



**Farbwiedergabe
für moderne Lichtquellen**

28

LiTG

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.

Eine wichtige Aufgabe der modernen Beleuchtungsplanung besteht darin, neue Lichtquellen mit einer zur Sehaufgabe passenden spektralen Verteilung sowie neue Leuchten mit angemessenen räumlichen Lichtstärkeverteilungen zu wählen. Dies muss so geschehen, dass die neuen Beleuchtungssysteme langzeitige Akzeptanz finden [1]. Diese Akzeptanz (oder gute Farbwiedergabe) entsteht vorwiegend auf Basis der Farberinnerung des Benutzers, durch Vergleichen der Farbwahrnehmung der Gegenstände unter Tageslicht oder Glühlampenlicht mit der Wahrnehmung unter den eingesetzten Kunstlichtspektren. Den Farbwiedergabeeigenschaften kommt bei der Auswahl einer Lichtquelle in der Praxis große Bedeutung zu.

Man findet heutzutage viele künstliche Lichtquellen, deren Lichtfarbe dem natürlichen Licht zu einer bestimmten Tageszeit sehr ähnlich ist, bzw. der Lichtfarbe einer Halogenglühlampe sehr nahe kommt. Dies bedeutet, dass diese Lichtquellen die „weiße“ Farbempfindung einer neutralweißen Oberflächenfarbe nicht stören, solange die Lichtquelle selbst als Weiß empfunden wird. Probleme mit den Farbempfindungen entstehen erst, wenn man farbige Oberflächen beleuchtet, weil im spektralen Strahlungsfluss der Lichtquelle bestimmte Spektralbereiche fehlen bzw. nur niederwertig vorhanden sein können. Eine angemessene numerische Bewertung der Wirkung des spektralen Strahlungsflusses auf die wahrgenommene Farbwiedergabeeigenschaft der Lichtquelle liegt zurzeit noch nicht vor. Daher spielen die Thematik Farbwiedergabe allgemein und der bekannte Farbwiedergabeindex nach der Internationalen Beleuchtungskommission (CIE) [2] in der lichttechnischen Praxis eine wichtige Rolle.

Die Farbwiedergabe einer Testlichtquelle ist dann gut, wenn die Erscheinung der reflektierenden Objektfarben unter der Testlichtquelle mit der Farberscheinung unter einer Referenzlichtquelle gut übereinstimmt. Die Übereinstimmung bestimmt der Benutzer visuell, indem er den Vergleich zwischen Test- und Referenzlichtquelle – bewusst oder unbewusst – durchführt [3]. Die Farbwiedergabeeigenschaft wird heute international durch den CIE-Farbwiedergabeindex R_a [2] beschrieben.

Visuelle Experimente haben gezeigt, dass der CIE-Farbwiedergabeindex moderne Lichtquellen, wie weiße Leuchtdioden mit speziellen spektralen Strahldichtefunktionen, nicht genau beschreibt. Das bestätigte 2007 auch die CIE [4].

In dieser LiTG-Schrift wird auf Defizite aktueller mathematischer Definitionen zur Farbwiedergabe eingegangen. Ebenso werden Lösungsansätze aufgezeigt. Natürlich ist die Anzahl der möglichen mathematischen Methoden zur Berechnung der Farbwiedergabe hoch. Maßgeblich für die Annahme einer Methode sind allerdings die visuellen Experimente. Demgemäß werden die wichtigsten visuellen Experimente zur Farbwiedergabe erörtert, die zur Entwicklung oder zur Validierung der erwähnten Formeln beigetragen haben. Ebenso wird in dieser LiTG-Schrift die interpersonelle Streuung der wahrgenommenen Farbunterschiede diskutiert, weil unterschiedliche Versuchspersonen die Erscheinung von Farben und Farbunterschieden unterschiedlich bewerten. Außer der Farbwiedergabe werden am Ende dieser LiTG-Schrift noch weitere Farbqualitätsparameter wie z.B. die Farbharmonie, die Farbpräferenz oder die Größe des Farbgamut erwähnt. Diese werden nicht durch den Farbwiedergabeindex, sondern durch den sog. Harmoniewiedergabeindex, Farbpräferenzindex oder Farbgamutindex beschrieben. Vor allem der Unterschied zwischen „Farbwiedergabe“ und „Farbpräferenz“ ist bedeutsam. Der Begriff Farbpräferenz bezieht sich auf eine von einem Beobachter bevorzugte Farberscheinung eines farbigen Objekts. Im Gegensatz dazu bedeutet eine exzellente Farbwiedergabe eine gleiche Farberscheinung unter Test- und Referenzlichtquelle. Sie ist also unabhängig von einer Bevorzugung der Farberscheinung durch einen Beobachter.

Verbesserungsmöglichkeiten wurden schon 1991 von der CIE in Betracht gezogen, als die technische Arbeitsgruppe Farbwiedergabe (TC 1-33) gegründet und dadurch 1999 eine neue Berechnungsmethode (R96a) vorgeschlagen wurde [5]. In dieser international nicht eingeführten Methode wurden die folgenden Lösungsansätze für die oben erwähnten

Defizite des CIE-Farbwiedergabeindex empfohlen:

1. Die Testfarben (TCS) werden von der MacBeth ColorChecker®-Farbtafel übernommen, die sowohl gesättigte als auch ungesättigte Farben sowie wichtige Gedächtnisfarben enthält.
2. Statt der kontinuierlichen Menge der Referenzlichtarten (Planckscher Strahler und Tageslichtphasen) wird mit nur noch 6 bestimmten Referenzlichtarten gearbeitet (d.h. D65, D50, P4200, P3450, P2950 sowie P2700, wobei P einen Planckschen Strahler mit der darauf folgenden Farbtemperatur bedeutet).
3. Als Formel für die chromatische Adaptation wird statt der von Kries-Transformation die CIE-Adaptationsformel eingesetzt.
4. Die Testfarben werden sowohl unter der Test-, als auch unter der Referenzlichtquelle nach D65 transformiert. Danach wird zur Berechnung der Farbabstände der CIELAB-Farbraum verwendet, da dieser unter D65 weitgehend getestet wurde.

Außer der oben geschilderten R96a-Methode wurden kürzlich international etliche neue Farbwiedergabeindizes vorgeschlagen. Eine Auswahl zeigt die folgende Tabelle.

Methoden	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
CQS	Kombinierter Farbwiedergabe- und Präferenzindex	Berücksichtigt die Farbpräferenz	Verfälscht die objektive Bewertung der Farbwiedergabe
SBI	Beschreibt viele Aspekte der Farbqualität	Fasst viele Aspekte der Farbqualität zusammen	Keine Berechnungsmethode. Die Methode benötigt Testpersonen
CRI-CA-MO2UCS	Echter Farbwiedergabeindex	Basiert auf einem erprobt gleichabständigen, adaptionsfähigen Farbraum (CIECAM02-UCS)	In der Originalmethode nur 8 Testfarben
RCRI	Auf einer Ordinalskala basierender Index	Basiert auf dem CIECAM02-UCS Farbraum. Semantische Ratings zur einfachen Deutung für Nichtexperten	Der Index liefert diskontinuierliche Werte
S _a	Gedächtnisfarben-Wiedergabeindex	Korreliert sehr gut mit der Farbpräferenzeigenschaft	Kein echter Farbwiedergabeindex

Tabelle 1:
Neue Lösungsansätze für die Defizite des CIE-Farbwiedergabeindex (Auswahl)

Diese Experimente bezogen sich z.T. auf die Farbwiedergabeeigenschaft der Lichtquellen, wobei die Versuchspersonen die Farberscheinung zweier identischer Farbmuster unter der Testlichtquelle und unter der Referenzlichtquelle zu vergleichen und den Farbabstand visuell zu bewerten hatten, z.T. aber auch auf weitere Aspekte der Farbqualität der Lichtquellen, wie die Farbpräferenz oder die Wahrnehmbarkeit kleiner Farbunterschiede.

Es kann zusammenfassend festgestellt werden, dass sich - in den visuellen Experimenten zur Farbwiedergabe - die CIECAM02-basierten Berechnungsverfahren am besten bewährten. Außer der Farbwiedergabe wurden weitere Eigenschaften der Farbqualität der Lichtquellen experimentell erfasst (wie z.B. die Größe des Farbgamut), die mit der Farbwiedergabe schlecht korrelierten und deren mathematische Beschreibung unterschiedliche Metriken voraussetzt.

- [1] Khanh TQ, Grechana N, Über Untersuchungen der Farbwiedergabeeigenschaften von Lichtquellen auf der Basis der Farbdifferenz-Evaluierung, Licht 7-8/2007, pp. 554-559, 2007.
- [2] Commission Internationale de l'Éclairage, Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources, Publ. CIE 13.3-1995, 1995.
- [3] Commission Internationale de l'Éclairage, International Lighting Vocabulary (a joint CIE/IEC Publication), Publ. CIE 17.4-1987, 1987.
- [4] Commission Internationale de l'Éclairage, Colour rendering of white LED light sources, Publ. CIE 177:2007, 2007.
- [5] Commission Internationale de l'Éclairage, CIE Pub. 135: CIE Collection 1999: Vision and Colour, Physical Measurement of Light and Radiation, 135/2: Colour rendering, closing remarks, 1999.

PD Dr.-Ing. habil. Peter Bodrogi, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh, Dipl.-Ing. Stefan Brückner
von der Technischen Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik; August 2012; ISBN 978-3-927787-30-8

Die 24-Seitige Publikation steht allen Interessenten öffentlich unter www.litg.de als kostenloser Download zur Verfügung.

Die LiTG ist ...

Die **Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG)** mit Sitz in Berlin ist ein eingetragener technisch-wissenschaftlicher Verein und verfolgt gemeinnützige Ziele. Sie geht zurück auf die 1912 in Berlin gegründete Deutsche Beleuchtungstechnische Gesellschaft. Die LiTG gliedert sich in zur Zeit 16 Bezirksvertretungen mit rund 2300 Mitgliedern. Sie wird geleitet durch einen Vorstand und einen Vorstandsrat. Die fachlichen Belange werden im Technisch-Wissenschaftlichen Ausschuss (TWA) behandelt.

Die **LiTG** versteht sich als dynamisches Netzwerk und Wissensplattform für alle Licht-Interessierten zur Verbreitung lichttechnischen Fachwissens. Sie verbindet Wissenschaftler aus Forschung und Lehre, Ingenieure und Techniker aus Entwicklung, Fertigung, Projektierung und Vertrieb, Mitarbeiter aus Bundes- und Landesministerien sowie Kommunalverwaltungen, Architekten, Innenarchitekten, Lichtplaner, Elektrofachplaner, Handwerker, Produktdesigner, Mediziner, Künstler und Studierende aus diesen Bereichen. Zu ihren korporativen Mitgliedern zählen wissenschaftliche Institutionen, Fachverbände und Organisationen, Unternehmen aus allen Bereichen der Lichtindustrie, Stadtverwaltungen, Energieversorger, Architektur-, Ingenieur- und Lichtplanungsbüros.

Die **LiTG** fördert die Lichttechnik in Theorie und Praxis auf regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Sie unterstützt sowohl die fachliche Aus- und Weiterbildung als auch die Forschung. Sie bietet ein lokal orientiertes, breitgefächertes Veranstaltungsprogramm aus Vorträgen, Diskussionen, Exkursionen und Besichtigungen, das über innovative lichttechnische Anwendungen, Entwicklungen, Produkte, Dienstleistungen und Forschungsvorhaben informiert und über gültige lichttechnische Vorschriften, Normen und Gesetze aufklärt.

Die **LiTG** beteiligt sich an der Erarbeitung nationaler und internationaler Normen und Vorschriften und kooperiert dazu mit nationalen und internationalen Fachorganisationen (z.B. DIN, CEN, ISO, CIE) sowie den lichttechnischen Gesellschaften aus aller Welt. Sie kooperiert ebenfalls mit dem Deutschen Nationalen

Komitee (DNK) der CIE (Internationale Beleuchtungskommission) und veranstaltet wissenschaftliche Fachtagungen zu aktuellen Themen auf nationaler und internationaler Ebene. Sie pflegt die Zusammenarbeit mit anderen Organisationen und Akteuren auf gemeinsamen Interessengebieten. Durch die enge Zusammenarbeit mit anderen nationalen lichttechnischen Fachverbänden auf internationaler, insbesondere europäischer Ebene soll ein gleicher Erkenntnisstand hergestellt werden, der in weitestgehend übereinstimmende Regeln der Technik umgesetzt werden kann.

Die **LiTG** erstellt und verbreitet Arbeits- und Forschungsergebnisse mit neuesten lichttechnischen Erkenntnissen in Form technisch-wissenschaftlicher Publikationen. Die LiTG-Publikationen stellen auf allgemein verständliche Weise technisch-wissenschaftliche Sachverhalte und Untersuchungsergebnisse dar. Dies wird bei sehr speziellen Fachthemen durch entsprechende Kommentare und Begriffserklärungen unterstützt. Arbeitsschwerpunkte bilden zur Zeit die Themen: **Außen-, Innen- und Fahrzeugbeleuchtung, Energieeffizienz, Biologische Wirkungen, Farbe, Lichtquellen, Messtechnik, Lichtarchitektur, Physiologie und Wahrnehmung sowie Tageslicht.**

Die LiTG-Publikationen erfüllen den Informationsbedarf an allgemeinen und speziellen Themen der angewandten Lichttechnik und angrenzender Gebiete. Sie machen das im Technisch-Wissenschaftlichen Ausschusses der LiTG vorhandene Fachwissen den Anwendern und der Öffentlichkeit zugänglich. Sie sind von Wissenschaftlern und Fachexperten erstellt und frei von kommerziellen Zielen.

Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V.

Burggrafenstraße 6, D-10787 Berlin

Telefon +49 - (0)30 / 2601-2439

Telefax +49 - (0)30 / 2601-1255

E-Mail info@litg.de

www.litg.de