



Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e.V.

Herausgegeben vom Vorstand der DfwG

Verantwortlich: Dr. Gerhard Rösler



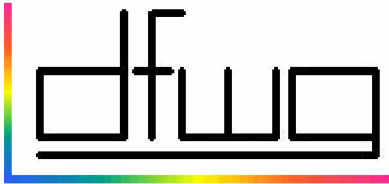
H. Dr. Witt nach der Verleihung des Manfred Richter Gedenkpreises 2005 des Normenausschuß Farbe in DIN durch H. Dr. Rösler



H. Dr. Puebla, Leiter der Arbeitsgruppe Fluoreszenz



Gemütliches Beisammensein in der Pizzeria Il Mulino



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

Inhaltsverzeichnis Report 3 2005

<i>Impressum</i>	<i>2</i>
<i>Liebe Farbgemeinde,.....</i>	<i>3</i>
<i>Impressionen von der DfwG Jahrestagung 2005 in Berlin.....</i>	<i>5</i>
<i>Reflexionsspektrometrie fluoreszierender polymerer Proben in Abhängigkeit von der Messfeld-Blende mit der Messgeometrie d/8</i>	<i>6</i>
<i>Die CIELab-Formel und ihre theoretischen Grenzen.....</i>	<i>17</i>
<i>Brightness matching by peripheral vision of motion.....</i>	<i>19</i>
<i>Farbcharakterisierung von Film und Video</i>	<i>29</i>
<i>Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion.....</i>	<i>38</i>
<i>Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur.....</i>	<i>45</i>
<i>Vorschau DfwG Report 01 2006</i>	<i>52</i>

Impressum

ISSN 1860-2835

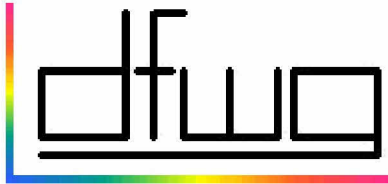
Titelbilder: Bilder von der DfwG Jahrestagung 2005 in Berlin (Fotos: Christina Hacker)

Verleger und Herausgeber: Deutsche farbwissenschaftliche Gesellschaft e. V.

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

Einzelheft: 10 Euro + Versandkosten

Der Bezug der Zeitschrift ist im DfwG Mitgliedsbeitrag enthalten.



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

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

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

Schatzmeister: Dipl.-Ing. Lutz Grambow, Tel / Fax: 030 705 4670, e-mail: Lutz.Grambow@t-online.de

Sekretär: Dipl.-Ing. Frank Rochow, Tel: 030 393 4028, Fax: 030 391 8001, e-mail: offices@rochow-berlin.de

Geschäftsstelle: Gralsburgsteig 35, 13465 Berlin

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

Arbeitsgruppenleiter:

Farbbildverarbeitung, Prof. Dr. Bernhard Hill; siehe oben

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

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

Industrielle Farbtoleranzen, Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Multigeometrie Farbmessung, Dr. Gerhard Rösler, siehe oben

Internet: www.dfwg.de

Dezember 2005

Liebe Farbgemeinde,

als erstes wünsche ich allen DfwG Mitgliedern und Ihren Familien ein erfolgreiches Neues Jahr 2006 und freue mich auf weitere fruchtbare Zusammenarbeit bei unserem gemeinsamen Thema „Farbe“.

Wir hatten in Herbst 2005 unsere beeindruckende Jahrestagung in Berlin an der BAM. Ich danke allen an der Vorbereitung und Durchführung Beteiligten sehr herzlich für die gute Organisation und den gelungenen Verlauf der Tagung, speziell Herrn Rochow und natürlich allen Referenten, die mit ihren interessanten Vorträgen und Postern die Tagung so interessant gemacht haben. Besonderer Dank gebührt unserem Mitveranstalter und hervorragendem Gastgeber, Prof. Daum und seinen Mitarbeitern, stellvertretend für alle Herrn Bernd Günther und Herrn Dr. Steckert. Auch das interessante Rahmenprogramm sowie der einmalig günstige Tagungspreis waren bemerkenswert. Wenn ich die Fotos des „Hofphotographen“ der BAM bekomme, werde ich sie gerne ins Internet

stellen. Die Photos in diesem Report stammen von Frau Hacker.

Die Jahrestagung 2006 wird nach derzeitigem Planungsstand vom 26.-28. September 2006 in Dresden, der alten Wirkungsstätte von Prof. Manfred Richter stattfinden. Herr Bendin hat freundlicherweise die Organisation in Dresden übernommen. Wir freuen uns schon auf eine erfolgreiche Tagung in Dresden, in den historischen Gebäuden. Im Anschluss (und einen Tag überlappend) wird das Farbenzentrum seine Jahrestagung abhalten. Es ergibt sich die Gelegenheit auch einmal über den Tellerrand unserer DfwG Arbeitsgebiete zu blicken und die doch oft ganz andere Herangehensweise an die Farbe aus Sicht u.a. von Künstlern, Farbberatern und Architekten bei Interesse im Anschluss an die DfwG Tagung mitzuerleben.

Wir hatten auf der Jahrestagung 2005 auch interessante und gut besuchte Arbeitsgruppensitzungen, die den Bedarf an direktem fachlichem Meinungs- und Erfahrungsaustausch Rechnung

getragen haben, aber auch die vielen brennenden offenen Themen aufgezeigt haben, an deren Bearbeitung wir aktiv mitwirken.

Auf der Mitgliederversammlung wurde der DfwG Vorstand neu gewählt - alles bleibt beim Alten. Der Vorstand bedankt sich für das ausgesprochene Vertrauen.

In der Arbeitsgruppe Farbmeterik Grundlagen gab es einen Führungswechsel - H. Dr. Witt hat den Vorsitz an Herrn Dr. Kettler übergeben, dem ich viel Erfolg wünsche und für seine (von H. Dr. Witt ohne Foltermethoden erwirkte) Bereitschaft danke, diese wichtige DfwG Arbeitsgruppe zu leiten.

Auf der Jahrestagung in Berlin, die ja auch zu Ehren des 100. Geburtstags von Prof. Manfred Richter an seiner langjährigen Wirkungsstätte stattfand hatte ich als Vorsitzender des Beirats des DIN Normenausschuss Farbe (FNF) die Freude, den Manfred Richter Gedenkpreis 2005 für besondere Verdienste um den FNF an Herrn Dr. Klaus Witt zu verleihen. Ich wünsche uns, dass er uns noch viele Jahre seines „Un“-Ruhestands aktiv mit all seiner Erfahrung und seinen hochgeschätzten Kenntnissen begleitet.

Die CIE erarbeitet unter Leitung von Alan Robertson im TC 1-57 den CIELAB Standard - es ist schon beeindruckend, dass nach fast 30 Jahren noch Diskussionen und Verbesserungen möglich sind. Aber das Projekt steht vor dem Abschluss, das deutsche Votum (die DfwG ist das deutsche Spiegelgremium der CIE Div. 1 und ich bin der deutsche Vertreter in der Division 1) war zustimmend mit Kommentaren, die wohl auch berücksichtigt werden.

Um Sie alle über die CIE Aktivitäten auf dem Laufenden zu halten legen wir diesem Report die original „CIE News“ bei, die uns freundlicherweise durch Vermittlung von Herrn Dr. Seidl in Zukunft zur Verfügung gestellt werden. Dann müssen wir nicht Teile daraus in den Report kopieren sondern Sie haben das Original. Es haben mich einige Rückmeldungen über den DfwG Report erreicht, die neue Form wurde positive kommentiert. Vielen Dank. auch an Frau Hacker, die dankenswerterweise wieder viel Zeit auch in dieses Heft investiert hat und sehr gut mit mir zusammengearbeitet hat.

Daher kann ich diese Zeilen schon kurz nach Weihnachten schreiben und letzte Hand anlegen damit der Report noch 2005 gedruckt und rausgeschickt werden kann.

In diesem Heft finden Sie neben Vorträgen, die auf DfwG Jahrestagungen gehalten wurden auch Beiträge, die mir zusätzlich angeboten wurden.

+ H. Dr. Kaufmann stellt in seinem Beitrag den Einfluss der Meßöffnung auf die Meßergebnisse bei der Farbmessung verschiedener Arten fluoreszierender Proben mit Kugelgeometrie dar. Die Erkenntnisse sollte man berücksichtigen bei der Messung und Interpretation von Unterschieden.

+ Den zweiten Artikel von H. Dr. Kaufmann habe ich mit einer von mir zitierten Anekdote von H. Dr. Völz über den Hintergrund der Kubikwurzel in der CIELAB Formel ausgelöst. Es war also durchaus sinnvoll nicht den Logarithmus zu wählen (mit den die Rechner damals Schwierigkeiten hatten) und stattdessen die Kubikwurzel.

+ Den dritten Artikel (Autoren H. Kranewitter und H. Liedl) über ein neues, sehr interessantes Verfahren zur Bestimmung der Helligkeit über die periphere Wahrnehmung einer Bewegung als Ersatz der Flicker- Photometrie hat mir unser Mitglied, Herr Prof. Liedl aus Innsbruck angeboten. Dieses neue Verfahren scheint sehr interessant und auch der moderne (englische) Dialekt unserer südlichen Alpennachbarn sollte Sie nicht von der Lektüre abhalten.

+ Der Artikel über die Farbcharakterisierung von Film und Video von Dr. Khanh und H. Geißler gibt Einblicke in die Herausforderungen der abwechselnden Benutzung von analogen und digitalen Präsentationen in der professionellen Filmbranche.

+ Frau Hacker und H. Dr. Khanh berichten über die Wahrnehmung von Farbdifferenzen im professionellen Filmbereich und vergleichen sie mit der CIELAB und CIEDE2000 Farbmeterik.

+ H. Urban und H. Grigat berichten über eine neue Farbbild Transformationmethode, die zu kleinen Farbfehlern sowohl in verrauschten als auch rauschfreien Systemen führt.

Bis zum nächsten Mal verbleibe ich mit besten Wünschen und freundlichen Grüßen

Ihr Gerhard Rösler

Impressionen von der DfwG Jahrestagung 2005 in Berlin



H. Rochow und H. Günther, die beiden Hauptorganisatoren der DfwG JT 2005 in Berlin beim Vorkosten der angebotenen Getränke.

H. Gliese, H. Mieskes, H. Pötschke, Fr. und H. Günther



H. Wobser, H. Sijlsing, Fr. und H. Eggert Jung, Prof. Hill



Prof. Klaus Richter nach seinem Vortrag

Reflexionsspektrometrie fluoreszierender polymerer Proben in Abhängigkeit von der Messfeld-Blende mit der Messgeometrie d/8

Siegfried Kaufmann, Rudolstadt :

Für verschieden durchlässige und fluoreszierende polymere Proben gibt es bei der Messung des spektralen Gesamtreflexionsfaktors $R_T(\lambda)$ mit der Messgeometrie d/8 mindestens zwei unterschiedliche Messeffekte: Bei manchen Proben nimmt $R_T(\lambda)$ mit der Größe der Messfeld-Blende ab, bei anderen Proben oder in anderen Spektralgebieten derselben Probe ist es umgekehrt. Der azimutale Lichtverlust bedingt die Zunahme, der fluoreszenzbedingte Kugelfehler führt zur Abnahme der $R_T(\lambda)$ -Werte mit der Größe der Messfeld-Blende. Neben der Deutung der Messergebnisse können die verschiedenen polymeren Proben (Faden-Wickel, Kunststoff-Plättchen und Papier) in ein Schema eingeordnet und so übersichtlich dargestellt werden.

1. Einleitung und Zielstellung

Im Thür. Inst. f. Textil- und Kunststoff-Forschung (TITK e.V.) wurden bunt fluoreszierende Fäden hergestellt [1]. Zur Erfassung der erreichten Effekte wurden die $R_T(\lambda)$ -Werte (siehe Pkt. 3, Spektrometer, Unterpunkt Messwert) mit der Messgeometrie d/8 erfasst [1, 2, 3]. Bei der Messung des spektralen Gesamtreflexionsfaktors ($R_T(\lambda)$ -Wert) [5] und der Farbdifferenzen (ΔE) in Abhängigkeit von der Größe der Messfeld-Blende zeigten sich widersprüchliche Tendenzen [2, 3], wobei auf erste Deutungen hingewiesen wurde.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die umfassende Darstellung dieser Ergebnisse, d.h. die Abhängigkeit des spektralen Gesamtreflexionsfaktors $R_T(\lambda)$ von der Größe der Messfeld-Blende, ihre theoretische Deutung und die Einordnung der verschieden reflektierenden und fluoreszierenden polymeren Proben (Faden-Wickel, Kunststoff-Plättchen und Papier) in ein sinnvolles Schema. Damit geht die vorliegende Arbeit weit über die genannten Artikel [1, 2, 3] hinaus.

2. Herstellung der bunt fluoreszierenden Fäden

Die Fäden wurden im TITK Rudolstadt im Schmelzspinnverfahren klassisch mit Abzugsgeschwindigkeiten von 800 m/min hergestellt und nach Lagerung mit 1000 m/min verstreckt. Als Polymere wurden Polyamid 6 und Polyester verwendet. Mittels eines Seitenextruders wurde das farbführende Batch zugeführt. Die Konzentration des fluoreszierenden Farbstoffes in den verstreckten Fäden betrug 0,1 %, der Titer ca. 75 dtex f 12 (Polyamid-Einzelfaden-Durchmesser ca. 27 μm) bzw. ca. 83 dtex f 12 (Polyester-Einzelfaden-Durchmesser ca. 25 μm). Diese bunt fluoreszierenden Fäden wurden zu Wickelkärtchen weiterverarbeitet. Die Wickelkärtchen wurden hergestellt, indem die fluoreszierenden Chemiefasern parallel auf eine Metallplatte mit schwarzer Unterlage aufwickelt worden sind. Diese spezielle Art textiler Oberflächen ist durch die Vorbereitung der Proben für die Glanzmessung bedingt. Sie ist nicht zwingend.

Fläche der Metallplatte: 50 * 100 mm²

Fläche des Parallelwickels: 52 * 50 mm²

Dicke des Parallelwickels: ca. 1,2 mm.

Bezeichnung der Wickelkärtchen mit schwarzer Unterlage:

SF1 : Wickel mit nichtfluoreszierenden Polyamidfäden (PA 6)

LWS : Wickel mit blau fluoreszierenden Polyamidfäden (Maximum bei 440 nm)

LGS : Wickel mit grün-gelb fluoreszierenden Polyamidfäden (Maximum bei 520 nm)

LRS : Wickel mit rot fluoreszierenden Polyesterfäden (Maximum bei 630 nm).

3. Spektrometer, Messwerte

Die Messung dieser Oberflächen im TITK Rudolstadt wird mit dem Spektralphotometer CM 3700 d von Minolta durchgeführt, das mit einer Xenon-Blitz-Lampe ausgerüstet ist. Es arbeitet nach der Ein-Monochromator-Methode mit polychromatischer Anregung.

Mess-Geometrie : d/8

Kugel-Durchmesser : 152 mm

Kugel-Innenwand-Belag : Barytweiß (Bariumsulfatschicht)

Messfeld-Durchmesser: **LAV** 25 mm (Große Blende)

MAV 8 mm (Mittlere Blende)

SAV 3*5 mm² (Abweichend zu LAV und MAV: Rechteckiger Querschnitt)

Die Größe der Messfeldblende und der Probe (Pkt. 2) zeigen, dass die Proben ca. doppelt so groß wie der Durchmesser des Messfeldes sind.

Wegen der Uneinheitlichkeit der Form der Messfeldfläche (zweimal kreisförmig und einmal rechteckig) kann der direkte Durchmesser der Messfeld-Blende nicht angegeben werden. Als Ersatz wird in der vorliegenden Arbeit ein Durchmesser-Äquivalent \sqrt{A} angeführt. Die Proportionalität $dP \sim \sqrt{A}$ gilt dabei nur näherungsweise.

UV-Absorptions-Keilfilter: Einstellung der **relativen spektralen Intensität** der Xenon-Blitz-Lampe im UV. Einstellbar von 0 bis 1000 Einheiten (0 bis 100 %).

Absolute Intensität der Lampe: **n** normale Intensität (Normale Gesamtleistung der Lampe)

low niedrigere Intensität (Niedrige Gesamtleistung der Lampe).

Glanzfall: **SCE** Glanzkomponente ausgeschlossen (mit Glanzfalle) - Grundeinstellung bei der Messung.

SCI Glanzkomponente eingeschlossen (ohne Glanzfalle). Wird nicht benutzt, weil die Glanzeinflüsse vorerst nicht untersucht werden sollen und durch azimutale Drehung der Proben minimiert werden.

Azimutale Lage des Wickelkärtchens:

p parallel: Die Richtung der Fäden liegt in Richtung der Verbindung Lampe, Messfeld und Austrittsöffnung

s senkrecht : Senkrecht zur eben genannten Richtung

\bar{x} bzw $p+s$ bedeuten das Mittel aus den Messwerten der parallelen und senkrechten Lage des Wickelkärtchens.

Messwert : Als Messwert wird der spektrale Gesamtreflexionsfaktor $R_T(\lambda)$ erfasst, der sich nach DIN 5033 T 7 aus einem Reflexionsanteil und einem Lumineszenzanteil zusammensetzt. Bei den speziell vorliegenden Proben tritt nur Fluoreszenz auf. An dieser Stelle tritt eine gewisse Schwierigkeit in der Benennung auf, weil bezüglich des Raumwinkels nach DIN 5036 nur die nichtfluoreszierenden Proben angesprochen werden.

Ohne Fluoreszenz gilt nach DIN 5036, vgl. auch [5], für den Raumwinkel

$\omega \rightarrow 0$: Messung des spektralen Strahldichtefaktors $\beta(\lambda)$,

$0 < \omega < 2\pi$ sr: Messung des spektralen Reflexionsfaktors $R(\lambda)$
(bis 1983 „Spektraler Remissionsgrad β_λ “)

und für

$\omega = 2\pi$ sr: Messung des spektralen Reflexionsgrades $\rho(\lambda)$.

Für Proben mit Fluoreszenz (allgemeiner: Lumineszenz, deswegen der Index L) wird seit den siebziger Jahren für $\omega \rightarrow 0$ der spektrale Gesamtstrahldichtefaktor

$$\beta_T(\lambda) = \beta_S(\lambda) + \beta_L(\lambda)$$

verwendet. Dementsprechend werden in der Literatur die $\beta_T(\lambda)$ -Werte diskutiert [1,3,5-9] (T = Total = Gesamt, S = Scattered = Gestreut, L = Luminesced = s.o.).

In DIN 5033 T 7 „Messbedingungen für Körperfarben“ wird für die Messgeometrie d/8 ein maximaler Öffnungswinkel des Empfängers von zweimal 5° empfohlen, was der Einhaltung eines Raumwinkels von $\leq 0,024$ sr entspricht.

Unter diesen Bedingungen wird nach Angabe in der genannten Norm der spektrale Reflexionsfaktor $R(\lambda)$ gemessen. Dies trifft auch für das verwendete Minolta-Messgerät CM 3700 d zu (am Kugelaustritt beträgt ω ca. 0,033 sr. Für den Optikeingang gilt näherungsweise für ω 0,01 sr), weshalb in der vorliegenden Arbeit nicht von einem

* spektralen Gesamtstrahldichtefaktor $\beta_T(\lambda)$
gesprochen wird, sondern von einem analog aufgebauten

* **spektralen Gesamtreflexionsfaktor $R_T(\lambda)$** ,
der in der vorliegenden Arbeit auch **$R_T(\lambda)$ -Wert** genannt.

Analog zur eben genannten Gleichung gilt dann

$$R_T(\lambda) = R_S(\lambda) + R_L(\lambda).$$

Farbdifferenz : Nach DIN 6174 gilt für die Farbdifferenz

$$\Delta E_{LAB} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}.$$

4. Darstellung der Ergebnisse des spektralen Gesamtreflexionsfaktors $R_T(\lambda)$

In Abb.1 ist der Einfluss der Größe der Messfeld-Blende auf das $R_T(\lambda)$ -Spektrum für die drei fluoreszierenden Proben (Wickelkärtchen LWS, LGS und LRS, siehe Pkt.2) dargestellt.

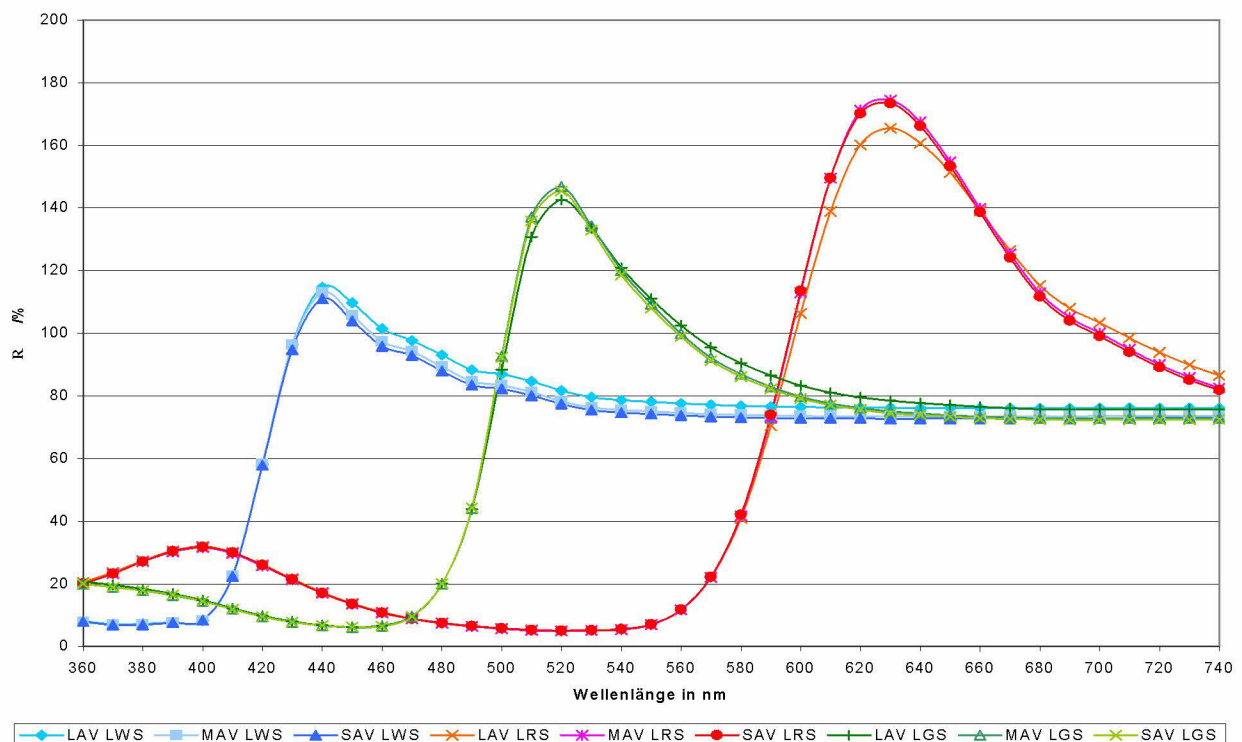


Abb.1 : Einfluss der Größe der Messfeld-Blende auf das $R_T(\lambda)$ -Spektrum für die drei fluoreszierenden Faden-Wickel-Proben LWS (440 nm), LGS (520 nm) und LRS (630 nm) (s.Pkt.2).

Die Klammerwerte bedeuten die Maxima im $R_T(\lambda)$ -Spektrum.

Parameter : 100 % UV, drei Messfeld-Blenden (SAV, MAV und LAV), SCE, low, p+s (siehe Pkt.3).

Wickeldicke der Probe : ca. 1,2 mm.

Diskussion für das Maximum des $R_T(\lambda)$ -Spektrums :

Bei der blau fluoreszierenden Probe (Wickelkärtchen LWS [optischer Aufheller]) nimmt der $R_T(\lambda)$ -Wert am Maximum mit der Größe der Messfeld-Blende zu. Bei den anderen beiden Proben (LGS und LRS) ist es umgekehrt, d.h. der $R_T(\lambda)$ -Wert nimmt mit der Größe der Messfeld-Blende ab !

Diskussion für die weitere spektrale Umgebung des Maximums des $R_T(\lambda)$ -Spektrums :

Bei der LWS-Probe bleibt die eben geschilderte Tendenz bis zum roten Spektralbereich erhalten (d.h. Zunahme des $R_T(\lambda)$ -Wertes mit der Größe der Messfeld-Blende). Bei den anderen beiden Proben (LGS und LRS) ergeben sich in einiger Entfernung vom Maximum des jeweiligen $R_T(\lambda)$ -Spektrums (Abb.1) nunmehr die gleichen Tendenzen wie bei der LWS-Probe, d.h. auch hier Zunahme des $R_T(\lambda)$ -Wertes mit der Messfeld-Blende.

Zur Verdeutlichung der geschilderten Verhältnisse sind die R_λ -Werte am Maximum des R_λ -Spektrums in Abb.2 dargestellt. Wie man aus Abb.2 ersieht, ist gleichzeitig eine nichtfluoreszierende Probe mit aufgenommen worden (Wickelkärtchen SF1, siehe Pkt.2) :

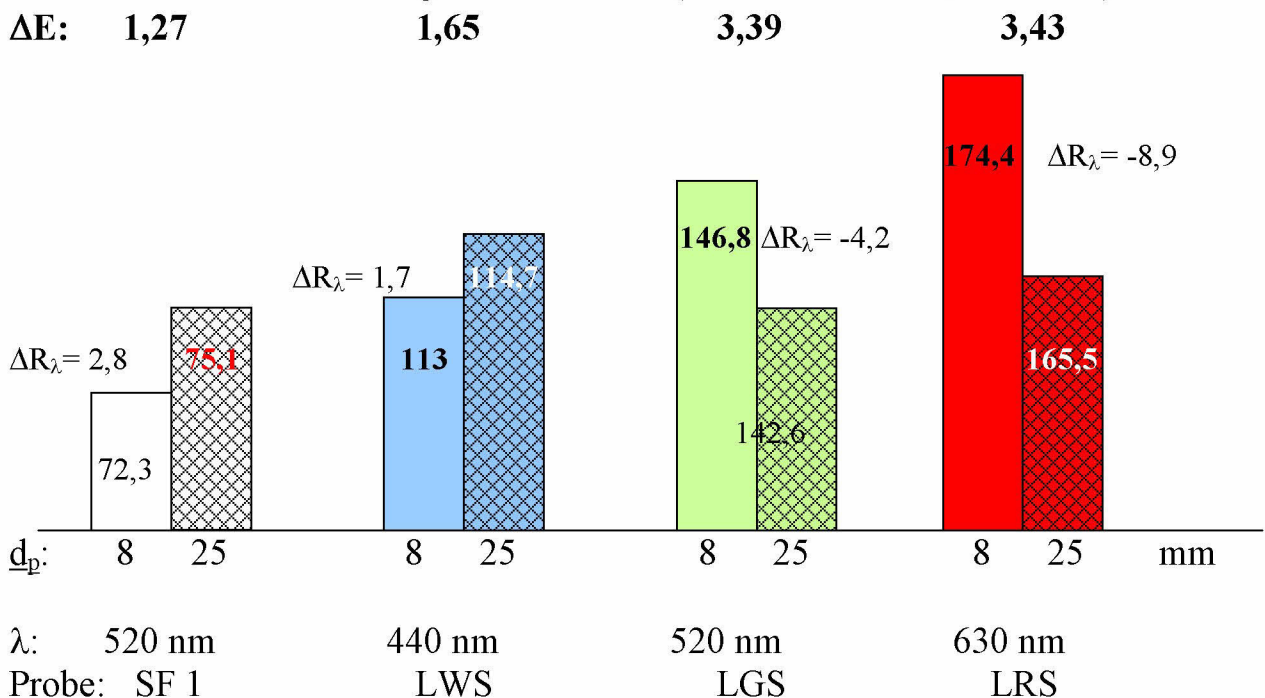


Abb.2 : Auswirkung der mittleren und großen Messfeld-Blende (MAV [Ø 8 mm] und LAV [25 mm]) auf das jeweilige $R_T(\lambda)$ -Maximum in % für die Proben SF1, LWS, LGS und LRS (Schematisch, siehe Pkt.2).

Im oberen Teil sind die Farbdifferenzen angegeben.

Parameter : 100 % UV, SCE, low, p+s (siehe Pkt.3).

d_p bedeutet den Durchmesser der jeweiligen Messfeld-Blende in mm.

Wickeldicke der Probe: ca. 1,2 mm.

Diskussion :

Die Verhältnisse am Maximum des $R_T(\lambda)$ -Spektrums sind gegenüber Abb.1 deutlicher zu erkennen. Das Wichtigste : Die nichtfluoreszierende Probe (SF1) benimmt sich wie die blau fluoreszierende Probe : Die $R_T(\lambda)$ -Werte nehmen mit der Größe der Messfeld-Blende zu.

Es gibt also **zwei entgegengesetzte Effekte** :

4.1 Die $R_T(\lambda)$ -Werte nehmen mit der Größe der Messfeld-Blende **zu**.

4.2 Die $R_T(\lambda)$ -Werte nehmen mit der Größe der Messfeld-Blende **ab**.

Wie aus den Abbildungen hervorgeht, gilt dies zum Teil sogar innerhalb einer Probe (Proben LGS und LRS).

5. Die Deutung der Mess-Ergebnisse

Es wurde schon bemerkt, dass zur Deutung dieser widersprüchlichen Tendenzen zwei verschiedene Wirkungsmechanismen anzunehmen sind [2, 3], auf die hier z.T. theoretisch und detailliert eingegangen wird.

5.1 Der azimutale Lichtverlust

In Abb.2 kommt zum Ausdruck, dass das Verhalten der blaufluoreszierenden Probe (LWS) dem Verhalten der nichtfluoreszierenden Probe (SF1) entspricht, d.h. Zunahme der $R_T(\lambda)$ -Werte mit der Größe der Messfeld-Blende. Es muss sich demnach bei diesen beiden Proben um einen Effekt handeln, der nicht unmittelbar mit der Fluoreszenz zu tun hat. Es kann z.B. angenommen werden, dass bei bestimmten Proben seitlich ein Lichtverlust auftritt, den wir „azimutalen Lichtverlust“ nennen [2, 3]. Wir werden seine Größenordnung näherungsweise abschätzen und dies mit den o.g. Mess-Ergebnissen vergleichen.

Zunächst muss vorausgesetzt werden, dass die entsprechenden Proben selbst auch lichtdurchlässig sind. Das kann bei den beiden angeführten Wickelkärtchen der Fall sein, weil die Fäden nicht mattiert sind (ohne Titandioxid) und weil sie auch sonst keine absorbierenden Stoffe enthalten. Die blau fluoreszierende Probe (LWS) enthält zwar zusätzlich optische Aufheller, diese absorbieren aber mehr im UV und lassen das Sichtbare durch. Die LWS-Probe ist also im Sichtbaren ebenfalls lichtdurchlässig.

Der „azimutale Lichtverlust“ kann aus der Lage der lichtdurchlässigen Probe an der Messfeld-Blende abgeschätzt werden. Die geometrischen Verhältnisse sind in Abb.3 dargestellt.

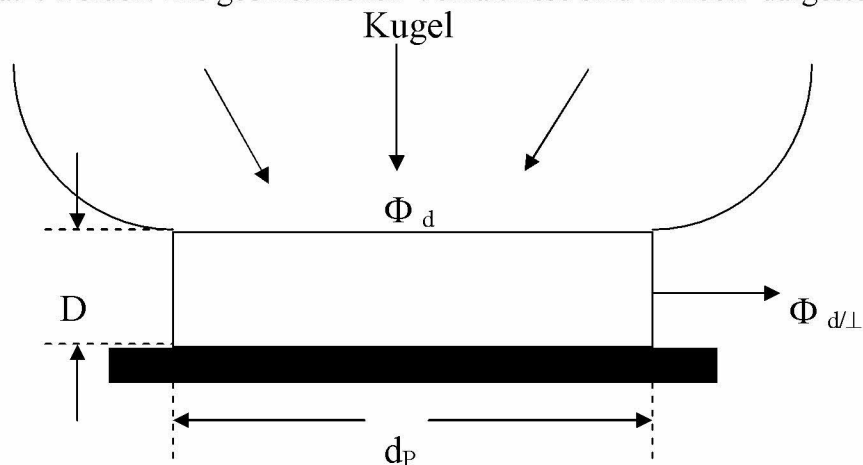


Abb.3 : Lage der lichtdurchlässigen Probe an der Messfeld-Blende

Φ_d = Der von der Kugel diffus auf die lichtdurchlässige Probe fallende Strahlungsfluss

$\Phi_{d/1}$ = Azimutaler Strahlungsfluss = Azimutaler Lichtverlust = Seitlich aus der Probe austretender Strahlungsfluss

d_p = Durchmesser der Probe = Größe der Messfeld-Blende (spezielle Annahme, sie stimmt nur näherungsweise))

D = Dicke der lichtdurchlässigen Probe

Hinter dieser Probe befindet sich eine schwarze Unterlage.

Der Strahlungsfluss Φ_d fällt diffus (daher der Index) auf die Probe mit dem Durchmesser d_p (hier speziell gleich als Durchmesser der Messfeld-Blende angenommen) und der Dicke D (siehe Abb.3). Auf Grund der speziell gewählten spektralen Transmission T mit der Geometrie $d/90^\circ = d/1$, d.h. mit

$T_{d/\perp}$ = **Azimutale Transmission** = *Transmission für diffuse Einstrahlung und Ausstrahlung senkrecht zur Flächennormale der Probenoberfläche*
 = **Relativer Lichtverlust**

ergibt sich der azimutale Strahlungsfluss (azimutaler Lichtverlust) zu

$\Phi_{d/\perp} = T_{d/\perp} * \Phi_d$ = **Azimutaler Strahlungsfluss** = **Azimutaler Lichtverlust** =
Seitlich aus der Probe austretender Strahlungsfluss.

Eine erste geometrische Abschätzung für den azimutalen Transmissionsgrad ergibt folgendes (vgl. Abb.3) :

Der Strahlungsfluss Φ_d ist proportional zur Messfläche $A_p = d_p^2 * \pi / 4$, d.h. $\Phi_d \sim d_p^2$.

Der Strahlungsfluss $\Phi_{d/\perp}$ kann in einem zunächst sehr vereinfachten Modell proportional zur Dicke D der Probe und zu ihrem Umfang $\pi * d_p$ angesetzt werden, wie dies aus Abb.3 zu erkennen ist (Mantelfläche der Probe: $D * \pi * d_p$), d.h. $\Phi_{d/\perp} \sim D * d_p$.

In speziellen Fällen treten sehr viel kompliziertere Relationen auf, über die in einer späteren Arbeit berichtet werden soll.

Der relative Lichtverlust (oder der speziell gewählte azimutale Transmissionsgrad) ergibt sich hier aus den zuletzt genannten Größen zu

$$\Phi_{d/\perp} / \Phi_d = T_{d/\perp} \sim D / d_p \sim D / \sqrt{A_{p_{mm^2}}}$$

Der $R_T(\lambda)$ -Wert ist wiederum dem speziell gewählten Transmissionsgrad umgekehrt proportional, d.h. proportional zu d_p / D oder $\sqrt{A_{p_{mm^2}}} / D$, d.h.

$$R_T(\lambda) = f(1 / T_{d/\perp}) = f(d_p / D) = g(\sqrt{A_{p_{mm^2}}} / D)$$

Werden die $R_T(\lambda)$ -Werte über der Größe der Messfeld-Blende aufgetragen, d.h. über d_p oder $\sqrt{A_{p_{mm^2}}}$, dann müssten sich in erster Näherung Geraden ergeben, wie das in Abb.4 auch zu sehen ist :

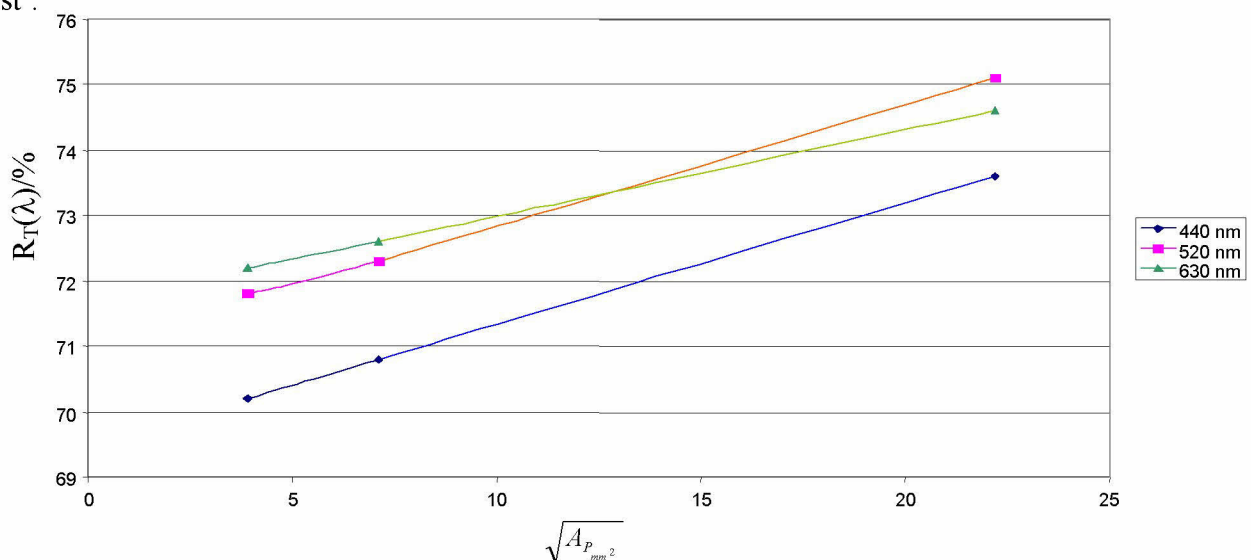


Abb.4 : Einfluss der Messfeld-Blende A_p (SAV [3*5 mm²], MAV [8 mm] und LAV [25 mm]) auf verschiedene $R_T(\lambda)$ -Werte für die nichtfluoreszierende Probe SF1 (siehe Pkt.2) bei den Mess-Wellenlängen λ_M von 440, 520 und 630nm.

Darstellung der $R_T(\lambda)$ -Werte über der Größe der Messfeld-Blende $\sqrt{A_{p_{mm^2}}}$.

Parameter: 100% UV, SCE, low, p+s (siehe Pkt.3)

Wickeldicke der Probe: ca. 1,2 mm.

X	y1	y2	y3	
$(\sqrt{A_p})$	(R440)	(R520)	(R630)	
3,9	70,2	71,8	72,2	R440 / % = $0,186 * \sqrt{A_p} + 69,48$ (Q > 0)
7,1	70,8	72,3	72,6	R520 / % = $0,182 * \sqrt{A_p} + 71,05$
22,2	73,6	75,1	74,6	R630 / % = $0,131 * \sqrt{A_p} + 71,68$
	(Blau)	(Grün)	(Rot)	

Damit besteht ein erster objektiver Hinweis für den azimutalen Strahlungsfluss (azimutaler Lichtverlust). Ein nächster Hinweis erfolgt über die Dicke der Probe.

Wird die Dicke D der Probe SF1 vermindert, dann nimmt der $R_T(\lambda)$ -Wert ab, aber seine Abhängigkeit von der Messblende wird kleiner, weil der seitlich austretende Strahlungsfluss $\Phi_{d\perp}$ auch stark vermindert wird.

Beim Vergleich der Abb.5 (geringe Wickeldicke D von ca. 0,07 mm) mit der Abb.4 (Wickeldicke ca. 1,2 mm) zeigt sich eindeutig, wie mit geringerer Probendicke D die Abhängigkeit von der Messfeld-Blende abnimmt (Q<0 bedeutet keine statistisch gesicherten Unterschiede mit S = 95%).

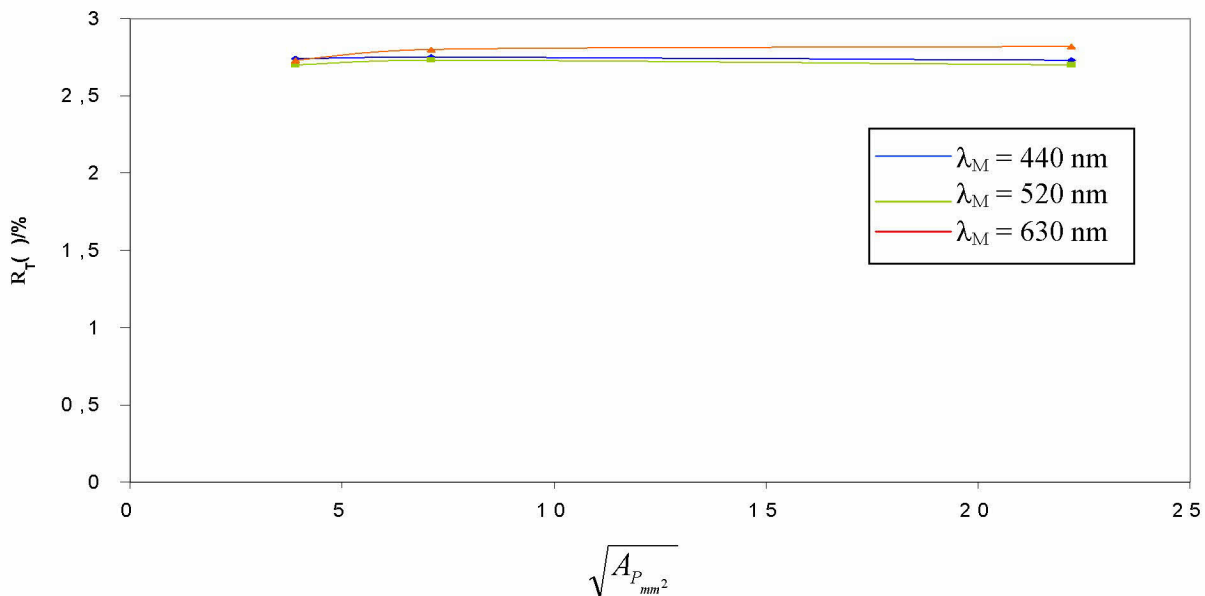


Abb. 5: Einfluss der Messfeld-Blende $\sqrt{A_{p_{mm^2}}}$ - (SAV [3*5 mm²], MAV [8 mm] und LAV

[25 mm]) auf verschiedene R_λ -Werte für die nichtfluoreszierende Probe SF1 (siehe Pkt.2) bei den Mess-Wellenlängen λ_M von 440, 520 und 630 nm.

Darstellung der $R_T(\lambda)$ -Werte über der Größe der Messfeld-Blende $\sqrt{A_{p_{mm^2}}}$.

Parameter: 100% UV, SCE, low, p+s (siehe Pkt.3).

Wickeldicke: ca. 0,07 mm.

X	y1	y2	y3	
$(\sqrt{A_p})$	(R440)	(R520)	(R630)	
3,9	2,74	2,7	2,73	R440 / % = $-7,9 * 10^{-4} \sqrt{A_p} + 2,75$ (Q < 0)
7,1	2,75	2,73	2,80	R520 / % = $-6,2 * 10^{-4} \sqrt{A_p} + 2,75$ (Q < 0)
22,2	2,73	2,70	2,82	R630 / % = $-3,8 * 10^{-3} \sqrt{A_p} + 2,74$ (Q < 0)
	(Blau)	(Grün)	(Rot)	

Der **azimutale Lichtverlust** bedingt also, dass die $R_T(\lambda)$ -Werte mit der Größe der Messfeld-Blende **zunehmen**.

5.2 Der fluoreszenzbedingte Kugelfehler

In diesem Abschnitt soll auf das Ergebnis weiterer eigener theoretischer Untersuchungen hingewiesen werden. Es wird gezeigt, wie durch einen fluoreszenzbedingten Fehler die $R_T(\lambda)$ -Werte mit der Größe der Messfeld-Blende abnehmen.

In Erweiterung der Ansätze von Kortüm [4] wurde von uns der Fluoreszenzanteil R_L des spektralen Gesamtreflexionsfaktors für den Fall einer opaken und fluoreszierenden Probe exakt modellmäßig für eine Anregungswellenlänge λ' und eine Mess-Wellenlänge (λ) berechnet. R_L ist danach folgendem Ausdruck proportional:

$$R_L \sim R'_K \approx R_K = R'_W - \frac{A_P}{A} (R'_W - R'_P),$$

d.h. der fluoreszenzbedingte Anteil R_L des $R_T(\lambda)$ -Wertes nimmt wie erwartet mit der Größe der Messfeld-Blende A_P ab (R'_W ist der spektrale Gesamtreflexionsfaktor der Kugelinnenwand, R'_P ist der spektrale Gesamtreflexionsfaktor für die Probe P bei der Anregungswellenlänge λ' , R'_K ist der mittlere Gesamtreflexionsfaktor der Kugel für die Anregungswellenlänge). Eine Ableitung dieser Beziehung wird in einer späteren Veröffentlichung dargestellt. Hier kommt es zunächst nur auf die Hauptaussage zur Abhängigkeit des R_F -Wertes von der Größe A_P bzw. d_P der Messfeld-Blende an.

Anschaulich ist dies wie folgt zu verstehen : Bei jeder Einzelreflexion an der Kugel-Innenwand wird die Mess-Strahlung entsprechend dem Reflexionsvermögen der Kugel-Innenwand reflektiert. Für die anregende Strahlung gilt das gleiche gegenüber der Kugel-Innenwand. An der fluoreszierenden Probe wird die Mess-Strahlung entsprechend den Eigenschaften der Probe reflektiert. Die anregende Strahlung wird auch reflektiert. Aber auch der andere Teil wird nach der Absorption als Fluoreszenzstrahlung der Mess-Strahlung hinzuaddiert. Dadurch nimmt die anregende Strahlung nach vielen Reflexionen und Absorptionen relativ ab, die Fluoreszenzstrahlung ebenfalls. (Man spricht deshalb auch vom Rückkopplungs- oder feedback-Effekt, wie er z.B. von Gundlach beschrieben wurde [5, 6, 7,]).

Insgesamt wurden von verschiedener Seite wesentliche Beiträge zum fluoreszenzbedingten Fehler geliefert, wobei die grundsätzlichen Arbeiten zur Definition und Messung [5] wie auch die weiteren Effekte bei der Messung [6, 7], beim Kugelinnenwandfehler [8] als auch die Kalibrierung bei weißen Proben [9] eine Rolle spielten.

*Der **fluoreszenzbedingte Kugelfehler** bewirkt also, dass die R_λ -Werte mit der Größe der Messfeld-Blende **abnehmen**.*

6. Zwei weitere Beispiele für die beiden Grundeffekte

Die beiden Grundeffekte (Pkte.4.1 und 4.2) wurden in Pkt.5 erklärt. Der erste Effekt (Pkt.4.1) hängt nicht mit der Fluoreszenz zusammen und auch nicht mit dem blauen Teil des Spektrums. Um dies zu demonstrieren wurde bewusst ein Beispiel gewählt, bei dem im blauen Teil des Spektrums eine *Abnahme* des Reflexionsvermögens mit der Größe der Messfeld-Blende stattfindet (Mechanismus nach Pkt.4.2), siehe Abb.6 :

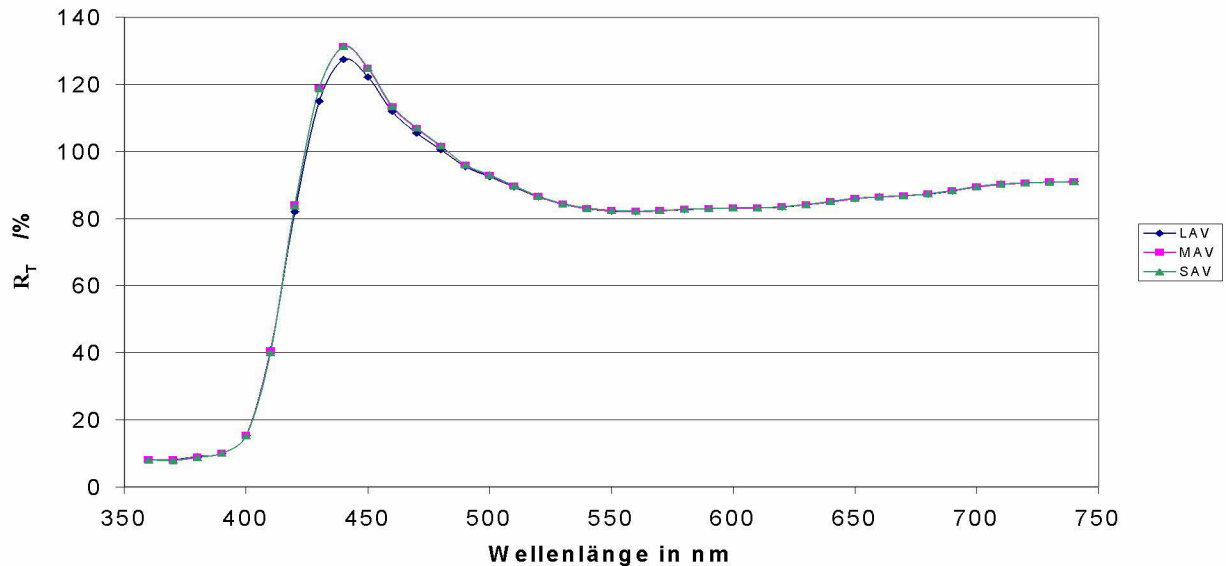


Abb. 6: Einfluss der Größe der Messfeld-Blende auf das $R_T(\lambda)$ -Spektrum einer blau fluoreszierenden und opaken Pappe. ($D = 0,3 \text{ mm}$, $T_{d/0} \approx 0\%$ bei 400 nm bis 6% bei 700 nm). Blenden: SAV, MAV und LAV. (SAV [$3 \times 5 \text{ mm}^2$], MAV [$\varnothing 8 \text{ mm}$] und LAV [$\varnothing 25 \text{ mm}$]).
Parameter: 100% UV, SCE, low (siehe Pkt.3).

Umgekehrt wurde bewusst eine sehr durchlässige und fluoreszierende Probe ausgesucht (eine rot fluoreszierende PMMA-Platte), bei der gerade im roten Spektralgebiet der Effekt der *Zunahme* des Reflexionsvermögens mit der Größe der Messfeld-Blende stattfindet, siehe Abb.7 :

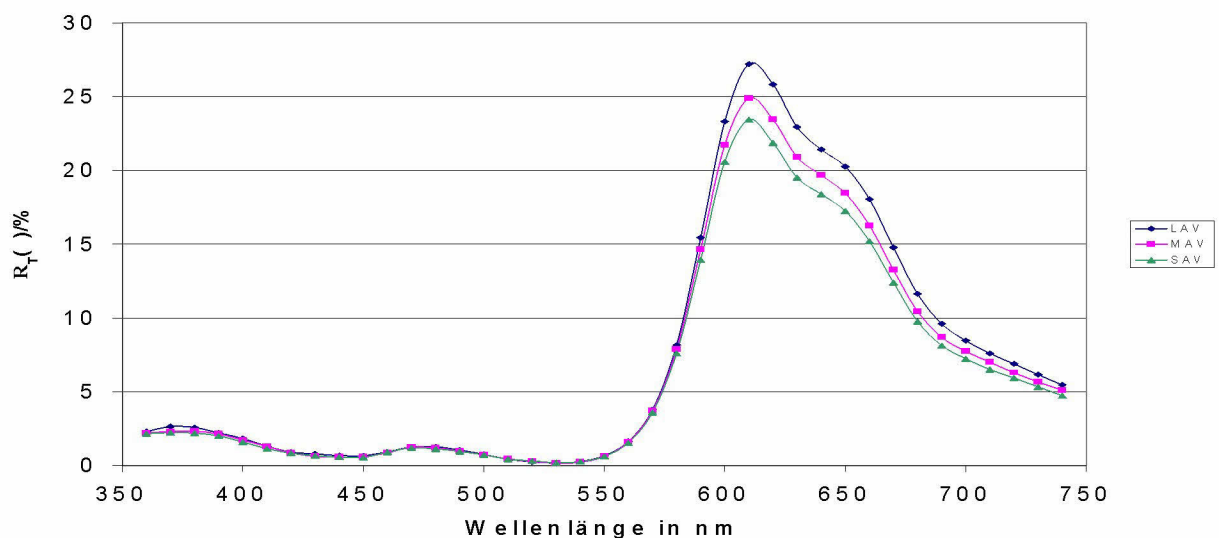


Abb. 7: Einfluss der Größe der Messfeld-Blende auf das $R_T(\lambda)$ -Spektrum einer rot fluoreszierenden und durchlässigen PMMA - Platte. ($D = 3 \text{ mm}$, $T = 60\%$ bei 400 nm und 96% bei 700 nm). Blenden: SAV, MAV und LAV (SAV [$3 \times 5 \text{ mm}^2$], MAV [$\varnothing 8 \text{ mm}$] und LAV [$\varnothing 25 \text{ mm}$]).
Parameter: 100% UV, SCE, low (siehe Pkt.3).

Damit liegen einige Beispiele zum Beleg der angeführten Deutungsmöglichkeiten vor.

7. Schema zur Einordnung der Proben

Auf Grund der dargestellten Beispiele und ihrer Deutung kann ein Schema für die Einordnung der gleichzeitig fluoreszierenden und verschieden durchlässigen Proben vorgenommen werden, siehe Tabelle 1 :

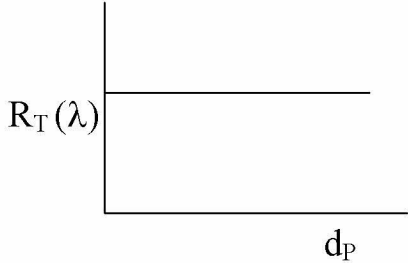
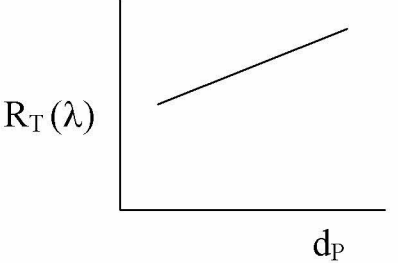
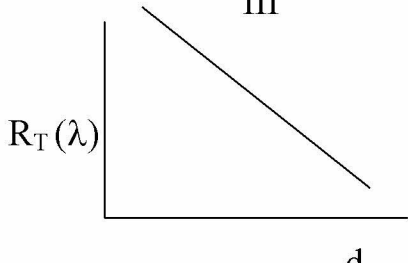
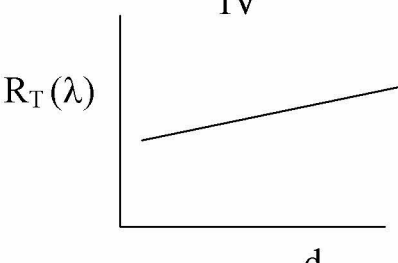
Transmission der Probe				
Fluores- zenz der Probe		Opak ($T_{d/\perp} = 0$)	Durchlässig ($T_{d/\perp} > 0$)	
Nicht- fluoreszierend $F = 0$	I		II	
	III		IV	
Fluoreszierend $F > 0$				

Tabelle 1 : Einteilung der Proben nach der Abhängigkeit der $R_T(\lambda)$ -Werte (am Maximum des $R_T(\lambda)$ –Spektrums) von der Größe der Messfeld-Blende d_P bzw. $\sqrt{A_P}$.

In Tabelle 1 sind die Proben nach der Höhe ihrer Fluoreszenz (qualitativ) und nach der Höhe ihrer azimuthalen Transparenz (auch qualitativ) geordnet. Für die vier sich ergebenden Fälle sind die qualitativen Tendenzen eingezeichnet (I bis IV). Folgende Ursachen liegen dieser Einordnung zugrunde :

- I = Ohne Kugelfehler bei opaken und nichtfluoreszierenden Proben..
- II = Azimutaler Lichtverlust bei durchlässigen und nichtfluoreszierenden Proben.
- III = Fluoreszenzbedingter Kugelfehler bei opaken und fluoreszierenden Proben.
- IV = Überwiegender azimuthaler Lichtverlust bei durchlässigen und fluoreszierenden Proben.

Beispiele für die Einordnung der Proben (Gemeint ist hier speziell das Maximum des $R_T(\lambda)$ -Spektrums!) :

Zugehörigkeit zum Typ I : In dieser Arbeit nicht vorhanden.

Zugehörigkeit zum Typ II : SF1 (Abb.2).

Zugehörigkeit zum Typ III : LGS u. LRS (Abb. 1 und 2) sowie die Probe in Abb.6.

Zugehörigkeit zum Typ IV : LWS (Abb.1) sowie die Probe in Abb.7.

Man beachte (Siehe Abb.1) : Weit weg vom Maximum des $R_T(\lambda)$ -Spektrums verhalten sich die Proben LGS und LRS wie durchlässige, fluoreszierende Proben (Typ IV), während sie sich am Maximum wie opake, fluoreszierende Proben präsentieren (Typ III).

Damit ist es möglich, die gemessenen Proben in ein Schema einzuordnen und übersichtlich darzustellen !.

Herrn Dr. Gundlach danke ich für wesentliche Hinweise zur Beachtung genormter und üblicher Darstellungsweisen.

L i t e r a t u r

- [1] Kaufmann, S. und M. Feustel : Fluoreszierende, synthetische Filamentgarne für die Textilindustrie.
Melliand, Band- und Flechtindustrie, 37 (2000) 1, S. 16 – 22.
- [2] Kaufmann, S. : Der Einfluss der Messblende bei der Kugelgeometrie $d/8$ auf den Reflexionsgrad.
in „Trends in der Farb- und Weißmetrik 2002“,
Möhring, U.; und Mensak, B.;
Melliand Textilber., 83 (2002)7-8, S. 564.
- [3] Kaufmann,S. und W. König : Farbdifferenzen bunt fluoreszierender Oberflächen bei der Kugelgeometrie.
Melliand Textilber., 83 (2002) 9, S.5.
- [4] Kortüm, G. : Reflexionsspektroskopie.
Springer-Verlag : Berlin Heidelberg New York 1969.
- [5] Gundlach, D.: Die Zwei-Monochromatoren-Methode für die Farbmessung an lumineszierenden Proben.
Die Farbe 32/33 (1985/86) S. 81-125, vgl. auch Mitt. D. BAM, 17 (1987)2, S. 272-279
- [6] Gundlach, D.; und Terstiege, H.:
Problems in Measurement of Fluorescent Materials.
Color Research and Applikation, 19 (1994)6, p. 427-436.
- [7] Gundlach, D: Colorimetrie für Standard conditions.
Die Farbe 41 (1995) S. 1-23.
- [8] Alman, D.; und Billmeyer, F.W.:
Integrating-Sphere errors in the colorimetry of fluorescent materials.
Color Res. Appl. 1 (1976)3, p. 141-145.
- [9] Bristow, J.A.: The Calibration of Instruments for the Measurement of Paper Whiteness.
Swedish Pulp and Paper Institute, 19(1994)6, 475-483.

Die CIELab-Formel und ihre theoretischen Grenzen

Dr. Siegfried Kaufmann, Rudolstadt /Thür.,

In der vorliegenden Arbeit wird der Frage nachgegangen, welcher theoretische Hintergrund sich in der CIELab-Formel verbirgt. Die Frage nach der empfindungsgemäßen Gleichabständigkeit wird auf Grund vorliegender statistischer Gesetzmäßigkeiten beantwortet. Dabei ergibt sich, dass die dritte Wurzel für kleine Reizwerte richtig ist. Für größere Reizwerte ist die vierte Wurzel besser geeignet. Da aber das Weber-Fechnersche Gesetz für sehr kleine und sehr große Reizwerte auch nicht exakt gilt, sollte die vorliegende Form der CIELab-Formel in der DIN 6174 auch so belassen werden.

Die CIE hatte sich 1976 entschlossen, die CIELab-Formel zwecks Vereinheitlichung als empfindungsgemäß gleichabständige Beziehung weltweit zu empfehlen [DIN 6174] bzw [1]. Für die verschiedenen Farbbereiche taucht in dieser Formel die dritte Wurzel der Normfarbwerte auf. Andererseits wird aber in der höheren Farbmeterik das Weber-Fechnersche Gesetz angewendet, wenn es um die Gleichwertigkeit der Farbabstände geht. Aber dieses sog. psycho-physische Grundgesetz gilt auch nicht immer [2, 3]. Es sind also **zwei Fragen zu beantworten** :

1. Wird die dritte Wurzel in der CIELab-Formel der höheren Farbmeterik gerecht ?
2. Unter welchen Bedingungen gilt das Weber-Fechnersche Gesetz ?

Zur Beantwortung der **ersten Frage** muss zunächst das Weber-Fechnersche Gesetz angegeben werden. Danach ist die Empfindung E1 dem Logarithmus des Reizes R proportional, d.h.

$$E1 \sim \ln R . \quad (1)$$

Nach DIN 6176 ist die Empfindung E2 gleichzeitig eine Funktion der dritten Wurzel des Reizes R (im Speziellen der Normfarbwerte X, Y, Z), d.h.

$$E2 \sim \sqrt[3]{R} . \quad (2)$$

Im günstigsten Falle müsste $E1 = E2$ sein. Im Speziellen wird dies aber nur für einen Bereich der Werte n der Fall sein, für die beim Vorliegen von **kleinen Farbdifferenzen** folgende Bedingungsgleichung gilt :

$$\Delta E1 = \Delta \ln R = \frac{\Delta R}{R} = \Delta E2 = \Delta \sqrt[n]{R} = (1/n) * R^{(1/n-1)} * \Delta R , \quad (3)$$

d.h.

$$(1/n) * R^{(1/n)} = 1 . \quad (4)$$

Bei voller Anlehnung der CIELab-Formel an das Weber-Fechnersche Gesetz müsste für die Zahl „n“ eine „3“ resultieren (Dritte Wurzel aus dem Reiz).

Es lässt sich zeigen, dass dies für einen Reiz von $R = 27$ richtig ist. In diesem Falle ist statistisch gesehen [2] die Empfindung der dritten Wurzel aus dem Reiz R proportional.

Für größere Reize nimmt auch die Zahl „n“ zu. Der vierten Wurzel aus dem Reiz ($n=4$) ist $R = 258$ zugeordnet und zu $n = 5$ gehört schließlich im statistischen Sinne [2] ein Reiz von 3140.

Ergebnis : Die dritte Wurzel aus dem Reizwert in der CIELab-Formel entspricht für

kleinere Reizwerte R tatsächlich der empfindungsgemäßen Gleichabständigkeit.

Für größere Reizwerte müssten die Zahlenwerte der CIELab-Formel rein statistisch gesehen mehr der vierten oder fünften Wurzel aus dem Reiz entsprechen.

Zur Beantwortung der **zweiten Frage** können wir direkt an die statistischen Ausführungen von Schelling anschließen [2].

In Abb.1 auf Seite 7 von [2] ist die Empfindung über den Reizwerten R aufgetragen. Die Werte von $R = 30$ gehören zu dem Gebiet, in dem das Weber-Fechnersche Gesetz anfängt, gültig zu sein (hier ist gleichzeitig $n = 3$). Bei Reizwerten von 300 gilt das Gesetz exakt und bei 3000 ist bereits eine Sättigung eingetreten (Es ist gar nicht so einfach nachzuvollziehen, dass mitten im II. Weltkrieg solche Arbeiten entstanden sind).

Diese statistischen Zahlen werden durch die Arbeiten von König und Brodhun experimentell erhärtet, zitiert nach [3]. Danach ist bei Auftragung der Kontrastempfindlichkeit über der Leuchtdichte (hier in asb) und im übertragenen Sinne über der Beleuchtungsstärke in einem Bereich von

$$2 \cdot 10^2 \text{ bis } 2 \cdot 10^4 \text{ asb (eingeschränkt auch von } 50 \text{ bis } 10^5 \text{ asb} = 0,318 \text{ cd / m}^2\text{)}$$

die Kontrastempfindlichkeit quasi eine Konstante, d.h. **in diesem Bereich gilt das Weber-Fechnersche Gesetz exakt**. Außerhalb des angegebenen Bereiches gilt das psychophysische Grundgesetz nicht.

Kommt man an dieser Stelle noch mal auf die erste Frage zurück, dann scheint es außerhalb des Gültigkeitsbereiches des angeführten Gesetzes auch nicht so kritisch zu sein, welche Potenz in der CIELab-Formel die richtige ist.

Trotzdem ist es nachträglich zur DIN 6174 gut zu wissen, welche Bedeutung der dritten Wurzel aus dem Reiz (den Normfarbwerten) beizumessen ist.

Literatur

- [1] Huff, K. :
Visuelle Abmusterung und praktische Farbmessung in der Kunststoffindustrie.
Firmenschrift Bayer AG, Leverkusen, Mai 1993
- [2] Schelling, H. :
Gedanken zum Weber – Fechnerschen Gesetz.
Abhandlungen der Preußischen Akademie der Wissenschaften,
Jahrgang 1944, Math.-nat. Klasse, Nr. 5
- [3] Wahl, K. :
Lichttechnik.
Fachbuchverlag GMBH Leipzig 1954

Brightness matching by peripheral vision of motion

Gerald Klaus Kranewitter (*Mathematisches Institut der Universität Innsbruck, Technikerstrasse 25, A-6020 Innsbruck, Austria*)

Roman Rudolf Liedl (*Mathematisches Institut der Universität Innsbruck, Technikerstrasse 25, A-6020 Innsbruck, Austria*)

In this paper we introduce a method (called teeming-photometry), which can be used better than the flicker-photometry to specify the brightness of color stimuli's that are presented periodically in time like on TV and computer monitor. Hereby the subjective judgment of brightness flickering occurring in flicker photometry is replaced by an observed decision of motion. Instead of foveal observing flickering stimuli's our method uses parafoveal and peripheral observation of apparent and randomised motion. There is also the possibility to match the average brightness of spatial inhomogeneous stimuli, which show a spatial double periodical pattern. Such in several respects teeming photometry expands the application range of flicker photometry.

Copyright

OCIS codes: 330.1710, 330.1730, 330.4150, 330.7310

Introduction

There are numerous older¹ and newer^{2,3,4,55}, statically and dynamical approaches for experimental brightness assignation to light emitting areas. This methods are adapted to various purposes. For brightness matching the most important method is the classical flicker photometry. It was invented by Odgen Nicholas Rood in 1893 and it is the experimental groundwork for the definition of the luminous efficiency functions^{56,1}.

Each method is based on a confrontation of a reference component and a component in question that should be rated.

Some methods are based on a direct statically comparison of two color stimuli. Other methods use visual effects, which occur in more complex situations, where for instance stimuli in spatial or temporary inhomogeneous compounds are presented to the observer. Basically each method is creating a specific brightness definition. But comparing the results within the reference stimuli of the miscellaneous methods there appear only rather slight differences and all methods are well compatible with the methode of direct heterochromatic brightness matching⁵.

Therefore we expect results in this dimension also for a methode which assigns a brightness to stimuli which are periodical in time but are spatial homogenously. Obviously this is for frequencies that are higher than the flicker fusion frequency (20-60Hz). Only for lower frequencies (not part of our paper) the Broca-Sulzer-effect⁶ is prominent and this effect leads to a considerable increasing of the perceived brightness.

The methode introduced in this paper - we call it teeming photometry (there is an affinity to the visual impression of „teeming with rain“) - is dedicated to the brightness measurement of temporal periodical stimuli. In common statical methodes for brightness measuring require a matching which is diffucult for the observer and therefore the results are rather less reproducible and less faithful. On flicker-photometry – a dynamical methode – matching is easier and more reproducible. But disturbing

stroboscopic side effects^{7,8} perform if the stimulus is periodical in time (on TV and computer screens).

Therefore we want to present a dynamical methode which allows a fashionable and proper brightness matching of stimuli which are periodical in time.

Methods

Our experiments have been realised with 40 observers (male and female, 21 till 74 yearws old, testes on color efficiency by a Nagel-anomaloscope). One observer was deuteranope, and an other protanormal. With regard to the ethnic provenience we had 2 Nepaleses, 1 Chinese, 1 black african from Ruanda, 1 Japanese, 1 Philippine and a rest of Caucasian. Each observer had at least college edjucation but only the two autors of this paper have been familiar with the intension of the experiments. Wearers of spectacles could use them. The non caucasians observers were found by a universityary procuration. The other observers have been acquaintances.

The rectangular stimulus (20 cm in length and 10 cm in hight) is produced in the center of a 19-inch CRT-monitor with a refresh rate of 100 Hz. On the screen there is still a small control field and a black rest area. The complete stimulus consists of a background and a foreground. In the first experiment the background is uniformly colored by a unique RGB-color. The differences of the color on the background coming from the inhomogenity of the monitor have been negligible. The foreground is build from the reference stimulus. This is a pattern of 40 straight lines with width 4 mm and endpoints inside of the background rectangle chosen by a random generator. In one seconde there are given 18 such different line patterns and therefore one pattern is presented for about 50 ms. The color of the reference stimulus can be chosen in a scale of 255 grey colors between black and white. A typical pattern of the stimulus looks like shown in the following picture.

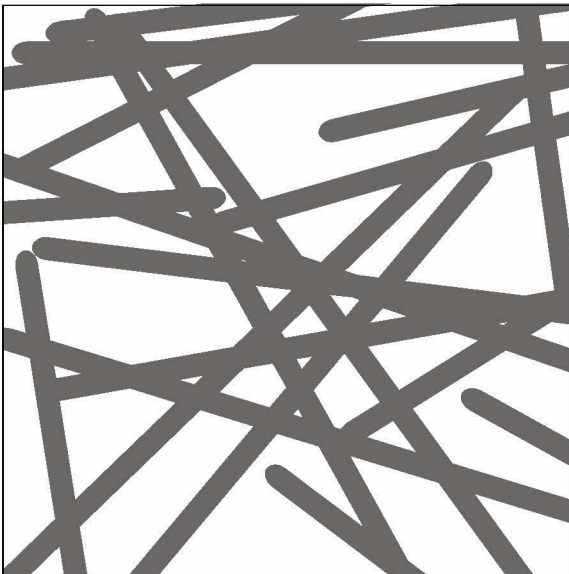


Figure 1

The distance between observer and monitor face is between 50 and 70 cm. Such the width of the grey lines is about 0.3 and 0.45 degree viewing angle. But the view of the observer is fixed on a point outside of the monitor for achieving parafoveal or peripheral observation of the stimulus.

The observer was instructed to start with peripheral viewing of ca 30° to match the intensity of the reference grey into the perception of a minimal apparent motion of the lines. Now the question is to increase the angle for peripheral observation until all intensities of the lines grey lead to a complete standstill of the apparent motion (this will

occur especial for red and for blue backgrounds). On the other hand, if there is a quite interval of the lines grey intensity, for which there is no apparent motion to see, then the angle of peripheral observation has to be decreased (primary for green backgrounds). So in any case of background the observer has to find a point outside of the monitor, such that gazing this point the minimal apparent motion is occurring only with one intensity of the grey lines. Summarising for saturated red or blue backgrounds there has been used an angle of 50-70 degrees and for green, yellow, magenta and cyan background colors there may suffice an angle of 20-30 degrees peripheral vision to inhibit the apparent motion of the grey lines for a unique intensity of the grey color.

The experiments can be implemented in normal offices at different daytimes with natural or artificial illumination and also in a shaded laboratory.

In our experiment the observers had to match 24 relatively saturated monitor colors, that are colors with a RGB characterization (R, G, B), where $\text{Min}\{R,G,B\}=0$ and $\text{Max}\{R,G,B\}=255$.

A smaller sample of only 5 observers had to match the 343 monitor colors with RGB characterization (R, G, B), where $R, G, B \in \{0, 1*42, 2*42, \dots, 5*42, 255\}$.

For comparing the results we used a computer simulated flicker photometer.

In a further experiments the grey line pattern was replaced by uniformly colored line patterns. And finally the uniformly colored backgrounds were replaced by spatial double periodic patterns which had contrasts in luminance, hue and saturation.

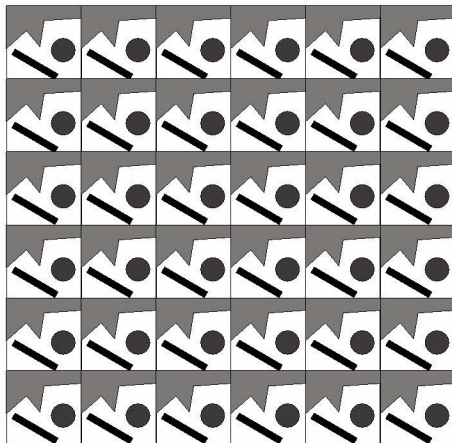


Figure 2

The results have been saved automatically and were discussed with interested observers at most after finishing their test series.

Now (speaking in terms of the RGB-characterization) the teeming experiment yields by matching for each monitor color $F=(R, G, B)$ (used as background color) with $0 \leq R, G, B \leq 255$ to a grey color (H_F, H_F, H_F) (used as color of the grey lines) with a personally depending value of H_F such that $0 \leq H_F \leq 255$. Then the "teeming brightness" $B(F)$ of the color F is defined to be the luminance Y_F of the grey color H_F . For instance if the Gamma of the monitor is chosen with 2,38 and if the luminance of the white monitor color (255, 255, 255) is 87,6 cd/cm^2 , so we can calculate the luminance

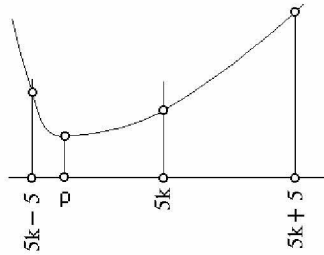
$$B(F)=87,6 \cdot (H_F/255)^{2,38} \text{ cd}/\text{m}^2 \quad (1)$$

or this luminance can be measured directly by a photometer.

Accuracy of measurement.

By the computer program the observer was ordered to find a natural number $k \in \{0, 1, \dots, 51\}$ such that the apparent motion of the grey line pattern characterized with

(R, G, B) = (5k, 5k, 5k) on the monitor with Gamma=2,38 had a smaller amount than the grey line patterns characterized by (5k-5, 5k-5, 5k-5) and by (5k+5, 5k+5, 5k+5). This task was reproducibly solvable for almost every matching and therefore the observer always found a unique result. Supposing that there exists a minimum of apparent motion for a unique grey (ρ, ρ, ρ) we have 5k-5 < ρ < 5k+5 but experiments have shown, that 5k-3 < ρ < 5k+3 holds anyway.



Therefore $|5k-\rho| < 3$. Such the error for our method of matching is smaller than 3. Using formula (1) we get for $252 < \rho < 255$ an error smaller than

$$87,6 \cdot (255/255)^{2,38} \text{ cd/m}^2 - 87,6 \cdot (252/255)^{2,38} \text{ cd/m}^2 = 2,43 \text{ cd/m}^2. \quad (2)$$

This is about 2,7% of 87,6 cd/m². For smaller amounts of ρ we get obviously a smaller absolute error and a bigger relative error.

Results

The results of our experiments manifest no dependence from the age, the sex, the ethnic origin and the color efficiency of the observers. We could not find any dependence from the ambience and the situation of the illumination of the room. Furthermore the results for a big part of the observers where close together. The repetition of the experiments for some observers after the time of 5-10 months shows a surprising constancy of the results.

Using uniformly colored backgrounds of the stimulus the comparison with the computer simulated flicker-photometry could show no differences to the teeming-photometry because of the unstableness of the flicker-photometry.

In the following diagram we can see the teeming-brightness of the 24 relative saturated monitor colors detected by the 40 observers.

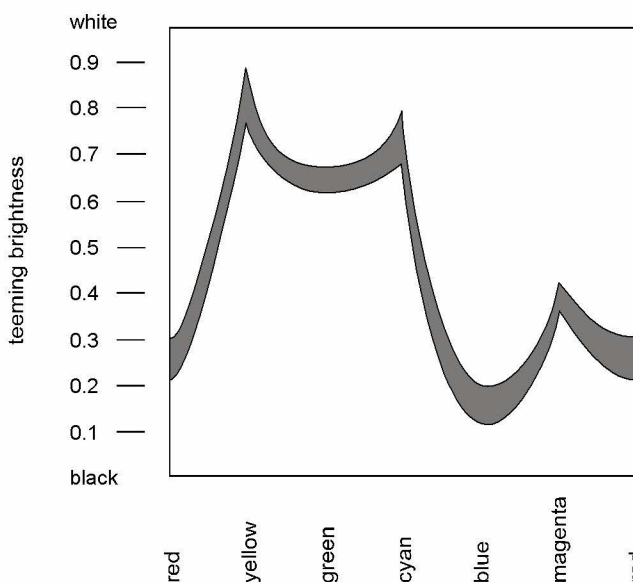


Figure 3.

Considering only one observer P and describing any monitor color F by the CIE-characterization X_F, Y_F, Z_F it is possible to find real coefficients ξ_P, ψ_P, ζ_P such that the teeming brightness $B(F)$ can be expressed (within the accuracy of measurement) as a linear function

$$B(F) = \xi_P * X_F + \psi_P * Y_F + \zeta_P * Z_F \quad (3)$$

where the coefficients ξ_P, ψ_P, ζ_P are independent from the color F and attributed only to the observer P.

The primaries $F_R = (255, 0, 0), F_G = (0, 255, 0), F_B = (0, 0, 255)$ (in R,G,B characterization) of the monitor form a basis of the CIE-linear color space und therefore it suffices to determine their teeming brightness's $B(F_R), B(F_G), B(F_B)$ in order to calculate the coefficients ξ_P, ψ_P, ζ_P .

If we assume, that the CIE-characterizations of F_R, F_G, F_B are $(X_R, Y_R, Z_R), (X_G, Y_G, Z_G), (X_B, Y_B, Z_B)$ and the associated teeming brightnesses are $B(F_R), B(F_G), B(F_B)$

then we have

$$B(F_R) = \xi_P * X_R + \psi_P * Y_R + \zeta_P * Z_R, \quad (4a)$$

$$B(F_G) = \xi_P * X_G + \psi_P * Y_G + \zeta_P * Z_G, \quad (4b)$$

$$B(F_B) = \xi_P * X_B + \psi_P * Y_B + \zeta_P * Z_B \quad (4c)$$

and from this system of three linear equations we get uniquely the coefficients ξ_P, ψ_P, ζ_P .

As an example we have measured for our CRT-Monitor $(X_R, Y_R, Z_R) = (49.49, 26.96, 3.36), (X_G, Y_G, Z_G) = (29.94, 63.06, 11.42), (X_B, Y_B, Z_B) = (13.58, 6.79, 71.30)$. For the first named author K we got by teeming photometry $(B(F_R), B(F_G), B(F_B)) = (21.40, 61.25, 13.00)$. The solution of the linear system yields to $(\xi_K, \psi_K, \zeta_K) = (-0.1258, 1.011, 0.11)$. But for the second named author L we had $(B(F_R), B(F_G), B(F_B)) = (26.10, 63.20, 9.60)$ and therefore the coefficients are $(\xi_L, \psi_L, \zeta_L) = (-0.0233, 1.005, 0.0436)$. These second result was exceptionally close to $(0,1,0)$ and therefore for each monitor color F with the CIE-characterization $F=(X, Y, Z)$ there holds $B(F) \approx Y$ for the second named author L. The results for the first named author K are rather typical for the bigger part of our observers.

Now we have an occurrence of overdetermination.

For the white monitor color $W = (255, 255, 255)$ with CIE-characterization (X_W, Y_W, Z_W) at the one hand the calculation with the linear formula leads to $B(W) = \xi_P * X_W + \psi_P * Y_W + \zeta_P * Z_W$ but at the other hand by teeming photometry obviously we get $B(W) = Y_W$. For eliminating this contradiction we calculate for each observer P a factor κ_P by

$$\kappa_P = Y_W / (\xi_P * X_W + \psi_P * Y_W + \zeta_P * Z_W). \quad (5)$$

Then we replace the coefficients ξ_P, ψ_P, ζ_P by $\kappa_P * \xi_P, \kappa_P * \psi_P, \kappa_P * \zeta_P$. We found that this manipulation is possible within the accuracy of measurement.

Using this mended coefficients for association a black and white picture to a color picture the grey colors of the original picture are preserved.

An important theoretical result was demonstrated by replacing the grey line pattern by a uniformly colored line pattern. With this policy we could show that "equi-brightness" is an equivalence relation. In other words we could show, that the following for each monitor colors F and G holds:

The line pattern colored by F leads to minimal apparent motion on the background colored by G if and only if $B(F) = B(G)$.

The method of teeming photometry enables the attribution of a unique brightness to a background with a spatial double periodic pattern.

Using an inhomogeneous background with a spatial double periodic pattern and a spatial primitive period which has an angle of view smaller than 3 degrees, one gets a minimum of apparent motion of the grey line pattern too. At the one hand in this situation one can perceive the inhomogeneity by peripheral vision. On the other hand the brightness of the grey line pattern corresponds with the spatial average color of the pattern of the background.

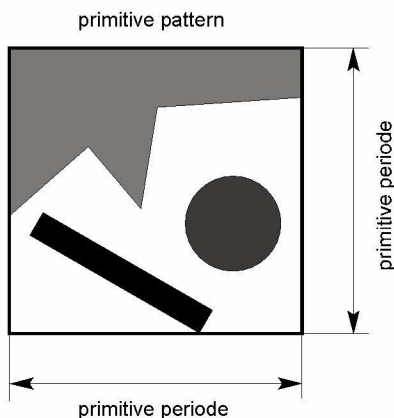


Figure 4

That means for instance: If there are the colors $F_1 = (X_1, Y_1, Z_1)$, ..., $F_n = (X_n, Y_n, Z_n)$ appearing in the primitive period, and have the concerning areas the measures m_1 , ..., m_n then by teeming photometry there is measured the brightness of the color $F = (X, Y, Z)$ with CIE-coordinates

$$X = (m_1 X_1 + \dots + m_n X_n) / (m_1 + \dots + m_n), \quad (6a)$$

$$Y = (m_1 Y_1 + \dots + m_n Y_n) / (m_1 + \dots + m_n), \quad (6b)$$

$$Z = (m_1 Z_1 + \dots + m_n Z_n) / (m_1 + \dots + m_n). \quad (6c)$$

If there are only slight contrasts of luminancy in the primitive period, then one can measure the average brightness even for bigger primitive periods.

Completing Remarks.

Increasing the rate of presentation of the grey line pattern from 18 different patterns to 7 different patterns per second does not change the results.

The perception of the apparent motion does not decrease by phenomena of habituation in the relatively short time of matching one color.

In the situation of minimal apparent motion there is a precise perception of the hue of the background. Therefore in this situation we have photopic color vision.

Discussion of the perception of apparent motion occurring in teeming photometry.

In the case where background and line pattern have different brightnesses, it seems that some well-known effects are influencing the perception of apparent motion.

Due to the calculation of the line pattern in a certain point of the stimulus there can occur intervals in time with length 50 msec, 100 ms, 150 msec, ... in which the color of

that point is constant. The following picture shows a typical superposition of two successive line patterns.

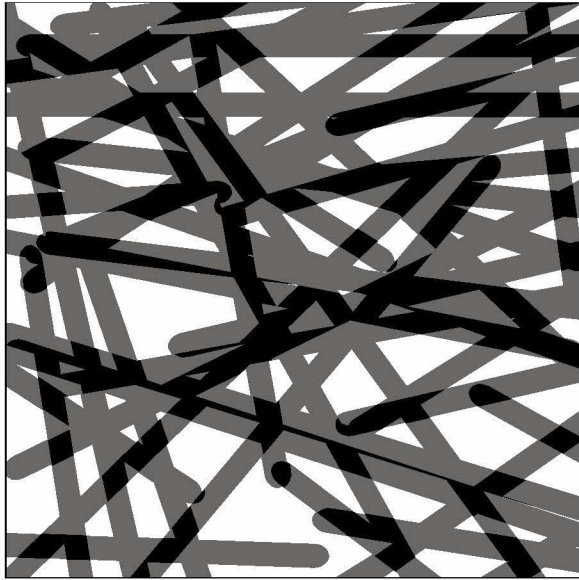


Figure 5

The area, which is covered by lines with exactly one of the line patterns, is drawn grey. The area, which is covered by both line patterns, is drawn black. One can remark that the grey area is substantially bigger than the black area. So the area, which is covered by lines in three successive line patterns, is negligible.

1. By the Broca Sulzer effect^{6,11-18} flashes with a duration of 50 msec lead to a supplementary brightness perception. For flashes with a duration of 100 msec the Broca Sulzer effect is less prominent. Concerning the teeming experiment, the Broca Sulzer effect therefore should increase the differences of brightness. But by decreasing the rate of line patterns 18 per second down to 7 per second the Broca Sulzer effect appears no longer. For this situation we could not observe a change (decreasing) of brightness. Therefore the Broca Sulzer effect should not be prominent at all. Our standard rate of 18 line patterns per second is chosen, because it makes the brightness matching very comfortable.

2. The duration of the shortest flashes occurring in teeming-photometry are 50 ms. For cone vision Bloch's law¹⁹ of temporal summation is negligible because the duration of complete summation is about 20 msec. But for rods we have a duration of complete summation^{20,21} of about 150 msec and therefore there could exist a decreasing effect for the perception of the apparent motion.

3. For flashes with duration between 50 msec and 200 msec the phi-phenomenon^{22,23}, as originally discovered by Wertheimer, leads to the perception of an apparent motion in the test field of the teeming experiment.

In the case of consistency of the brightness of background and line pattern there is induced no Broca Sulzer effect and the phi-phenomenon is not based on brightness differences. Therefore the perceived apparent motion is very weak²⁴⁻³⁰.

A rather strange discovery concerns the possibility for matching the average brightness of an inhomogeneous background by the teeming-experiment. In this situation there is no perception of the average brightness, but the observer has simultaneously the perception of the pattern of the background by peripheral vision and the vanishing of the apparent motion.

Color perception depends on a lot of determining factors like the ambiente of the presentation, the current condition and the molecular genetic disposition³¹⁻⁴⁶ of the observer. Therefore it is surprising to find no such blazing effects.

The individual differences in the brightness perception led to the introduction of the luminous efficiency function⁴⁷⁻⁵⁴ $V(\lambda)$ by the CIE as a standard for spectral colors.

The experimental tool case was the flicker photometer.

By the widely consistency of the results based on flicker photometry and on teeming photometry and by the enlargement of the application area by the teeming photometry on peripheral motion vision there is given a further supplementary argument for the appropriation of the luminous efficiency function for technical purposes.

The prominent features of the teeming photometry compared with the flicker photometry are a easily realizable arrangement, the fast winning of the results and the superior degree of accuracy. Therefore in experiments on the monitor, which require an exact user adjustment of the personal specific brightness of colors, in future the teeming photometry should replace the flicker photometry.

It is conceivable to design a teeming photometer, which allows studying temporal truthfully constant stimulis too.

References

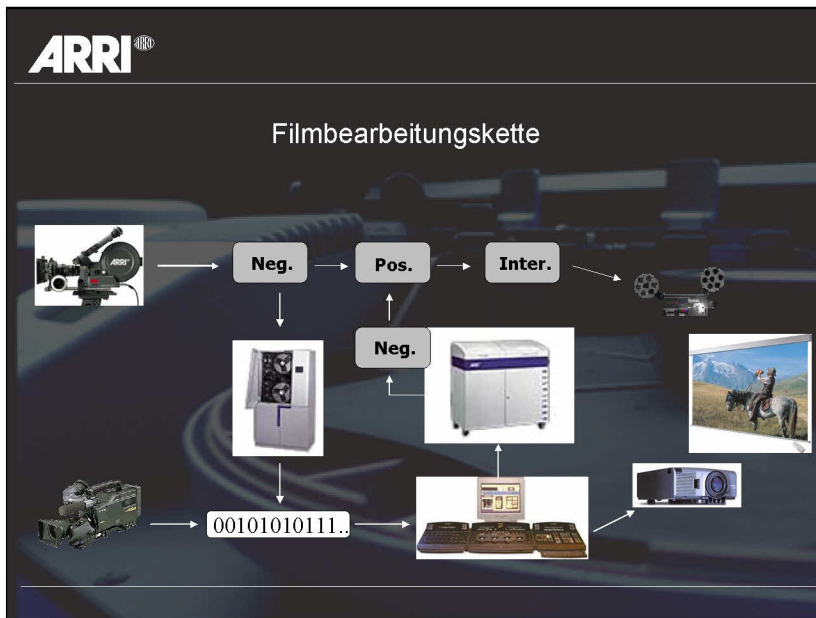
1. G.Wyszecki and W.S.Stiles, Color Science (2nd ed). New York: Wiley. 392-394 (1982).
2. P.Bodrogi and J.Schanda, "Heterochromatic memory brightness matching" Proc. 24th Session of the CIE, Warsaw, 24-30, 73-76 (1999).
3. S.Kokoschka, "Concept and application of the equivalent luminance in Photometry" CIE Proceedings of the CIE Symposium on Advances in photometry CIE x009-1995, 17-29 (1995).
4. S.M.Anstis and P.Cavanagh, "PA minimum motiontechnique for judging equiluminance" in J.D. Mollon and L.T. Sharp (Eds.) Colour Vison: Physiology and Psychophysics. London: Academic Press 156-166 (1983).
5. G.Wyszecki and W.S.Stiles, Color Science (2nd ed). New York: Wiley. 393 (1982).
6. A.Broca and D.Sulzer, La sensation lumineuse en fonction du temps. C.R.Acad.SC., 143, 831-834 (1902).
7. Handbuch der Physik Bd.II, Springer p 258, (1926)

8. G. Panconcelli-Calcia, *Annalen der Physik* (5) 10, p 637, (1931).
9. FNF, *Die Farbe* 6 S115-119, Nr.3/4. (1957).
10. Fulton, J.T., *Processes in Animal Vision*, in press
11. D.Jameson and L.Hurvich, "Perceived color and its dependence on focal, surrounding, and preceding stimulus variables." *Journal of the Optical Society of America*, 49, 890-898. (1959).
12. T. S.Aiba and S. S.Stevens, S. S. "Relation of brightness to duration and luminance under light- and dark-adaptation." *Vision Research*, 4, 391-401. (1964).
13. K.E.Higgins and E.J. Rinalducci "Suprathreshold intensity-area relationships: A spatial Broca-Sulzer effect." *Vision Research* 15, 129-143. (1975).
14. K.E.Higgins and E.J. Rinalducci, "The spatial Broca-Sulzer and sensitization effects for foveal viewing." *Vision Research* 15, 423-425. (1975).
15. K.E.Higgins and K.Knoblauch "Spatial Broca-Sulzer effect at brief stimulus duration's." *Vision Research* 17, 332-334. (1977).
16. G.S.Brindley, "Physiology of the retina and visual pathway." London: Arnold. (1960).
17. J.S.Onley, "Light adaptation and the brightness of brief foveal stimuli." *Journal of the Optical Society of America*, 51, 667-673. (1961).
18. J.Nachmias and R.M.Steinman, "Brightness and discriminability of light flashes." *Vision Research*, 5, 545-558. (1965).
19. H.B.Barlow and J.D.Mollon, "The Senses", Cam.Univ. Press (1982).
20. D.H.Raab, "Magnitude estimation of the brightness of brief foveal stimuli." *Science*, 135, 42-44. (1962).
21. J.C.Stevens and J.W.Hall, "Brightness and loudness as functions of stimulus duration". *Perception & Psychophysics*, 1, 319-327. (1966).
22. M.Wertheimer, „Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung.“ *Zeitschrift für Psychologie* 61, 161-265. (1912).
23. R.M.Steinman, Z.Pizlo and F.J.Pizlo, "Phi is not beta, and why Wertheimer's discovery launched the Gestalt revolution: a minireview." *Vision Research*, 40, 2257-2264. (2000).
24. P.Cavanagh, C.W.Tyler and O.E.Favreau, "Perceived velocity of moving chromatic gratings." *Journal of the Optical Society of America*, A 1, 893-899. (1984).
25. MS.Livingstone and DH.Hubel, "Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement and depth". *J Neurosci.* 7, 3466-3468, (1987).
26. MS.Livingstone and DH.Hubel, "Segregation of form, color, movement and depth: Anatomy, physiology and perception." *Science.* 240, 740-749, (1988).
27. T.Troscianko and M.Fahle, "Why do isoluminant stimuli appear slower?", *Journal of the Optical Society of America* A,5, 871-880, (1988).
28. T.Troscianko and M.Fahle, "Why do isoluminant stimuli slow down?" *Perception* 15, A 29, (1986).
29. T.Troscianko, "Perception of random-dot symmetry and apparent movement at and near iso." *Vision Research*, 27, 547-554, (1987).
30. M.Fahle and C.Wehrhahn, "Motion perception in the periphery of the visual field." *Graefes Arch. clin. exp. Ophthalm.* 229, 430-436, (1991).
31. G.H.Kalmus, "The familial distribution of congenital tritanopia with some remarks on similar conditions." *Annals of Human Genetics*, 20, 39-56. (1955).
32. M.D. Fairchild, "Color Appearance Models", Addison-Wesley, (1998).
33. M.D.Fairchild and R.S. Berns, "Image color appearance specification through extension of CIE-LAB", *Color Research and Application* 18, 178-190. (1993).

34. R.W.G. Hunt, "The specification of color appearance. I. Concepts and terms", *Color Research and Application* 2, 55-68. (1977).
35. R.W.G. Hunt, "A model of colour vision for predicting colour appearance", *Color Research and Application* 7, 95-112. (1982).
36. R.W.G. Hunt, "A colour-appearance transform for CIE 1931 Standard Colometric Observer", *Color Research and Application* 10, 165-179. (1985).
37. R.W.G. Hunt, "A model of colour vision for predicting colour appearance in various viewing conditions", *Color Research and Application* 12, 297-314. (1987).
38. R.W.G. Hunt, "Revised colour-appearance model for related and unrelated colours", *Color Research and Application* 16, 146-163. (1991,b).
39. R.W.G. Hunt, "An improved predictor of colorfulness in a model of colorvision", *Color Research and Application* 19, 23-26. (1994).
40. S.S.Deeb et al., "Molecular patterns of X chromosome-linked color vision genes among 134 men of European ancestry". *American Journal of Human Genetics*, 51, 687-700. (1992).
41. S.Kohl et al, "Total colorblindness is caused by mutations in the gene encoding the a-subunit of the cone photoreceptor cGMP-gated cation channel". *Nature Genetics*, 19, 257-259. (1998).
42. M.Lutze et al., "Genetic studies of variation in Rayleigh and photometric matches in normal trichromats". *Vision Research*, 30, 149-162. (1990).
43. P.DeMarco et al. "Full spectrum cone sensitivity functions for X-chromosome linked anomalous trichromats". *Journal of the Optical Society of America A*, 9, 1465-1476. (1992).
44. M. Alpern, "Variation in the visual pigments of human dichromats and normal human trichromats". In N. R. C. Committee on Vision (Ed.), *Frontiers of Visual Science: Proceedings of the 1985 symposium* (pp. 169-193) Washington, DC: National Academy Press. (1987).
45. K.Toshiaki et al., "Color Tuning Mechanism of Human Red and Green Visual Pigments", *Photochemistry and Photobiology*, 70(4), 686-693. (1999).
46. A.Stockman and L.T.Sharpe, "Spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype". *Vision Research*, 40, 1711-1737. (2000).
47. CIE Commission Internationale de l'Eclairage Proceedings, 1924. Cambridge: Cambridge University Press. (1926).
48. CIE Proceedings, 1931. Cambridge: Cambridge University Press. (1932).
49. Judd, D.B. (1951). Report of U.S. Secretariat Committee on Colorimetry and Artificial Daylight. In Proceedings of the Twelfth Session of the CIE, Stockholm (vol. 1, pp. 11). Paris: Bureau Central de la CIE.
50. K.S.Gibson and E.P.T. Tyndall, E.P.T. Visibility of radiant energy. *Scientific Papers of the Bureau of Standards*, 19, 131-191. (1923).
51. D.B. Judd, Report of U.S. Secretariat Committee on Colorimetry and Artificial Daylight. In Proceedings of the Twelfth Session of the CIE, Stockholm (vol. 1, pp. 11). Paris: Bureau Central de la CIE. (1951).
52. Y. Le Grand, "Light, colour and vision" (2nd ed.). London: Chapman and Hall. (1968).
53. J.J. Vos, "Colorimetric and photometric properties of a 2-deg fundamental observer". *Color Research and Application*, 3, 125-128. (1978).
54. G.Wyszecki and W.S.Stiles, *Color Science* (2nd ed). New York: Wiley. 394-410 (1982).
55. H.Irtel, "Psychophysische Invarianzen in der Farb- und Helligkeitswahrnehmung", Springer. 42-45 (1991).
56. G.Wyszecki and W.S.Stiles, *Color Science* (2nd ed). New York: Wiley. 262 (1982).

Farbcharakterisierung von Film und Video

T. Q. Khanh, P. Geißler (*Arnold & Richter Cinetechnik*)



ARRI

Farbraumtransformation

Ansatz 1. Ordnung (linear):

Gradation (Kennlinie) von Film u. Video sind unterschiedlich
=> Kompensation mit 1D LUTs

Primärfarben sind ebenfalls unterschiedlich
=> Korrektur durch 3x3 Matrix

Ansatz höherer Ordnung (nichtlinear):

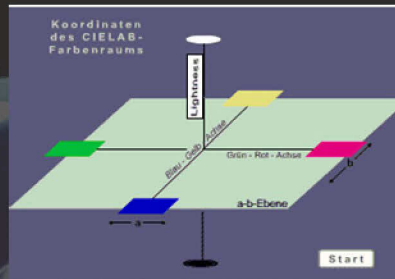
Farbmischung: Monitor / Beamer sind additiv, jedoch Film ist multiplikativ
=> Matrix ist nicht ausreichend

Reale Gerätecharakteristik entspricht nicht immer der Theorie:
=> inhärente Nichtlinearitäten

Gamuts überlappen nur teilweise
=> Out of Gamut Problematik in beiden Transformationsrichtungen



Lab Farbraum



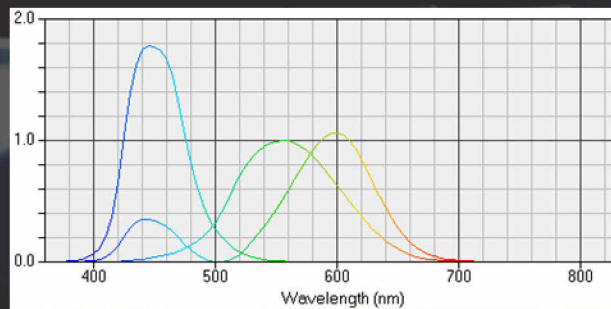
$$L = 116 * (Y/Y_s)^{1/3} - 16$$

$$a = 500 * ((X/X_s)^{1/3} - (Y/Y_s)^{1/3}) \quad L > 0,008856$$

$$b = 200 * ((Y/Y_s)^{1/3} - (Z/Z_s)^{1/3})$$



2° Color Matching Functions



Monitor/DLP Projektor : additive Farbmischung

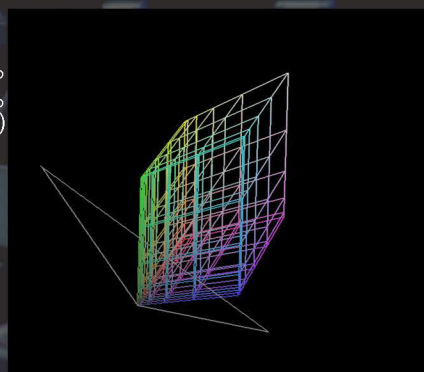
Emissionsspektrum $E(\lambda) = \rho * E_r(\lambda) + \gamma * E_g(\lambda) + \beta * E_b(\lambda)$

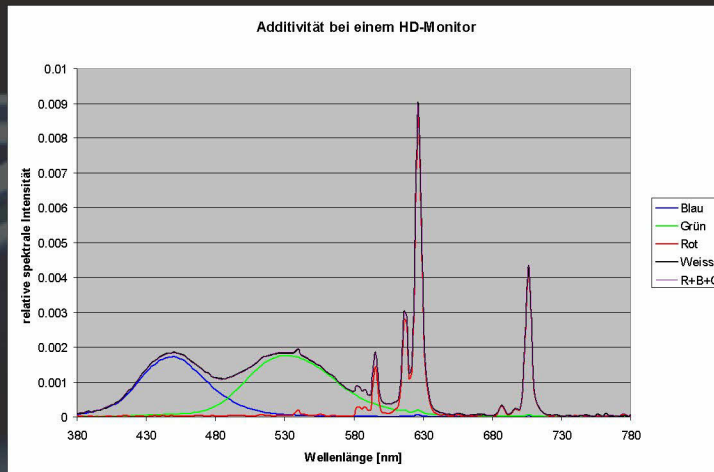
Tristimuli

$$X = k \int x(\lambda) E(\lambda) d\lambda = k(\rho * X_r + \gamma * X_g + \beta * X_b)$$

$$Y = k \int y(\lambda) E(\lambda) d\lambda = k(\rho * Y_r + \gamma * Y_g + \beta * Y_b)$$

$$Z = k \int z(\lambda) E(\lambda) d\lambda = k(\rho * Z_r + \gamma * Z_g + \beta * Z_b)$$





Additivitätstheorie Leuchtdichte

Stufe	R	G	B	Weiß=Grau	R+G+B	Differenz(%)
0						
85	2,2294	5,4117	0,4088	7,6515	8,0499	-5,206822192
170	8,605	26,5326	1,7552	35,7492	36,8928	-3,198952704
255	21,8712	67,4657	4,587	90,9946	93,9239	-3,219202019

Additivitätstheorie X-Kanal (Farbwerte)

	Stufe 85	Stufe 170	Stufe 255
X Blau	0,999	4,7	11,94
X Grün	2,628	12,59	31,85
Xrot	3,88	16,65	42,17
X grau	7,07	32,29	82,93
Summe R+G+B	7,507	33,94	85,96
Differenz%	-6,1810467	-5,1099412	-3,6536838



Additivitätstheorie Y-Kanal (Farbwerte)

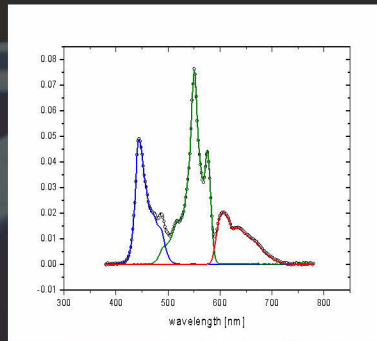
	Stufe 85	Stufe 170	Stufe 255
Y blau	0,4088	1,7552	4,587
Ygrün	5,4117	26,5326	67,46
Yrot	2,2294	8,605	21,87
Y grau	7,6515	35,7492	90,99
Summe R+G+B	8,0499	36,8928	93,917
Differenz %	-5,2068222	-3,1989527	-3,216837

Additivitätstheorie Z-Kanal (Farbwerte)

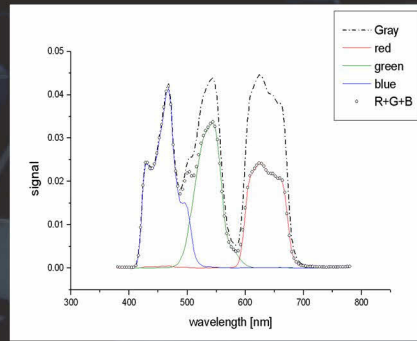
	Stufe 85	Stufe 170	Stufe 255
Z blau	4,96	25,09	62,54
Z grün	1,07	5,06	13,21
Z rot	0,582	0,7	1,906
Z grau	6,35	29,499	74,966
Summe R+G+B	6,612	30,85	77,656
Differenz%	-4,1259843	-4,5798163	-3,5882934



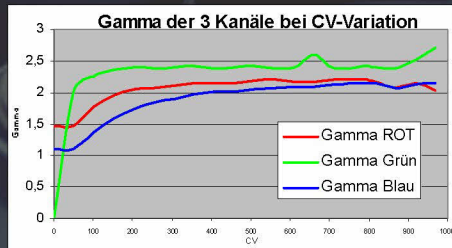
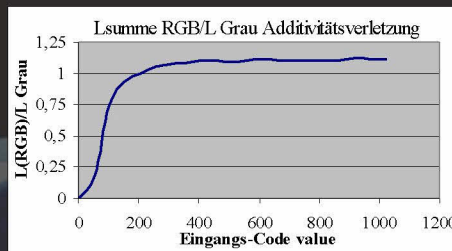
Additivität Digitalprojektor



Panasonic DLP

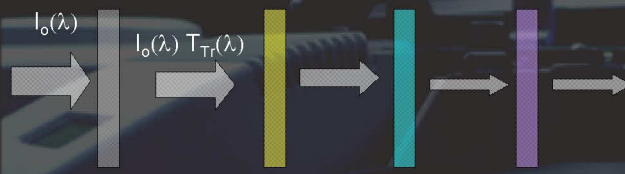


Christie Cinema DLP



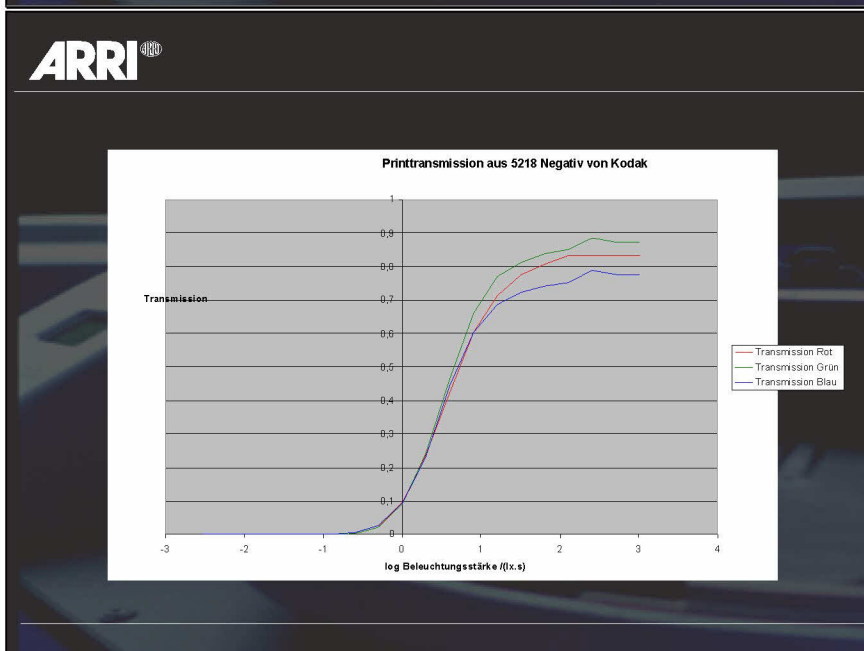
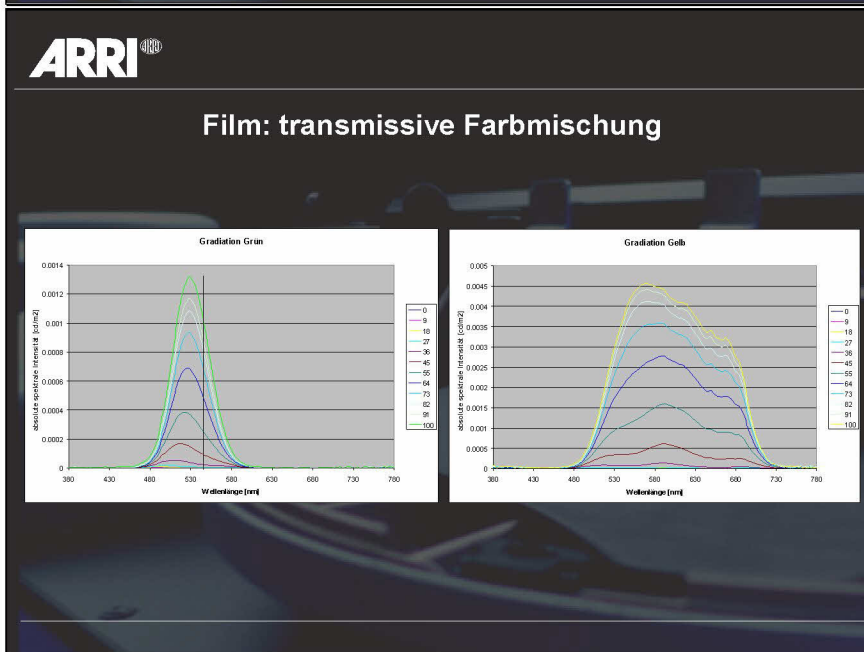
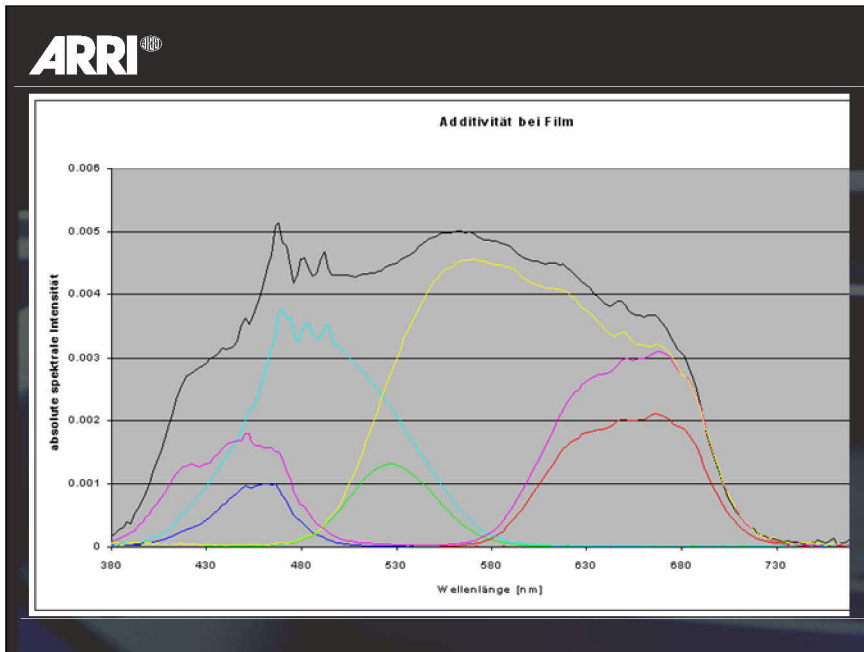
Film: transmissive Farbmischung

Transmissionsspektrum eines Farbstoffes $T(\lambda) = \exp[-c \varepsilon(\lambda)]$



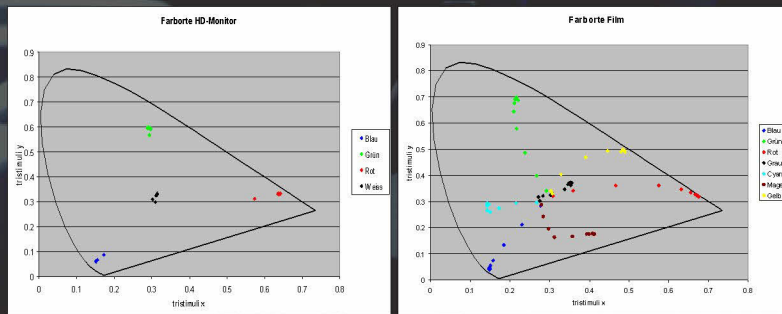
- $I_o(\lambda) T_{Tr}(\lambda) \exp[-c_y \varepsilon_y(\lambda)]$
- $I_o(\lambda) T_{Tr}(\lambda) \exp[-c_y \varepsilon_y(\lambda)] \exp[-c_c \varepsilon_c(\lambda)]$
- $I_o(\lambda) T_{Tr}(\lambda) \exp[-c_y \varepsilon_y(\lambda)] \exp[-c_c \varepsilon_c(\lambda)] \exp[-c_m \varepsilon_m(\lambda)]$

$$\text{Dichte } D(\lambda) = -\log(I(\lambda) / I_o(\lambda)) = D_{Tr}(\lambda) + c_y \varepsilon_y(\lambda) + c_c \varepsilon_c(\lambda) + c_m \varepsilon_m(\lambda)$$

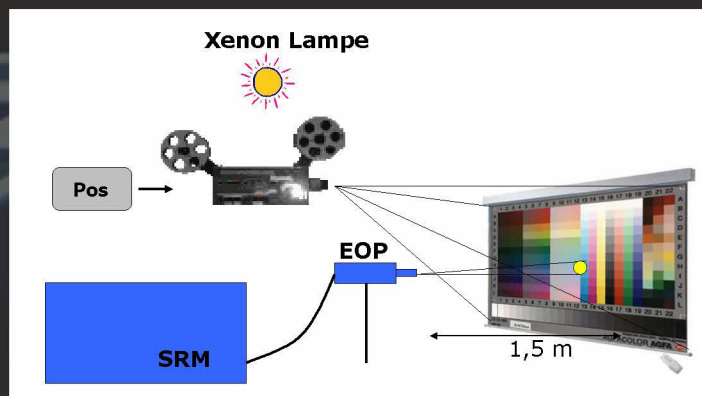
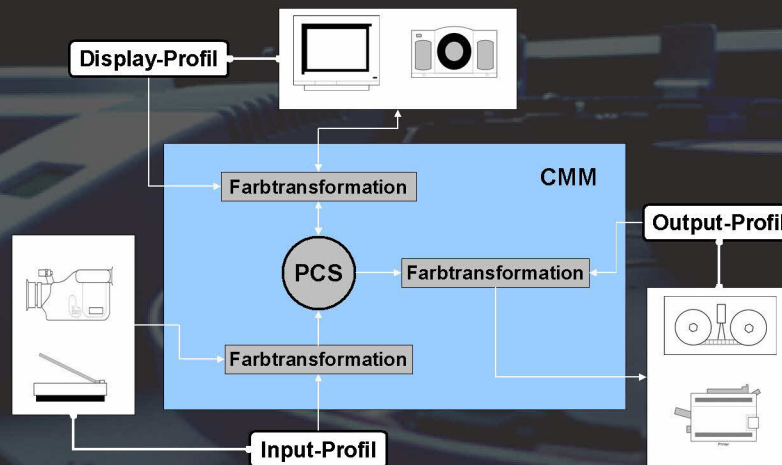




Farbortverschiebung



Farbmanagement nach dem ICC-Standard



ARRI

Profilerstellung

Printfilm Transmissionspektren $T(\lambda)=10^{-D(\lambda)}$

Dichte statt T

Spektrum $P(\lambda)$ der Projektionslampe + Leinwand

Berechnung der Tristimuli aus $T(\lambda)*P(\lambda)$

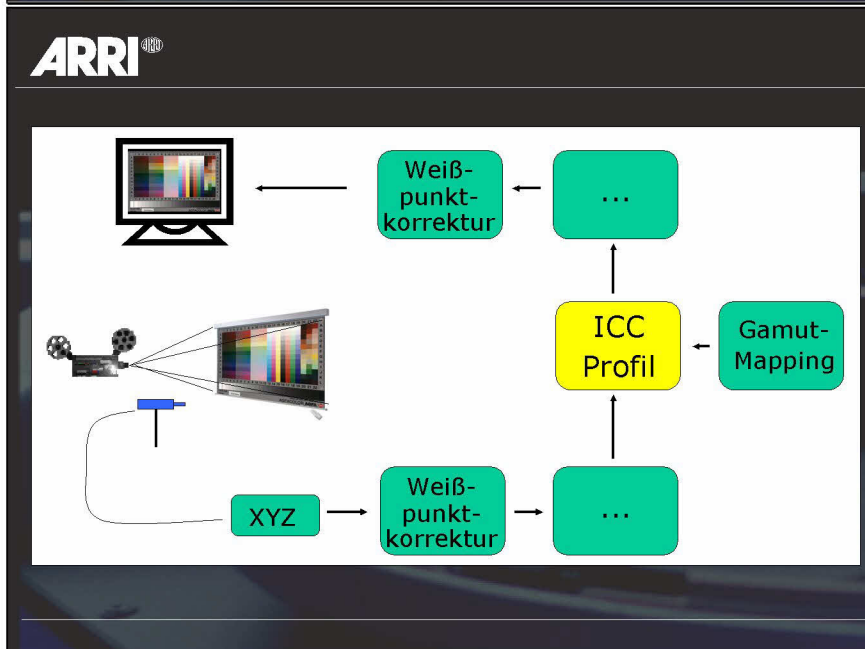
ARRI

RGB -> RGB Transformation

absolut (weisspunkterhaltend)
oder
relativ (weisspunktverschiebend)

Ersatzfarben für außerhalb des Zielgamuts liegende Farben

Zusätzliche Farbtransformation im Lab zur Gamutangleichung ("Softclip")



ARRI

Gamut in XYZ

Monitor Film

ARRI

Vergleich zwischen Video und Filmfarbräumen

HD / Xenon Film Projektor HD / DLP Film Projektor / DLP

ARRI

Workflow HD -> Film

HDTV Bild

HD Monitor Profile Intent + CAT Filmrecorder Profile

Zum Recorder (logarithmisch)

Workstation Profile

Out Of Gamut Indikator Proof (nach CAT)

Filmrecorder

Film

ARRI
Workflow: Film Preview

ARRI
Out of Gamut Darstellungen

ARRI
Status

- Plug in für Arrilaser Filmrecorder Software

-Kooperationen mit

Dieser Vortrag wurde auf der DfwG-Jahrestagung 2004 in Dortmund gehalten.

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Dipl.-Ing. Christina Hacker und Dr.-Ing. Tran Quoc Khanh (ARRI Cinetechnik München)

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Zielsetzung

- Farbe das technisch wichtigste Kriterium bei der Herstellung von Produktionen für Film und TV
- Wie groß dürfen Farbdifferenzen überhaupt sein, damit sie vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden?
- Wie sind die Unterschiede beschaffen, die ein Mensch wahrnimmt?

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Inhalt des Vortrags

- Theoretische Grundlagen (3 Folien)
- Versuchsaufbau und Durchführung (4 Folien)
- Ergebnisse (3 Folien)
- Auswertung und Betrachtungen (4 Folien)
- Zusammenfassung (1 Folie)

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

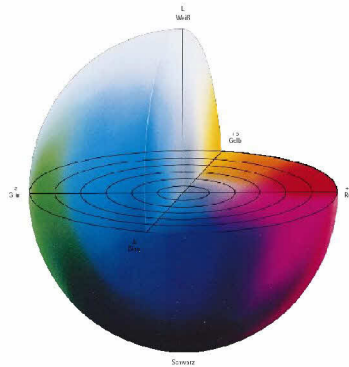
Bedeutung der Farbwahrnehmung in der Postproduktion

- Coloristen (Lichtbestimmer) beurteilen Farbe (am Monitor) und verändern sie nach Angaben der Regisseure und Kameralleute
- Der Ablauf ist abhängig von den Sehbedingungen am Coloristenarbeitsplatz, den Schwankungen im Kopierwerksprozeß und den Beleuchtungsverhältnissen in den Abnahmekinos
- SMPTE RP166-1995 Sehbedingungen zur Beurteilung von Farbbildern im TV-Bereich
 $L_{max} = 120 \text{ cd/m}^2$ (SMPTE)
 Hintergrundbeleuchtung etwa 10 % L_{max} auf dem Monitor (SMPTE)
 Monitorweiß bei der Lichtart D65 auf maximal 80 cd/m^2 und bei 20% Weiß auf einen Wert von 2,2 cd/m^2 (Betriebsintern)

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Farbtheorie Folie 1



Untersuchung bezieht sich auf CIELAB

Bei $L > 0,008856$

$$L = 116 * (Y/Y_s)^{1/3} - 16$$

$$a = 500 * ((X/X_s)^{1/3} - (Y/Y_s)^{1/3})$$

$$b = 200 * ((Y/Y_s)^{1/3} - (Z/Z_s)^{1/3})$$

Farbabweichung ermittelt mit a): $\Delta E = [(L_p - L_B)^2 + (a_p - a_B)^2 + (b_p - b_B)^2]^{0,5}$
 b): CIEDE2000 Formel

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Farbtheorie Folie 2 CIEDE2000 Formel

$$L' = L^* \quad a' = a^*(1+G) \quad b' = b^*$$

$$G = 0,5(1 - ((C_{ab,m}^*)^7 / (C_{ab,m}^{*7} + 25^7)))^{0,5} \quad C_{ab,m}^* = (C_{ab,b}^* + C_{ab,s}^*)/2$$

$$C' = (a'^2 + b'^2)^{0,5} \quad C_m' = (C_b' + C_s')/2$$

$$h' = \tan^{-1}(b'/a') \quad h_m' = (h_b' + h_s')/2$$

$$\Delta E_{00} = ((\Delta L'/k_L S_L)^2 + (\Delta C'/k_C S_C)^2 + (\Delta H'/k_H S_H)^2 + R_T (C_m'/k_m S_m) (\Delta H'/k_H S_H))^{0,5}$$

k_L, k_C, k_H = Parametrische Wichtungsfaktoren, auf 1 gesetzt

$$\Delta L' = L'_b - L'_s \quad s = \text{standard, } b = \text{batch}$$

$$\Delta C' = C'_b - C'_s \quad C_m' = (C'_b + C'_s)/2$$

$$\Delta H' = 2(C'_b - C'_s)^{0,5} \sin(\Delta h'/2) \quad \Delta h' = h'_b - h'_s$$

$$S_L = 1 + (0,015(L'_m - 50)^2 / (20 + (L'_m - 50)^2))^{0,5} \quad L'_m = (L'_b + L'_s)/2$$

$$S_C = 1 + 0,045 C'_m \quad S_H = 1 + 0,015 C'_m T$$

$$T = 1 - 0,17 \cos(h'_m - 30) + 0,24 \cos(2h'_m) + 0,32 \cos(3h'_m + 6) - 0,20 \cos(4h'_m - 63)$$

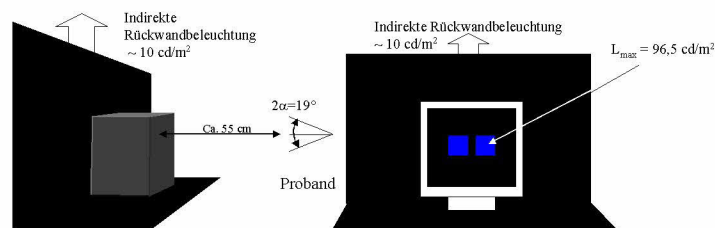
$$R_T = -\sin(2\Delta\theta) R_C \quad \Delta\theta = 30 \exp[-((h'_m - 275)/25)^2] \quad R_C = 2(C'_m)^7 / (C'_m)^7 + 25^7)^{0,5}$$

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Meßaufbau

- Meßplatz gestaltet wie ein typischer Monitorarbeitsplatz in der Film-Postproduktion
- CRT-Monitor, weil in der Postproduktion heute und in absehbarer Zeit hauptsächlich an CRT's gearbeitet wird.

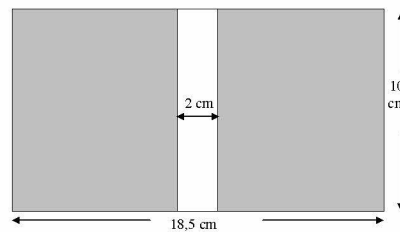


Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Farbprobengestaltung

- Farbproben wurden unter Zuhilfenahme des Programms Adobe Photoshop generiert
- Lab- Farbwerte von Rot (100%), Grün (100%), Blau (100%), Cyan, Magenta, Gelb, Hautfarben und Unbunt variiert
- Mittels Spektroradiometer am Monitor nachgemessen



Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Probandenauswahl und Versuchsablauf

- 2 Probandengruppen (Profis und „Farblaien“)
- 27 Probanden davon 10 Frauen Durchschnittsalter 36
- Die Probanden wurden während des Versuchs befragt und Ergebnisse auf einem Fragebogen festgehalten

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

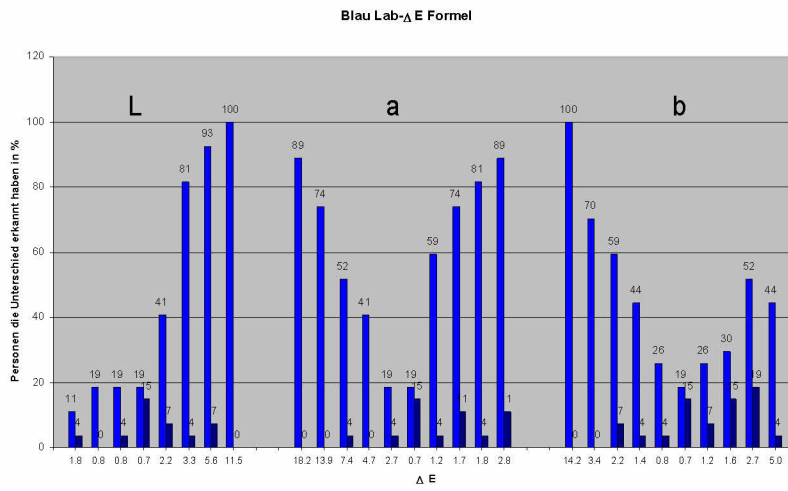
Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Auswertung

- ΔE für L-, a- und b-Variation wurden in einem Diagramm einzeln dargestellt
- ΔE -Werte folgen absteigender und aufsteigender Ordnung
- ΔE für 50% Erkennungsschwelle abgeschätzt

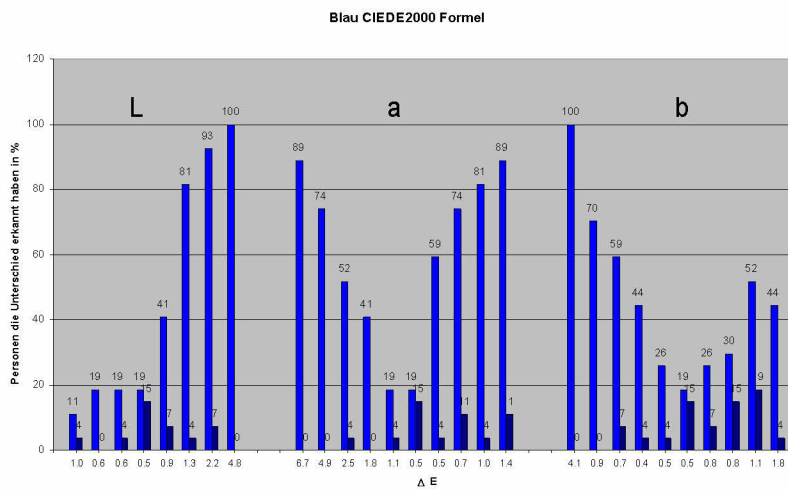
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



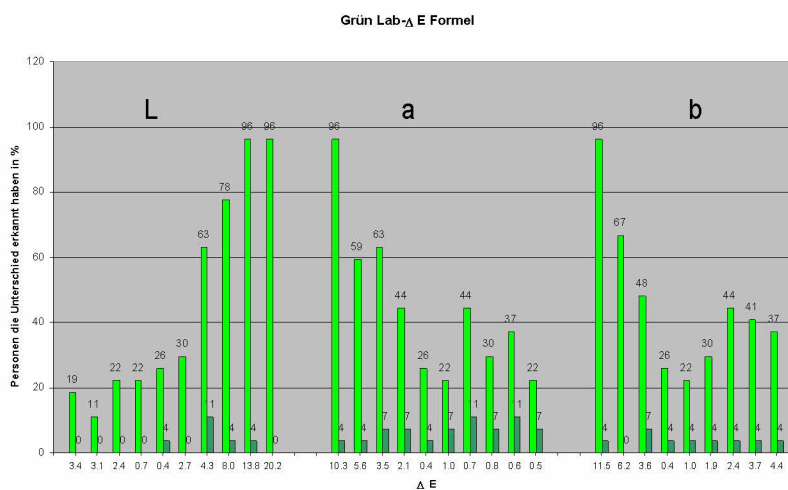
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



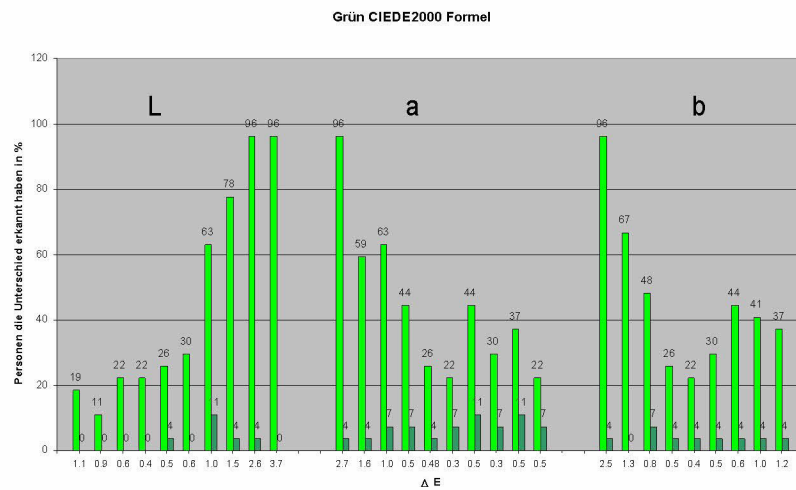
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



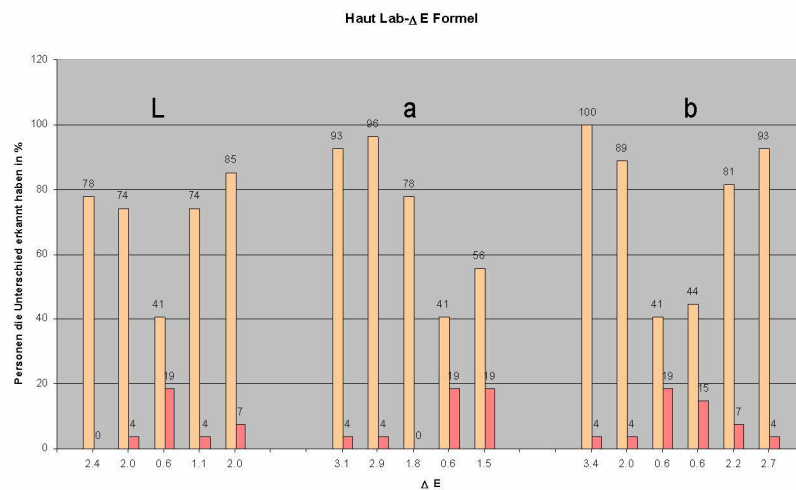
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



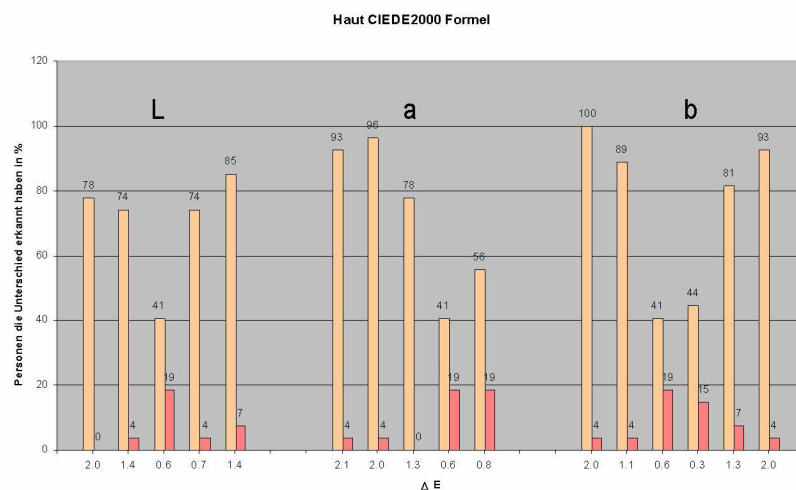
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion



Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Auswertung der errechneten ΔE

ΔE Abschätzung für 50% Erkennungsschwelle

Farbe	Variation	ΔE			ΔE CIEDE 2000		
		Luminanz	Buntonwinkel a	Buntonwinkel b	Luminanz	Buntonwinkel a	Buntonwinkel b
Blau	absteigend	k. A.	> 5	1,8-2,0	k. A.	2,5	0,7
	aufsteigend	2,6-2,8	1,2	2	1,1	0,5	1,1
Grün	absteigend	> 3,4	3-3,2	3,6	> 1,1	1,1	1
	aufsteigend	3,5	k. A.	3	0,8	k. A.	k. A.
Rot	absteigend	3	3	1,4	2,1	1,1	1,2
	aufsteigend	1,5	1,5	1,2	0,6	1,1	1,2
Cyan	absteigend	2	2	2	1,5	1,3	1,2
	aufsteigend	2,5	1,8	2	1,6	0,6	1,3
Magenta	absteigend	1	1	2	0,5	0,3	0,5
	aufsteigend	1	1,3	1,2	0,9	0,3	0,5
Gelb	absteigend	2	1,7	1,7	1	0,7	0,6
	aufsteigend	1,2	1,7	1,5	0,7	0,7	0,8
Hautton	absteigend	1,5	1,5	1	0,9	0,9	0,7
	aufsteigend	1	1,5	1	0,7	0,8	0,9
Unbunt	absteigend	0,9	1	1	0,9	0,9	1
	aufsteigend	0,5	0,7	0,9	0,8	1,5	1

k. A. - keine Angabe, da die Gamutgrenze des Monitors erreicht wurde und keine $\Delta E > 1$ mehr dargestellt werden konnten

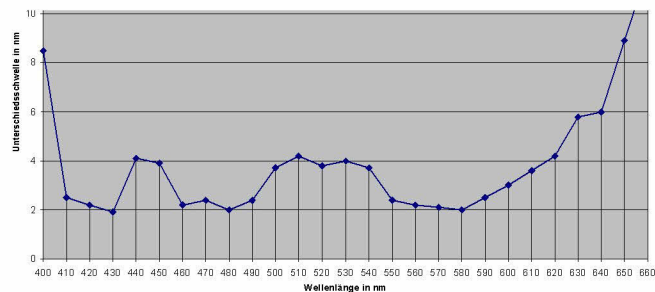
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Gewonnene Erkenntnisse und Beobachtungen (Folie 1)

- Primärfarben, wie Rot, Grün und Blau, wurden schlechter unterschieden wie die Komplementär- oder Mischfarben.

Beobachtungen harmonieren damit zur Kurve von Bedford und Wyszecki (1958) die Farbunterschiedsschwelle für Spektralfarben (quasi monochromatische Farben) darstellt.



Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Gewonnene Erkenntnisse und Beobachtungen (Folie 2)

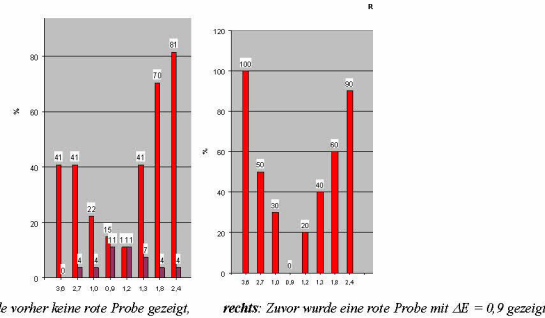
- Es macht einen Unterschied, ob die Differenz in der Luminanz oder in einem der beiden Farbkomponenten **a** oder **b** lag. *So wurden überwiegend Änderungen in **a** schneller erkannt, als in **b** oder in der Luminanz, wobei sich dies jedoch bei jeder Farbe verschieden auswirkte.*
- Bei Unbunt und Hauttönen fiel es den Probanden leichter, Unterschiede wahrzunehmen. *Das deutet auf eine besondere Sensibilität des Menschen in diesem Bereich hin.*
- Bei Unbunt werden Unterschiede bei dunkleren Proben besser wahrgenommen, als bei helleren Proben (Farbtheorie Folie 2). *Y-Unterschiede bei kleinen Helligkeiten fallen bei der empfindungsgemäßen Bewertung nach der L-Funktion stärker ins Gewicht, als bei höheren Y*

Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik/München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Gewonnene Erkenntnisse und Beobachtungen (Folie 3)

- Differenzwahrnehmung ist abhängig davon, ob die Proben in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge gezeigt werden. (Adaptations- und Übungseffekte)

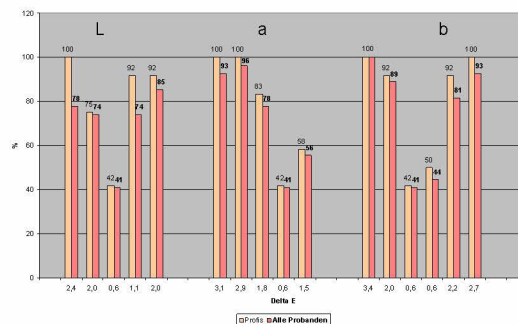


Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik /München

Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

Gewonnene Erkenntnisse und Beobachtungen (Folie 4)

- Lichtbestimmer (Coloristen) sehen nicht viel mehr Farbunterschiede, als normale Personen, sie können die Unterschiede jedoch besser beschreiben.



Wahrnehmung von Farbdifferenzen in der Film- und Fernseh-Postproduktion

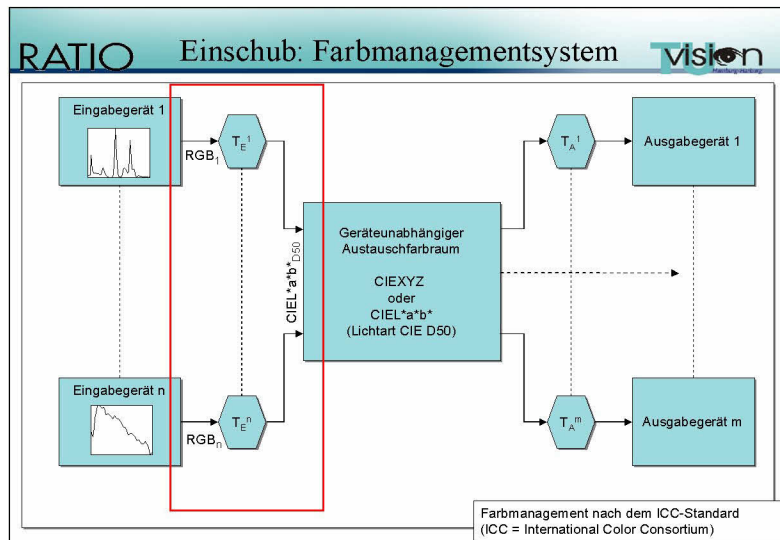
Zusammenfassung

- Sichtbarkeit ist nicht gleich Tolerierbarkeit.
- Bei der herkömmlichen CIELAB- ΔE -Formel kann man eigentlich keinen einzelnen ΔE -Wert als Differenzschwelle festlegen, nur einen allgemeinen Bereich von $\Delta E=0,5 - 3,6$ angeben.
- Während man bei der CIEDE2000 Formel einen durchschnittlichen Wert von ca. $\Delta E=1$ annehmen kann.
- Die mit der CIEDE2000 Formel errechneten ΔE -Werte sind mit den Beobachtungen der Probanden deutlich vergleichbarer als die Werte der CIELAB- ΔE -Formel.

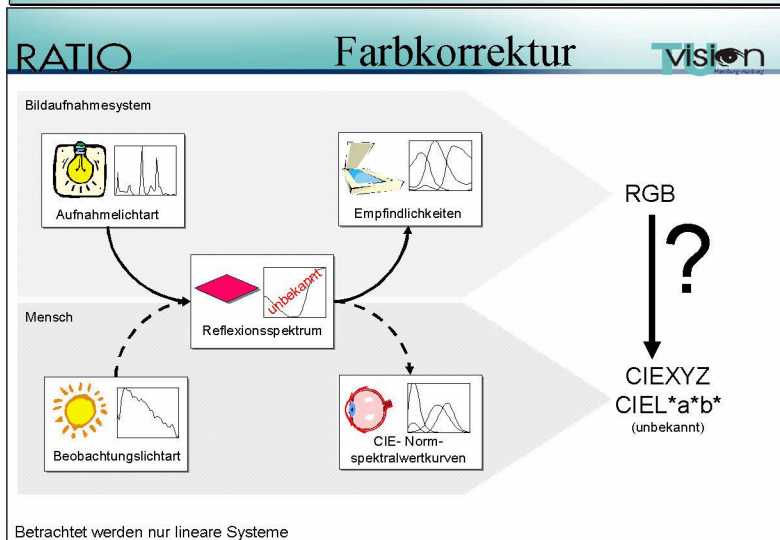
Vortragende: Dipl.-Ing. Christina Hacker ARRI Cinetechnik /München

Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur

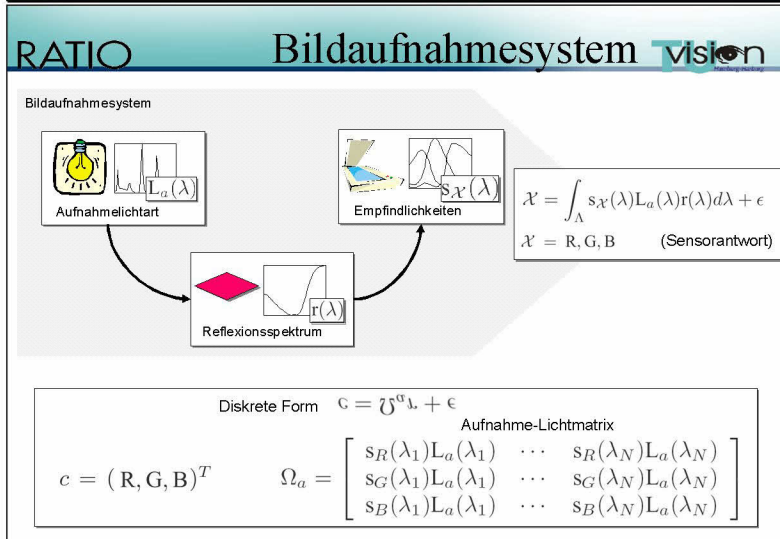
Philipp Urban, Technische Universität Hamburg-Harburg Vision Systems
 Rolf-Rainer Grigat, Ratio Entwicklungen GmbH



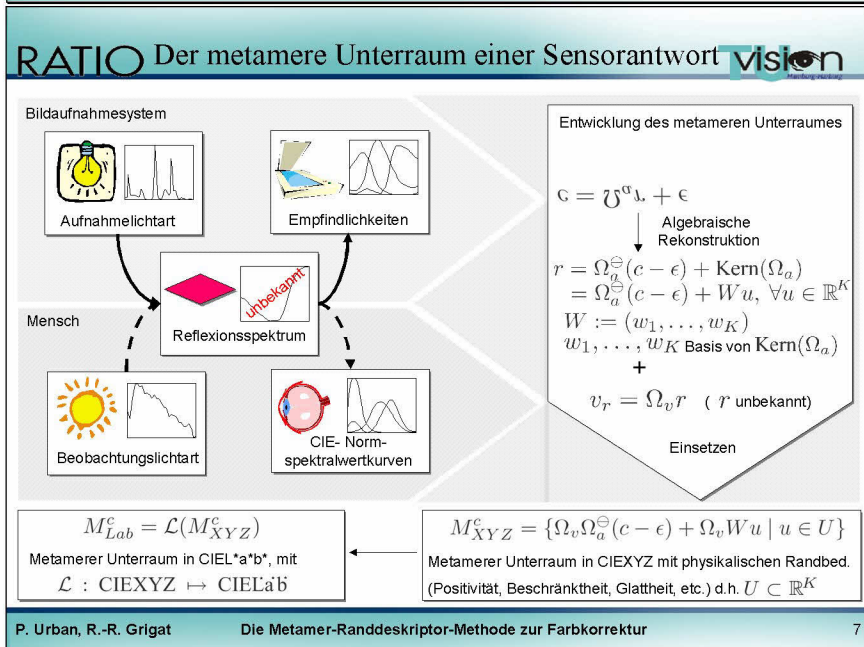
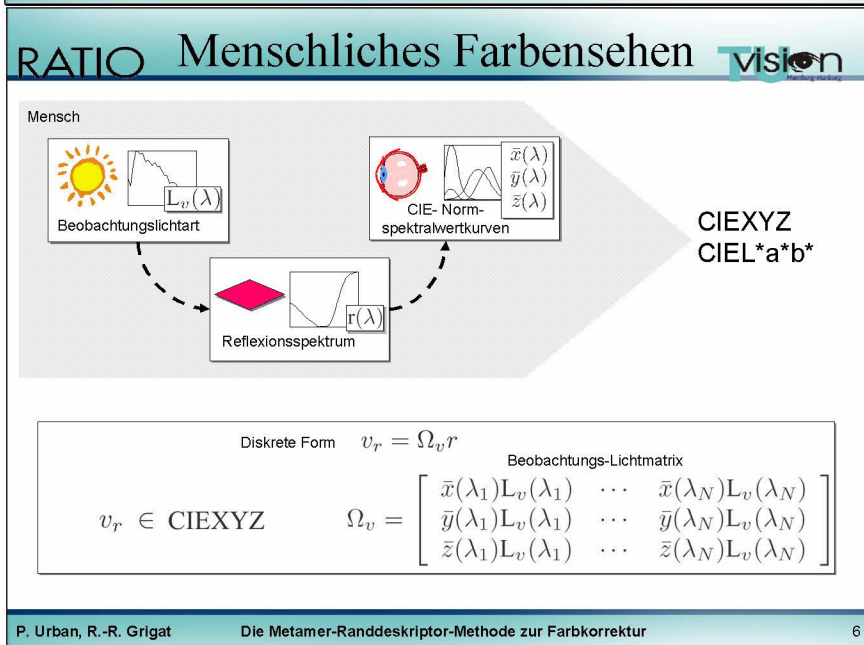
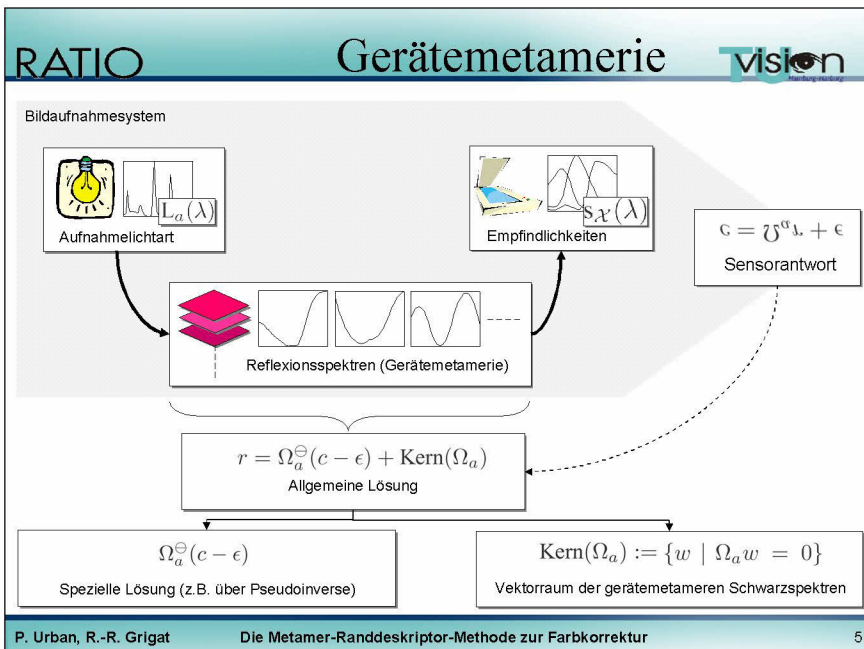
P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 2



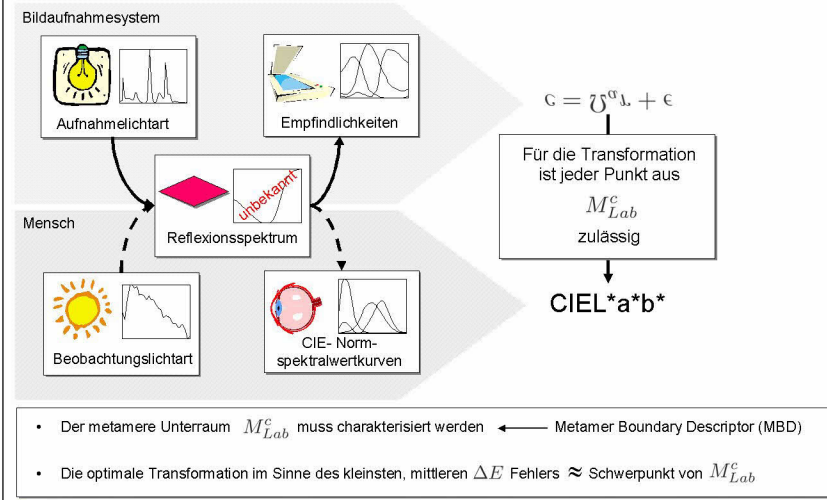
P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 3



P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 4

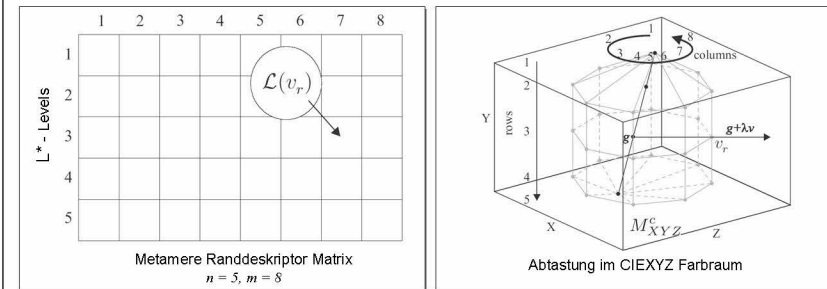


RATIO Der metamere Unterraum einer Sensorantwort 



P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 8

RATIO Der Metamere Randdeskriptor 



- Der Metamere Rand-Deskriptor (Metamer Boundary Descriptor) (MBD) ist eine $n \times m$ - Matrix, die Randpunkte von M_{Lab}^c enthält
- Jede Zeile enthält Randpunkte mit dem gleichen L^* -Wert
- Jeder Randpunkt wird mittels **Linearer Programmierung (LP)** im CIEXYZ Farbraum abgetastet
- Die Randpunkte müssen so gewählt werden, dass sie den Rand von M_{Lab}^c gleichmäßig überdecken

P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 9

RATIO Der Metamere Randdeskriptor 

LP Problem zur Abtastung eines Randpunktes

$$-\lambda = \min$$

mit den linearen Nebenbedingungen

$r \geq 0$	Positivität
$r \leq 1$	Beschränktheit
$Hr \leq p$	Glattheit $p > 0$
$-Hr \leq p$	
$\Omega_a r = c + \epsilon$	Sensorantwort
$\Omega_v r = v_r$	Farbeindruck
$g + \lambda v = v_r$	Abtasten entlang einer Geraden
$\lambda \geq 0$	Halbgeradenrestriktion

v_r - Farbeindruck (Randpunkt von M_{XYZ}^c)
 r - Reflexionsspektrum, resultiert in v_r und $c + \epsilon$

Abtastung im CIEXYZ Farbraum

Konvolutionsmatrix zur Anwendung des Laplace Operators

$$H = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & & 0 \\ & \ddots & \ddots & \ddots & \\ 0 & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 10

RATIO Halbgeradenparameter: Ankerpunkt

Bestimme zwei Punkte aus M_{XYZ}^c mit min. und max. Y-Wert (berechnet mittels LP) **1.**

Berechne die Gerade zwischen den beiden Punkten **2.**

Unterteile die Gerade in $n-1$ Segmente mit der Luminanzspanne ΔL^* in CIEL*a*b* **3.**

Die Ränder der Segmente definieren die n Ankerpunkte. **4.**

- Für die MBD Matrix sind die n Ankerpunkte ausreichend
- Die Ankerpunkte liegen in der konvexen Menge M_{XYZ}^c

P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 11

RATIO Halbgeradenparameter: Richtungsvektor

Zu jedem Ankerpunkt g wähle m Winkel **1.**

$$\phi_k := \frac{2\pi k}{m}, k = 0, \dots, m-1$$

Berechne mit den Winkeln m Richtungsvektoren **2.**

$$v_k := \begin{bmatrix} \cos(\phi_k) \\ 0 \\ \sin(\phi_k) \end{bmatrix}, k = 0, \dots, m-1$$

Löse m LP Probleme mit den Richtungsvektoren **3.**

Bestimme m neue Winkel aus der Kontur von M_{Lab}^c zu einem speziellen Luminanzlevel **4.**

Wiederhole, bis Punkte auf dem Umrisszug gleichverteilt sind **n.**

P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 12

RATIO "Optimale" Farbkorrektur

Optimale Transformation im Sinne des kleinsten mittleren ΔE_{ab}^* Fehlers

\approx

Schwerpunkt der MBD Matrixelemente

P. Urban, R.-R. Grigat Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur 13

RATIO vision Verrauschte Systeme

LP Problem zur Abstimmung eines Randpunktes im Rauschfall

$$-\lambda + w_\epsilon \cdot \sum_{i=1}^n \Delta\epsilon_i = \min$$

mit den linearen Nebenbedingungen

$r \geq 0$	Positivität
$r \leq 1$	Beschränktheit
$Mr \leq p$	Glattheit $p > 0$
$-Mr \leq p$	
$\Omega_a r = c + \epsilon$	Sensorantwort
$\Omega_v r = v_r$	Farbeindruck
$g + \lambda v = v_r$	Abtasten entlang einer Geraden
$\lambda \geq 0$	Halbgeradenrestriktion
$\Delta\epsilon \geq \epsilon$	Rauschen beschränken
$\Delta\epsilon \geq -\epsilon$	
$\Delta\epsilon \geq 0$	
$\Delta\epsilon \leq 3\sigma_\epsilon$	
$\Delta\epsilon \leq 3\sigma_\epsilon$	Rauschbeschränkung eingrenzen

Abtastung im CIEXYZ Farbraum

$$H = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & 0 \\ & \ddots & \ddots & \ddots \\ 0 & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Konvolutionsmatrix zur Anwendung des Laplace Operators

P. Urban, R.-R. Grigat
Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur
14

RATIO vision Virtuelles Sensorsystem

Aufnahmebeleuchtung CIE F11

Kanalempfindlichkeiten (Sony CCD Sensor)

Kanalempfindlichkeiten (Jülich 6 Kanalsensor)

Beobachtungsbeleuchtung

P. Urban, R.-R. Grigat
Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur
15

RATIO vision Testparameter

Testspektren

Datenbanken von Reflexionsspektren:

- Vrhel Datenbank von 354 Reflexionsspektren
- Spektral vermessenes IT8.7/2 Target (288 Farbfelder)

Methoden

- Metamer Boundary Descriptor (MBD) (8 Spalten - variable Zeilenanzahl: $\Delta L^* = 0.5$)

Vergleichsmethoden

- Mehrdimensionale polynomiale Regression in CIEXYZ (MPRXYZ)

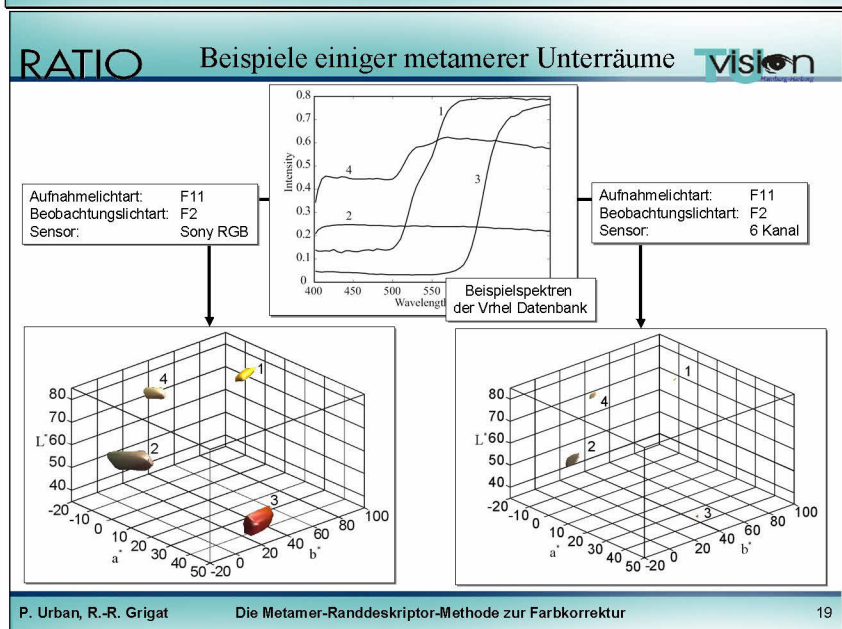
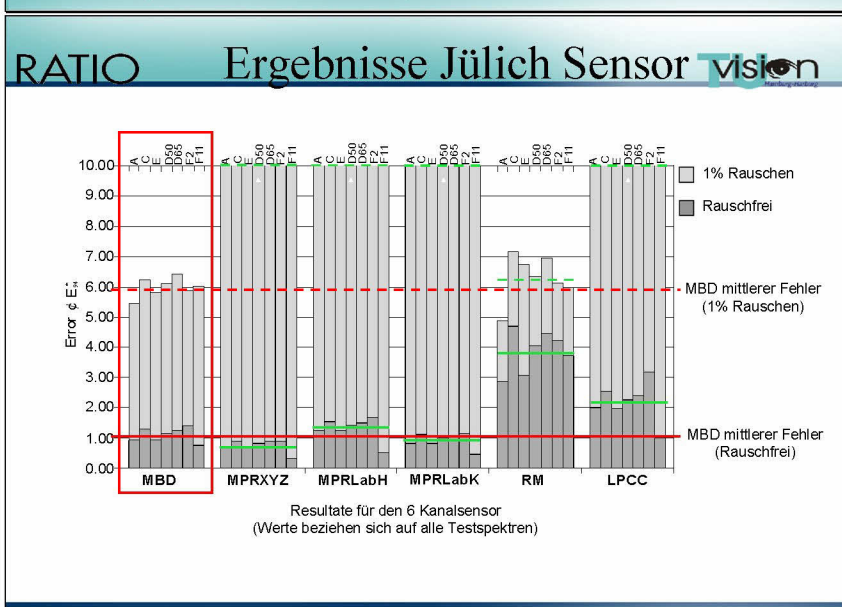
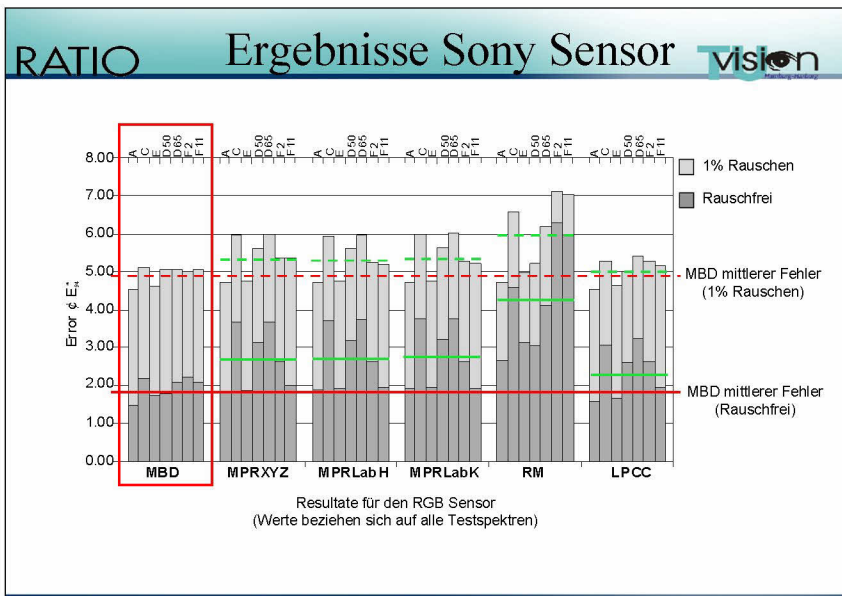
Target basierte Methoden

- Mehrdimensionale polynomiale Regression in CIE L*a*b* (MPRLabH) [Hardeberg]
- Mehrdimensionale polynomiale Regression in CIE L*a*b* (MPRLabK) [König]

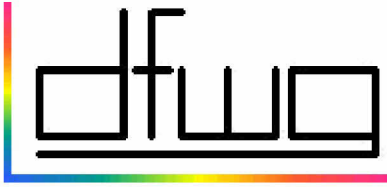
Methoden über die Charakterisierung des metameren Unterraums

- Rauschstabile Matrizierung (RM) [König]
- Schätzung des Farbeindrucks bei Kenntnis der Kanalempfindlichkeiten Linear Programming Centre of Cube (LPCC) [Finlayson, P.M. Morovic]

P. Urban, R.-R. Grigat
Die Metamer-Randdeskriptor-Methode zur Farbkorrektur
16



Dieser Vortrag wurde auf der DfwG-Jahrestagung 2004 in Dortmund gehalten.



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

Vorschau DfwG Report 01 2006

Im nächsten DfwG Report erwarten Sie voraussichtlich folgende Beiträge:

DfwG Report 1 2006

Eisemann: Ein Farberscheinungsmodell für komplexe Szenen mit Hilfe einer an neuronalen Netzen orientierten Struktur

Cramer: Erfahrungen mit Mehrwinkelmessungen

Mensak: Minimierung von Problemen bei der Kalibrierung von Spektralphotometern

Witt: Datensätze zur Entwicklung der CIEDE2000 Farbabstandsformel