

Versuchsanleitung 08: Remissionsgrad

1 Einleitung

Fällt elektromagnetische Strahlung (z. B. Licht) auf einen Körper, wird ein Teil der auftreffenden Strahlung von der Oberfläche des Körpers reflektiert. Die verbleibende Strahlung dringt in den Körper ein und wird dort entweder absorbiert oder vom Körper transmittiert.

Spektrale Zusammensetzung, räumliche Verteilung und Leistung der reflektierten Strahlung sind für die optische Beurteilung einer Oberfläche (Farbe, Glanz) maßgeblich. Wird die Oberflächenbeschaffenheit gezielt verändert (Färben, Bedrucken), so stellen die Farbwerte und Glanzzahlen Kenngrößen dar, die technologisch einzuhalten und zu überprüfen sind.

Vergleicht man bei gleichen Beleuchtungsbedingungen die Reflexion der Probenoberfläche mit der eines Weißstandards (Weißnormal), indem man die von beiden in die jeweils gleiche Richtung reflektierte Strahlung ins Verhältnis setzt, erhält man den Remissionsgrad β der Probe. Unter einem Weißnormal wird hierbei eine Oberfläche verstanden, die bei allen Wellenlängen des sichtbaren Spektralbereichs vollständig und diffus reflektiert.

Bei monochromatischer Bestrahlung hängt der Remissionsgrad i. Allg. von der Wellenlänge ab, d.h. eine Oberfläche besitzt eine charakteristische Remission als Funktion der Wellenlänge, den spektralen Remissionsgrad $\beta(\lambda)$, der ebenso wie die spektrale Dichte, die aus ihm berechnet wird, eine kennzeichnende Stoffeigenschaft darstellt. Andere Kenngrößen der Oberfläche wie aktinische oder visuelle Remissionsgrade und Dichten oder Farbwerte sind außer von der spektralen Remission der Oberfläche immer auch von der benutzten Lichtart und den Eigenschaften des eingesetzten Messempfängers (bzw. des Auges) abhängig und demzufolge immer nur im entsprechenden Zusammenhang sinnvoll zu interpretieren.

2 Grundlagen

Für die Reflexion des Lichtes an einem zu untersuchenden Gegenstand sind dessen Eigenschaften durch seinen spektralen Remissionsgrad $\beta(\lambda)$ bestimmt. Es gilt mit den Bezeichnungen des Bildes 1:

$$\beta(\lambda) = \frac{\Delta\Phi(\lambda)}{\Delta\Phi_N(\lambda)} \quad (2-1)$$

Darin sind $\Delta\Phi(\lambda)$ und $\Delta\Phi_N(\lambda)$ die Teilstrahlungsflüsse in einem kleinen Intervall $\Delta\lambda$ um eine bestimmte Wellenlänge λ .

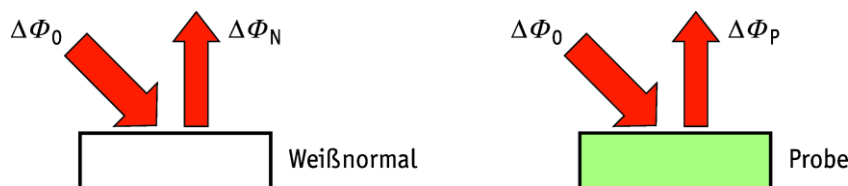


Bild 1 Zur Definition des spektralen Remissionsgrades $\beta(\lambda)$

Der von einem Weißnormal in einem bestimmten Wellenlängenintervall der Breite $\Delta\lambda$ reflektierte Strahlungsfluss $\Delta\Phi_N$ ist von der Wellenlänge abhängig und wird durch einen spektralen Strahlungsfluss charakterisiert. Dieser beschreibt das Verhältnis des Strahlungsflusses $\Delta\Phi_N$ im Wellenlängenintervall $\Delta\lambda$ und für den infinitesimalen Grenzübergang $\Delta\lambda \rightarrow 0$:

$$\frac{\partial\Phi_N}{\partial\lambda}(\lambda) = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi_N}{\Delta\lambda} \quad (2-2)$$

Er ist dem spektralen Strahlungsfluss $\frac{\partial\Phi_0}{\partial\lambda}(\lambda)$ der Lichtquelle (siehe Bild 2) proportional, weil das Weißnormal

(z. B. Bariumsulfat) wellenlängenunabhängig reflektiert.

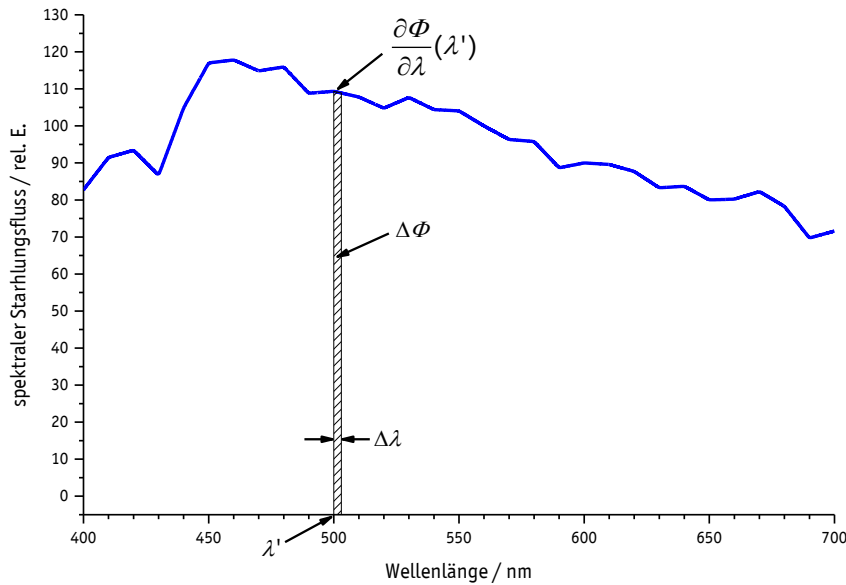


Bild 2 Spektraler Strahlungsfluss der Normlichtart D65 (Tageslicht)

Der von der Probe reflektierte spektrale Strahlungsfluss $\frac{\partial \Phi_P}{\partial \lambda}(\lambda)$ wird i. Allg. eine andere Verteilung besitzen, weil er durch die spektrale Remission $\beta(\lambda)$ der Probe modifiziert wird

$$\frac{\partial \Phi_P}{\partial \lambda}(\lambda) = \beta(\lambda) \cdot \frac{\partial \Phi_N}{\partial \lambda}(\lambda) \quad (2-3)$$

Der Messung des spektralen Remissionsgrades legt man z. B. die Messgeometrie 45/0 (Beleuchtung unter 45° und Messung unter 0° zur Probennormalen) zugrunde. Das entspricht etwa den Verhältnissen bei visueller Betrachtung einer Oberfläche (z.B. beim Lesen). Andere Messgeometrien (z. B. diffus/0) führen i. Allg. auch zu anderen Remissionsgraden.

Voraussetzung für die Messung der spektralen Remission $\beta(\lambda)$ ist die Möglichkeit, den spektralen Fluss zu messen, der vom Weißnormal bzw. von der Probe reflektiert wird. Dies geschieht mithilfe eines Spektrometers, das das eintreffende Licht in seine verschiedenen Wellenlängen, genauer in viele einzelne Wellenlängenintervalle, zerlegt und diese Teilflüsse vermisst.

Der spektrale Remissionsgrad bei einer bestimmten Wellenlänge λ' ergibt sich dann in guter Näherung als Verhältnis des von der Probe in das Spektrometer reflektierten Strahlungsflusses zu dem vom Weißnormal reflektierten im relevanten Wellenlängenintervall

$$\beta(\lambda') \approx \frac{\frac{\Delta \Phi_P}{\Delta \lambda}(\lambda')}{\frac{\Delta \Phi_N}{\Delta \lambda}(\lambda')} = \frac{\Delta \Phi_P(\lambda')}{\Delta \Phi_N(\lambda')} \quad (2-4)$$

Die Gesamtheit aller spektralen Remissionsgrade bildet die Funktion der spektralen Remission $\beta(\lambda)$.

Bestrahlt man jedoch mit polychromatischer Strahlung $\frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda)$ und bewertet die Strahlung mit einem Empfänger der spektralen Empfindlichkeit $\varepsilon(\lambda)$ so ergibt sich ein Messwerte M nach:

$$M = K \cdot \int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2-5)$$

wobei K eine einheitenbehaftete Kalibrationskonstante darstellt. Setzt man das Empfängersignal bei Vermessung der Probe zu dem bei Vermessung des Weißnormal ins Verhältnis, so ergibt sich der sog. aktinische Remissionsgrad β_{akt} :

$$\beta_{\text{akt}} = \frac{M_p}{M_N} = \frac{\int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \beta(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda}{\int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (2-6)$$

Allen genannten Remissionsgraden lässt sich nach

$$D = -\lg \beta \quad (2-7)$$

eine optische Dichte zuordnen.

Durch die Verwendung der Dichte werden die Bereiche niedriger Remission besser aufgelöst wiedergegeben. Das menschliche Auge empfindet zudem gleich große Dichteunterschiede gleich stark, gleich große Remissionsunterschiede aber nicht.

Ist der Empfänger das menschliche Auge, kann man seine Farbwahrnehmung beschreiben, in dem man den einzelnen Zapfentypen des Auges analog zur spektralen Empfindlichkeit $\varepsilon(\lambda)$ jeweils einen sogenannten Normspektalwert $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ bzw. $\bar{z}(\lambda)$ zuweist. Die Kalibrationskonstante C geht dann über in das photometrische Äquivalent $C = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$. Die drei so entstehenden Werte sind die Normfarbwerte des Auges X , Y und Z :

$$\begin{aligned} X &= C \cdot \int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Y &= C \cdot \int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d\lambda \\ Z &= C \cdot \int \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (2-8)$$

Ihre Anteile $x = \frac{X}{X+Y+Z}$ und $y = \frac{Y}{X+Y+Z}$ spannen die Normfarbtafel auf.

Dem Farbwert Y kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu, da er ein Maß für die wahrgenommene Helligkeit darstellt. Für eine Oberfläche bezeichnet man das Verhältnis der Helligkeit des von ihr ins Auge reflektierten Lichts zu der einer normalweißen Oberfläche als visuellen Remissionsgrad $\beta_{\text{vis}} = \frac{Y_p}{Y_N}$.

3 Versuchsanordnung

Im vorliegenden Versuchsaufbau bestrahlt das Licht einer Halogenglühlampe unter einem Einfallswinkel von 45° die Probe bzw. das Weißnormal. Der verwendete Messkopf gestattet es, wahlweise das unter 0° und unter 45° gegenüber der Flächennormale reflektierte Licht in eine Glasfaser einzukoppeln und zu analysieren. Somit besteht die Möglichkeit sowohl in der Geometrie 45/0 als auch in 45/45 zu messen.

Die Erfassung spektraler Strahlungsflüsse wird im vorliegenden Fall von einem Spektrometer durchgeführt, in dem das einfallende Licht durch ein Gitter räumlich getrennt und die Teilflüsse der einzelnen Wellenlängenintervalle mittels eines Detektorarrays gemessen werden. Der gemessene spektrale Strahlungsfluss wird auf dem angeschlossenen Computer mit der Software „SpectraLab“ numerisch angezeigt und graphisch dargestellt. Für die Berechnung des spektralen Remissionsgrades und der spektralen Dichte der Probenoberfläche werden die mit SpectraLab gewonnenen Messdaten in ein separates Auswerteprogramm (z. B. ORIGIN) übernommen.

4 Aufgaben

- 4.1 a) Messen Sie den vom Weißnormal in der Geometrie Geometrie 45/0 reflektierten spektralen Strahlungsfluss.
- b) Wiederholen Sie diese Messung für die matten Proben der drei Grundfarben des Standard-Dreifarbendrucks.
- c) Berechnen Sie die spektralen Remissionsgrade dieser Proben und stellen Sie sie zusammen mit ihren spektralen Dichten graphisch dar.

- 4.2 Ermitteln Sie analog zu 4.1 die spektralen Remissionsgrade von Druckproben mit unterschiedlichen Flächendeckungsgraden:
- Messreihe 1: Yellow 100 % ; Magenta 0 % , 20 % , 40 % , 60 % , 100 %
 - Messreihe 2: Yellow 100 % ; Cyan 0 % , 20 % , 40 % , 60 % , 100 %
 - Untersuchen Sie auch den Einfluß von Schwarz auf die Remissionsspektren anhand folgender Druckproben:
Messreihe 3: Magenta 80 % ; Black 0 % , 10 % , 20 % , 40 % , 60 %
- Stellen Sie die Ergebnisse jeder Messreihe graphisch dar.
Vergleichen Sie die Helligkeiten der Proben aus Messreihe 3 aufgrund ihrer visuellen Remissionsgrade.
- 4.3 Messen Sie für zwei Paare von jeweils gleichfarbigen, aber unterschiedlich glänzenden Proben deren spektralen Remissionsgrad für die beiden Geometrien $45/0$ und $45/45$. Definieren Sie eine Größe, die geeignet ist, den Glanz dieser Proben quantitativ zu beschreiben und wenden Sie sie auf die vermessenen Proben an.

5 Fragen

- Was verstehen Sie unter Reflexion und Remission? Beschreiben Sie anschaulich die Bedeutung des spektralen und visuellen Remissionsgrads.
- Beschreiben Sie das Vorgehen zum Messen des spektralen Remissionsgrads $\beta(\lambda)$ einer Oberfläche.
- Geben sie die Formeln für die Berechnung der Dichte D bei gegebenem Remissionsgrad β und für die Berechnung von β bei gegebenem D an.
- Von welchen Einflussgrößen hängt der aktinische Remissionsgrad einer Probe ab?
- Welche Farbeindrücke entstehen beim Betrachten von Spektralfarben der Wellenlängen
 - 550 nm,
 - 580 nm und
 - 640 nm?
- Skizzieren Sie typische Verläufe der spektralen Remissionsgrade roter, grüner und blauer Farbstoffe in ein Diagramm.
- Skizzieren Sie die Verläufe typischer spektraler Dichten für Gelb, Purpur (Magenta) und Blaugrün (Cyan) in ein Diagramm.
- Wie berechnet man den visuellen Remissionsgrad einer Oberfläche?
- Wie unterscheiden sich die Reflektionseigenschaften von matten und glänzenden Oberflächen?
- Wie kann der Glanz einer Oberfläche quantitativ bestimmt werden?

Literatur

- | | | |
|-------|--------------------------------|--|
| [1] | Bergmann, L. und Schäfer, C. : | Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III, Optik, Walter de Gruyter, 2004 |
| [2] | Leute, U.: | Optik für Medientechniker: Optische Grundlagen der Medientechnik, Carl Hanser Fachbuchverlag, 2011 |
| [3] | Gall, D.: | Grundlagen der Lichttechnik: Kompendium, Pflaum, 2007 |
| [4] | Richter, M. : | Einführung in die Farbmatrik, Walter de Gruyter, 2011 |