

## DIN EN ISO 9288



ICS 01.060; 27.220

**Entwurf**

Einsprüche bis 2022-01-19  
Vorgesehen als Ersatz für  
DIN EN ISO 9288:1996-08

**Wärmeschutz –  
Wärmeübertragung durch Strahlung –  
Physikalische Größen und Definitionen (ISO/DIS 9288:2021);  
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 9288:2021**

Thermal insulation –  
Heat transfer by radiation –  
Physical quantities and definitions (ISO/DIS 9288:2021);  
German and English version prEN ISO 9288:2021

Isolation thermique –  
Transfert de chaleur par rayonnement –  
Grandeurs physiques et définitions (ISO/DIS 9288:2021);  
Version allemande et anglaise prEN ISO 9288:2021

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter [www.din.de/go/entwuerfe](http://www.din.de/go/entwuerfe) bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter [www.entwuerfe.normenbibliothek.de](http://www.entwuerfe.normenbibliothek.de), sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an [nabau@din.de](mailto:nabau@din.de) möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter [www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe](http://www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe) oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter [www.dke.de/stellungnahme](http://www.dke.de/stellungnahme) abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 49 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

## Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9288:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Fachbereichsbeirat NA 005-56 FBR „Fachbereichsbeirat KOA 06 — Energieeinsparung und Wärmeschutz“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 7345                      siehe                      DIN EN ISO 7345

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN ([www.din.de](http://www.din.de)) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 9288:1996-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Titel von ISO/TC 163 wurde korrigiert (Vorwort);
- b) die Einheiten wurden an Stellen, wo es zwei Einheiten gab, gestrichen;
- c) der Mittelwerte von  $d$  (7.15) wurde hinzugefügt;
- d) die Gleichungsnummern wurden hinzugefügt.

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 7345, *Wärmeverhalten von Gebäuden und Baustoffen — Physikalische Größen und Definitionen*

|                  |                                                                                                                     |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Titel de:</i> | Wärmeschutz — Wärmeübertragung durch Strahlung — Physikalische Größen und Definitionen (ISO/DIS 9288:2021)          |
| <i>Titel en:</i> | Thermal insulation — Heat transfer by radiation — Physical quantities and definitions (ISO/DIS 9288:2021)           |
| <i>Titel fr:</i> | Isolation thermique — Transfert de chaleur par rayonnement — Grandeurs physiques et définitions (ISO/DIS 9288:2021) |

## Inhalt

|                                                                                                                                             | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort.....                                                                                                                   | 3     |
| Vorwort.....                                                                                                                                | 4     |
| Einleitung .....                                                                                                                            | 5     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                                                                                    | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                              | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                            | 6     |
| 4 Begriffe für Wärmestrahlung absorbierende, übertragende oder emittierende<br>Oberflächen.....                                             | 8     |
| 5 Begriffe für Wärmestrahlung emittierende Oberflächen .....                                                                                | 10    |
| 6 Begriffe für Wärmestrahlung empfangende opake oder halbtransparente Oberflächen.....                                                      | 13    |
| 7 Begriffe für einen Wärmestrahlung empfangenden halbtransparenten Stoff —<br>Kombinierte Wärmeübertragung durch Leitung und Strahlung..... | 16    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                                     | 24    |

## Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9288:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von SIS gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 9288:1996 ersetzen.

### Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 9288:2021 wurde von CEN als prEN ISO 9288:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

## Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe [www.iso.org/iso/foreword.html](http://www.iso.org/iso/foreword.html).

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163, *Thermal performance and energy use in the built environment* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 9288:1989), die technisch überarbeitet wurde.

Diese Ausgabe enthält die folgenden wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe:

- der Titel des ISO/TC 163 wurde korrigiert (Vorwort);
- in Fällen, in denen zwei Einheiten vorhanden waren, wurde eine der Einheiten gestrichen;
- eine Erklärung für  $d$  und  $d_{\infty}$  wurde hinzugefügt (7.15);
- eine Benummerung der Gleichungen wurde hinzugefügt.

## Einleitung

Dieses Dokument ist dafür vorgesehen, zusammen mit anderen Begriffsnormen zum Wärmeschutz angewendet zu werden. Dazu gehören:

- ISO 7345, *Thermal performance of buildings and building elements — Physical quantities and definitions*
- ISO 9229, *Thermal insulation — Vocabulary*
- ISO 9251, *Thermal insulation — Heat transfer conditions and properties of materials — Vocabulary*
- ISO 9346, *Hygrothermal performance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary*

## 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt physikalische Größen und andere Begriffe fest, die sich auf den Bereich des Wärmeschutzes in Zusammenhang mit Wärmeübertragung durch Strahlung beziehen.

## 2 Normative Verweisungen

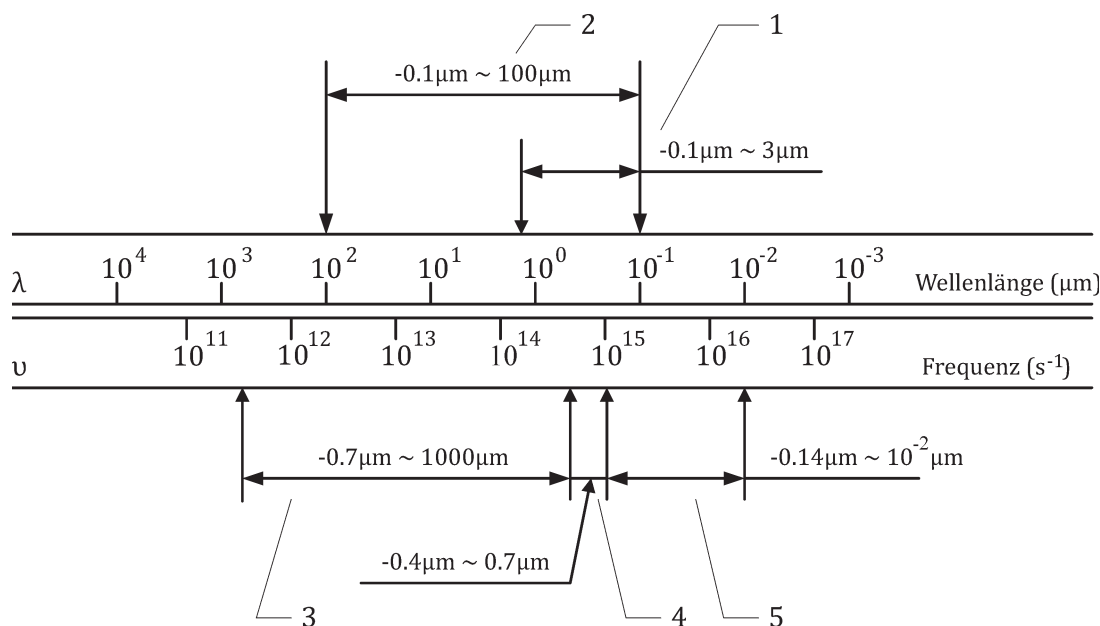
Das folgende normative Dokument enthält Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm war die angegebene Ausgabe gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neueste Ausgabe der im folgenden genannten Norm angewendet werden kann. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 7345, *Thermal performance of buildings and building elements — Physical quantities and definitions*

## 3 Begriffe

**3.1 Wärmestrahlung**  
elektromagnetische Strahlung, die an der Oberfläche eines opaken Körpers oder im Innern eines Elementes eines halbtransparenten Volumens emittiert wird

Die Wärmestrahlung wird durch die Temperatur des emittierenden Körpers und seine Strahlungseigenschaften bestimmt. Aus wärmetechnischer Sicht interessiert der Wellenlängenbereich zwischen 0,1  $\mu\text{m}$  und 100  $\mu\text{m}$  (siehe Bild 1).



### Legende

- 1 Sonnenstrahlung
- 2 Wärmestrahlung
- 3 Infrarotstrahlung
- 4 sichtbare Strahlung
- 5 Ultraviolettstrahlung

Bild 1 — Elektromagnetisches Wellenspektrum

### 3.2

#### **Wärmeübertragung durch Strahlung**

Energieaustauschvorgänge zwischen (voneinander entfernten) Körpern mittels elektromagnetischer Wellen

Diese Austauschvorgänge können auftreten, wenn die Körper durch ein Vakuum oder durch ein transparentes oder ein halbtransparentes Medium voneinander getrennt sind. Für die Berechnung dieser Strahlungsaustauschvorgänge muss bekannt sein, wie opake und halbtransparente Körper die Strahlung in Abhängigkeit von ihrer Beschaffenheit, relativen Lage und Temperatur emittieren, absorbieren und übertragen.

### 3.3

#### **Klassifizierung der physikalischen Begriffe für die Wärmestrahlung**

Physikalische Begriffe für die Wärmestrahlung werden nach zwei Kriterien eingeteilt in:

- Spektralverteilung;
- räumliche Verteilung (gerichtet) der Strahlung.

Diese physikalischen Begriffe sind:

- gesamt, wenn sie auf das gesamte Wärmestrahlungsspektrum bezogen sind (diese Kennzeichnung kann als implizit angesehen werden);
- spektral oder monochromatisch, wenn sie auf ein spektrales Intervall mit Mittenwellenlänge  $\lambda$  bezogen sind;
- hemisphärisch, wenn sie auf alle Richtungen bezogen sind, in die bzw. aus der ein Flächenelement Strahlung emittieren bzw. empfangen kann;
- gerichtet, wenn sie auf die Ausbreitungsrichtungen bezogen sind, definiert durch einen Raumwinkel um die betrachtete Richtung.

### 3.4

#### **Klassifizierung von Stoffen nach der Strahlungsübertragung**

opakes Medium: Stoff, der keinen Bruchteil der einfallenden Strahlung durchlässt

Absorption, Emission und Reflexion von Strahlung können als Oberflächenerscheinung behandelt werden.

halbtransparentes Medium: Stoff, bei dem die einfallende oder emittierte Strahlung innerhalb des Stoffes zunehmend durch Absorption oder Streuung oder beides geschwächt wird

Die Absorption, Streuung und Emission von Strahlung sind volumenbezogene Erscheinungen.

Die Strahlungseigenschaften eines opaken oder halbtransparenten Stoffes sind im Allgemeinen eine Funktion der Spektral- und Richtungsverteilung der einfallenden Strahlung und der Temperatur des Stoffes.

Anmerkung 1 zum Begriff: Wärmedämmstoffe sind im Allgemeinen halbtransparente Stoffe.

## 4 Begriffe für Wärmestrahlung absorbierende, übertragende oder emittierende Oberflächen

### 4.1

#### Strahlungsfluss

Strahlungsleistung

$\phi$

von einem System in Form elektromagnetischer Wellen emittierter, übertragener oder absorbierter Wärmestrom

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies ist eine hemisphärische Gesamtgröße.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einheit ist W.

### 4.2

#### Gesamtstrahlstärke

$I_{\Omega}$

Strahlungsfluss dividiert durch den Raumwinkel um die Richtung  $\vec{A}$ :

$$I_{\Omega} = \frac{\partial \phi}{\partial \Omega} \quad (1)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/sr.

### 4.3

#### Gesamtstrahldichte

$L_{\Omega}$

Strahlungsfluss dividiert durch den Raumwinkel um die Richtung  $\vec{A}$  und die Projektionsfläche senkrecht zu dieser Richtung:

$$L_{\Omega} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial \Omega \partial (A \cos \theta)} \quad (2)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/(m<sup>2</sup>·sr).

### 4.4

#### spektraler Strahlungsfluss

$\phi_{\lambda}$

Quotient aus Strahlungsfluss und dem spektralen Intervall mit Mittenwellenlänge  $\lambda$ :

$$\phi_{\lambda} = \frac{\partial \phi}{\partial \lambda} \quad (3)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/m.

### 4.5

#### spektrale Strahlstärke

$I_{\Omega\lambda}$

Quotient aus Gesamtstrahlstärke und dem spektralen Intervall mit Mittenwellenlänge  $\lambda$ :

$$I_{\Omega\lambda} = \frac{\partial I_{\Omega}}{\partial \lambda} \quad (4)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/(sr·m).

#### 4.6

##### spektrale Strahldichte

$L_{\Omega\lambda}$

Quotient aus Gesamtstrahldichte und dem spektralen Intervall mit Mittenwellenlänge  $\lambda$ :

$$L_{\Omega\lambda} = \frac{\partial L_{\Omega}}{\partial \lambda} \quad (5)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/(\text{m}^3 \cdot \text{sr})$ .

Anmerkung 2 zum Begriff:

1 Jeder Spektralterm  $A_{\lambda}$  bezieht sich auf den entsprechenden Gesamtterm  $A$  aufgrund einer Beziehung der Art

$$A_{\lambda} = \frac{\partial A}{\partial \lambda} \text{ oder } A = \int_0^{\infty} A_{\lambda} d\lambda \quad (6)$$

Jeder gerichtete Term  $A_{\Omega}$  bezieht sich auf den entsprechenden hemisphärischen Term  $A$  aufgrund einer Beziehung der Art

$$A_{\Omega} = \frac{\partial A}{\partial \Omega} \text{ oder } A = \int_{\Omega=4\pi} A_{\Omega} d\Omega \quad (7)$$

und

$$A_{\Omega\lambda} = \frac{\partial^2 A}{\partial \Omega \partial \lambda} \text{ oder } A = \int_{\Omega=4\pi} \int_0^{\infty} A_{\Omega\lambda} d\lambda d\Omega \quad (8)$$

2 Die Gesamtstrahldichte und die spektrale Strahldichte sind gerichtete Größen (Vektoren), die an jedem Punkt des Raumes, an dem Strahlung vorhanden ist, definiert sind (siehe Bild 3); außerdem sind ihre Werte unabhängig von der für ihre Definition speziell verwendeten Oberfläche. Quellen, die mit konstanter  $L_{\Omega}$  strahlen (siehe 4.3), werden isotrop oder diffus genannt.

Strahlstärken sind wiederum gerichtete Größen, gehören jedoch zu einer Oberfläche (siehe Bild 2).

(Gesamt- oder spektrale) Strahlungsströme sind keine gerichteten Größen und gehören zu einer Oberfläche.

#### 4.7

##### spektraler Strahlungsflussdichtevektor

$\vec{q}_{r,\lambda}$

$$\vec{q}_{r,\lambda} = \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} d\Omega \quad (9)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^3$ .

#### 4.8

##### Gesamtstrahlungsflussdichtevektor

$\vec{q}_r$

$$\vec{q}_r = \int_0^{\infty} \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} d\Omega d\lambda \quad (10)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^3$ .

#### 4.9

##### spektrale Strahlungsflussdichte (in Richtung $\vec{n}$ )

$q_{r,\lambda_n}$

$$q_{r,\lambda_n} = \vec{n} \cdot \vec{q}_{r,\lambda} = \int_{\Omega=4\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} d\Omega \quad (11)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^3$ .

#### 4.10

##### Vorwärtskomponente der spektralen Strahlungsflussdichte

$$q_{r,\lambda_n}^+ = \vec{n} \cdot \overrightarrow{q_{r,\lambda}} = \int_{\Omega=2\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} d\Omega \quad (12)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/m<sup>3</sup>.

#### 4.11

##### Rückwärtskomponente der spektralen Strahlungsflussdichte

$$q_{r,\lambda_n}^- = \vec{n} \cdot \overrightarrow{q_{r,\lambda}} = - \int_{\Omega=2\pi} L_{\Omega\lambda} \vec{\Delta} \cdot \vec{n} d\Omega \quad (13)$$

wenn  $\vec{\Delta} \cdot \vec{n} < 0$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/m<sup>3</sup>.

Anmerkung 2 zum Begriff:

1  $q_{r,\lambda_n}$  kann durch den folgenden Ausdruck dargestellt werden:

$$q_{r,\lambda_n} = q_{r,\lambda_n}^+ - q_{r,\lambda_n}^- \quad (14)$$

2 Bei kombinierter, in einer Richtung verlaufender Wärmeübertragung durch Leitung und Strahlung entlang einer Richtung  $\vec{n}$  ergibt sich:

$$\overrightarrow{q_n} = \overrightarrow{q_{cd,n}} + \overrightarrow{q_{r,n}} \quad (15)$$

Dabei ist

$\overrightarrow{q_n}$  die Wärmestromdichte nach ISO 7345:2018, 3.1.3;

$\overrightarrow{q_{cd,n}}$  die Wärmestromdichte durch Leitung;

$\overrightarrow{q_{cd,n}}$  die Wärmestromdichte durch Leitung;

$\overrightarrow{q_{r,n}}$  der Gesamtstrahlungsflussdichtevektor;

$\overrightarrow{q_n}$  kann mit dem Plattengerät oder mit dem Wärmestrommessplatten-Gerät experimentell bestimmt werden.

## 5 Begriffe für Wärmestrahlung emittierende Oberflächen

### 5.1

#### Emission

Vorgang, bei dem innere Energie (aus Molekülbewegung in Gasen oder Atombewegung in Festkörpern usw.) in elektromagnetische Wellen umgewandelt wird

### 5.2

#### spezifische Ausstrahlung

$M$

Quotient aus von einer Oberfläche abgestrahltem Strahlungsfluss und der Fläche der strahlenden Oberfläche:

$$M = \frac{\partial \phi}{\partial A} = q_r^+ \text{ oder } q_r^- \quad (16)$$

Anmerkung 1 zum Begriff:  $M$  ist die flächenbezogene Strahlungsflussdichte an jedem Punkt einer strahlenden Oberfläche. Es ist eine hemisphärische Gesamtgröße.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^2$ .

### 5.3

#### spektrale spezifische Ausstrahlung

$M_\lambda$

Quotient aus spezifischer Ausstrahlung und dem spektralen Intervall mit Mittenwellenlänge  $\lambda$ :

$$M_\lambda = \frac{\partial M}{\partial \lambda} = q_{r,\lambda}^+ \text{ oder } q_{r,\lambda}^- \quad (17)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^3$ .

### 5.4

#### schwarzer Körper

schwarzer Strahler

Planckscher Strahler

Ein schwarzer Körper absorbiert die gesamte auf ihn einfallende Strahlung aller Wellenlängen, Richtungen und Polarisationen.

Bei einer gegebenen Temperatur emittiert er für jede Wellenlänge die maximale Wärmeenergie (maximale spektrale spezifische Ausstrahlung). Aus diesem Grund und weil seine Emission durch genaue Gesetze definiert ist, wird die Emission realer Körper mit der des schwarzen Körpers verglichen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Begriffe, die sich auf den schwarzen Körper beziehen, tragen einen hochgestellten Index ( $^\circ$ ).

### 5.5

#### spezifische Ausstrahlung des schwarzen Körpers

$M^\circ$

Sie wird durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz beschrieben:

$$M^\circ = \sigma T^4 \quad (18)$$

Dabei ist

$\sigma$  gleich  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;

$T$  die thermodynamische Temperatur des schwarzen Körpers.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist  $\text{W}/\text{m}^2$ .

### 5.6

#### spektrale spezifische Ausstrahlung des schwarzen Körpers

$M_\lambda^\circ$

Sie wird durch das Plancksche Gesetz beschrieben, das den Zusammenhang zwischen  $M_\lambda^\circ$  bei der Wellenlänge  $\lambda$  und der thermodynamischen Temperatur des schwarzen Körpers wiedergibt:

$$M_\lambda^\circ = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda \cdot T) - 1} \quad (19)$$

Dabei ist

$C_1 = 2\pi h c_0^2 = 3,741 \times 10^{16} \text{ W}/\text{m}^2$ ;

$C_2 = h c_0/k = 0,014\,388 \text{ m} \cdot \text{K}$ .

$h$  bzw.  $k$  sind die Plancksche bzw. die Boltzmannsche Konstante;  $c_0$  ist die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Vakuum.

Für jede Temperatur kann eine Kurve  $M_\lambda^o = f(\lambda)$  mit einem Höchstwert bei  $\lambda_m$  gezeichnet werden.  $\lambda_m$  ist eine Funktion der Temperatur, aber das Produkt  $\lambda_m \cdot T$  ist konstant („Wiensches Verschiebungsgesetz“):

$$\lambda_m \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} \quad (20)$$

$M^o$  und  $M_\lambda^o$  sind hemisphärische Ausdrücke.

Die Emission eines schwarzen Körpers ist isotrop oder diffus, d. h.  $L^o$  und  $L_\lambda^o$  sind richtungsunabhängig (Lambertsches Gesetz).

Für die Gesamtstrahldichte und die spektrale Strahldichte des schwarzen Körpers gilt:

$$L^o = \frac{M^o}{\pi} \quad (21)$$

$$L_\lambda^o = \frac{M_\lambda^o}{\pi} \quad (22)$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ist W/m<sup>3</sup>.

## 5.7

### Emission realer Körper

Die Emission realer Stoffe wird auf den schwarzen Körper gleicher Temperatur bezogen. Im Allgemeinen hängen diese Eigenschaften von der Art und der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers ab und ändern sich mit Wellenlänge, Emissionsrichtung und Oberflächentemperatur.

## 5.8

### gerichteter Gesamtemissionsgrad

$\varepsilon_\Omega$

Quotient aus der von der betrachteten Oberfläche emittierten Gesamtstrahldichte  $L_\Omega$  und der vom schwarzen Körper emittierten Gesamtstrahldichte  $L_\Omega^o$  bei gleicher Temperatur:

$$\varepsilon_\Omega = \frac{L_\Omega}{L_\Omega^o} \quad (23)$$

## 5.9

### gerichteter spektraler Emissionsgrad

$\varepsilon_{\Omega\lambda}$

Quotient aus spektraler Strahldichte  $L_{\Omega\lambda}$  der betrachteten Oberfläche und der von dem schwarzen Körper emittierten spektralen Strahldichte  $L_{\Omega\lambda}^o$  bei gleicher Temperatur:

$$\varepsilon_{\Omega\lambda} = \frac{L_{\Omega\lambda}}{L_{\Omega\lambda}^o} \quad (24)$$

## 5.10

### hemisphärischer Gesamtemissionsgrad

$\varepsilon$

Quotient aus hemisphärischer spezifischer Ausstrahlung  $M$  der betrachteten Oberfläche und hemisphärischer spezifischer Ausstrahlung des schwarzen Körpers  $M^o$  bei gleicher Temperatur:

$$\varepsilon = \frac{M}{M^o} \quad (25)$$

### 5.11

#### hemisphärischer spektraler Emissionsgrad

$\varepsilon_\lambda$

Quotient aus spektraler spezifischer Ausstrahlung  $M_\lambda$  der betrachteten Oberfläche und spektraler spezifischer Ausstrahlung des schwarzen Körpers  $M_\lambda^o$  bei gleicher Temperatur:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{M_\lambda}{M_\lambda^o} \quad (26)$$

### 5.12

#### grauer Strahler

Wärmestrahler, dessen hemisphärischer oder gerichteter spektraler Emissionsgrad unabhängig von der Wellenlänge ist:

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon, \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_\Omega \quad (27)$$

### 5.13

#### Kugelstrahler

Wärmestrahler, dessen Gesamtemissionsgrad oder spektraler Emissionsgrad richtungsunabhängig ist:

$$\varepsilon_\Omega = \varepsilon, \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_\lambda \quad (28)$$

### 5.14

#### isotroper grauer Strahler

Wärmestrahler, dessen Emissionsgrad von der Wellenlänge und von der Richtung unabhängig ist:

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{\Omega\lambda} = \varepsilon_\Omega = \varepsilon \quad (29)$$

Diese Emissionsgrade können sich in Abhängigkeit von der Temperatur ändern:  $\varepsilon(T)$ .

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Berechnungen wird die Hypothese der grauen Oberflächen und der isotropen Emission mit einem von der Wellenlänge und der Richtung unabhängigen Emissionsgrad im Allgemeinen akzeptiert. In diesem Fall reduzieren sich die verschiedenen Emissionsgrade einer Oberfläche auf einen einzigen Parameter  $\varepsilon$ .

## 6 Begriffe für Wärmestrahlung empfangende opake oder halbtransparente Oberflächen

Wenn Strahlungsenergie mit einer Wellenlänge  $\lambda$  innerhalb eines Raumwinkels  $\Omega$  in Richtung  $\vec{\Delta}$  auf eine Stoffoberfläche auftrifft,

- wird ein Teil  $\varrho_{\Omega\lambda}$  der einfallenden Gesamtstrahlung reflektiert,
- wird ein Teil  $\alpha_{\Omega\lambda}$  im Innern des Stoffes absorbiert, und
- kann ein Teil  $\tau_{\Omega\lambda}$  durchgelassen werden.

Die drei Terme  $\alpha_{\Omega\lambda}$ ,  $\varrho_{\Omega\lambda}$ ,  $\tau_{\Omega\lambda}$  folgen der Beziehung:

$$\alpha_{\Omega\lambda} + \varrho_{\Omega\lambda} + \tau_{\Omega\lambda} = 1 \quad (30)$$

Ähnliche Beziehungen können für spektrale, gerichtete und hemisphärische Gesamtausdrücke aufgestellt werden. Spektrale und Gesamtausdrücke implizieren isotrope und einfallende Strahlung.

$\alpha = 1$  für den schwarzen Körper

$\tau = 0$  für opake Körper