

Was ist Wärmestrahlung?

pohlig@kit.edu





Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

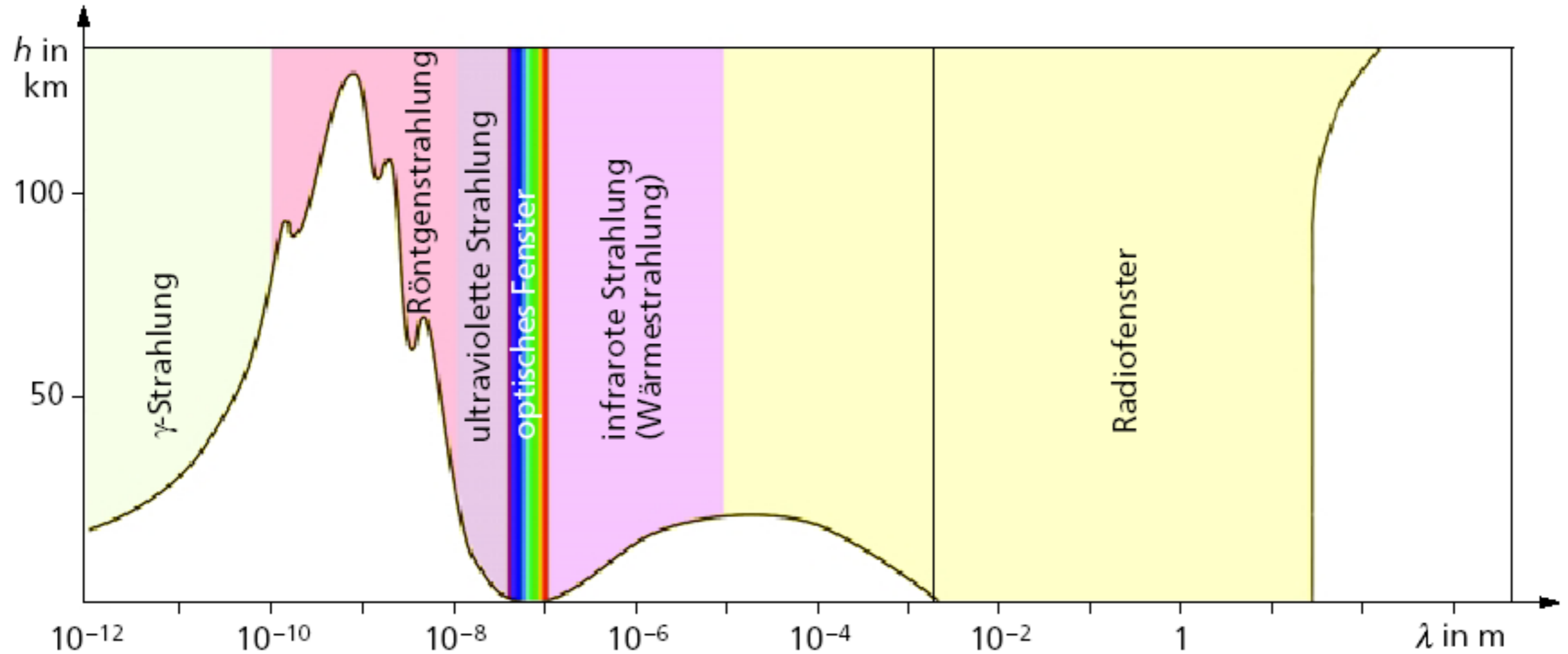
Zur Fragestellung

Was ist Wärmestrahlung?

Wie viel Wärme transportiert Wärmestrahlung?

Zur Fragestellung

Literatur: Duden Paetec – Physik – Gymnasiale Oberstufe



S. 369 – Die Übersicht oben zeigt das Absorptionsvermögen der Erdatmosphäre für elektromagnetische Wellen, die „von außen“ auffallen.

Zur Fragestellung

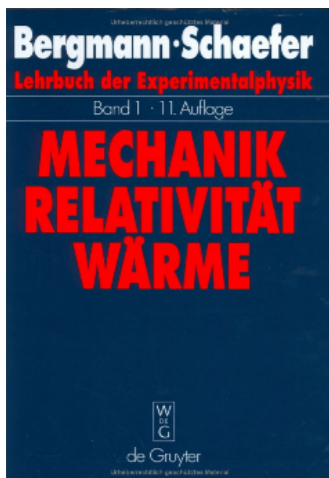
Literatur: Bergmann Schaefer Lehrbuch zur Experimentalphysik

Band 3: Optik



Die Absorption infraroten Lichtes führt fast ausschließlich zur Umwandlung der auffallenden elektromagnetischen Strahlungsenergie in Wärme. Deshalb werden die infraroten Strahlen auch Wärmestrahlen genannt. Dieser Ausdruck ist mit etwas Vorsicht gebrauchen, weil nicht nur die infraroten Strahlen eine Erwärmung bei Absorption verursachen.

S. 221

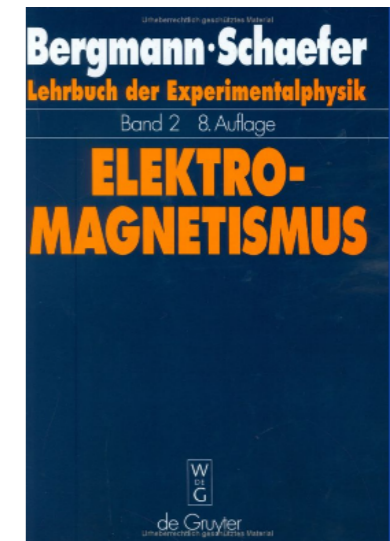
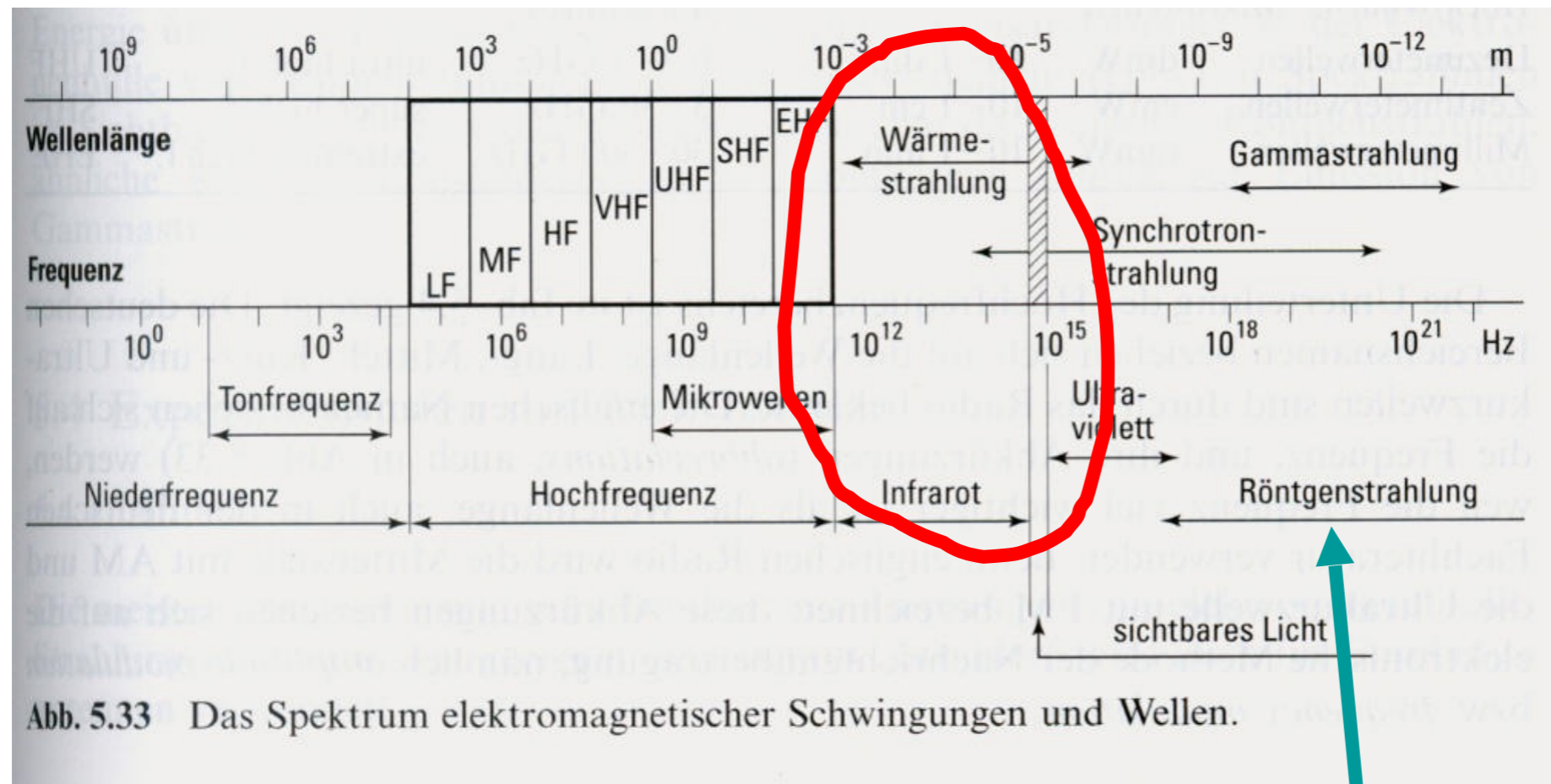


Band 1 Mechanik Relativität Wärme

Elektromagnetische Strahlung ist ein Energieträger, der mit materiellen Objekten wechselwirken kann und einen Teil seiner Energie in Form von Wärme abgeben kann....

S.1268

Zur Fragestellung



Bergmann-Schaefer,
Band 2
Elektromagnetismus S. 323

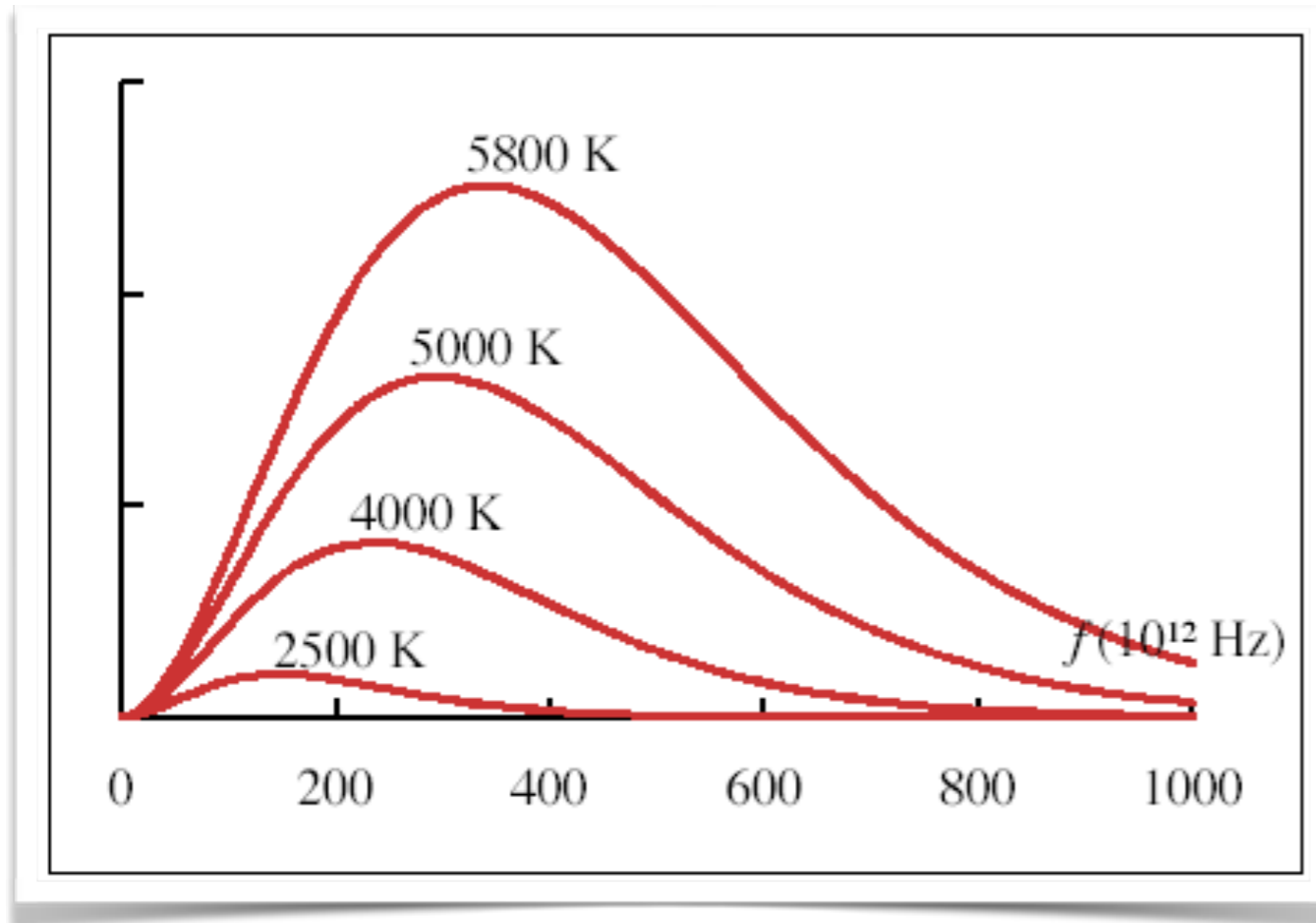
- Sonne ist thermischer Strahler, die meiste Energie wird aber im sichtbaren Bereich des Spektrums transportiert.
- Die kosmische Hintergrundstrahlung ist thermisch, das Energiemaximum liegt bei einer Wellenlänge von 1mm im Mikrowellenbereich.
- Das Plasma eines Fusionsreaktors strahlt im Röntgenbereich und ist ebenfalls thermisch.

Zur Fragestellung



New York Mai 2006

Zur Fragestellung



Schwarzkörperstrahlung

$$\frac{dj_E}{df} = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{f^3}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}$$

j Energiestromdichte

f die Frequenz

h das Plancksche Konstante

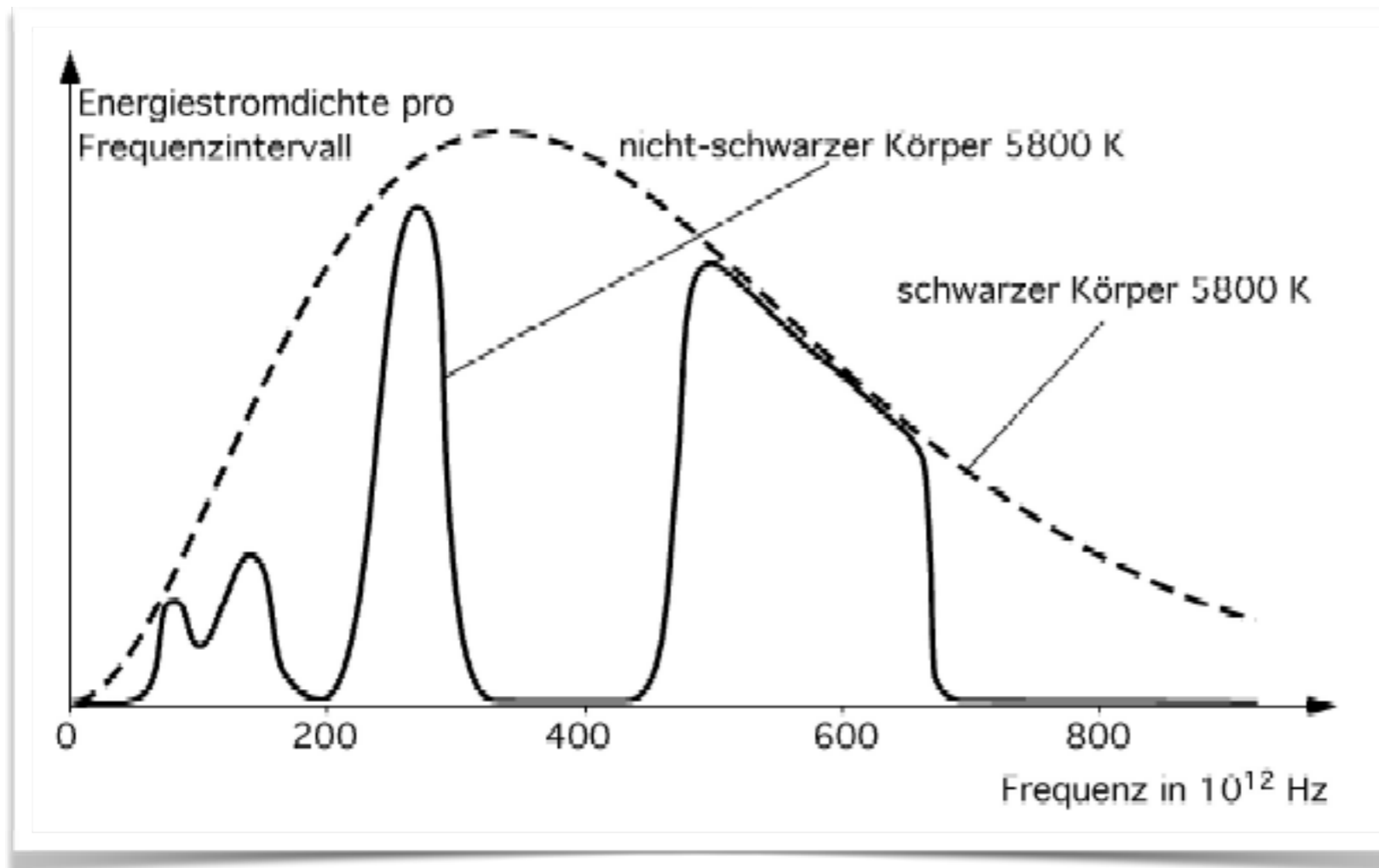
c die Lichtgeschwindigkeit

k die Boltzmannkonstante

T absolute Temperatur

Zur Fragestellung

Das Spektrum eines nicht schwarzen thermischen Strahlers



Zur Fragestellung

Im Prinzip..

- kann man jedes beliebige Spektrum mit einem thermischen Strahler erzeugen.
- kann man jedes beliebige Spektrum mit einem nicht thermischen Strahler erzeugen. Auch das Spektrum, das wie das Spektrum eines schwarzen Strahlers aussieht.

➤ Einem Spektrum sieht man nicht an, ob es von einem thermischen Strahler stammt oder nicht.

Woran erkennt man den Wärmetransport?

- Eine völlig „entropiefreie“ Strahlung, die von einem nicht thermischen Strahler stammt, führt zur gleichen Erwärmung, wie die Strahlung eines schwarzen, thermischen Strahlers, wenn beide gleichviel Energie transportieren und diese vollständig absorbiert werden.

Folgerung:

- An der Erwärmung eines Absorbers lässt sich nicht feststellen, ob die absorbierte Strahlung Wärme transportiert.
- Dies lässt sich erst entscheiden, wenn man weiß, ob der Strahler abkühlt oder nicht.



Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Der Begriff Wärme ist zunächst „umgangssprachlich“ besetzt.
In einer Wärmflasche steckt Wärme
Der Holzofen strahlt Wärme ab.

Zwei Arten von Strahlung: Licht und Wärmestrahlung
Holzofen: Wärmestrahlung
Mond: nur Licht
Sonne: Wärmestrahlung und Licht

Thermodynamik Plancks und Maxwells Elektrodynamik
Welche physikalische Größe deckt sich mit dem Begriff Wärme am besten?

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

$$dE = TdS$$

Energieänderung wird
Wärme genannt

$$\frac{dE}{dt} = T \cdot \frac{dS}{dt}$$

zeitlich Änderung der
Energie und der Entropie

$$\frac{dE}{dt} = P$$

$$\frac{dS}{dt} = I_S$$

Wenn Änderung von
Energie und Entropie
nur durch Ströme

$$P = T \cdot I_S \quad ?$$

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

$$dE = TdS$$

Energieänderung wird
Wärme genannt

$$\frac{dE}{dt} = T \cdot \frac{dS}{dt}$$

zeitlich Änderung der
Energie und der Entropie

$$\frac{dE}{dt} = P$$

$$\frac{dS}{dt} = I_S + \Sigma_S$$

Wenn Änderung von
Energie nur durch
Strom und Entropie
durch Strömen und
Erzeugen

$$P = \frac{3}{4} T \cdot I_S$$

Gesamtenergiestrom eines
schwarzen Strahlers – Es bleibt
die Frage: Wie viel Wärme
transportiert die Strahlung?



Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

Versuch einer begrifflichen Festlegung

$$(1) \text{ Wärmestromstärke} = T \cdot I_S$$

$$(2) \text{ Wärmestromstärke} = \frac{3}{4} \cdot T \cdot I_S$$

$$(3) \text{ Wärmestromstärke} = P$$

Welche physikalische Größe als Wärmemaß?



Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

Entropie als „Wärme“

Sonnenlicht $I_S = \frac{4}{3} \cdot \frac{P}{T} = \frac{4}{3} \cdot \frac{1000\text{W}}{6000\text{K}} = 0,22 \frac{\text{Ct}}{\text{s}}$

Ist das die Wärme, die man spürt?



Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

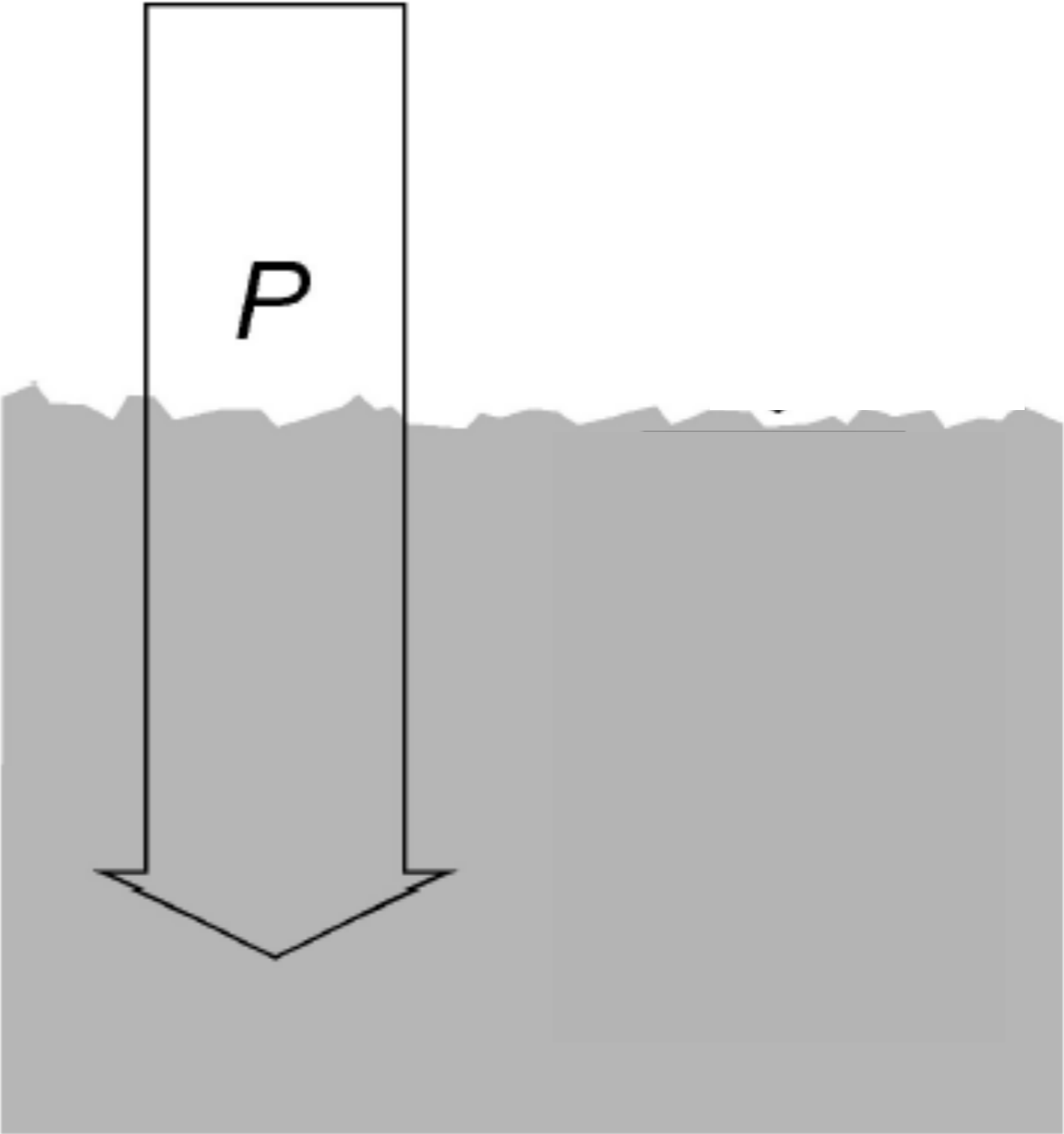
Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

Warum Strahlung wärmt

Absorption von Strahlung



Warum Strahlung wärmt

Wie viel Entropie wird erzeugt?

$$P_{ein} = P_{aus}$$

$$\frac{3}{4} T_{Strahlung} \cdot I_{S,ein} = T_{Absorber} \cdot I_{S,aus}$$

$$I_{S,erz} = I_{S,aus} - I_{S,ein} \quad I_{S,ein} = \frac{T_{Absorber}}{\frac{3}{4} T_{Strahlung}} \cdot I_{S,aus}$$

$$\frac{I_{S,erz}}{I_{S,aus}} = 1 - \frac{I_{S,ein}}{I_{S,aus}} = 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{Absorber}}{T_{Strahlung}}$$

Warum Strahlung wärmt

$$\frac{I_{S,erz}}{I_{S,aus}} = 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{Absorber}}{T_{Strahlung}}$$

$$\frac{I_{S,erz}}{I_{S,aus}} = 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{T_{Erde}}{T_{Sonne}}$$

$$= 1 - \frac{4}{3} \cdot \frac{300\text{K}}{6000\text{K}}$$
$$= 0,93 = 93\%$$



7% der absorbierten Entropie kommen von der Sonne

93% der absorbierten Entropie wurden bei der Absorption erzeugt

Warum Strahlung wärmt

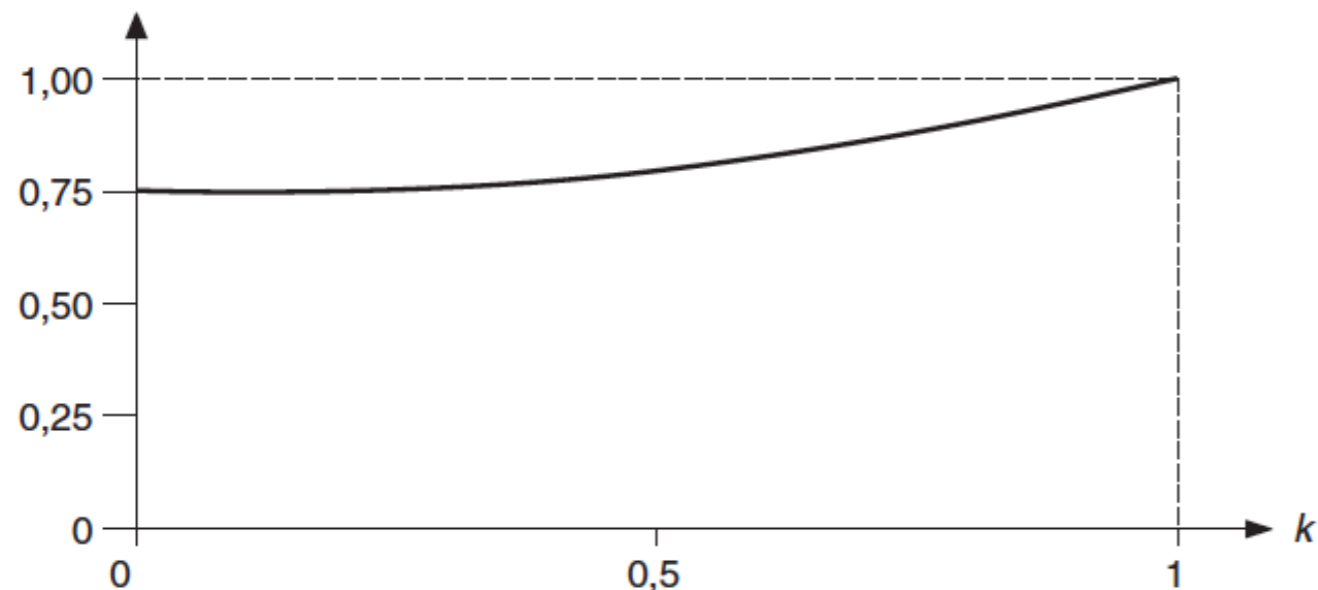
$$P = \frac{3}{4} T_{\text{Strahlung}} \cdot I_{S,\text{ein}}$$

→

$$P = \frac{3}{4} \left(\frac{1 - k^4}{1 - k^3} \right) \cdot T_2 I_S$$

$$k = \frac{T_1}{T_2} \text{ und } T_1 < T_2$$

$$\frac{3}{4} \cdot \frac{1 - k^4}{1 - k^3}$$



Warum Strahlung wärmt

$$P = 0,804 \cdot T_2 \cdot I_S$$

$$0,804 \cdot T_2 \cdot I_{S, \text{ein}} = T_1 \cdot I_{S, \text{aus}}$$

$$\frac{I_{S, \text{erz}}}{I_{S, \text{aus}}} = 1 - \frac{1}{0,804} \cdot \frac{300\text{K}}{600\text{K}}$$
$$= 0,38 = 38\%$$

38% der absorbierten Entropie wurden bei der Absorption erzeugt

62% der absorbierten Entropie kommen vom Ofen





Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung

Empfehlung

Begriff Wärmestrahlung wenig eindeutig → Taugt nicht für ein Konzept, das sich wissenschaftlich nennen möchte.

Besser als die Energieform Wärme ist als Wärmemaß die Entropie geeignet. Man kann

- .. verschiedene Strahlungen, was den Entropietransport angeht vergleichen.

- .. klar sagen, bei welchem Prozess Entropie erzeugt wurde.

Aussagen stimmen mit denen entsprechenden überein, wenn man statt der physikalischen Größe Entropie das umgangssprachliche Wort Wärme benutzt.

Was ist Wärmestrahlung?



Zur Fragestellung

Die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Wärme

Versuch einer begrifflichen Festlegung

Entropie als „Wärme“

Warum Strahlung wärmt

Empfehlung