

Farben

Erzeugung, Wirkungen und Kommunikation (Kurzfassung)

Autor: Karl-Friedrich Klein, Prof. Dr.-Ing.
Fachbereich IEM & Kompetenzzentrum OTS
Technische Hochschule Mittelhessen



1 Motivation

Durch eine Augenkrankheit wurde eine persönliche Entwicklung angestoßen, von der Optik bzw. Faseroptik kommend mich mit Licht, Farben und der Wirkung auf uns Menschen sowie als Hilfsmittel für die Kommunikation zu beschäftigen. Neben Erkenntnissen der Farb- und Werbepsychologie /1-5/ wurde die Farbe als Hilfsmittel („tool“) im Bereich der Kommunikation und Teambildung /6,7/ mit einbezogen.

Die technische Messung der Farben ist seit langem standardisiert /8,9/. Viele verschiedene Farb-Systeme existieren /10-12/, da neben der direkten, additiven Erzeugung von Farben auch die subtraktive Erzeugung mittels Absorption und Reflexion vorhanden ist. Immer größeren Einsatz im täglichen Leben finden die neuen, auf LED-Technik /13,14/ basierenden Lichtsystemen. Weiße LEDs mit hohen spektralen Leistungen oder Lichtströmen sind dabei hinsichtlich Gefährdungen zu bewerten.

2 Kurzüberblick über Licht, Farben und Psychologie

Die auf Halbleitertechnik beruhenden Lichtquellen LED und Laser-Dioden erobern immer neue Märkte. Durch die Massenproduktion sind die Preise, v.a. für LEDs, in den letzten Jahren stark gesunken. Als Leuchtmittel werden inzwischen LEDs vielfältig zur Beleuchtung von Räumen & Gegenständen eingesetzt, z.B. in Autos, bei der Straßenbeleuchtung und im Heimbereich. Zusätzlich nimmt die Anzahl der LED-Bildschirme zu.

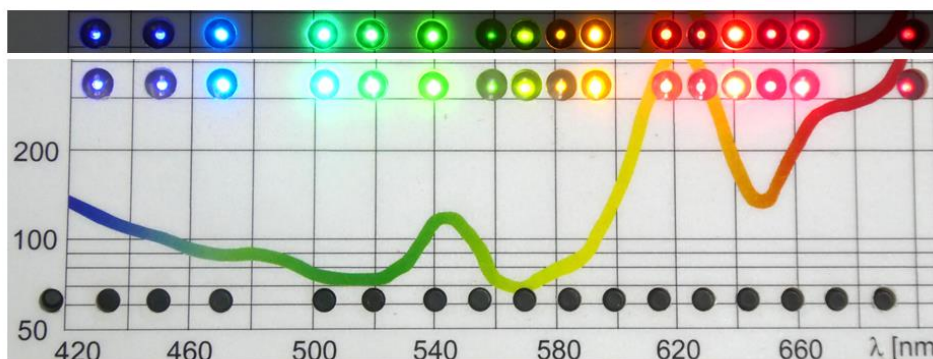


Abb.1: Darstellung der möglichen Mittenwellenlängen der üblichen Farb-LEDs über den sichtbaren Wellenlängenbereich sowie der Dämpfungskurve einer Polymerfaser /15/

Farb-LEDs stehen im sichtbaren Wellenlängenbereich (siehe Abb. 1) zur Verfügung, mit einer Mittenwellenlänge λ_M und spektralen Breite $\Delta\lambda$ (FWHM). Diese hängen vom Bandabstand ΔW des Halbleitermaterials sowie dessen Dotierung ab /13,14,15/.

Durch gezielte Mischung (Addition) von drei ausgewählten Farb-LEDs (rot R, grün G, blau B) kann Weißlicht erzeugt werden (siehe Abschnitt 2.2). Weiterhin kann durch die Lumineszenz die Lichtwellenlänge verschoben werden. Dieses, bei Leuchtstoffröhren schon lange verwendete Prinzip wurde auch in die LED-Technologie integriert, so dass schon seit einiger Zeit sog. Weißlicht-LEDs kommerziell angeboten werden.

Bei der Erzeugung von Weißlicht gibt es zwei Prinzipien: additive RGB-Farberzeugung oder Nutzung der (teilweisen) Lichtumwandlung (des blauen oder violetten Lichtes einer einfarbigen LED in einer luminiszierenden Schicht). Letztere Weißlicht-LEDs haben ein dem Sonnenlicht angepasste Spektralleistung, so dass sie in der Beleuchtungstechnik, auch für medizinische Therapien, zum Einsatz kommen werden.

Bei den Standard Weißlicht-LEDs werden blaue LEDs mit einer Mittenwellenlänge von ca. 450 nm eingesetzt, von deren Lichtleistung ein Teil durch Lumineszenz in breitbandigeres grünes und rotes Licht gewandelt wird. Abhängig von diesem Umwandlungsgrad durch unterschiedliche Dicke der fluoreszierenden Schicht kann sog. warmes, normales und kaltes Weißlicht, das sich durch die unterschiedliche Farbtemperatur /12,16/ unterscheidet, geliefert werden.

Im letzten Jahr wurden meines Wissens nach erstmals bei der Messe „Light & Building 2018“ sogenannte „Sun-like-Weißlicht-LEDs von der Fa. Seoul Semiconductor /14/ kommerziell vorgestellt, die zu Beginn vor allem in der Medizin eingesetzt werden sollen. In diesem LED-Konzept wird das Licht einer violetten LED bei ca. 400 nm durch verschiedene Lumineszenzstoffe in die drei Farben blau, grün und rot gewandelt. Durch das breitbandige Lumineszenzlicht ist dieses Licht sehr ähnlich zu dem Sonnenlicht (siehe auch Abb.).

2.2 Farben und Farbräume

Dieser Themenbereich ist in der Literatur intensiv dargestellt: neben den Internet-Seiten (Auswahl /17,18/) stehen auch Enzyklopädien /12/, Fachbücher /10,11,19,20/ und Normen /8/ zur Verfügung. In Abb. 2 ist die sog. 2-dim. Farbtabelle (auch Chromatizitätsdiagramm genannt) gezeigt, mit der ein Farbort mit x- und y-Werten für alle wahrnehmbaren Farben bestimmt werden kann. Details sind in /8,11/ nachzulesen.

Aber dabei ist auch das Auge einzubeziehen: die Farbwahrnehmung durch das „Normal“-Auge bei Tag- und Nachtsehen wird /20,21/ vorgestellt.

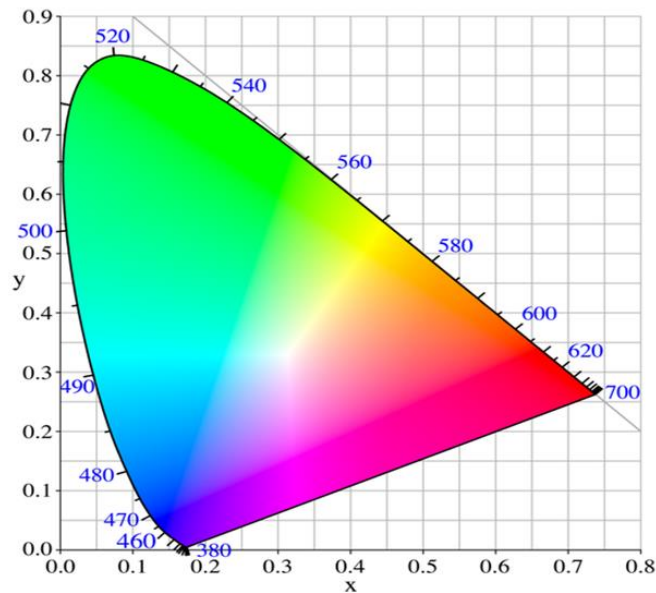


Abb.8: 2-dim. Farbtafel (auch Chromatizitätsdiagramm genannt) zum Farbort aller wahrnehmbaren Farben mit x- und y-Werten /8,11/

Ergänzend ist anzumerken, dass noch folgende Darstellung mit 3 Wertangaben üblich sind /10,11,17-21/:

- 3-dim Lab-Farbraum (deformierte Kugel)
- RGB-Farbraum für selbstleuchtende Quellen
- CMYK-Farbraum für die Drucktechnik.

2.3 Farbdagnostik nach Lüscher

Im Jahre 1947 wurde in der Dissertation von Max Lüscher /22/ ein Farbtest mit seinen Kombinationsmöglichkeiten zur Erforschung der Persönlichkeit vorgestellt, basierend auf dem ersten Ansatz von einer objektiven, psychologischen Bedeutung von Farben /23/. Dabei ist der Ansatz das vergleichende Aussuchen von Farben, die der zu testenden Person vorgelegt werden. Als Voraussetzung diente einerseits eine systematische Bestimmung der Möglichkeiten jedes menschlichen Verhaltens (in der Kommunikation mit Anderen) und andererseits die objektive Festlegung der Farbwert-Beziehung sowie die Zuordnung der Farben auf die entsprechende seelischen Verhaltensweisen /1,2,24,25/. In seiner Dissertation sowie in dem Buch „Farben der Psychologie“ werden vier Grundkategorien des menschlichen Verhaltens den vier Grundfarben zugeordnet:

Blau: gemütsmäßige Selbsthingabe
 Grün: Beharrungsstreben
 Rot: Beherrschungsstreben
 Gelb: Erlebnisstreben.

Untersuchungen (blutchemisch, kardiovaskulär, endokrinologisch und im EEG neurophysiologisch) an amerikanischen und europäischen Universitätsinstituten haben statistisch signifikant nachgewiesen, dass die Lüscher-Color-Diagnostik eine exakte psychologische und damit übereinstimmende physiologisch-somatische Messung der Persönlichkeit ermöglicht. Sie lässt die emotionale Ursache der Erkrankung erkennen und verstehen und ermöglicht die gezielte Therapie /26/.

2.4 Weitere Möglichkeiten des „aktiven“ Farbeinsatzes

Aufbauend auf der „Farben-Idee“ können verschiedene Möglichkeiten direkt aus Abschnitt 2.3 abgeleitet werden, die auch in anderen Bereichen von menschlichen Aktivitäten sinnvoll eingesetzt werden können. Aus meiner Sicht ist dazu als Referenz folgendes zu empfehlen:

- **Think Limbic** von Hans-Georg Häusel (Werbepsychologe und Unternehmensberater) /4/
- **LimbicColor** nach Peter Wendt (Ingenieur und Unternehmensberater) /5/
- **Team Management Profil/Rad** nach Margerison-McCann /27,28/.

Weiterhin werden Farben zur Visualisierung von komplexen Vorgängen, z.B. Gruppen- und optimalem Mitgliederverhalten sowie verbaler und nicht-verbaler Kommunikation analytisch eingesetzt:

- „**4-Ohren-Modell**“ nach Friedemann S. von Thun (Kommunikationspsychologe) /6/
- „**Building a positive team**“ mit **mind tools** /7/

3 Messobjekte und Messmethoden

Schwerpunkte der F&E-Aktivitäten In dem Sabbatsemester waren die Analyse von selbstleuchtenden und reflektierenden Farbflächen, in Vorbereitung für eine Optimierung der Farben mit neuester Messtechnik und für eine Testserie hinsichtlich physiologischer Farbwirkungen.

Verschiedene LED-Leuchtmittel von verschiedenen Herstellern und Handelsfirmen wurden untersucht. Dabei war das Hauptaugenmerk auf

- Standard Weißlicht-LEDs als SMD-Chip
- Sun-like Weißlicht-LED als SMD-Chip von Seoul Semiconductors /12/.

Zusätzlich wurden selbstleuchtende Bildschirme als Testobjekte aufgenommen, da zukünftige Farbttests mit diesen elektronischen Geräten durchgeführt werden könnten.

Für die Messung dieser selbststrahlenden Flächen wurden zwei Mess-Systeme eingesetzt:

- THM-eigenes Laborsystem (Abb. 3) mit dem faseroptischen Spektrometer TIDAS der Fa. J&M in Aalen), mit dem die winkelabhängigen Spektren der LEDs gemessen werden können; Details siehe Abb. 3
- Mobiles und zertifiziertes Farbmessgerät i1Pro Rev E von Fa. x-rite (Abb. 4, links) mit der Auswertesoftware SpectraShop 5 /29/, im Emissionsbetrieb.

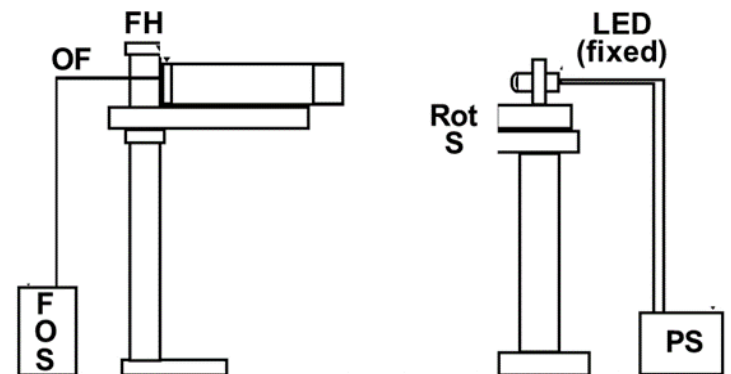


Abb.3: An der THM aufgebautes faseroptisches Laborsystem 1 zur Messung der abgestrahlten Lichtleistung in Abhängigkeit von Wellenlänge und Abstrahlwinkel; PS: Netzgerät, Rot: Drehtisch, LED: LED in Halterung, S: Verschiebetisch, FH: Faserhalterung, OF: optische Faser sowie FOS: faseroptisches Spektrometer

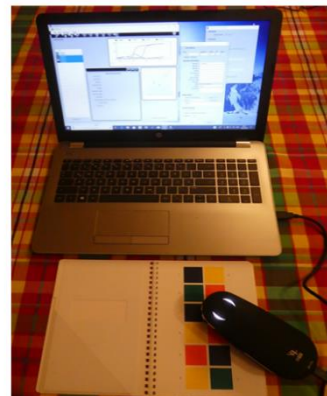


Abb. 4: Photographie eines mobilen und zertifizierten Farbmessgerätes i1Pro Rev E von Fa. x-rite, bestehend aus einem Messkopf, einem Notebook mit der Auswertesoftware SpectraShop 5 /29/, im Emissionsbetrieb (links) und Reflexionsbetrieb (rechts)

Da auch Reflexionsmessungen durchgeführt wurden, stehen zwei unterschiedliche Systeme auch dafür zur Verfügung:

- Mobiles und zertifiziertes Farbmessgerät i1Pro Rev E von Fa. x-rite (Abb. 4, rechts) mit eingebauter, normierter Weißlichtquelle und der Auswertesoftware SpectraShop 5 /29/, im Reflexionsbetrieb.
- THM-eigenes Laborsystem.

4 Auswahl von Messergebnissen

Mit dem Spektralmess-System (siehe Bild 3 & 4) wurden die Spektren dieser Weißlicht-LEDs gemessen. Zuerst nur für den Beobachtungs- oder Emissionswinkel 0° . In Abb. 5 werden Spektren der Standard LEDs mit unterschiedlicher Farbtemperatur verglichen. Die blaue LED-Leistung, reduziert um die zur Lumineszenz notwendigen Absorption, und die „gelbe“ (= rote + grüne) Lumineszenzbande sind deutlich zu erkennen. Dazwischen ist ein Minimum von $< 25\%$ (warm) und $< 18\%$ (neutral), bezogen auf den Maximalwert der blauen Bande (E), zu sehen.

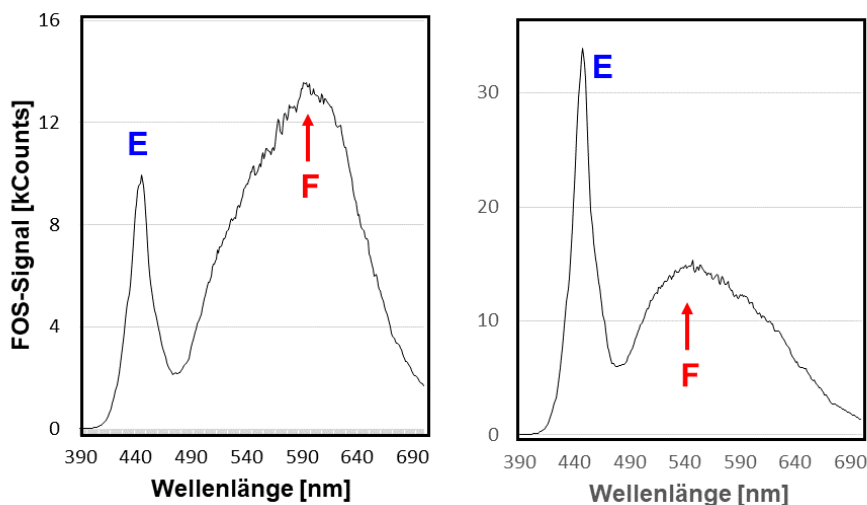


Abb.5: Vergleich der Spektren von Standard Weißlicht-LED in Warmlicht- und Neutrallicht-Ausführung, mit der Emissionswellenlänge der blauen LED (gekennzeichnet mit „E“) und dem breitbandigen Lumineszenzlicht (gekennzeichnet mit „F“), das durch die Absorption des blauen Lichtes und gleichzeitiger Lumineszenz entsteht

Zusätzlich zu den spektralen Standardmessungen in Vorwärtsrichtung (Winkel 0°) wurden die Spektren auch winkelabhängig untersucht. Betrachtet man das Verhältnis $V_{\text{gelb-blau}}$ der beiden Maximalwerte bei 440 nm (E) und 590 nm (E), dann nimmt erwartungsgemäß dieses mit größer werdendem Winkel zu. Beispielhaft wird das Verhältnis in Abb. 6 für die neutrale Standard Weißlicht-LED (rechte LED in Abb. 5) gezeigt.

Durch die (prozentuale) Abnahme des blauen Anteils und die (prozentuale) Zunahme des gelben Anteils kommt es zu einer „Rot-Verschiebung“ des Spektrums. Dies führt zu einer Veränderung der x- und y-Koordinaten im Chromatizitätsdiagramm mit zunehmendem Beobachtungswinkel, wie in Abb. 7 für die neutrale Standard Weißlicht-LED dargestellt. Aus diesen Werten kann die Farbtemperatur berechnet werden, wie beispielhaft für die Winkel 0° und 75° durchgeführt: 4750 K zu 4100 K. Die Differenz DTF = 650 K ist relativ groß.

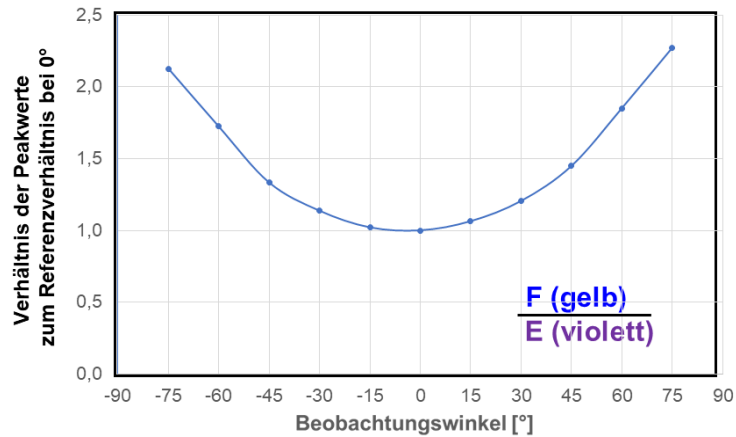


Abb.6: Winkelabhängiges Verhältnis $V_{\text{gelb-blau}}$ der beiden Maximalwerte nach Gl. (4.2) für die Standard Weißlicht-LED in Neutrallicht-Ausführung

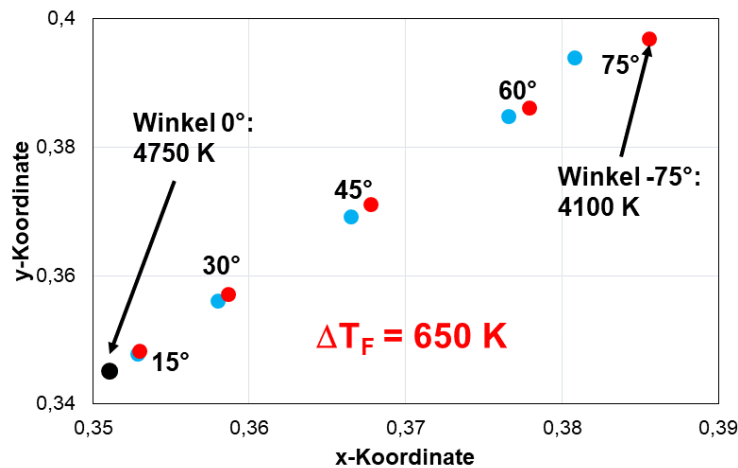


Abb.7: Winkelabhängige Verschiebung des x-y-Farbortes und der Farbtemperatur für die Standard Weißlicht-LED in Neutrallicht-Ausführung, basierend auf den winkelabhängigen Spektren und deren Rot-Verschiebung; die roten Punkte zeigen die negativen Winkelwerte, die blauen die positiven Winkelwerte an

Erwartungsgemäß unterscheiden sich die Spektren der sun-like und der Standard-Weißlicht-LED (Abb. 8), aufgrund der unterschiedlichen Farb-LEDs als Initiator der Lumineszenz (blau / 440 nm vs. violett / 405 nm). Deutlich sind die 3 unterschiedlichen Lumineszenzmaterialien mit den gewandelten Wellenlängen 465 nm (blau, F1), 550 nm (grün, F2) und 625 nm (rot, F3) erkennbar. Weiterhin gibt es kein signifikant ausgeprägtes Minimum bei den „Sun-Like“ LEDs im Vergleich zu den Standard LEDs mit 2 überlappenden Lumineszenzmaterialien, die eine Umwandlung in gelbes Licht ergeben.

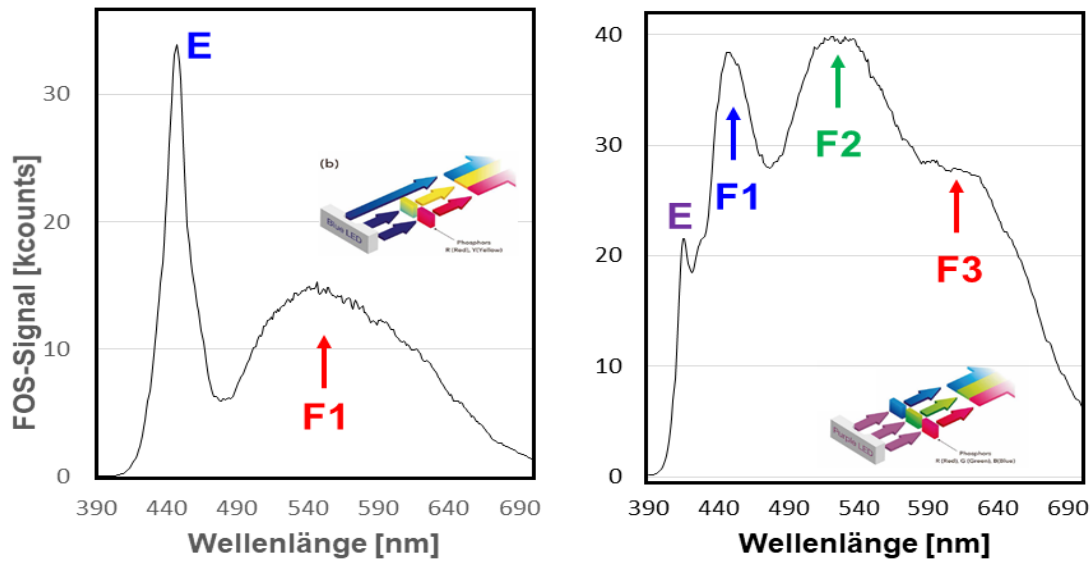


Abb.8: Vergleich der Spektren von Standard und sun-like Weißlicht-LED in Neutrallicht-Ausführung mit der Emissionswellenlänge (gekennzeichnet mit „E“) und den Peaks der drei unterschiedlichen Lumineszenz(mitten-)wellenlängen (gekennzeichnet mit „F1“, „F2“ und „F3“); gemessen wurde in die Winkelrichtung von 0°

Im Vergleich zu den Herstellerangaben (5000 K) wurde in diesem Test die maximale Farbtemperatur bei dem Winkel 0° mit 4450 K gemessen (Abb. 9). Da jedoch die prozentualen Leistungsanstiege von blau nach rot zunehmen, kommt es auch bei diesen LEDs zu einer winkelabhängigen Rot-Verschiebung der Spektren. Ausgedrückt durch eine Veränderung des Farbortes (x- und y-Koordinate im Chromatizitätsdigramm), verkleinert sich die Farbtemperatur bei einem Winkel von 75° auf 4175 K. Damit ist die Farbtemperaturdifferenz $\Delta T_F = 275$ K deutlich kleiner.

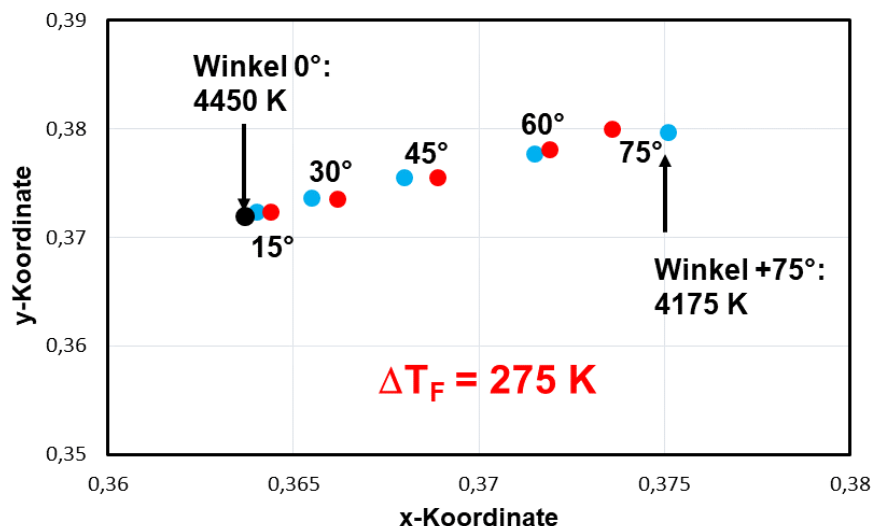


Abb.9: Winkelabhängige Verschiebung des x-y-Farbortes und der Farbtemperatur für die „sun-like“ Weißlicht-LED in Neutrallicht-Ausführung, basierend auf den winkelabhängigen Spektren und deren Rot-Verschiebung; die roten Punkte zeigen die negativen Winkelwerte, die blauen die positiven Winkelwerte an

4.2 Messungen von Bildschirmen

Bei der Optimierung wurden auch Farbänderungen an verschiedenen Notebook-Bildschirmen subjektiv bewertet, aufgrund der einfachen Möglichkeiten der Änderungen.

Wie an der außergewöhnlichen gelben Farbe (RGB-Werte: $R = G = 255, B = 0$) gezeigt, gibt es deutliche Unterschiede zwischen den „kleinen“ Bildschirmen innerhalb der Apple-Familie (Ipad, Iphone) und den größeren Notebook-Bildschirmen (HP, ASUS). Anscheinend ist eine der drei Farb-LEDs, mit denen die verschiedenen Farben im Gamut der Farbtafel dargestellt werden, zwischen den beiden Bildschirm-Systemen unterschiedlich: die rote LED innerhalb der Apple-Familie ist schmalbandig mit der Mittenwellenlänge von 630 nm, während die rote LED der beiden Notebook-Bildschirme breitbandiger mit einer Mittenwellenlänge zwischen 590 und 610 nm ist.

4.3 „Nachtbetrieb“ der Bildschirme

Ein anderer Aspekt wurde auch angerissen. Da die Blauanteile der Standard Weißlicht-LEDs verhältnismäßig groß sind, kann auch in der Nacht bei den Nutzern die zum Schlaf notwendige Melatonin-Produktion unterdrückt werden. Deshalb gibt es heute Farbtemperatur-Reduktionen für den Nachtbetrieb. Qualitativ ist dies in Abb. 10 dargestellt.

Drei Farben, aus der Windows-Farbpalette, mit den folgenden RGB Werten wurden exemplarisch ausgewählt:

- Farbe 1 (hellblau): $R = 0, G = 120, B = 215$
- Farbe 2 (magenta/violett): $R = 177, G = 70, B = 194$
- Farbe 3 (hellrot): $R = 232, G = 17, B = 35$.

Bei den Farben 1 & 2, mit dominantem Blauanteil, wird im Nachtbetrieb der B-Wert deutlich reduziert; parallel steigt der R-Wert geringfügig an. Bei der Farbe 3 fällt der B-Wert zuerst auf nahezu „0“ ab, nimmt bei weiterer Reduktion der Farbtemperatur wieder zu.

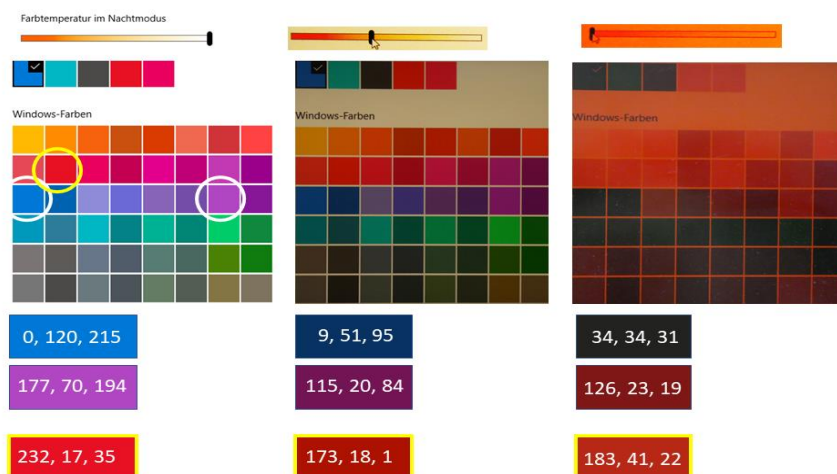


Abb.10: „Windows-Farbpalette für Tagbetrieb (mit Farbtemperatur von 5000 K, links) und Nachtbetrieb (mit „mittlerer“ (Mitte) und „kleiner“ (rechts) Farbtemperatur)

Aus den Bildschirmuntersuchungen mit dem kommerziellen System wurden während eines Workshops im Forsthaus Farben gemessen und (subjektiv) optimiert. Die Arbeitsumgebung ist in Abb.

11 dargestellt.



Abb.11: Arbeitsumgebung beim Workshop

4.4 Erste Gruppenanalysen

Neben der Durchführung des 16-Farbentests, standardisiert durch die Lüscher Color Diagnostik /25,26,30/, wurde mit geringstem zeitlichem Aufwand ein Test innerhalb von Gruppen mit den 6 Farbkombinationen der Grundfarben durchgeführt. Die Teilnehmer sollten die Farbkombination heraussuchen, die sie „am angenehmsten empfinden“ (unter dem Aspekt „Selbst empfinden bzw. fühlen“). Zuerst wurden die vier Grundfarben vorgestellt, gefolgt von den 6 Farbkombinationen (separat auf 6 Folien) und der Zusammenstellung aller auf einer Folie. Nur eine Farbkombination konnte als Ergebnis angegeben werden, in einer Gruppenumfrage mit einmaligem Handheben als Zustimmung.

Bei insgesamt 226 Teilnehmer wurde die Farbkombination Blau-Gelb mit einem Anteil von 22,1 % am häufigsten gewählt, gefolgt von Grün-Rot und Blau-Grün mit etwa 18.5 %. Am wenigsten wurde Gelb-Grün mit 11.9 % als angenehm empfunden. Zum Vergleich: bei einer gleichmäßigen Verteilung aller Farbkombinationen ist der Anteil jeweils 16.7%.

Bezogen auf die Gesamtanalyse mit 226 Teilnehmern treten innerhalb der Gruppen deutliche Unterschiede auf: die prozentualen Anteile können deutlich größer und/oder kleiner sein. Besonders bei einer Gruppe fällt die Farbkombination Blau-Grün mit dem maximalen Anteil von 44% auf; dies ist ca. 3 x so hoch wie bei Gleichverteilung. Insgesamt wird mit diesen Messwerten aufgezeigt, dass ethischen Normen innerhalb der verschiedenen Gruppen deutlich variieren können (siehe /3,22,26/.

Eine interessante Frage, aus meiner Sicht, ist noch nicht beantwortet. Von den Farben ist gelb stimulierend, auf Neues und Unbekanntes ausgerichtet und „grenzenlos“. Da das Auge nur L-, M- und S-Zapfen /20,21/ für die rote, grüne und blaue Farbe hat, kann

diese auf Zukunft ausgerichtete Farbe nicht direkt detektiert und übertragen werden. Für die Übertragungs- und Auswertefunktionen des Systems Auge-Gehirn gibt es meiner Meinung nach noch kein vollständiges Modell für den Menschen. Bei Schimpansen konnte mit dem Modell, das neben der Addition der Zapfen-Reize auch die Subtraktion berücksichtigt, gezeigt werden, dass im Vergleich zu den Menschen eine Addition für die Luminanz (R+G+B) fehlt /21/.

Zu klären für den Menschen ist also die Frage: wo findet oder was löst die stimulierende Wirkung von Gelb aus? Mehrfaches Nachfragen bei Experten im letzten Jahr führte noch zu keinem Ergebnis. Antworten können ggf. verschiedenen Universitäten mit medizinischem Schwerpunkt in der Ophthalmologie (z.B. Tübingen, Marburg, Oxford) geben, die sich mit dem sensorischen System „Auge“ intensiver beschäftigen.

5 Literaturliste

- /1/ Max Lüscher: „Der Vierfarben-Mensch“, ISBN-13: 978-3548367972
- /2/ Max Lüscher: „Das Harmoniegesetz in uns“, ISBN-13: 978-3548366562
- /3/ Max Lüscher: „Psychologie der Farben“, 10. Auflage, Test-Verlag Basel (1969)
- /4/ Hans-Georg Häusel: „Think Limbic“, ISBN 978-3-648-05883-1
- /5/ Peter Wendt: „Limbic Color“ (<http://www.limbiccolor.com/>)
- /6/ Friedemann S. von Thun: „Miteinander Reden. 1: Störungen und Klärungen. Reinbek, Hamburg (1981)
- /7/ Fa. Mind Tools Corp., The Granary, West Grinstead, Horsham, RH13 8LN (UK) www.mindtools.com
- /8/ DIN Berlin/Pforzheim: „Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung“, Deutsche Fassung EN 12665 (2018)“; Beuth-Verlag (2018), DOI: <https://dx.doi.org/10.31030/2756813>
- /9/ Daniel Malacara: „Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications“. SPIE Press, Vol. PM204, ISBN: 978-08-1948397-3
- /10/ Narcisco Silvestrini, Ernst P. Fischer: „Farbsysteme“. DUMONT Verlag, ISBN 3-8321-7203-3 (2002)
- /11/ Manfred Richter: Einführung in die Farbmeterik. 2. Auflage. Walter de Gruyter, Berlin, ISBN 3-11-008209-8 (1981)
- /12/ Brockhaus Enzyklopädie: verschieden Themenschwerpunkt und Querverweise zu Farben (z.B. 7.Band, S. 113-121/)
- /13/ The University of California, 'LIGHT EMITTING DIODES', the University of California, Irvine, 2005 [Online]. Available: <http://faculty.sites.uci.edu/chem11/files/2013/11/RDGLLED.pdf> [Zugriff: 19.04.2018]
- /14/ <http://www.seoulsemicon.com/en/technology/SunLike/> [Zugriff: 15.03.2018]
- /15/ POFAC, Nürnberg: „Strahler-Array mit einfarbigen LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen (Produkt in 2003)
- /16/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Farbtemperatur> [Zugriff: 8.03.2019]
- /17/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Farbsystem> [Zugriff: 15.02.2018]
- /18/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Lab-Farbraum> [Zugriff: 15.02.2018]
- /19/ Roland Baer, Dirk Seifert, Meike Barfuß: „Beleuchtungstechnik. Grundlagen“
- /20/ Alex Look, Jens Bliedtner: „Grundlagen Optik und Technologien in der Augenoptik“. ISBN-13: 978-3942873130
- /21/ <https://de.wikipedia.org/wiki/Zapfen> [Zugriff: 2.04.2019]

- /22/ Max Lüscher: "Psychologie und Psychotherapie als Kultur" in „Psychologia 1955" (Jahrbuch)", Test-Verlag Basel (1955)
- /23/ Walter Furrer: „Die Farbe in der Persönlichkeitsdiagnostik“. Test-Verlag Basel (1953)
- /24/ Max Lüscher: Die Farbe als psychologisches Untersuchungsmittel“. Dissertation Universität Basel. Verlag A. Hauke (1949)
- /25/ <http://www.naturheilmagazin.de/natuerlich-heilen/naturheilkundlichemethoden/luescher-farb-diagnostik-film.html> [Zugriff am 12.04.2018]
- /26/ Max Lüscher, Die Lüscher-Farben zur Persönlichkeitsbeurteilung und Konfliktlösung, Mosaik Verlag (1989)
- /27/ M.Tscheuschner, H. Wagner: TMS - Der Weg zum Hochleistungsteam (Dein Business), Gabal Verlag, 2008
- /28/ Fa. Team Management Systems (nach Charles Margerison & Dick McCann), <https://www.teammanagementsystems.com/tms-profiles/team-managment-profile-tmp/german/>
- /29/ Robin D. Myers: "SpectraShop 5 - Operation Guide, Version 5.0.23" (2017)
- /30/ Lüscher-Color-Diagnostik AG, Mühlestiegstrasse 29, CH 4125 Riehen (<https://www.luscher-color.ch>))
Huss-Medien, Verlag Technik, ISBN 978-3-341-016343 (4. Auflage, 2016)