Untersuchungen zu Beleuchtungssystemen MIT VERÄNDERLICHER LICHTFARBE









Karin Bieske, TU Ilmenau, FG Lichttechnik



AGENDA

Untersuchungen zu Beleuchtungssystemen mit veränderlicher Lichtfarbe

- 1. Motivation
- 2. Technische Realisierung
- 3. Untersuchungen zur Farbwahrnehmung für die Auslegung von Beleuchtungssystemen
- 4. Weiterführende Untersuchungen
- 5. Impulse für neue Forschungsfragen



MOTIVATION

Klassische Beleuchtungssysteme

Energieeffizienz & Ökologie
Unterschiede in Nutzerbedürfnissen
Zunahme an Komplexität & Dynamik
Erkenntnisse zu nicht-visuellen Lichtwirkungen
Entwicklung der technischen Möglichkeiten

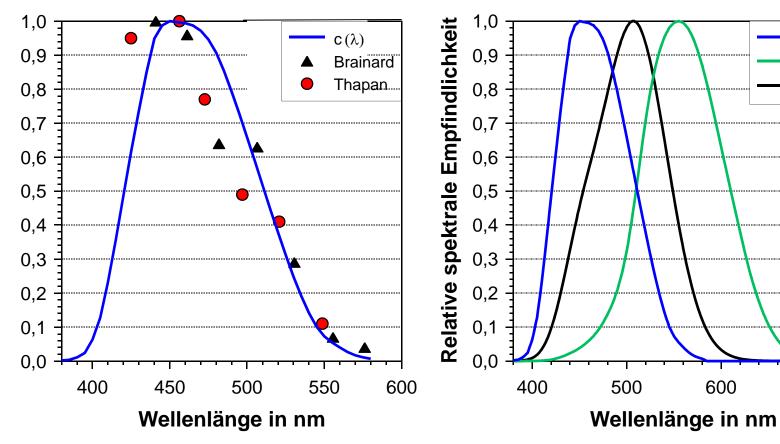
Dynamische Beleuchtungssysteme variabel in:

- Beleuchtungsniveau
- Örtlicher Lichtverteilung
- Spektraler Lichtverteilung



MOTIVATION

Neue Erkenntnisse zu nicht-visuellen Lichtwirkungen



Quelle: Gall (2002)

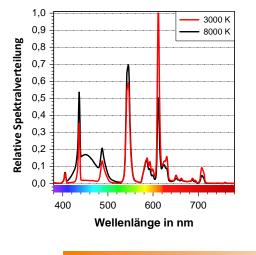


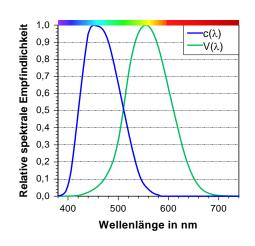
 $c(\lambda)$

 $V(\lambda)$

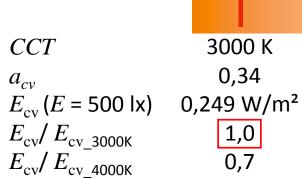
 $V'(\lambda)$

700



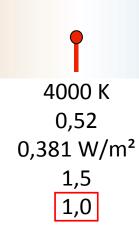


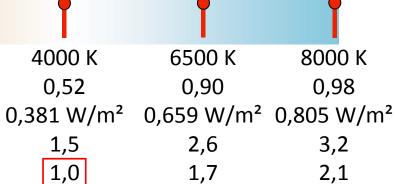
$$a_{cv} = \frac{\int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot c(\lambda) \, d\lambda}{\int X_{e\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \, d\lambda}$$



Beispiel:

Seite 5







Durch Variation der Lichtfarbe Modellierung der nicht-visuellen Lichtwirkung bei gleichbleibender Helligkeit

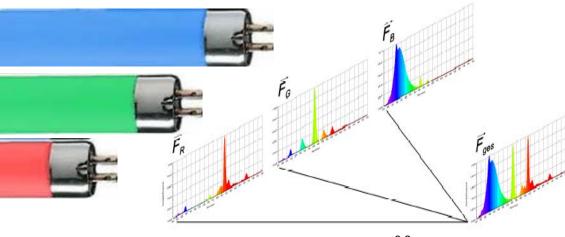
TECHNISCHE REALISIERUNG

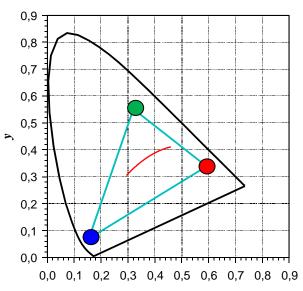
Voraussetzungen:

- Dimmbare Lichtquellen mit variable spektraler Verteilung
- Komponenten zur Ansteuerung der Lichtquelle
- Steuermodule, die Steuer- und Regelgrößen generieren
- Materialien für Lichtleitung und Lichtmischung
- Konzepte mit Vorgaben, wie dynamische Variationen der Lichtfarbe sinnvoll zu realisieren sind



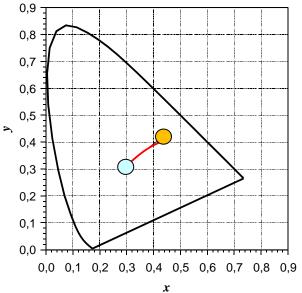
TECHNISCHE REALISIERUNG





Anzahl Patente



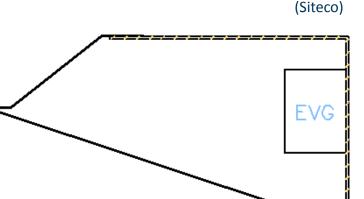






TECHNISCHE REALISIERUNG

Leuchte mit änderbarer Lichtfarbe



Standartisierung Steuerprotokolle

DMX

DMX512 (1990), DIN 56930-2: 2000

DALI

IEC 62386-201: 2009 Leuchtstofflampen,

IEC 62386-209: 2011 Farb-/Farbtemperatursteuerung

Lux junior 2017





TECHNISCHE REALISIERUNG 600 Anzahl Patenterteilungen 300 100 100 1960 1970 1980 1990 2000 2010 Jahr --- Dimmung von LL —— blaue LED



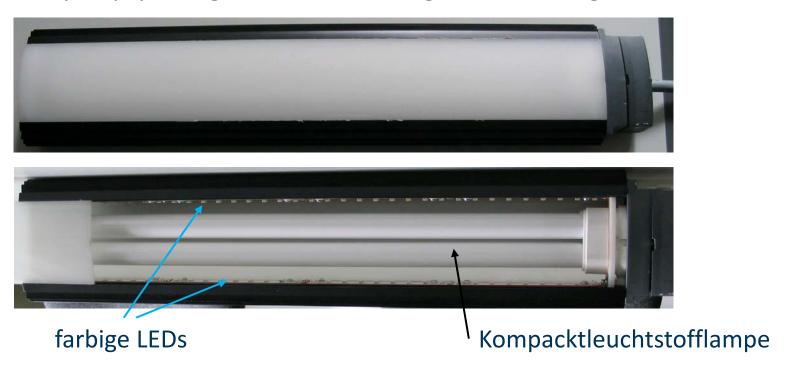
Seite 9

Untersuchungen

Forschungsprojekt (2004 - 2006):

Adaptives Beleuchtungssystem mit Hybridlampe Teilprojekt TU Ilmenau:

Physio-psychologische Untersuchungen zur Wirkung von Lichtfarben





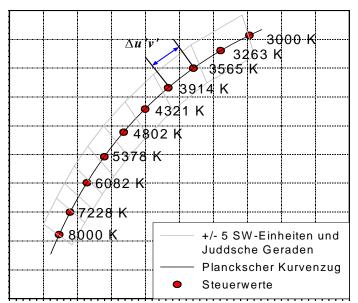
Untersuchungen

Fragestellungen:

- Variationsbereich für Lichtfarbe
- Präferenzen
- Schrittweite der Änderung
- Genauigkeit für Variationsweg
- Abhängigkeiten:
 - Beleuchtungsniveau
 - Variationsrichtung
 - CCT

18.09.2017

- Änderungsgeschwindigkeit
- Variationsweg





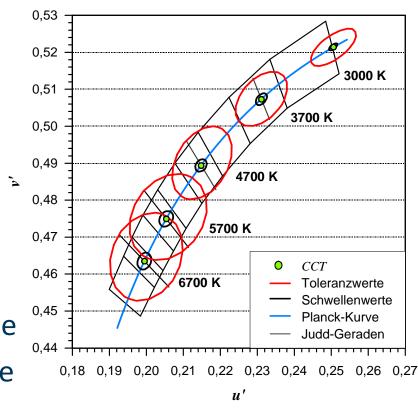
Blanckenhagen, 2004



Untersuchungen

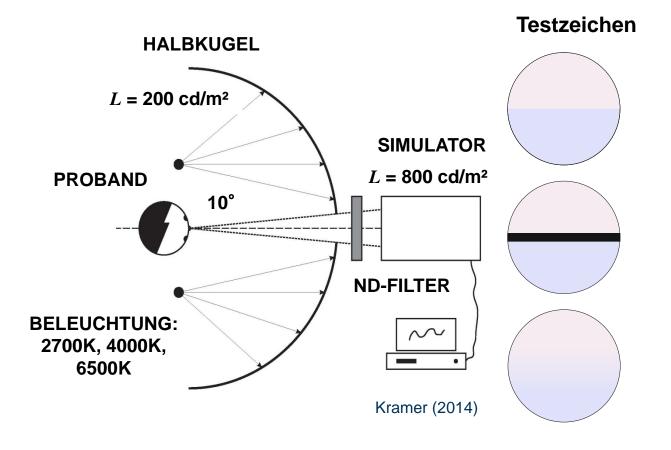
Ergebnisse:

- Variationsbereich: 3000 K bis 8000 K
- Präferenz: 4200 K
- Schwellen $\approx \Delta u'v' = 0,0016$ Toleranz: Faktor 5 zur Schwelle
- Unabhängigkeit von Lichtfarbe und Beleuchtungsniveau
- Variation hin zu niedrigeren CCT kritischer
- Orientierung am Planckschen-Kurvenzug, geringe Abweichungen möglich
- Änderungsgeschwindigkeit: $\emptyset \approx 12 \text{ K/s}$



Lichtfarbenunterschiede innerhalb von Leuchten

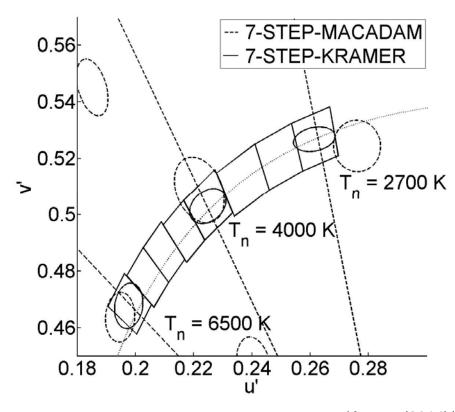








Lichtfarbenunterschiede innerhalb von Leuchten



Schwellenwerte:

- $\Delta u'v' = 0,0006$ bis 0,0012 bei sprunghaftem Übergang,
- Faktor 1,5 für andere Übergänge
- bei Variation der Lichtfarbe im Umfeld, keine Änderung der Ellipsenorientierung
- tendenzell größe Schwelle je größer ΔCCT zwischen Testzeichen und Umfeld

Kramer (2014)/ Häubere & Bieber (2016)



18.09.2017 Seite 14 Karin Bieske

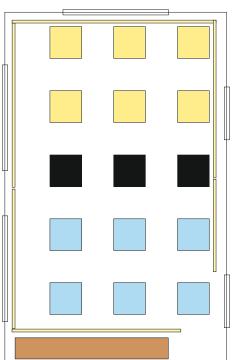
Kombination von Lichtfarben im Raum





Bieske, Fiebig (2014)











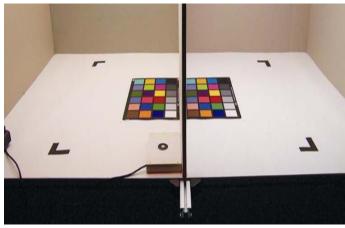


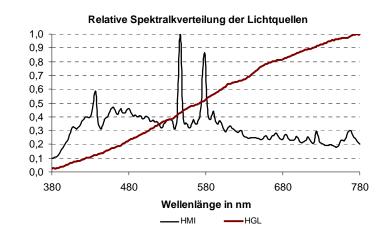
Kombination ähnlicher Lichtfarben, Unterschiede zwischen Leuchten kritischer als farbige Schatten

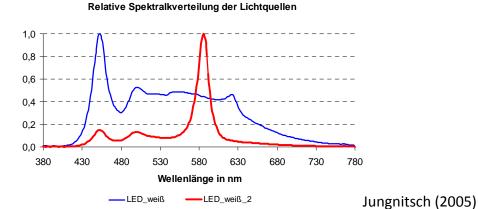


Untersuchung von Farbwiedergabeeigenschaften



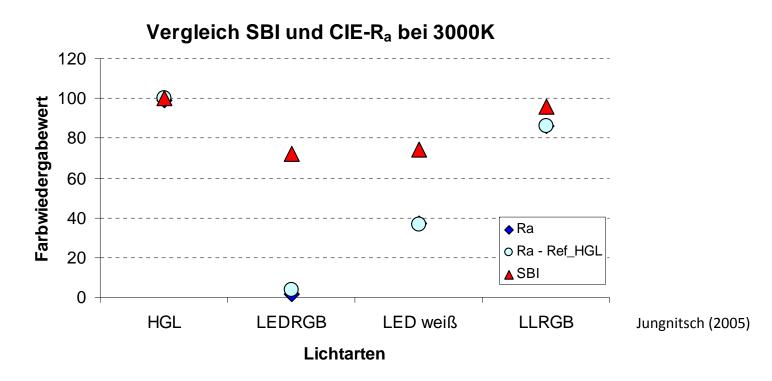






CC: TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

Untersuchung von Farbwiedergabeeigenschaften

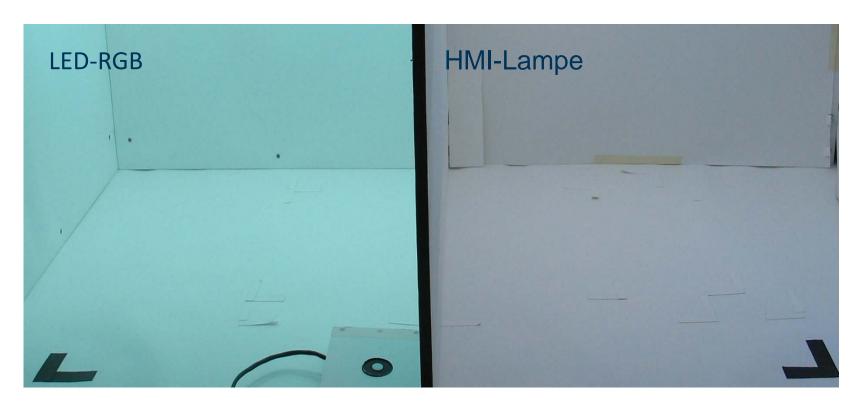




Abweichungen zwischen CIE-FWG-Index und subjektiver Farbbewertung bei diskrete Spektren

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
ILMENAU

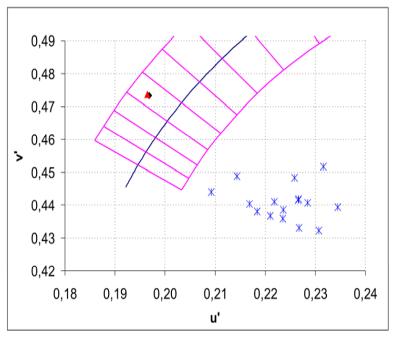
Untersuchung zur Metamerie

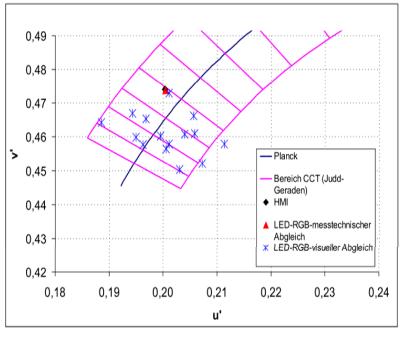


Subjektiv wahrgenommener Unterschied trotz identischer Farbörter

ČIC TECHNISCHE UNIVERSITÄT ILMENAU

Untersuchung zur Metamerie



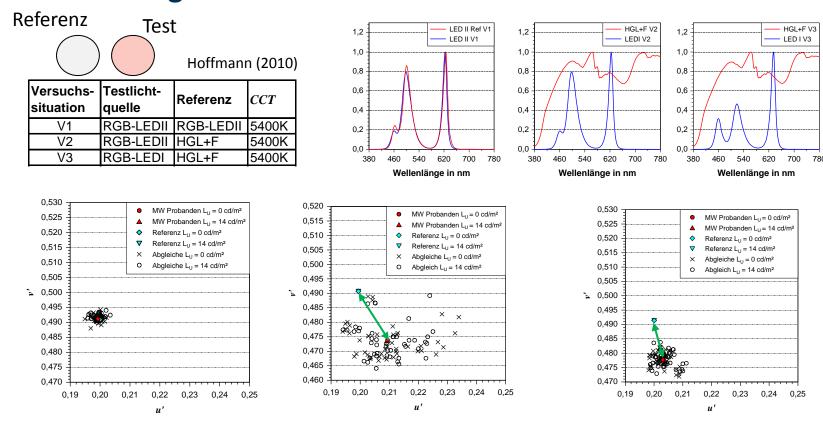


CIE1931 CIE1964



Farbortdifferenz nach subjektivem Abgleich

Untersuchung zur Metamerie

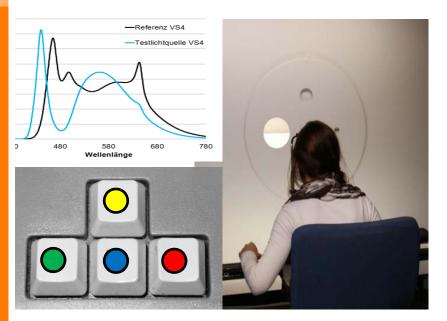


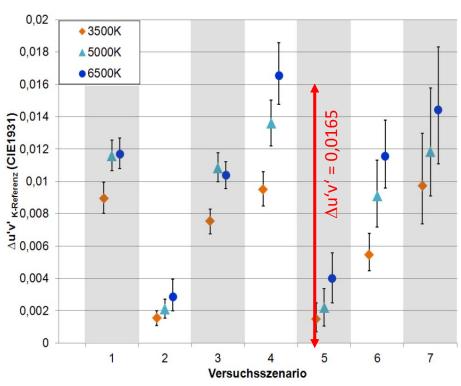


Einfluss der Spektralverteilung auf die Farbortdifferenz nach Abgleich



Untersuchung zur Metamerie



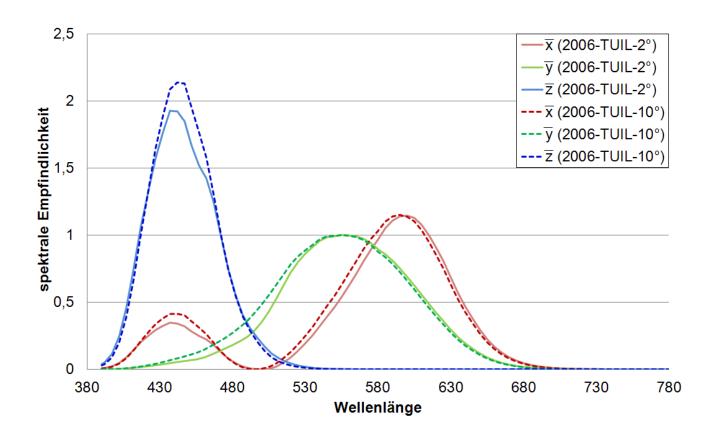


Farbraumfehler bis $\Delta u'v' = 0.0165$ Ableitung neuer Spektralwertfunktionen (2006-TUIL)

Polster (2013)



Untersuchung zur Metamerie



Polster, 2013)





