rekonstruktion-Software

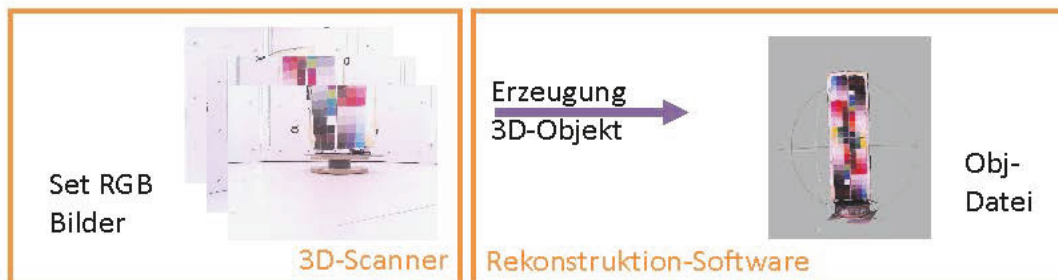


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

9

## 2. 3D-Scanner und Rekonstruktion-Software



→ Charakterisierung von 3D-Scanner und Rekonstruktion-Software!

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

10



## 2. Reproduzierbarkeit der Rekonstruktion-Software

- Zwei unterschiedliche Rekonstruktionen



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

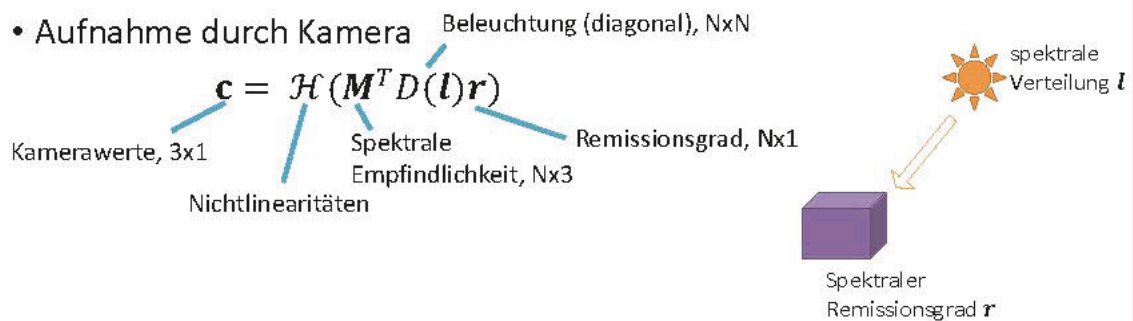
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

11



## 3. Inverse metamere Charakterisierung

- Aufnahme durch Kamera



- Abtastung der Wellenlänge mit N Werten

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

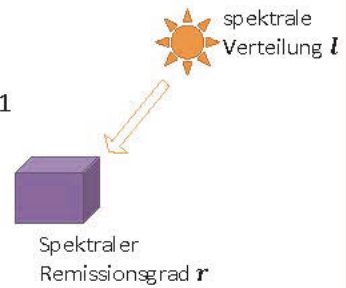
12

### 3. Inverse metamere Charakterisierung

- Aufnahme durch Kamera Beleuchtung (diagonal), NxN

$$\mathbf{c} = \mathcal{H}(\mathbf{M}^T \mathbf{D}(\mathbf{l}) \mathbf{r})$$

Kamerawerte, 3x1      Spektrale Empfindlichkeit, Nx3      Remissionsgrad, Nx1  
 Nichtlinearitäten



- Normfarbwerte

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \mathbf{A}^T \mathbf{D}(\mathbf{l}) \mathbf{r}$$

CIE-Standardnormalbeobachter-Kurven, Nx3

- Abtastung der Wellenlänge mit N Werten

### 3. Inverse metamere Charakterisierung

- Suche ein Mapping  $\mathcal{F}_{scan}$

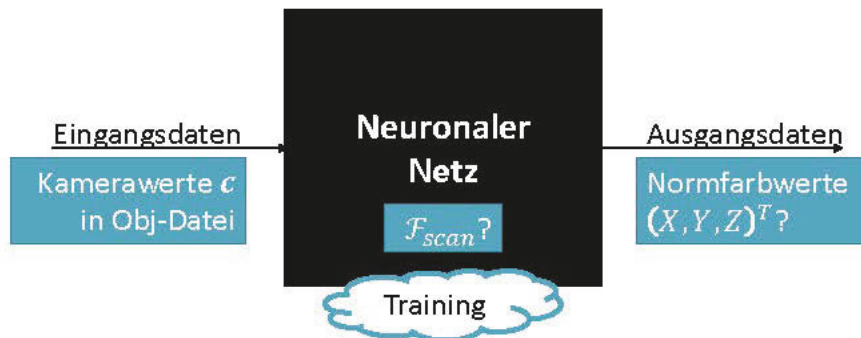
$$\underbrace{\mathbf{A}^T \mathbf{D}(\mathbf{l}) \mathbf{r}}_{\text{Normfarbwerte}} = \mathcal{F}_{scan}(\underbrace{\mathbf{c}}_{\text{Kamerawerte Werte der Textur}})$$

- Bedingung: Für bestimmte Lichtart  $\mathbf{l}$

#### 4. Künstliche Intelligenz



- Einsatz von KI für die Schätzung der Funktion  $\mathcal{F}_{scan}$
- Hier: Neuronale Netze



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

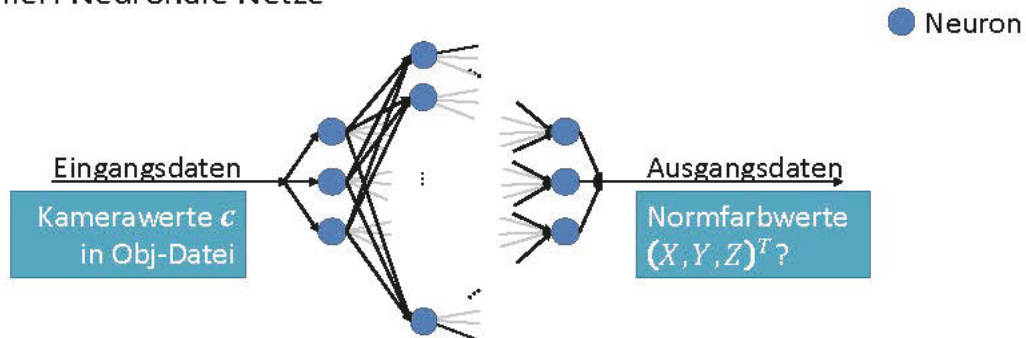
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

15

#### 4. Künstliche Intelligenz



- Einsatz von KI für die Schätzung der Funktion  $\mathcal{F}_{scan}$
- Hier: Neuronale Netze

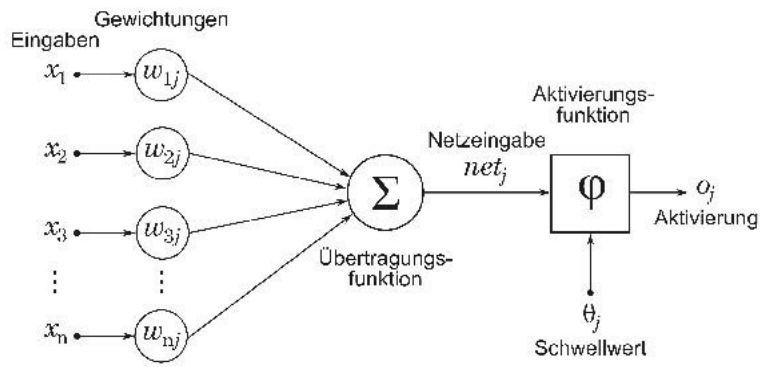


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

16

#### 4. Aufbau eines Neurons



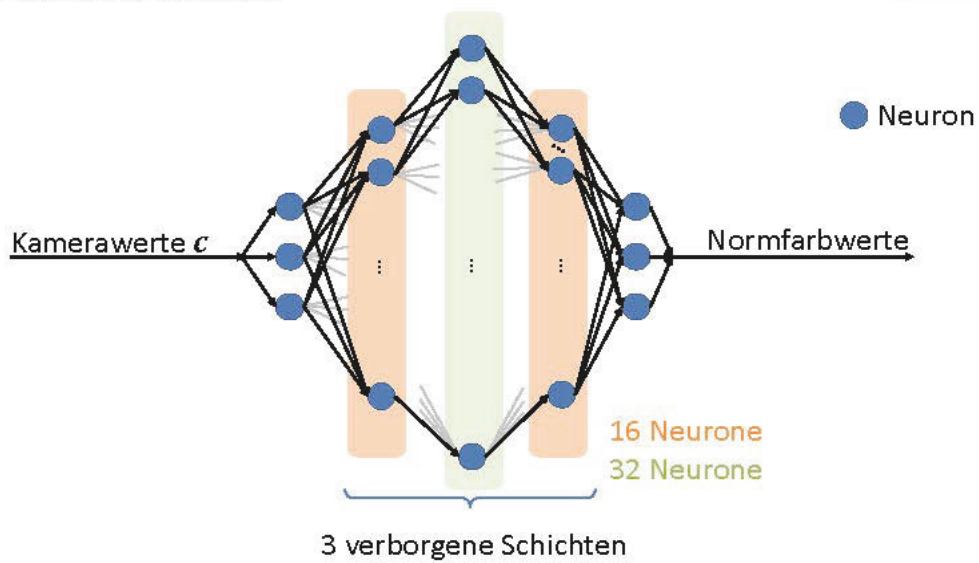
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NeuronModel\\_deutsch.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NeuronModel_deutsch.svg)

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

17

#### 4. Verwendete Struktur



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

18

## 5. Versuchsaufbau



- IT8.7/4 auf der einen Seite



- Andere Targets auf der anderen Seite:
  - Hautfarben
  - Einzelne Farbfelder aus dem IT8.7/4
  - Schwarz / weiß



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

19

## 5. Untersuchung



- Training des neuronalen Netzes auf IT8.7/4
- Anwendung auf Rückseite mit anderem Target
- Qualität der Profilierung:  $\Delta E_{00}$



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

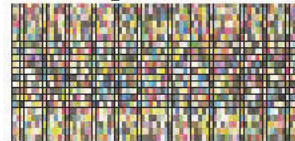
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

20

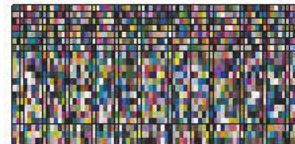
5. Aufnahme mit IT8.7/4



Originalwerte



Referenz

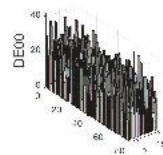


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

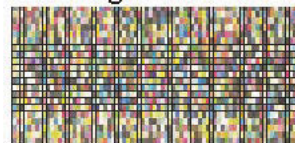
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

21

5. Aufnahme mit IT8.7/4



Originalwerte

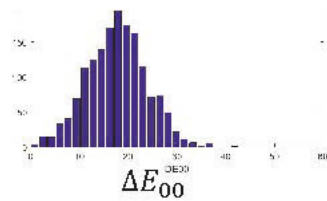


Referenz



Mittelwert  
17,73

95%-Perzentil  
27,96



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

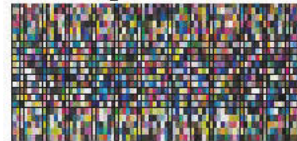
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

22

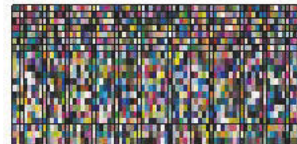
## 5. Profilierung mit IT8.7/4



Korrigierte Werte



Referenz

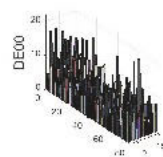


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

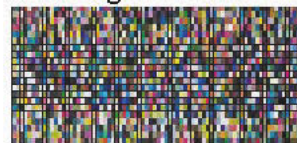
Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

23

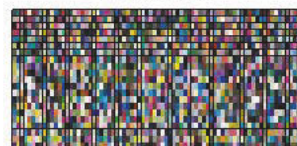
## 5. Profilierung mit IT8.7/4



Korrigierte Werte

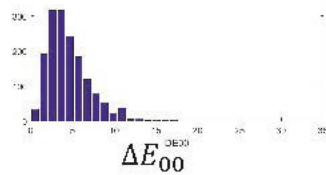


Referenz



Mittelwert  
4,53

95%-Perzentil  
9,42

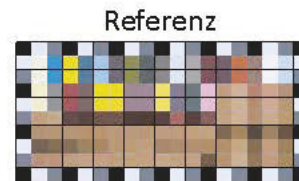
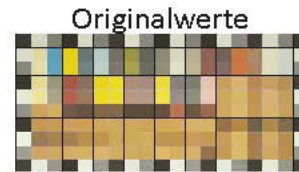


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

24

## 5. Aufnahme mit anderem Target

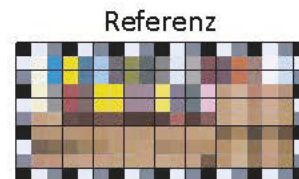
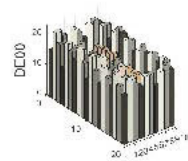


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

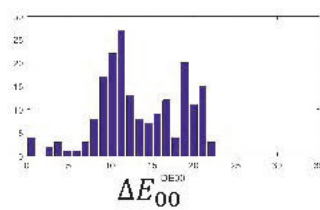
25

## 5. Aufnahme mit anderem Target



Mittelwert  
13,52

95%-Perzentil  
21,06

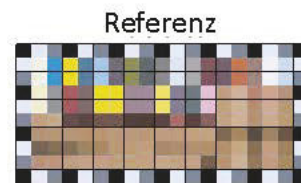


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

26

5. Anwendung der Korrektur

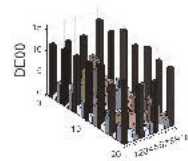


DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

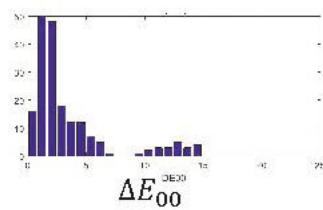
27

5. Anwendung der Korrektur



Mittelwert  
3,49

95%-Perzentil  
12,92



DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

28

## 6. Zusammenfassung



- Profilierung des ~~3D-Scanners~~ für Farbtreue beim 3D-Druck  
... eigentlich Scanner + Software!
- Farbprofilierung mit neuronalem Netz
- Gute Ergebnisse: Korrigiertes Farbtarget mit mittlerer Farbdifferenz  
 $\Delta E_{00} = 3,5$

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

29

## 6. Zusammenfassung



- Profilierung des ~~3D-Scanners~~ für Farbtreue beim 3D-Druck  
... eigentlich Scanner + Software!
- Farbprofilierung mit neuronalem Netz
- Gute Ergebnisse: Korrigiertes Farbtarget mit mittlerer Farbdifferenz  
 $\Delta E_{00} = 3,5$
  
- Nächste Schritte:
  - Optimierung des neuronalen Netzes
  - Erzeugung eines ICC-Profiles aus dem Ergebnis

DfwG-Jahrestagung 10.10.2019

Dr. Julie Klein | klein@fogra.org

30

## Die Welt der Autofarben

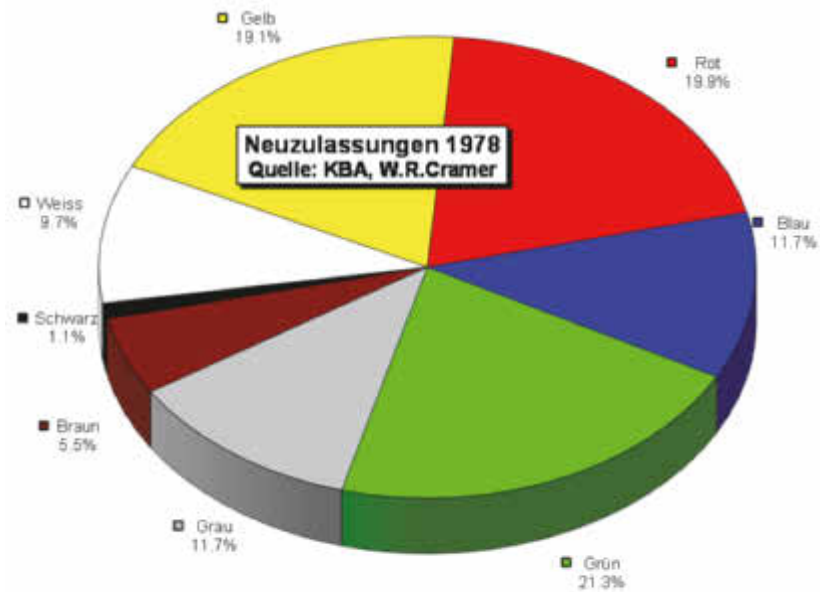
Werner Rudolf Cramer, Münster

Farben sind gemeinhin Geschmackssache. Das bedeutet, dass die persönliche Farbwahl individuell ist und akzeptiert werden. Um beispielsweise aus den Verhandlungen über einen Gebrauchtwagen herauszukommen, reicht der Hinweis, dass einem die Farbe des Autos nicht gefällt! Wenn es um die Farbe eines Neuwagens geht, ist man abhängig vom Farbangebot des Autoherstellers. Bis auf wenige Ausnahmen sind die Autofarben im jeweiligen Jahrgang gleich oder sehr ähnlich. Und das Farbangebot richtet sich selten nach den Wünschen der Autokäufer, sondern wird meistens durch technische Rahmenbedingungen diktiert.

Seit dem Jahr 1978 veröffentlicht das Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) monatlich die Neuzulassungen. Zu den Daten gehören auch die Farben der neuzugelassenen Fahrzeuge. Allerdings ist hierbei die Einschränkung zu beachten, dass „nur“ Farbbereiche angegeben werden. Ein Türkis kann nach Angaben des Herstellers dem blauen oder grünen Bereich zugeordnet werden. Auch wird kein Unterschied zwischen Uni-, Metallic- und Effektfarben gemacht. Es ist davon auszugehen, dass die gemeldeten grauen Fahrzeuge silbermetallisch sind. Bei weißen und schwarzen halten sich Unis und Effekt etwa die Waage.

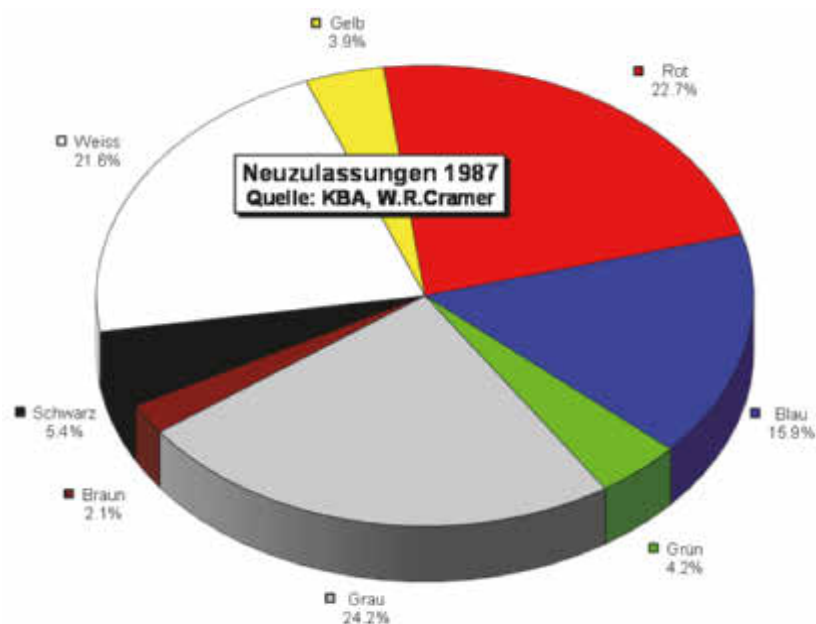
Im Jahr 1978 war die Farbenwelt auf deutschen Straßen noch in Ordnung: Bunte Farben dominierten das Straßenbild (siehe Titelbilder). Auch in anderen europäischen Ländern sah man bunte Fahrzeuge auf deren Straßen. Allerdings unterschieden sich die bunten Farben meistens von denen in Deutschland. Beispielsweise waren gelbe Farben in Frankreich und Italien grünlicher als in Deutschland.

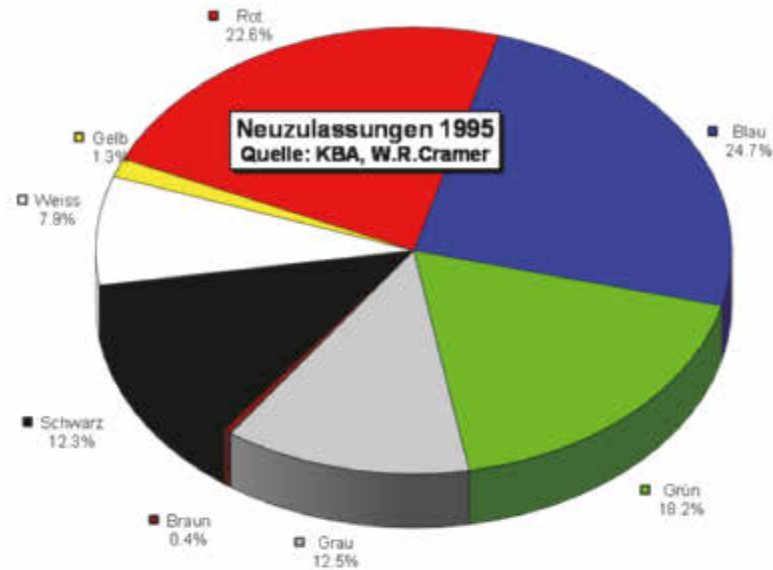
Die Farbverteilung im Jahre 1978 – in den Jahren vorher war sie ähnlich – zeigt eine Dominanz der Farben Gelb, Rot und Grün. Das waren kräftige Unifarben im Gegensatz zu den heutigen dunklen Grüntönen. Es war aber schon abzusehen, dass die bunten Farben verschwinden würden, da sich die Auto- und Lackhersteller geeinigt hatten, keine schwermetallhaltigen Pigmente mehr einzusetzen. Insbesondere mit gelben Pigmenten konnten intensive Grün-, Orange- und Rottöne produziert werden. Anfang der 60er Jahre setzte auch eine Hype nach schwarzen Fahrzeugen ein: Regierungsfahrzeuge wurden mehr und mehr in Dunkelblau bestellt, Beerdigungsfahrzeuge wechsel-



ten zu Anthrazit- und Silbermetallic und schwarze Taxen präsentierten sich in Hellelfenbein.

Bis Mitte der 80er Jahren wurden Serienfarben noch als sogenannte Ein- oder Zweischichter gefahren, d.h. als Einschichter ohne Klarlack und als Zweischichter mit Klarlack über den Basislack. Der Anteil an Metallic-Lacken nahm zu, weil diese im Zweischicht-Verfahren deutlich besser zu applizieren war. Das zeigt sich insbesondere beim Anstieg der grauen (=silbernen) Fahrzeuge. Aber auch die Zahl der neuzugelassenen Fahrzeuge in Weiß stieg: Hier wurden viele Fahrzeuge in Kompletweiß lackiert, d.h. Kunststoffteile wie Stoßstangen wurden in Weiß mitlackiert. Damals war man noch im Experimentierstadium bezüglich der Kunststofflackierung. Jeder Hersteller von Repara-





turlacken hatte seine eigene Methode.

In den 90er Jahre boten die Autohersteller insbesondere Perleffekt-Lackierungen in Grün und Blau, was sich auch in der Statistik abbildete. Daneben stieg der Anteil schwarzer Fahrzeuge. Von 1981/82 ist dieser Anteil stark gestiegen, wobei heute sicherlich die Mehrzahl der schwarzen Fahrzeuge eine Effektlackierung besitzt. Der Anteil der bunten Fahrzeuge sank ab Mitte der 90er Jahren zugunsten von Silber (Grau). Diese Autofarbe stieg und stieg von Jahr zu Jahr und erreichte mit über 46% den Höhepunkt im Jahre 2004.

