

Spektrales Reflexionsverhalten und Farborte von natürlichen und künstlichen Oberflächenfarben – Konsequenzen für die Farbauswahl für den neuen Farbwiedergabeindex

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Dipl.-Ing. (FH) Nathalie Krause, PD Dr. habil. Peter Bodrogi, Prof. Dr.-Ing.-habil. Tran Quoc Khanh, TU Darmstadt

1 Einleitung

Bis Anfang dieses Jahres wurde an einer neuen Definition des Farbwiedergabeindex gearbeitet. Auslöser dafür war die Feststellung, dass die bereits bestehenden Indizes (z.B. CRI von CIE) für LEDs zu schlechte Ergebnisse liefern [1]. Die Ursachen dieses Defizits liegen u.a. in der Auswahl der Testfarben, der Referenzlichtart und des Farbraums sowie in den Formeln der chromatischen Adaptation.

An der TU Darmstadt wurde ein neuer Farbwiedergabeindex (RCRI = ordinal rating scale based colour rendering index) entwickelt, der insbesondere für eine Beleuchtung mit LEDs korrektere Werte liefern soll [2][3]. Im Gegensatz zum CRI wurde hier die CIECAM02-UCS-Farbmeterik [4] gewählt, da sie am besten mit den visuell wahrgenommenen Farbdifferenzen übereinstimmt. Bezogen auf die Testfarben ist es wichtig zu wissen, für welche Oberflächenfarben dieser neue Formelsatz gültig sein soll. Zunächst wurden 12 Farben des MacBeth Color Checkers sowie 5 Farben des NIST CQS-Index verwendet [5]. In einer Weiterentwicklung des RCRI möchte man nun repräsentative natürliche und künstliche Oberflächenfarben als Testfarben verwenden. Daher beschäftigt sich dieser Beitrag mit dem spektralen Reflexionsverhalten natürlicher und künstlicher, gesättigter und ungesättigter farbiger Objekte. Es soll geklärt werden, welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede die Spektren dieser verschiedenen Objektfarben aufweisen.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, alle ermittelten Spektren auf etwa 30 Oberflächenfarben zu reduzieren, die möglichst gleichverteilt im CIECAM02-UCS-Farbraum liegen sollen. Dabei sollen, wenn möglich, auch metamere Farben (unterschiedliche Farbreize mit gleichem Farbeindruck) enthalten sein, um den Farbwiedergabeindex für verschiedene Anwendungen zu verwenden.

2 Messungen

In diesem Kapitel werden der Messaufbau, die Messbedingungen und die vermessenen Objekte beschrieben.

2.1 Messaufbau und Messbedingungen

Das spektrale Reflexionsverhalten aller Objekte wird mit dem Spektralradiometer CS-1000 der Firma Konica Minolta in 1nm-Schritten von 380-780nm vermessen. Dabei wird eine 0°/45°-Messgeometrie angewendet, was bedeutet, dass das Objekt unter einem Winkel von 0° beleuchtet und unter einem Winkel von 45° vermessen wird. In Abbildung 1 ist der Messaufbau schematisch dargestellt. Als Lichtquelle dienen herkömmliche Glühlampen. Um Reflexionen der Glühlampenstrahlung auf das jeweilige Messobjekt zu vermeiden, wird als Objektunterlage dunkelgrauer Filzstoff verwendet. Auch die Wände um den Messbereich herum sind dunkel und matt.

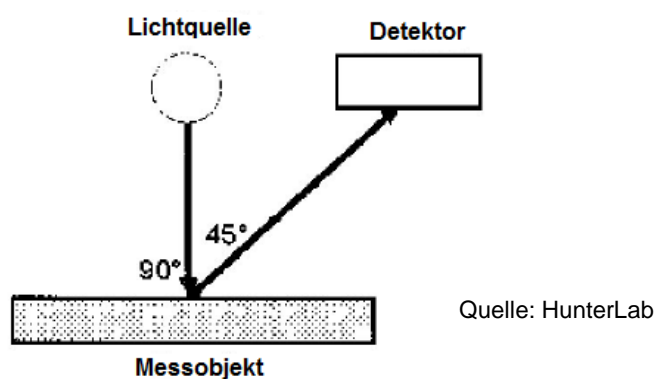


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus

Um die reinen Reflexionsspektren der Objekte (unabhängig vom Spektrum der beleuchtenden Lichtquelle) und später die Farbwerte zu ermitteln, werden die gemessenen Objektspektren jeweils durch dasjenige Spektrum dividiert, welches man erhält, wenn ein Weißstandard mit denselben Glühlampen beleuchtet wird. Um statistische Fehler zu minimieren, wird jedes Objekt fünfmal vermessen und anschließend der Mittelwert gebildet.

2.2 Messobjekte

Um natürliche und künstliche Oberflächenfarben vergleichen zu können, werden folgende repräsentative Objektarten gewählt:

Tabelle 1: verwendete Messobjekte

natürlich	künstlich
Blätter	Textilien
Blumen	Druckerzeugnisse
Obst	
weitere Lebensmittel	

Eine Auswahl der verschiedenen Objekte ist in Abbildung 2 zu sehen. Ähnliche Objekte unterscheiden sich neben der Farbe in Oberflächenstruktur (z.B. Druckerzeugnisse), Material (z.B. Textilien).



Abbildung 2: Auswahl der vermessenen Objekte (der schwarze Kreis markiert den Messfleck)

3 Messergebnisse und Auswertung

Für jede Objektart werden alle Reflexionsspektren dargestellt. Daraus werden anschließend die Farborte aller Messobjekte im CIELAB-Farbraum berechnet.

In Abbildung 3 sind beispielhaft für die Objektart „Obst“ die Reflexionsspektren dargestellt. Bei etwa 680nm weisen die meisten Spektren ein deutliches Minimum auf, was auf eine Absorptionsbande von Chlorophyll zurückgeführt werden kann. Außerdem steigen alle Spektren ab etwa 680nm stark zum Infraroten hin an. Dies wird bei allen vermessenen Objekten festgestellt. Das menschliche Auge ist jedoch in diesem Wellenlängenbereich nicht mehr empfindlich genug, um den Infrarotanteil sehen zu können. Aus diesen Spektren werden zunächst jeweils die Normfarbwerte X, Y, Z und daraus die Werte L^* , a^* , b^* des CIELAB-Farbraums berechnet (Abbildung 4).

Da die Farbabstände im CIELAB-Farbraum jedoch nicht gleichabständig sind, werden die Farborte aller Messobjekte außerdem im CIECAM02-UCS-Farb Wahrnehmungsmodell berechnet und dargestellt (Abbildung 5). Dieses Modell berücksichtigt die chromatische Adaptation und die Farbabstände sind gleichabständiger als im CIELAB-Farbraum.

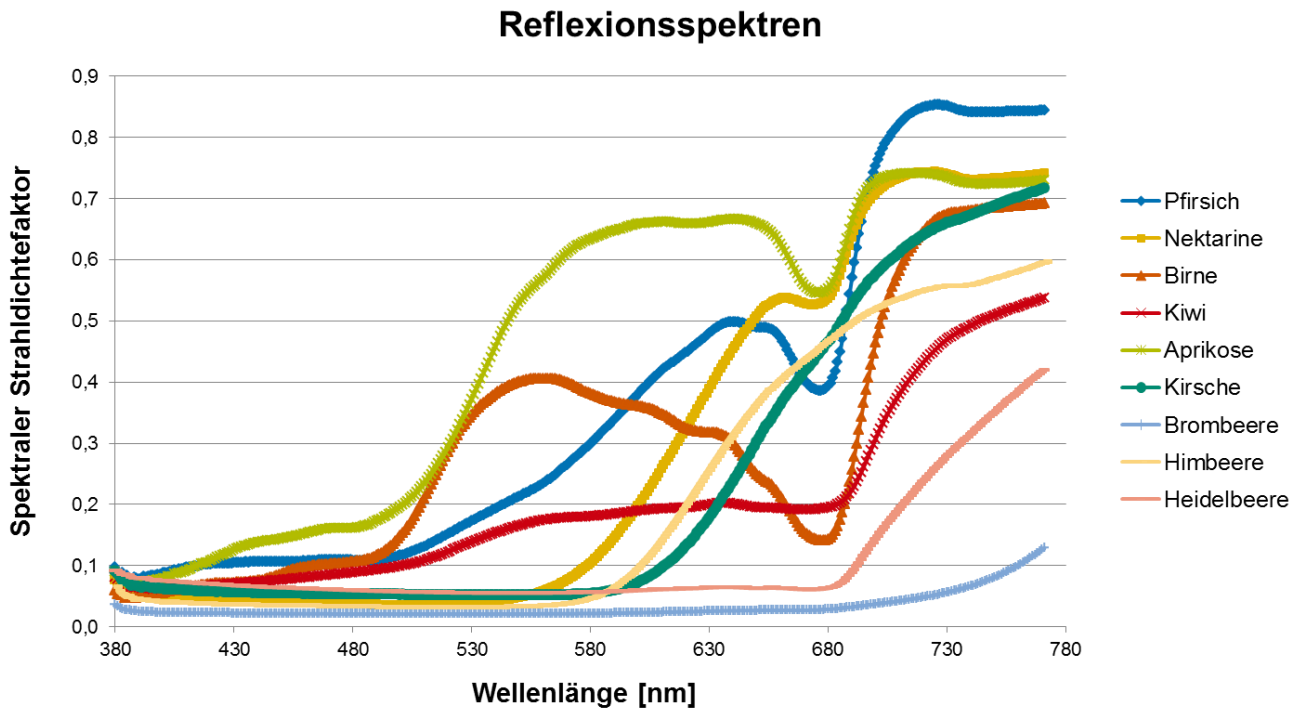


Abbildung 3: Reflexionsspektren von Obst

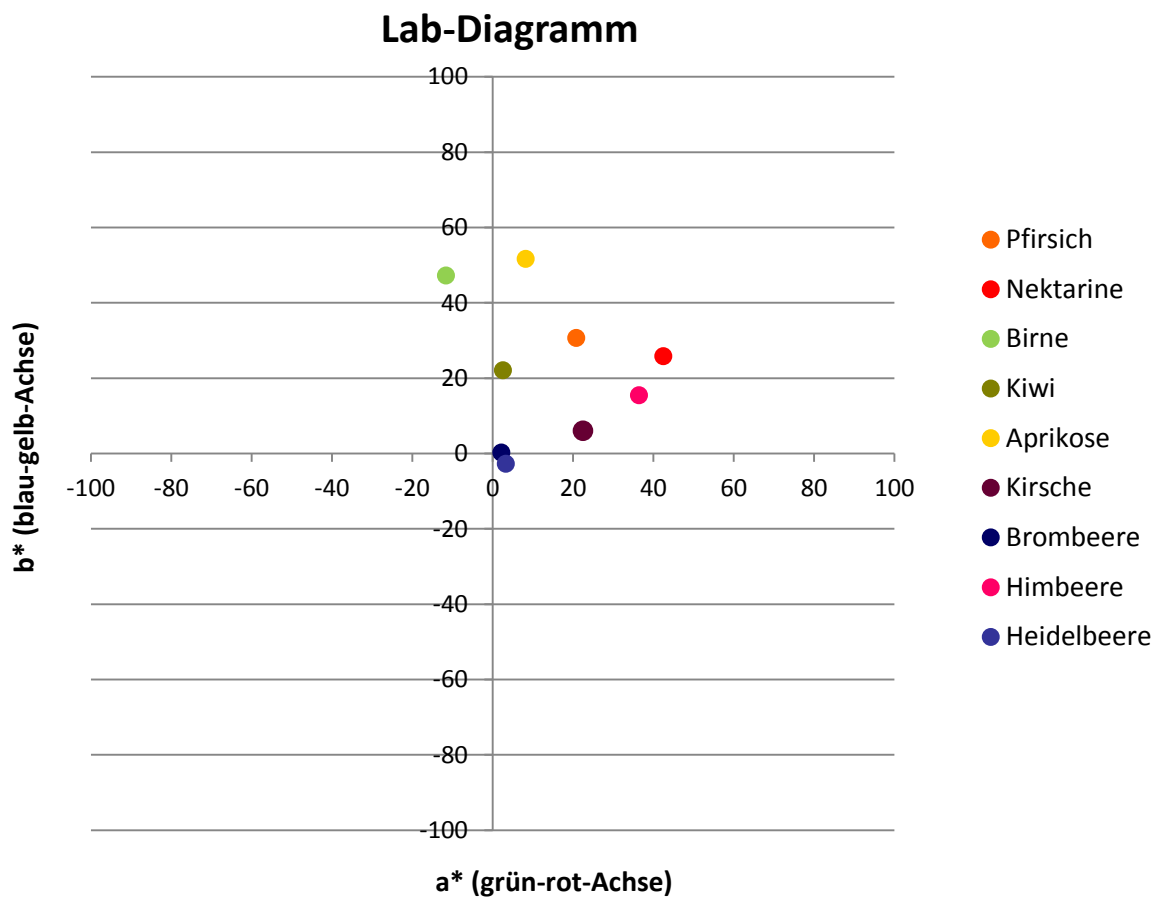


Abbildung 4: Farborte von Obst im Lab-Farbraum

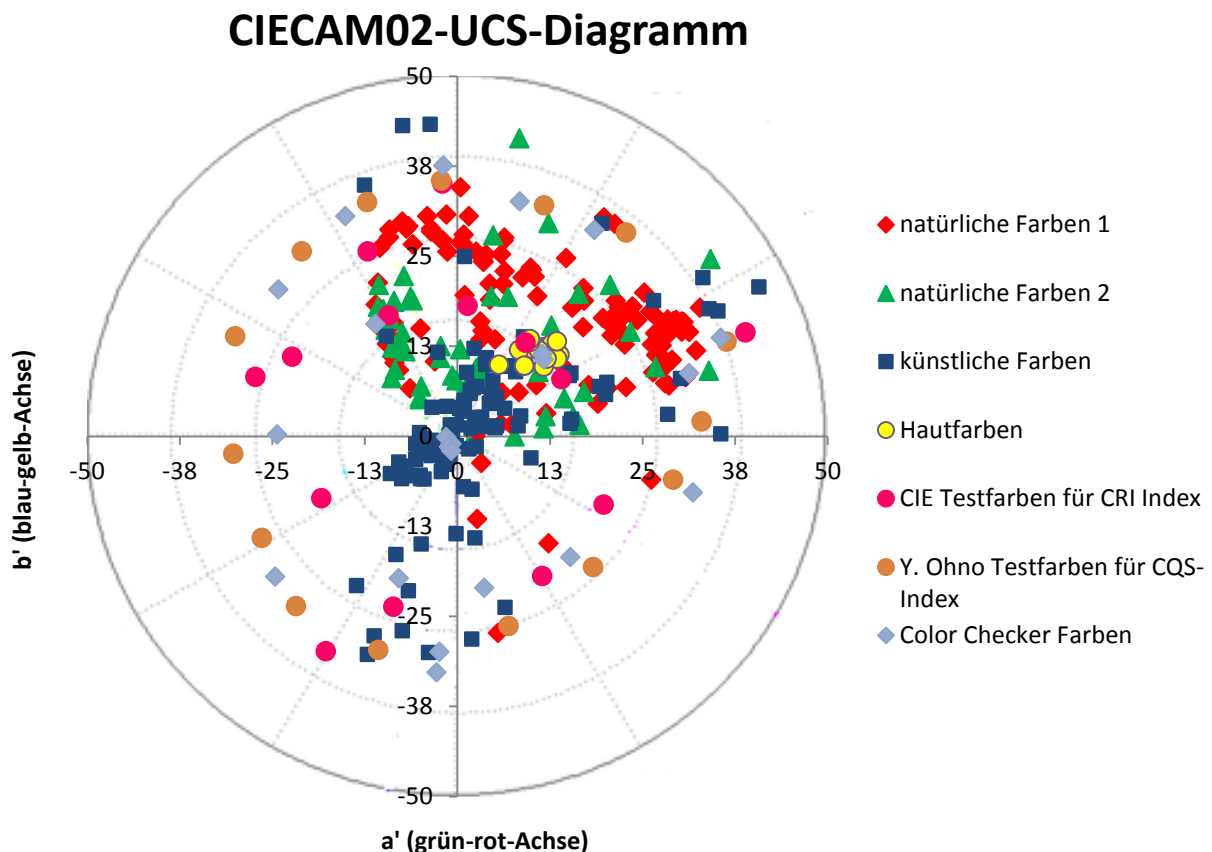


Abbildung 5: CIECAM02-UCS-Farbraum

In diesem Diagramm werden zusätzlich zu den selbst vermessenen Oberflächenfarben (natürliche Farben 1, künstliche Farben) die Farborte von verschiedenen Testfarben sowie früher am Fachgebiet vermessener Objekte dargestellt.

Es lässt sich erkennen, dass die Werte für a' und b' generell für alle dargestellten Oberflächenfarben kleiner als 50 sind. Daher wird hier der Wertebereich von 100 auf 50 für beide Achsen reduziert dargestellt. Mit bloßem Auge sehen viele Farben sehr gesättigt aus, was auf höhere Werte schließen ließe. Da jedoch die Spektren meist recht breite statt spitze Peaks aufweisen sind die Werte nicht größer. Bei Beleuchtung mit recht monochromatischem Laserlicht wäre das anders. Auffällig ist, dass die größten Werte für a' und b' fast ausschließlich von gedruckten Farben (Bücher etc.) bzw. von den verschiedenen Testfarben stammen.

Beim Vergleich von natürlichen mit künstlichen Oberflächenfarben stellt man fest, dass es sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede gibt. Es gibt natürliche und künstliche Farben, deren Reflexionsspektren sich sehr stark ähneln und deren Farborte auch nahezu gleich sind. Ein Beispiel hierfür ist der Vergleich von Brombeere, schwarzem Bucheinband und dunkelblauem Nickistoff. Eine weitere Gemeinsamkeit ist der Reflexionsanstieg zum Infraroten hin, der bei fast allen Messobjekten auftritt. Anhand der Spektren oder Farborte kann somit keine klare Trennung zwischen natürlichen und künstlichen Oberflächenfarben vorgenommen werden.

Es lassen sich auch Unterschiede zwischen den natürlichen und den künstlichen Farben finden. Betrachtet man zwei Farben, die visuell recht gleich aussehen, so können sie trotzdem unterschiedliche Spektren besitzen (Abbildungen 6 und 7). Es lässt sich erkennen, dass die beiden Spektren für die zwei weißen Objekte ähnlich sind, sich jedoch bzgl. der Intensität unterscheiden. Die beiden Spektren der orangen Objekte unterscheiden sich sogar auch deutlich in ihrer Form.



Abbildung 6: visueller Vergleich zwischen natürlichen und künstlichen Farben

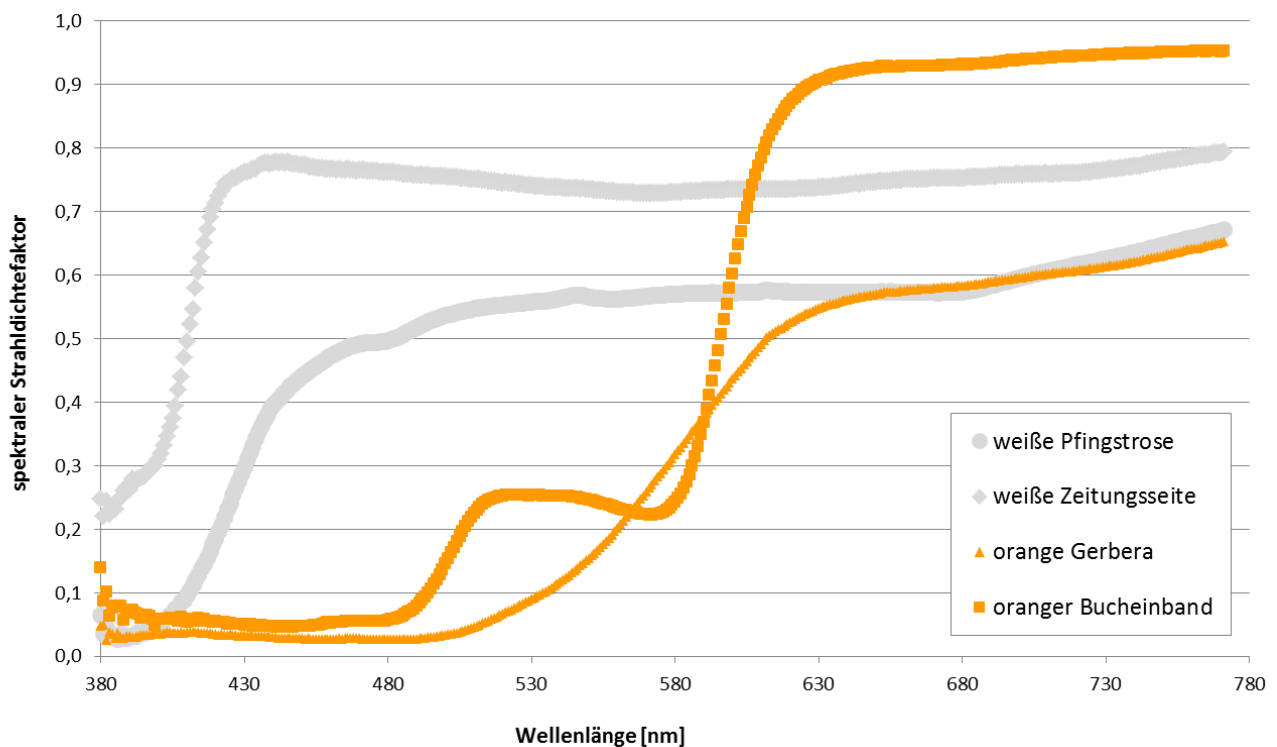


Abbildung 7: Vergleich der Spektren visuell gleich aussehender Farben

Des Weiteren decken die natürlichen Farben im Unterschied zu den künstlichen Farben nur einen sehr begrenzten Wertebereich ab. Die große Mehrheit dieser Farben liegt im ersten und zweiten Quadranten. Einige wenige Farben lassen sich im vierten Quadranten finden. Im blau-grünen dritten Quadranten kommen so gut wie keine natürlichen Farben vor.

4 Fazit

Da der Bereich der natürlichen Oberflächenfarben im CIECAM02-UCS-Diagramm begrenzt ist, ist es nicht möglich, 30 gleichverteilte natürliche Farben zu finden! Eine gleichmäßige Verteilung ist somit nur mit Zuhilfenahme von künstlichen Farben realisierbar. Die hier vermessenen künstlichen Farben von alltäglichen Objekten, wie Textilien und Druckerzeugnissen, decken ebenfalls nicht den gesamten Bunttonkreis ab. Allerdings ist davon auszugehen, dass sich für jeden Buntton eine künstliche Oberflächenfarbe finden lässt, auch wenn diese evtl. nicht so alltäglich (wie z.B. das Blau einer Jeans) sein wird.

Literatur

- [1] Commission International de l'Eclairage, Colour rendering of white LED light sources, CIE 177, 2007
- [2] Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T. Q., Re-defining the colour rendering index, CIE Light and Lighting Conference, Budapest, 2009
- [3] Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T. Q., Ordinal scale based description of colour rendering, Color Research & Application, 2010
- [4] Moroney, N., Fairchild, M., The CIECAM02 color appearance model, Chester F. Carlson Center for Imaging Science, 2002
- [5] Davis, W., Ohno, Y., Color Quality Scale, Optical Engineering 49(3): 033602, 2010