

Temperaturstrahlung

DIN
5496

Thermal radiation

Temperaturstrahlung heißt jede elektromagnetische Strahlung, die thermisch angeregt ist. Sie wird allein von der Art und der Temperatur des strahlenden Körpers bestimmt und auch Wärmestrahlung genannt.

1. Grundbegriffe¹⁾

(siehe auch DIN 5031 und DIN 5036)

1.1. Der Strahlungsfluß (die Strahlungsleistung) Φ ist der Quotient aus der durch Strahlung übertragenen Energie (Strahlungsenergie, Strahlungsmenge) dW und der Zeit dt .

$$\text{Strahlungsfluß} \quad \Phi = \frac{dW}{dt}. \quad (1)$$

1.2. Die Strahlstärke I (eines Strahlers in einer Richtung) ist der Quotient aus dem von dem Strahler oder der Strahlungsquelle in einer bestimmten Richtung ausgehenden Strahlungsfluß $d\Phi$ und dem durchstrahlten Raumwinkelement $d\Omega$.

$$\text{Strahlstärke} \quad I = \frac{d\Phi}{d\Omega}. \quad (2)$$

1.3. Die spezifische Ausstrahlung M ist der Quotient aus dem von dem Flächenelement dA_1 ausgehenden Strahlungsfluß $d\Phi$ und dem Flächenelement dA_1 .

Spezifische Ausstrahlung

$$M = \frac{d\Phi}{dA_1}. \quad (3)$$

1.4. Die Strahldichte L ist der Quotient aus der Strahlstärke dI einer Strahlung, die in gegebener Richtung von einem Flächenelement dA_1 ausgeht oder durch dieses hindurchtritt, und der Projektion $dA_1 \cdot \cos \vartheta$ des Flächenelements, wenn ϑ der Winkel zwischen der Strahlungsrichtung und der Flächennormale ist²⁾.

Strahldichte

$$L = \frac{dI}{dA_1 \cdot \cos \vartheta} = \frac{d^2\Phi}{dA_1 \cdot \cos \vartheta \cdot d\Omega}. \quad (4)$$

1.5. Die Bestrahlungsstärke E ist der Quotient aus dem Strahlungsfluß $d\Phi$ und dem bestrahlten Flächenelement dA_2 .

Bestrahlungsstärke

$$E = \frac{d\Phi}{dA_2}. \quad (5)$$

1.6. In den Definitionen der Abschnitte 1.1 bis 1.5 ist keine Rücksicht auf die spektrale Verteilung der Strahlung genommen worden. Man berücksichtigt diese durch Einführen der „spektralen Dichten der strahlungsphysikalischen Größen“. Jede von ihnen entsteht aus einer der vorstehend definierten Größen dadurch, daß diese bezogen wird auf einen differentiellen Bereich entweder der Wellenlänge λ oder der Frequenz ν .

Es ist üblich, das Formelzeichen beizubehalten und nur als Index entweder λ oder ν anzuhängen. Die spektralen Dichten der strahlungsphysikalischen Größen sind Funktionen der Wellenlänge oder der Frequenz. Sofern keine Unklarheit entsteht und keine Verwechslung mit den in Abschnitt 3 aufgeführten „spektralen Größen“ zu befürchten ist, kann man bei Betrachtung der „spektralen Dichte einer Größe“ diese Dichte in abgekürzter Form auch einfach als „spektrale Größe“ bezeichnen, d. h. es darf z. B. der Ausdruck „spektrale Dichte der Strahlstärke“ zu „spektrale Strahlstärke“ gekürzt werden.

1.6.1. Spektraler Strahlungsfluß

$$\Phi_\lambda = \frac{d\Phi}{d\lambda}. \quad (6)$$

1.6.2. Spektrale Strahlstärke

$$I_\lambda = \frac{dI}{d\lambda}. \quad (7)$$

1.6.3. Spektrale spezifische Ausstrahlung

$$M_\lambda = \frac{dM}{d\lambda}. \quad (8)$$

1.6.4. Spektrale Strahldichte

$$L_\lambda = \frac{dL}{d\lambda}. \quad (9)$$

1.6.5. Spektrale Bestrahlungsstärke

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda}. \quad (10)$$

¹⁾ Bei den Formelzeichen der nachstehend aufgeführten energetischen Strahlungsgrößen wird der Index e angefügt, wenn dies zur Unterscheidung von den analogen lichttechnisch-physiologischen Größen (Index v) erforderlich ist.

²⁾ Das Formelzeichen ϑ für den Winkel zwischen Strahlungsrichtung und Flächennormale ist gewählt worden, weil das Formelzeichen ϵ für den Emissionsgrad verwendet wird (siehe Abschnitt 4).

Fortsetzung Seite 2 bis 4
Erläuterungen Seite 5

1.7. Zwischen den wellenlängen- und den frequenz-bezogenen spektralen Werten einer der in den Abschnitten 1.1 bis 1.5 genannten Strahlungsgrößen φ bestehen die Beziehungen:

$$\varphi_\lambda = \frac{d\varphi}{d\lambda}; \quad \varphi_\nu = \frac{d\varphi}{d\nu}. \quad (11)$$

$$\varphi_\lambda \cdot d\lambda = \varphi_\nu \cdot d\nu \text{ und } \varphi_\lambda \cdot \lambda = -\varphi_\nu \cdot \nu, \quad (12)$$

da $\lambda\nu = c$, wenn c die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist.

1.8. Ist die Strahldichte L für alle Richtungen gleich (Gültigkeit des Lambertschen Gesetzes), so erhält man aus Gleichung (4) durch Integration über den Halbraum ($\ominus$):

$$M = L \cdot \int \cos \vartheta \cdot d\Omega = \Omega_0 \cdot \pi \cdot L \quad (13)$$

Ω_0 ist der Raumwinkel des Halbraumes geteilt durch 2π , d. h. $\Omega_0 = 1 \text{ sr}$; siehe in Abschnitt 7 die Einheiten von M und L .

2. Grundgesetze der Temperaturstrahlung

2.1. Plancksches Strahlungsgesetz

Ein geschlossener Hohlraum, dessen wärmeundurchlässige Wände sich auf gleicher Temperatur befinden (thermodynamisches Gleichgewicht), ist von „Schwarzer Strahlung“ erfüllt. Die aus einer hinreichend kleinen Öffnung dieses Hohlraumes austretende Strahlung darf in weitgehender Annäherung als „Schwarze Strahlung“ angesehen werden (bei der praktischen Realisierung gilt dies meist nur für einen begrenzten Raumwinkel). Ihre spektrale spezifische Ausstrahlung $M_{\lambda s}$ und spektrale Strahldichte $L_{\lambda s}$ gehorchen dem Planckschen Strahlungsgesetz. Für unpolarisierte Strahlung gilt:

$$M_{\lambda s} = c_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}, \quad (14)$$

$$L_{\lambda s} = \frac{c_1}{\Omega_0 \cdot \pi} \cdot \lambda^{-5} \cdot (e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}. \quad (15)$$

Hierin bedeuten:

$c_1 = 2\pi \cdot c^2 \cdot h$ die erste Strahlungskonstante

$c_2 = \frac{c \cdot h}{k}$ die zweite Strahlungskonstante

c Lichtgeschwindigkeit im Vakuum

h Plancksches Wirkungsquantum, Planck-Konstante

k Boltzmann-Konstante

Für linear polarisierte Strahlung ist c_1 in Gleichung (14) und (15) durch $c_1/2$ zu ersetzen.

Für Schwarze Strahlung ist das Lambertsche Gesetz streng erfüllt (siehe Abschnitt 1.8).

2.2. Stefan-Boltzmannsches Gesetz

Für die über den gesamten Wellenlängenbereich und über den Halbraum integrierte Strahlung eines Schwarzen Strahlers (totale hemisphärische, halbräumliche Strahlung) ergibt sich die spezifische Ausstrahlung M_s aus Gleichung (13) und (15) durch Integration der für alle Richtungen gleichen Strahldichte über λ von 0 bis ∞ .

$$M_s = \sigma T^4, \quad (16)$$

worin $\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 h^3 c^2}$ die Stefan-Boltzmann-Konstante ist.

Zur leichteren Auswertung wird dieses Gesetz in der Praxis meist in der Form

$$M_s = 10^8 \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 = C_s \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (17)$$

mit $C_s = 10^8 \sigma$

benutzt.

3. Reflexionsgrad, Absorptionsgrad, Transmissionsgrad

3.1. Reflexionsgrad ϱ , Absorptionsgrad α und Transmissionsgrad τ sind die Verhältnisse des reflektierten (Φ_r), des absorbierten (Φ_a) und des durchgelassenen Strahlungsflusses (Φ_{tr}) zum einfallenden Strahlungsfluß (Φ).

$$\text{Reflexionsgrad} \quad \varrho = \frac{\Phi_r}{\Phi}. \quad (18)$$

$$\text{Absorptionsgrad} \quad \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}. \quad (19)$$

$$\text{Transmissionsgrad} \quad \tau = \frac{\Phi_{tr}}{\Phi}. \quad (20)$$

3.2. Werden die in Abschnitt 3.1 definierten Größen für eine monochromatische Strahlung betrachtet, so werden sie als

$$\text{Spektraler Reflexionsgrad} \quad \varrho(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda r}}{\Phi_\lambda}, \quad (21)$$

$$\text{Spektraler Absorptionsgrad} \quad \alpha(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda a}}{\Phi_\lambda}, \quad (22)$$

$$\text{Spektraler Transmissionsgrad} \quad \tau(\lambda) = \frac{\Phi_{\lambda tr}}{\Phi_\lambda} \quad (23)$$

bezeichnet. Sie sind Funktionen der Wellenlänge oder der Frequenz, jedoch nicht Differentialquotienten von energetischen Größen nach der Wellenlänge oder der Frequenz (man kennzeichnet diesen Sachverhalt dadurch, daß man das Adjektiv „spektral“ vorsetzt und an das Formelzeichen den Klammerausdruck (λ) anhängt). Auf die unterschiedliche Bedeutung des Wortes „spektral“ in diesem Fall gegenüber dem als Kurzfassung zugelassenen Gebrauch in Abschnitt 1.6 wird ausdrücklich hingewiesen.

3.3. Zwischen den in Abschnitt 3.1 definierten Größen ϱ , α , τ und den in Abschnitt 3.2 definierten Größen $\varrho(\lambda)$, $\alpha(\lambda)$, $\tau(\lambda)$ bestehen folgende Zusammenhänge:

$$\varrho = \frac{\Phi_r}{\Phi} = \frac{\int \Phi_\lambda \cdot \varrho(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_\lambda d\lambda}. \quad (24)$$

$$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi} = \frac{\int \Phi_\lambda \cdot \alpha(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_\lambda d\lambda}. \quad (25)$$

$$\tau = \frac{\Phi_{tr}}{\Phi} = \frac{\int \Phi_\lambda \cdot \tau(\lambda) d\lambda}{\int \Phi_\lambda d\lambda}. \quad (26)$$

Die bei der Integration in den obigen Gleichungen verwendeten Grenzen sind jeweils anzugeben.