

Durchgang optischer Strahlung durch Medien

Optisch klare Stoffe

Größen, Formelzeichen und Einheiten

DIN
1349
Blatt 1

Transmission of optical radiation;
optical clear (nonscattering) media, quantities, symbols and units
Transmission de radiation optique; milieux éclairés; grandeurs, symboles et unités

Ersatz für DIN 1349

In der Optik und Lichttechnik werden im allgemeinen die Stoffkennzahlen Reflexionsgrad, Absorptionsgrad und Transmissionsgrad auf den auftretenden Lichtstrom bezogen (siehe DIN 1335, DIN 5031 Blatt 5 und DIN 5036 Blatt 1 und 2). Nachfolgend definierte, diesen entsprechende Stoffkennzahlen und Größen bilden dazu eine Ergänzung insofern, als die optischen Vorgänge innerhalb eines Mediums betrachtet werden. Deshalb wird hier und bei einigen weiteren Größen auf den in das Medium eindringenden Lichtstrom Bezug genommen. Um Verwechslungen mit dem auf den auftretenden Lichtstrom bezogenen Absorptions- bzw. Transmissionsgrad zu vermeiden, wurde dem auf den eindringenden Lichtstrom bezogenen Absorptions- bzw. Transmissionsgrad die Benennung Reinabsorptions- bzw. Reintransmissionsgrad beigelegt.

Die hier definierten Stoffkennzahlen und Größen gelten für den Durchgang von gerichteter Strahlung durch einen isotropen, homogenen, nicht lumineszierenden Stoff, in dem keine Richtungsänderung der Strahlung eintritt (optisch klarer Stoff). Der Begriff „Stoffkennzahlen“ wird im Sinne von DIN 5036 verwendet.

Unter Stoffkennzahlen werden hier Kennzahlen verstanden, die sich nicht nur auf den Stoff allein, sondern auch auf zusätzliche geometrische Bedingungen (z. B. die Schichtdicke) beziehen.

Anmerkung: Für einen Vergleich zwischen gemessenen und theoretisch gewonnenen Stoffkennzahlen siehe [1] u. [2]

1. Spektrale Stoffkennzahlen und Größen

In den folgenden Abschnitten wird eine Reihe von spektralen Größen definiert; der Zusatz „spektral“ soll grundsätzlich mitgeführt werden, außer wenn — wie nachstehend — keine Mißverständnisse möglich sind.

1.1. Spektraler Reinabsorptionsgrad $\alpha_i(\lambda)$

Der spektrale Reinabsorptionsgrad $\alpha_i(\lambda)$ ist das Verhältnis des im Innern eines optisch klaren Mediums absorbierten Strahlungsflusses zu dem eingedrungenen spektralen Strahlungsfluß $(\Phi_{e\lambda})_{in}$.

Der im Innern des optisch klaren Mediums absorbierte spektrale Strahlungsfluß ist gleich der Differenz zwischen dem eingedrungenen $(\Phi_{e\lambda})_{in}$ und dem ausdringenden $(\Phi_{e\lambda})_{ex}$ spektralen Strahlungsfluß, weil in einem optisch klaren Stoff nur an den Grenzflächen Reflexion auftritt.

$$\alpha_i(\lambda) = \frac{(\Phi_{e\lambda})_{in} - (\Phi_{e\lambda})_{ex}}{(\Phi_{e\lambda})_{in}} = 1 - \frac{(\Phi_{e\lambda})_{ex}}{(\Phi_{e\lambda})_{in}} = 1 - \tau_i(\lambda) \quad (1)$$

1.2. Spektraler Reintransmissionsgrad $\tau_i(\lambda)$

Der spektrale Reintransmissionsgrad $\tau_i(\lambda)$ ist das Verhältnis des ausdringenden spektralen Strahlungsflusses $(\Phi_{e\lambda})_{ex}$ zu dem eingedrungenen spektralen Strahlungsfluß $(\Phi_{e\lambda})_{in}$.

$$\tau_i(\lambda) = \frac{(\Phi_{e\lambda})_{ex}}{(\Phi_{e\lambda})_{in}} = 1 - \alpha_i(\lambda) \quad (2)$$

Anmerkung: Wird $\lg(\lg \tau_i)$ als Ordinate gegen die Wellenlänge als Abszisse aufgetragen, so ergibt sich bei Gültigkeit des Beerschen Gesetzes (siehe Abschnitt 1.5) eine für den Stoff charakteristische Kurve (früher „typische Farbkurve“ genannt). Bei dieser ist die Kurvenform von der Schichtdicke und Konzentration des Mediums unabhängig. Außerdem werden Gebiete hoher und niedriger τ_i -Werte stark gedehnt und geringe Unterschiede deutlich.

1.3. Spektrales Absorptionsmaß (Extinktion)

Das dekadische Absorptionsmaß $A(\lambda)$ ist der dekadische Logarithmus des Kehrwertes des spektralen Reintransmissionsgrades $\tau_i(\lambda)$

$$A(\lambda) = \lg \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (3)$$

Das natürliche Absorptionsmaß $A_n(\lambda)$ ist der natürliche Logarithmus des Kehrwertes des spektralen Reintransmissionsgrades $\tau_i(\lambda)$

$$A_n(\lambda) = \ln \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (4)$$

1.4. Spektraler Absorptionskoeffizient (Extinktionsmodul)

Der dekadische Absorptionskoeffizient $a(\lambda)$ ist der Quotient aus dem dekadischen Absorptionsmaß $A(\lambda)$ und der Schichtdicke d des von dem spektralen Strahlungsfluß durchsetzten Mediums

$$a(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{d} = \frac{1}{d} \cdot \lg \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (5)$$

Fortsetzung Seite 2 bis 5

Fachnormenausschuß Lichttechnik im Deutschen Normenausschuß (DNA)
Ausschuß Einheiten und Formelgrößen im DNA

Frühere Ausgaben:
DIN 1349: 3.42, 2.55

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses, Berlin 30, gestattet.

Änderung Juni 1972:
DIN 1349 in DIN 1349 Blatt 1 geändert. Inhalt vollständig überarbeitet und an das Internationale Wörterbuch der Lichttechnik, 3. Auflage, angepaßt.

Der natürliche Absorptionskoeffizient $\alpha_n(\lambda)$ ist der Quotient aus dem natürlichen Absorptionsmaß $A_n(\lambda)$ und der Schichtdicke d des von dem spektralen Strahlungsfluß durchsetzten Mediums

$$\alpha_n(\lambda) = \frac{A_n(\lambda)}{d} = \frac{1}{d} \cdot \ln \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (6)$$

Anmerkung 1: Der Absorptionskoeffizient ist im Internationalen Wörterbuch der Lichttechnik, 3. Auflage unter 45-20-135 wie folgt definiert:

$$a \cdot l = \log_e 10 \cdot D_1$$

Anmerkung 2: Im Schrifttum wird auch das Formelzeichen E statt A bzw. m statt a verwendet.

1.5. Bezogene spektrale Absorptionskoeffizienten

Die spektralen Absorptionskoeffizienten mancher optisch klarer Stoffe (z. B. isotroper Kristalle, homogener Flüssigkeiten und Gase im Normzustand) sind Stoffkonstanten. Bezieht man bei Lösungen eines absorbierenden Stoffes in nicht absorbierenden Lösungsmitteln auf die Konzentration, so erhält man die im folgenden definierten bezogenen spektralen Absorptionskoeffizienten. Diese Koeffizienten sind nach dem Beerschen Gesetz Stoffkonstanten des gelösten Stoffes, sofern nicht dessen Assoziationszustand und Solvatationszustand vom Lösungsmittel und von der Konzentration abhängen.

Der (bezogene) molare dekadische Absorptionskoeffizient $\kappa(\lambda)$ ist der Quotient aus dem Absorptionskoeffizienten $\alpha(\lambda)$ und der Stoffmengenkonzentration c einer Lösung eines absorbierenden Stoffes in einem nicht absorbierenden Lösungsmittel

$$\kappa(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{c} = \frac{1}{c} \cdot \frac{A(\lambda)}{d} = \frac{1}{c \cdot d} \cdot \lg \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (7)$$

Der (bezogene) molare natürliche Absorptionskoeffizient $\kappa_n(\lambda)$ ist der Quotient aus dem natürlichen Absorptionskoeffizienten $\alpha_n(\lambda)$ und der Stoffmengenkonzentration c einer Lösung eines absorbierenden Stoffes in einem nicht absorbierenden Lösungsmittel

$$\kappa_n(\lambda) = \frac{\alpha_n(\lambda)}{c} = \frac{1}{c} \cdot \frac{A_n(\lambda)}{d} = \frac{1}{c \cdot d} \cdot \ln \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (8)$$

Der bezogene dekadische Absorptionskoeffizient $\kappa'(\lambda)$ ist der Quotient aus dem Absorptionskoeffizienten $\alpha(\lambda)$ und der Massenkonzentration c' der Lösung eines absorbierenden Stoffes in einem nicht absorbierenden Lösungsmittel

$$\kappa'(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda)}{c'} = \frac{1}{c'} \cdot \frac{A(\lambda)}{d} = \frac{1}{c' \cdot d} \cdot \lg \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (9)$$

Der bezogene natürliche Absorptionskoeffizient $\kappa'_n(\lambda)$ ist der Quotient aus dem natürlichen Absorptionskoeffizienten $\alpha_n(\lambda)$ und der Massenkonzentration c' der Lösung eines absorbierenden Stoffes in einem nicht absorbierenden Lösungsmittel

$$\kappa'_n(\lambda) = \frac{\alpha_n(\lambda)}{c'} = \frac{1}{c'} \cdot \frac{A_n(\lambda)}{d} = \frac{1}{c' \cdot d} \cdot \ln \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \quad (10)$$

Anmerkung: Im Schrifttum wird statt des Formelzeichens κ auch das Formelzeichen ϵ verwendet und für Massenkonzentration das Formelzeichen ρ , das hier aus Gründen der Verwechslungsgefahr vermieden wurde.

1.6. Spektrale Diabatie $\Theta(\lambda)$

Die spektrale Diabatie $\Theta(\lambda)$ ist der dekadische Logarithmus des zehnfachen Kehrwertes des spektralen dekadischen Absorptionsmaßes

$$\Theta(\lambda) = \lg \frac{10}{A(\lambda)} = 1 - \lg A(\lambda) = 1 - \lg \left(\lg \frac{1}{\tau_i(\lambda)} \right) \quad (11)$$

Anmerkung: Die Kurve der spektralen Diabatie wird bei verschiedenen Schichtdicken ein und desselben Mediums in ihrer Gesamtheit in Richtung der Ordinatenachse um den dekadischen Logarithmus der relativen Schichtdicke verschoben. Sie zeigt deshalb für jedes Medium einen bestimmten charakteristischen Verlauf unabhängig von der Schichtdicke.

Wenn das Absorptionsmaß bzw. der Reintransmissionsgrad sehr hohe oder sehr niedrige Werte annehmen, kommen kleine Unterschiede in diesen Werten bei der Diabatie-Darstellung deutlicher als in der üblichen Darstellung zur Geltung; die graphische Darstellung wird dadurch besonders anschaulich. Die Schichtdicke wird für die graphische Darstellung zweckmäßigerweise so gewählt, daß sich für $\Theta(\lambda)$ stets positive Werte ergeben.

1.7. Spektraler Fresnelscher Reflexionsgrad $\bar{q}(\lambda)$

Sind bei einem optisch klaren und schwach absorbierenden Stoff (siehe Bild) die Grenzflächen völlig glatt und ohne störende Oberflächenschichten, so lassen sich die Fresnelschen Reflexionsgrade $\bar{q}_p(\lambda)$ und $\bar{q}_s(\lambda)$ für die beiden Strahlungsflußanteile, die von den parallel und senkrecht zur Einfallsebene schwingenden elektrischen Feldstärken herrühren, berechnen

$$\bar{q}_p(\lambda) = \frac{\tan^2(\zeta_1 - \zeta_2)}{\tan^2(\zeta_1 + \zeta_2)} \quad (12)$$

$$\bar{q}_s(\lambda) = \frac{\sin^2(\zeta_1 - \zeta_2)}{\sin^2(\zeta_1 + \zeta_2)} \quad (13)$$

Dabei ist ζ_1 der Winkel des aus dem Medium 1 einfallenden und ζ_2 der Winkel des im Medium 2 gebrochenen Strahls, jeweils gegen die Flächennormale gemessen (siehe Bild in Abschnitt 4).

Bei senkrecht auffallendem Strahlungsfluß ist unabhängig vom Polarisationszustand beim Übergang von einem Stoff mit der Brechzahl n_1 in einen mit der Brechzahl n_2

$$\bar{q}(\lambda)_0 = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (14)$$

1.8. Brechzahl $n(\lambda)$

Die Brechzahl $n(\lambda)$ für monochromatische elektromagnetische Strahlung ist das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit c im Vakuum zu der wellenlängenabhängigen Ausbreitungsgeschwindigkeit $v(\lambda)$ in einem Medium

$$n(\lambda) = \frac{c}{v(\lambda)} \quad (15)$$

Es gilt nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz für den Übergang aus dem Medium 1 mit der Brechzahl n_1 in das Medium 2 mit der Brechzahl n_2

$$n_1 \cdot \sin \zeta_1 = n_2 \cdot \sin \zeta_2 \quad (16)$$

Da für Luft unter Normalbedingungen

$$n \approx 1,0003$$

ist, wird in der Praxis häufig statt Vakuum Luft als Bezug gewählt (siehe DIN 58925 Blatt 2).