

Die Farberscheinung metamerer Lichtfarben und mögliche farbmetrische Beschreibungsmöglichkeiten

Bieske, Karin*, Csuti, Peter**, Schanda Janos**

* Technische Universität Ilmenau (Deutschland) - ** Universität von Pannonia Veszprem (Ungarn)

Zusammenfassung

Bei Untersuchungen zur Farbwahrnehmung von Licht- und Körperfarben fiel auf, dass bei Lichtfarben unterschiedlicher Lichtquellen trotz identischer objektiv gemessener Farbörter subjektiv Farbunterschiede wahrgenommen werden. Besonders deutlich traten die Unterschiede beim Vergleich der Lichtfarbe von Halogenglühlampen mit Lichtfarben, die aus verschiedenfarbigen Komponenten schmalbandiger RGB-LEDs gemischt werden, auf.

Zur Quantifizierung der Unterschiede wurden unabhängige Untersuchungen an den Universitäten in Veszprem (Ungarn) und Ilmenau (Deutschland) vorgenommen. Im Ergebnis gibt es Hinweise darauf, dass die $\bar{z}(\lambda)$ -Funktion der CIE 1931-2°-Normspektralwertfunktion [1] nicht exakt der visuellen Wahrnehmung entspricht und sich die Unterschiede zwischen den objektiv gemessenen Farbörtern und den wahrgenommenen subjektiven Farbunterschieden zum Teil daraus erklären lassen.

Die Anwendung der modifizierten Spektralwertfunktion nach WORD [2] führt zu geringeren Abweichungen zwischen den objektiven Messdaten bei visueller Gleichheit zwischen Referenz- und Testlichtquelle als die Anwendung der CIE 1931-2°-Normspektralwertfunktion.

1 Einführung

Die Beschreibung von Licht- und Körperfarben über den Farbort setzt voraus, dass sich die Farbempfindung damit eindeutig beschreiben lässt. Unterschiedliche Spektralverteilungen von Lichtquellen und Körperfarben, die die gleichen Farbwertanteile besitzen, sollten die gleiche Lichtfarbe haben und bei gleicher Helligkeit zu identischen Farbempfindungen führen. Versuche von CSUTI und SCHANDA als auch Ergebnisse der Arbeiten an Technischen Universität Ilmenau [3] ergaben jedoch teilweise Abweichungen.

2 Versuchsaufbau und Prinzip

Mit Hilfe einer variablen Lichtquelle wurden im Vergleich zu einer Referenzlichtquelle identische Lichtfarben durch Probanden abgeglichen. Basierend auf Messungen mit kalibrierten Spektralradiometern PR 705 von PHOTO RESEARCH wurden die Spektralverteilung, sowie die Farbwertanteile für die jeweilige Einstellung ermittelt und mit denen der Referenzlichtquelle verglichen. Für die Auswertung wurden sowohl die CIE 1931-2°-Normspektralwertfunktionen [1] als auch modifizierte Spektralwertfunktionen nach WOLD [2] zugrundegelegt. Während die Normspektralwertfunktionen auf Versuchsreihen beruhen, die die Farbempfindung als komplexe Problematik in seiner Gesamtheit untersuchten und Widersprüche gerade im kurzwelligen Spektralbereich bekannt sind, gibt es in den letzten Jahren im Rahmen der Arbeiten des Technischen

Komitees TC 1-36 der CIE Ansätze, die Spektralwertfunktionen aus den Zapfenempfindlichkeiten $\bar{s}(\lambda)$, $\bar{m}(\lambda)$ und $\bar{l}(\lambda)$ zu bestimmen. Dabei werden Einflüsse der spektralen Transmission dazwischenliegender Augenmedien berücksichtigt, sodass es möglich ist, die Farbreizfunktion, die auf die Hornhaut des Auges auftrifft, in die Farbreizfunktion umzurechnen, die auf Zapfen gelangt und letztlich zur Farbempfindung führt. Im Ergebnis wurden modifizierte Spektralwertfunktionen von WOLD vorgeschlagen, deren Einführung international noch in der Diskussion ist [4]. Abbildung 1 zeigt die verwendeten Bewertungsfunktionen.

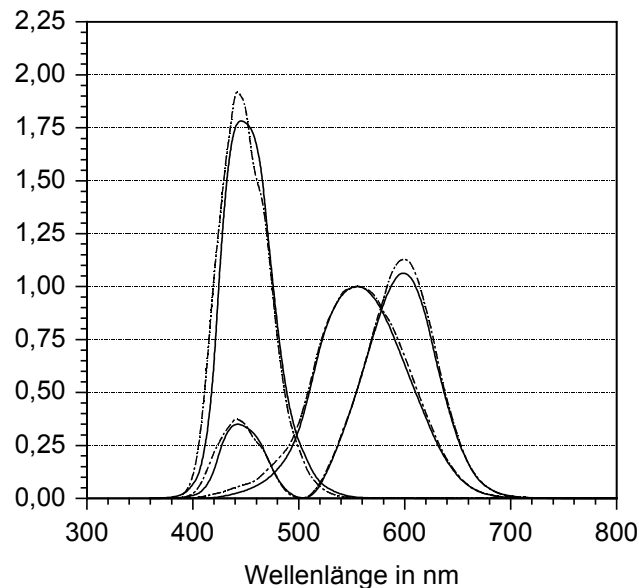


Abbildung 1: CIE 1931-2°-Normspektralwertfunktion [1] (durchgezogene Kurve) und modifizierte Spektralwertfunktionen nach WOLD [2] (Strich-Punkt-Kurve)

2.1 Untersuchungen Veszprem (Ungarn)

In den Untersuchungen von CSUTI und SCHANDA diente eine Halogenglühlampe mit verschiedenen Farbfiltern als Referenzlichtquelle. Als Vergleichslichtquelle wurden Cluster von RGB-LEDs verwendet, deren Komponenten einzeln angesteuert werden konnten und auf diese Weise durch die Mischung unterschiedliche Lichtfarben erzeugt werden konnten. Abbildung 2 zeigt einen Blick auf den Versuchsaufbau und das Prinzip für die Untersuchung. Getestet wurden sowohl die Lichtfarben Rot, Grün und Blau als auch Weiß.

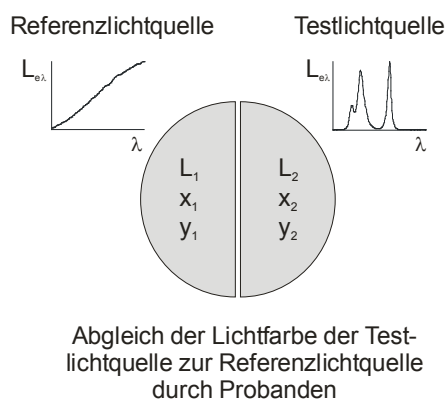
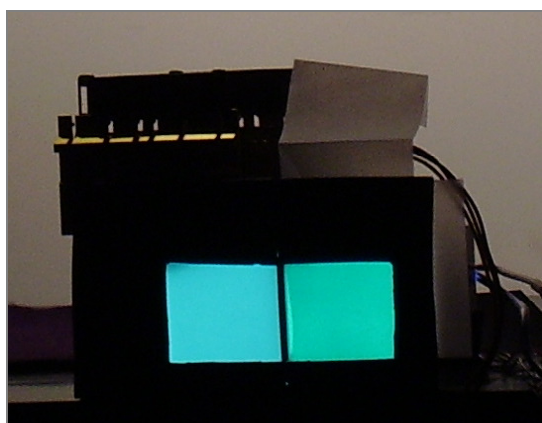


Abbildung 2: Realer Versuchsaufbau und Schema des Versuchsprinzips

2.2 Untersuchungen Ilmenau (Deutschland)

Zwei identisch aufgebaute Kammern eines Simulators wurden mit verschiedenen Lichtquellen beleuchtet. Abbildung 3 zeigt den schematischen Versuchsaufbau. Als Referenzlichtquellen dienten eine Halogenglühlampe (HGL) und eine Halogenglühlampe mit Tageslichtfilter (HGL+F). Die Untersuchungen wurden bei ähnlichsten Farbtemperaturen von 3000 K und 6500 K bei einem Beleuchtungsniveau von 500 lx auf den Bewertungsflächen durchgeführt. Nach dem Prinzip der additiven Farbmischung wurden die Lichtströme von roten, grünen und blauen LEDs (RGB-LED) über ein digitales Steuermodul so miteinander kombiniert, dass nahezu gleiche Farbempfindungen auf den Bewertungsflächen erzielt wurden. Der Abgleich wurde von 20 Probanden jeweils dreimal durchgeführt. Das Gleichheitsurteil, das aus Sicht des Probanden die Farbempfindung der Referenzlichtquelle am besten wiedergab, wurde in die weiteren Auswertungen einbezogen.

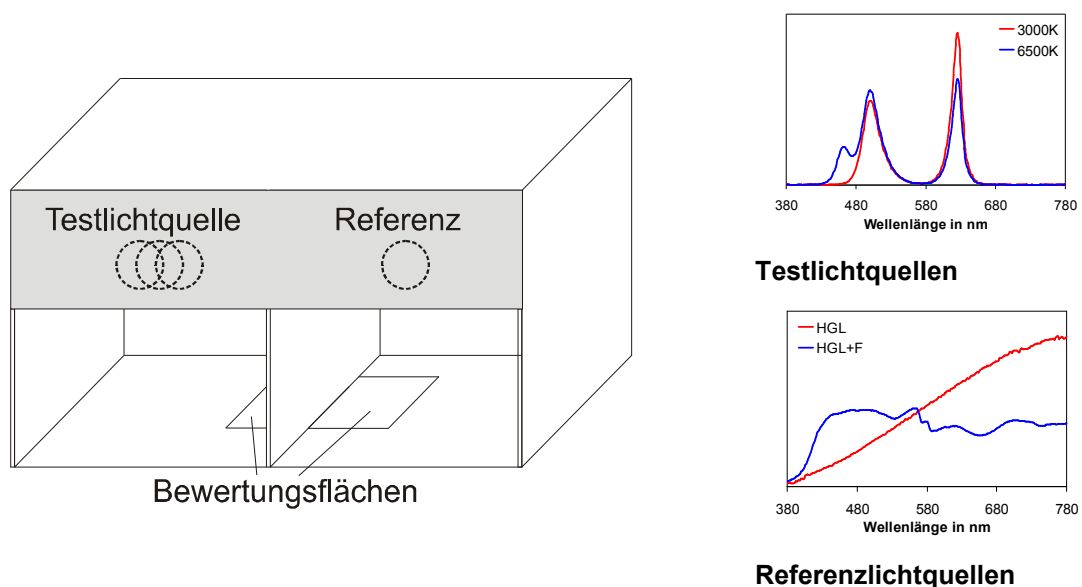


Abbildung 3: Schematischer Aufbau des Simulators (links) und relative spektrale Verteilung der Test- und Referenzlichtquellen (rechts)

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchungen Veszprem (Ungarn)

Die Ergebnisse der Versuche an der Universität von Pannonia Veszprem sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Untersuchungen der Halogenlampe in Kombination mit den roten, grünen und blauen Filtern zeigt deutlich, dass die Unterschiede zwischen Referenz- und Testlichtquelle für die Farben Rot und Grün nur gering sind und für die Farbe Blau jedoch deutlich abweichen. Damit liegt die Vermutung nahe, dass die Bewertungsfunktion für die kurzwelligen Spektralbereiche $\bar{z}(\lambda)$ der CIE 1931-2°-Normspektralwertfunktionen diese Abweichungen hervorruft und auch die Hauptursache für die Unterschiede bei weißen Lichtfarben ist. Die Anwendung der modifizierten Spektralwertfunktionen nach WOLD [2] zeigt, dass sich die Abweichungen zwischen den Farbörtern der Referenz- und Testlichtquellen bei den Gleichheitsurteilen verringern und es eine bessere Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der objektiven Messung und den subjektiven Gleichheitsurteilen der Probanden gibt.

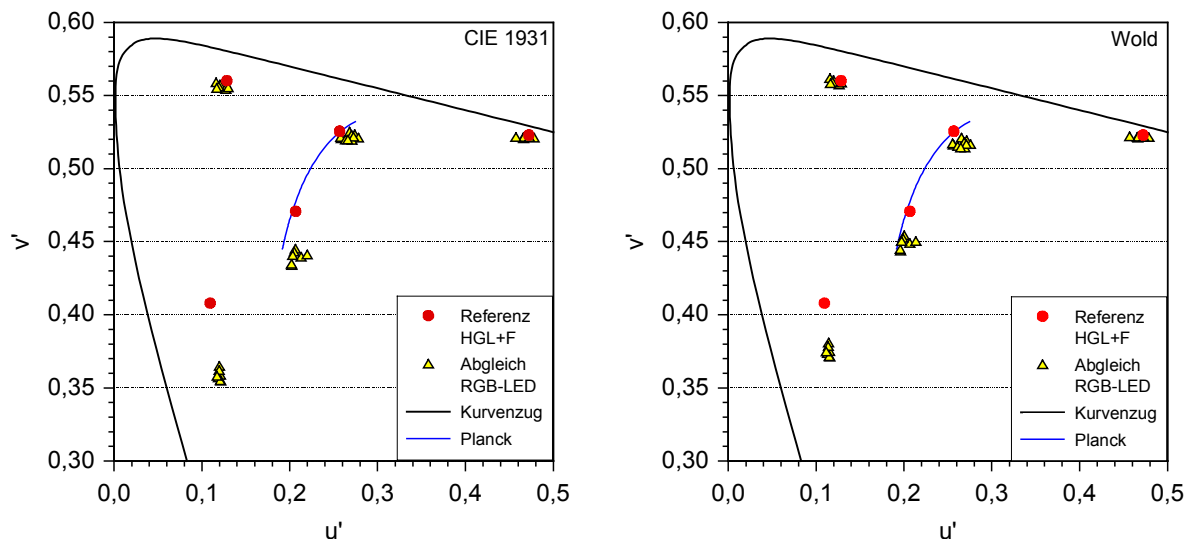


Abbildung 4: Daten der Gleichheitsurteile der Untersuchung Veszprem basierend auf den CIE 1931 – 2°-Normspektralwertfunktionen [1] und auf modifizierten Spektralwertfunktionen nach WOLD [2]

3.2 Untersuchungen Ilmenau (Deutschland)

Die Ergebnisse der Untersuchungen an der Technischen Universität Ilmenau sind in Abbildung 5 dargestellt. Deutlich erkennbar sind die Abweichungen zwischen den Farbörtern der Referenz- und Testlichtquellen bei subjektiver Gleichheit für die Probanden. Die Anwendung der modifizierten Spektralwertfunktion nach WOLD [2] führt zu einer Verringerung der Abweichungen zwischen der objektiven Messung und der subjektiv empfundenen Gleichheit. Die Ergebnisse bestätigten sich auch bei der Verwendung einer Metaldampf Lampe als Referenzlichtquelle bei einer ähnlichsten Farbtemperatur von 6500 K [3].

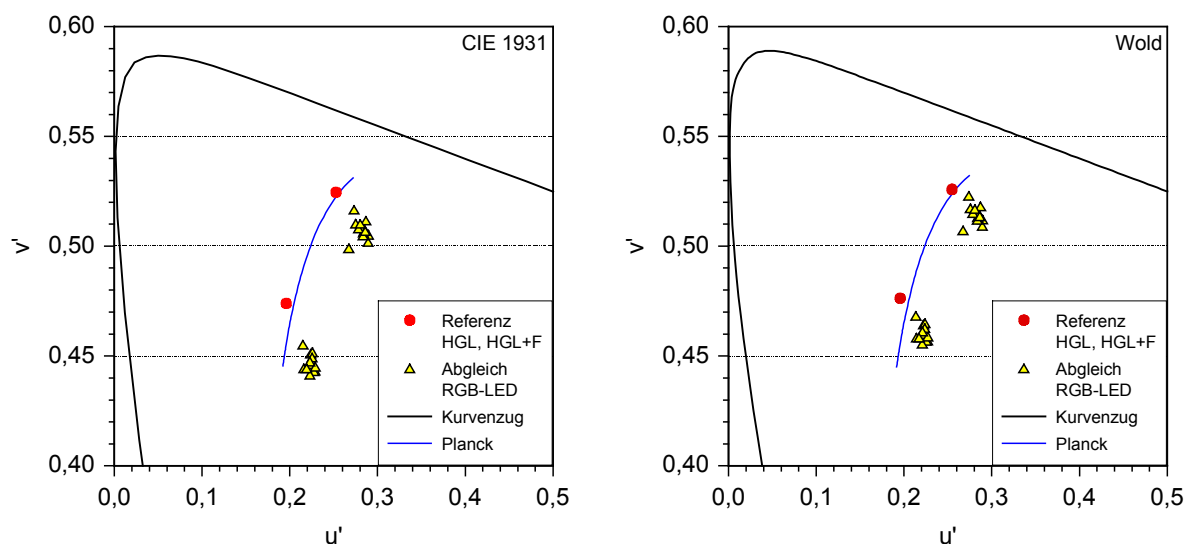


Abbildung 5: Daten der Gleichheitsurteile der Untersuchung Ilmenau basierend auf den CIE 1931 – 2°-Normspektralwertfunktionen [1] und auf modifizierten Spektralwertfunktionen nach WOLD [2]

4 Zusammenfassungen

Es gibt Hinweise darauf, dass die $\bar{z}(\lambda)$ -Funktion nicht exakt der visuellen Wahrnehmung entspricht und sich die Unterschiede zwischen den objektiv gemessenen Farbörtern und den wahrgenommenen subjektiven Farbunterschieden zum Teil daraus erklären lassen.

Die Anwendung der modifizierten Spektralwertfunktionen nach WOLD [2] führt zu geringeren Abweichungen zwischen den objektiven Messdaten bei visueller Gleichheit zwischen Referenz- und Testlichtquelle als die Anwendung der CIE 1931-Normspektralwertfunktion. Hier sind weiterführende Untersuchungen jedoch notwendig.

Literatur

- [1] DIN 5033 Teil 2 *Farbmessung - Normvalenz-Systeme*, Beuth Verlag Berlin, Mai 1992
- [2] Wold, J.H. (2006) *Development of chromaticity diagrams based upon the principles of the CIE XYZ system*. Personal communication
- [3] Bieske, K.; Csuti, P.; Schanda, J.: *Colour appearance of metamer lights and possible colorimetric Description*. CIE Expert Symposium Paris 2006
- [4] CIE (2005) *Fundamental Chromaticity Diagram with Physiological Axes-Part 1*. Draft Technical Report by TC 1-36

Kontakt

Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Lichttechnik
PF 10 05 65, D-98684 Ilmenau

Tel.: +4936778469-21
Fax: +493677842463
<http://www.tu-ilmenau.de/lichttechnik>,
karin.bieske@tu-ilmenau.de

University of Pannonia
Egyetem u. 10, H-8200 Veszprem, Hungary,
Phone: +3688624459
Fax: +3688624606
csutip@vision.vein.hu,
schanda@vision.vein.hu