

Ein goniometrisches Farbmesssystem für Anwendungen in der Farbzuordnung

P. Berssenbrügge*, D. Neumann*, C. Runte*, M. Dekiff*, C. Denz**, D. Dirksen*

*Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Universitätsklinikum Münster

**Institut für Angewandte Physik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

<mailto:berssenbruegge@uni-muenster.de>

Vorgestellt wird ein Farbmesssystem, mit dem Remissionsspektren automatisiert unter verschiedenen Beobachtungswinkeln aufgenommen werden können. Damit liefert es die messtechnische Grundlage für die Analyse und Reproduktion anisotrop farbiger Oberflächen, wie sie zum Beispiel bei der menschlichen Haut oder bei Epithesen vorkommen.

1 Einleitung

Die Herstellung von Prothesen oder Epithesen, d. h. von künstlichem Ersatz für Körperteile, beinhaltet oft auch die Nachstellung von Farben beispielsweise der betreffenden Hautoberfläche. Dies erfordert die messtechnische Charakterisierung der Farbe von zum Teil semitransparenten Oberflächen in einem wahrnehmungsbasierten Modell. Darauf aufbauend kann dann eine Farbzuordnung erfolgen, d. h. die Berechnung eines Rezeptes von Farbmittelkonzentrationen, das zur Nachstellung der gegebenen Farbprobe nötig ist. Benötigt werden dafür Spektraldaten der Probe und eine Eichreihe von Rezepten mit bekannten Farbmittelkonzentrationen.

Die in der Farbmetrik üblichen Fotospektrometer beschränken sich in der Regel auf eine Geometrie, die die Messung des Remissionsspektrums einer Farbprobe nur unter einem einzigen oder wenigen verschiedenen Winkeln zulässt.

Vorgestellt wird ein goniometrisches Farbmesssystem sowie dessen Charakterisierung und Kalibrierung. Es ermöglicht die Erfassung einer Serie von Remissionsspektren mit hoher Winkelauflösung und damit die Farbzuordnung für Proben mit anisotrop farbigen Oberflächen.

2 Das Farbmesssystem

Das Farbmesssystem (Abb. 1) erlaubt die automatisierte Messung von Remissionsspektren einer Probe unter verschiedenen, fast beliebig wählbaren Winkeln θ . Dabei steuert ein Rechner einen Schrittmotor, der den Messkopf des Spektrometers auf einem Kreisbogen um die Probe herum bewegt, sowie ein Spektrometer, das an jeder angefahrenen Position ein Spektrum aufnimmt. Die Winkelauflösung des Aufbaus beträgt 4° . Das Spektrometer liefert Spektren mit Messwerten im Abstand von etwa $0,4 \text{ nm}$.

Die Probe wird mit einer Halogenlampe gerichtet im 45° -Winkel beleuchtet. Eine homogene Aus-

leuchtung der Probe wird durch einen Kollimator erreicht und mit einem IR-Filter wird eine übermäßige thermische Belastung der Probe vermieden.

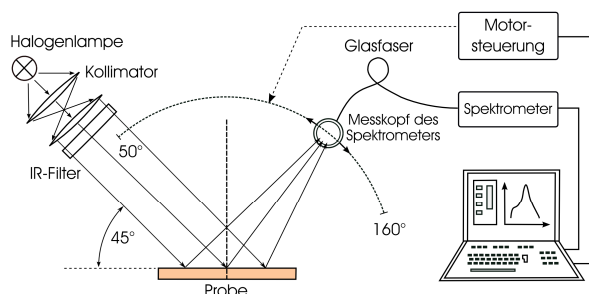


Abb. 1 Schematischer Aufbau des Farbmesssystems

3 Kalibrierung und Farbmessung

Die Rohspektren, welche das Spektrometer liefert, sind mit der unbekanntempfindlichkeitskurve des Geräts überlagert und damit nicht dazu geeignet, um daraus Farbvalenzen zu berechnen. Weiterhin ist das Emissionsspektrum der Lichtquelle nicht genau bekannt und zeitlich instabil. Es fehlt außerdem der Bezug zwischen den Intensitätswerten des Spektrums und einer Helligkeit.

Deshalb wird das System, wie in der Farbmetrik üblich, kalibriert, indem die Spektren relativ zu dem eines „Weißstandards“ und eines „Schwarzstandards“ gemessen werden. Der „Weißstandard“ ist eine Referenzoberfläche, die im Idealfall eine spektral konstante und matte Remission aufweist ($R(\lambda, \theta) \equiv 1$). Realisiert wird der Weißstandard hier durch eine geschliffene BaSO_4 -Oberfläche. Als „Schwarzstandard“ dient eine Dunkelmessung des Spektrometers.

Aus den so erhaltenen relativen Spektren können dann $L^*a^*b^*$ -Werte berechnet werden. Es hat sich gezeigt, dass diese bei Beachtung einer Aufwärmzeit der Lampe von $0,5 \text{ h}$ nach der anschließend erfolgenden Kalibrierung für 1 h mit einer Farbabweichung von $\Delta E < 1$ stabil messbar sind.

4 Das Rauschverhalten

Abb. 2 zeigt das Rauschverhalten des Systems. Es wurde aus zehn Aufnahmen der Lichtquelle ermittelt. Das größere Rauschen in den Randbereichen des Spektrums resultiert aus der geringen Empfindlichkeit des Spektrometers dort und aus dem starken Einfluss des IR-Filters auch schon im langwelligeren Bereich des sichtbaren Spektrums.

Farbmetrisch relevant ist jedoch nur der Bereich bis 700 nm, da auch die Reizantwort der Fotorezeptoren im menschlichen Auge für größere Wellenlängen sehr klein ist.

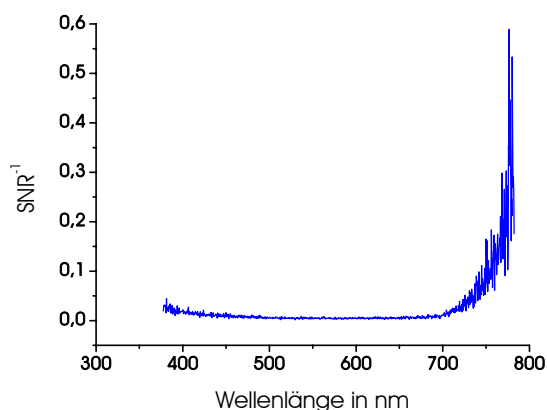


Abb. 2 Wellenlängenabhängiges Rauschen

5 Anwendungsbeispiele

Eine winkelabhängige Serie von Remissionsspektren einer Hautoberfläche der Wangenpartie ist in Abb. 3 darstellt. Die linke untere Achse stellt den Messwinkel dar, die rechte untere Achse die Wellenlänge im sichtbaren Bereich.

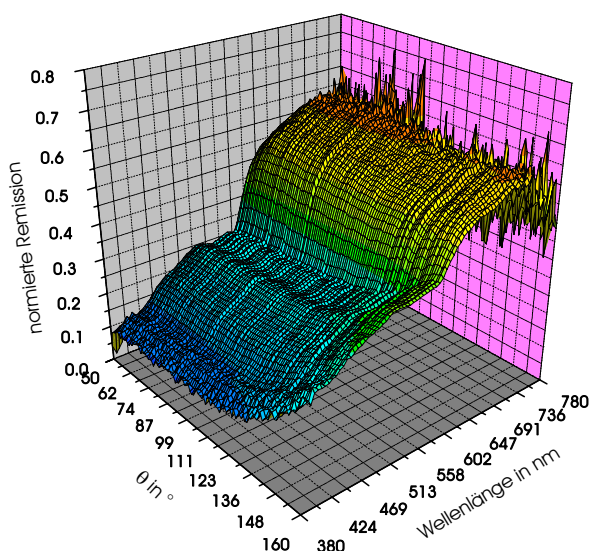


Abb. 3 Pseudo-3D-Darstellung einer Serie von Remissionsspektren einer Hautoberfläche

Die winkelabhängige Remission ist beispielhaft für eine Wellenlänge von 550 nm in Abb. 4 aufgetragen.

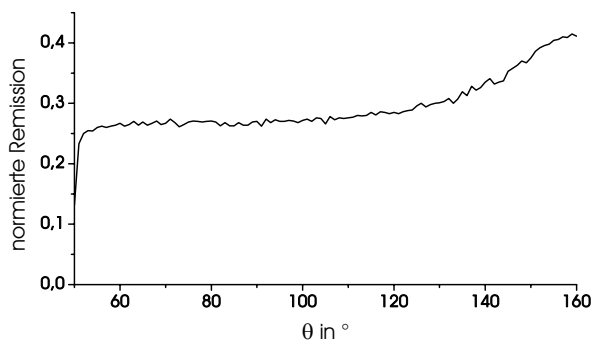


Abb. 4 Schnitt durch das Diagramm (Abb. 3) bei 550 nm

Für die Farbrezeptierung müssen neben den Spektren der nachzustellenden Probe auch Spektren der Farbmittel und bekannter Mischungsverhältnisse dieser bestimmt werden. Ein Beispiel einer solchen Eichreihe zeigt Abb. 5. Die normierten Remissionsspektren dreier Ausfärbungen aus dieser Reihe sind in Abb. 6 aufgetragen.

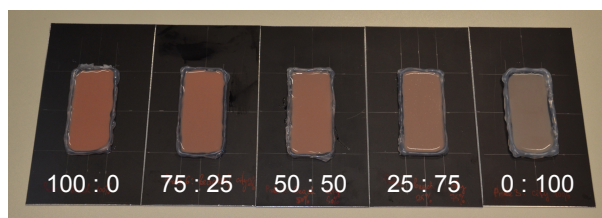


Abb. 5 Eichreihe, wie sie zur Farbrezeptierung benutzt werden kann, aus verschiedenen Mischverhältnissen der Epithesenmaterialien „Beach“ (links) und „City“ (rechts)

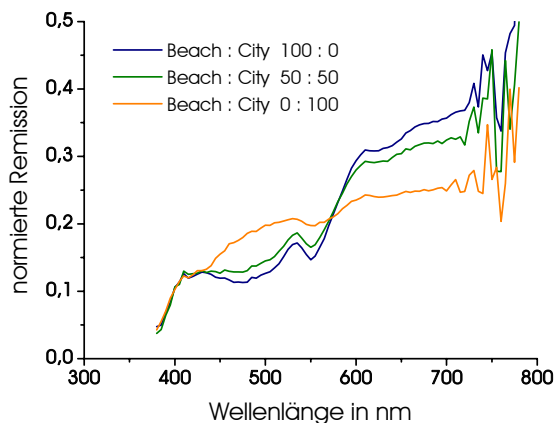


Abb. 6 Relative Spektren dreier Mischungen aus der Eichreihe bei einem Messwinkel von 90°

Obige Messungen bilden die Datengrundlage, um mit einer geeigneten Strahlungstransporttheorie Farbrezepte berechnen zu können.

Literatur

- [1] G. A. Klein: *Farbenphysik für industrielle Anwendungen*, (Springer 2004)
- [2] R. W. G. Hunt: *Measuring Color*, (Fountain Press 1998)

Diese Arbeiten wurden von der Deutschen Krebshilfe gefördert.