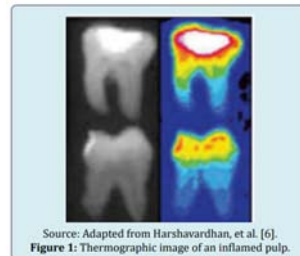
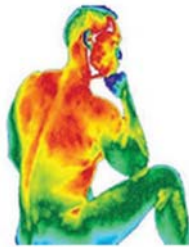
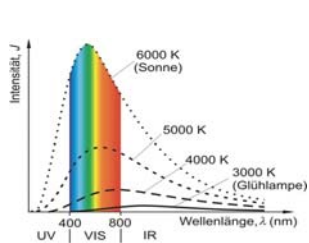
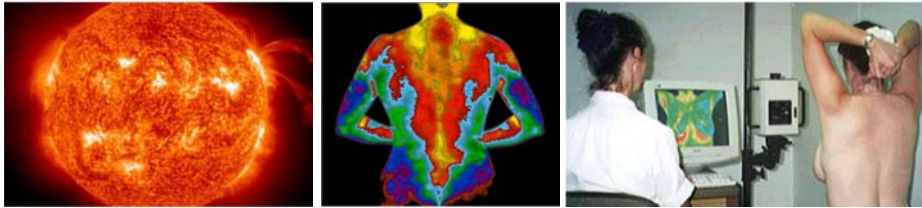


Temperaturstrahlung. Infrarotdiagnostik, Telethermographie



Source: Adapted from Harshavardhan, et al. [6].
Figure 1: Thermographic image of an inflamed pulp.

1

KAD 2023.10.03

Lichtquellen

Temperaturstrahler
„warmes“ Licht



Lumineszenzstrahler
„kaltes“ Licht



2

Temperaturstrahlung

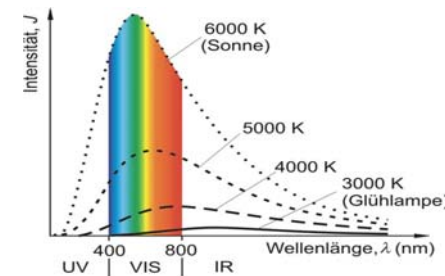
Die elektromagnetische Strahlung (IR, VIS, UV), die ein Körper aufgrund seiner Temperatur an seine Umgebung abgibt. Die Lichtemission auf Kosten der Bewegungsenergie (Schwingungsenergie, Rotationsenergie) der Bestandteile des Körpers erfolgt und deshalb stark von der **Temperatur** des Körpers abhängt

Lumineszenzstrahlung

Ein physikalisches System durch von außen zugeführte Energie in einen angeregten Zustand versetzt und emittiert beim Übergang in seinen Grundzustand Photonen. Die Energie der Abstrahlung von der Energie des Elektronenübergangs **aus dem Anregungszustand in den Grundzustand** in Atomen oder Molekülen stammt.

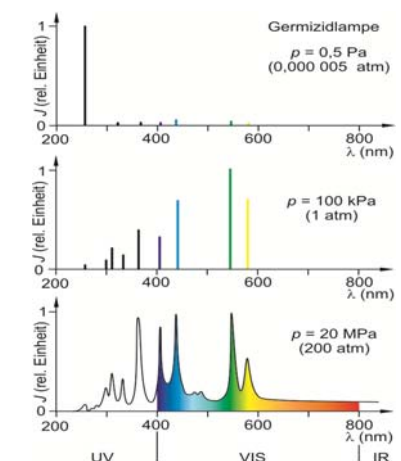
3

Temperaturstrahlung



kontinuierliches Spektrum

Lumineszenzstrahlung



Linien- oder Bandenspektrum

4

Entstehung der Temperaturstrahlung

Erfahrung: die Körper, die höhere Temperatur haben als ihre Umgebung emittieren Energie (Wärme):

Temperaturstrahlung hängt sehr stark von der T des Körpers ab.

Temperatur des Körpers hängt mit den Bewegungen der Teilchen in dem Körper zusammen.

z.B. Gastheorie $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT$



Die Temperaturstrahlung entsteht auf Kosten der Bewegungsenergie der Teilchen im Körper.



Eigenschaften der Temperaturstrahlung

- Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Temperaturstrahlung aus
- Temperaturstrahlung ist elektromagnetische Strahlung (infrarotes Licht, sichtbares Licht, UV, Röntgen, ...)
- Sie hängt von der T , Eigenschaften (Materie, Farbe, Oberfläche, ...) des Körpers ab.

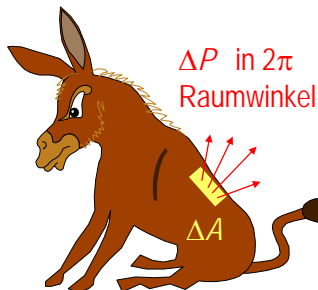
Strahlungsgleichgewicht: emittierte und absorbierte Leistungen müssen im thermischen Gleichgewicht gleich sein.

6

Größen zur Beschreibung der Temperaturstrahlung:

Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A}, \quad [M] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$



Spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ):

$$M_\lambda = \frac{\Delta M}{\Delta \lambda}, \quad [M_\lambda] = \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{nm}}$$

Absorptionsgrad (α):

$$\alpha = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{einfallende Energie}}$$

M_λ und α hängen von λ , T , Farbe des Körpers, ... ab

7

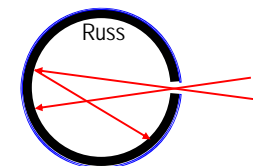
Kirchhoffsches Strahlungsgesetz:

$$\frac{M_{\lambda,1}}{\alpha_1} = \frac{M_{\lambda,2}}{\alpha_2} = \frac{M_{\lambda,3}}{\alpha_3} = \dots$$

konstant für verschiedene Körper bei gegebener T und λ

Absolut schwarzer Körper:

Ein hypothetischer idealisierter Körper, der jegliche auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Frequenz vollständig absorbiert.



Hohlraumstrahlung

Absolut schwarzer Körper als Strahlungsreferenz: $\alpha = 1$

$$\frac{M_\lambda}{\alpha} = \frac{M_{\lambda,a}}{1} = M_{\lambda,a}$$

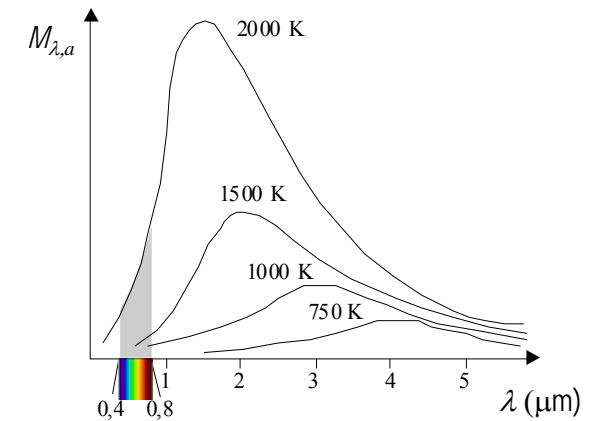
8



Die dunkle Farben absorbieren mehrere Strahlungsenergie als die helle (Kirchhoff!). Die Strahlenschädigung nach der Atombombenexplosion ist grösser unter den dunklen Teile des Kimonos.

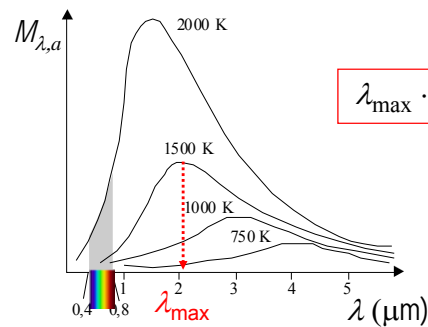
9

Spektrum des absolut schwarzen Körpers



10

Wiensches Verschiebungsgesetz

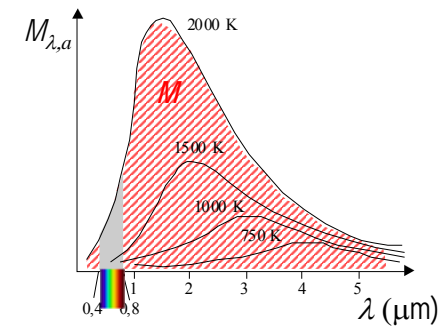


$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{const} = 2880 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

Verschiebung des Maximums mit der Temperatur

11

Stefan-Boltzmannsches Gesetz



$$M_a = \sigma \cdot T^4$$

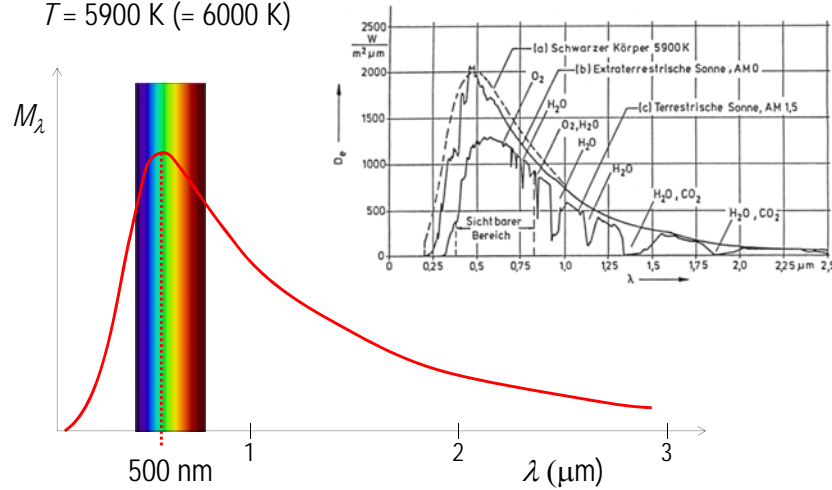
$$\left[\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]$$

hohe spezifische Ausstrahlung bei hohen Temperaturen

12

z. B. Das Spektrum der Sonne:

$T = 5900 \text{ K} (= 6000 \text{ K})$

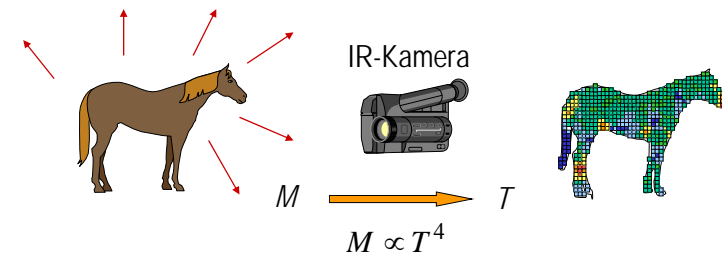


13

Anwendungen 1: IR Diagnostik, Telethermographie

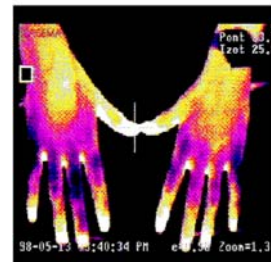
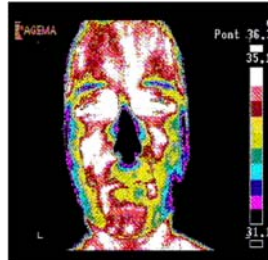
$T \approx 301 \text{ K} \rightarrow \lambda_{\text{max}} \approx 10 \mu\text{m}$ IR-Strahlung

Ist der tierliche Körper absolut schwarz? In diesem Bereich: Ja! (s. Absorptionsspektrum des Wassers)



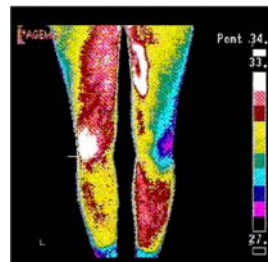
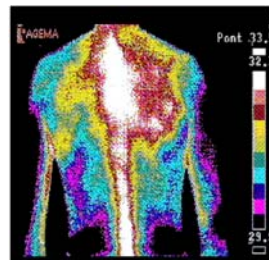
14

Gesichtshöhlenentzündung



Gelenkentzündung

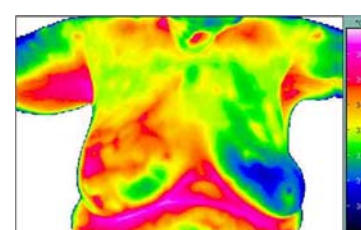
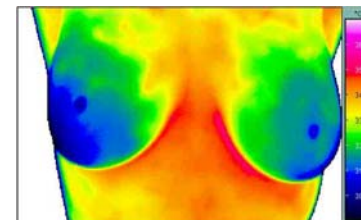
Muskelerkrankung



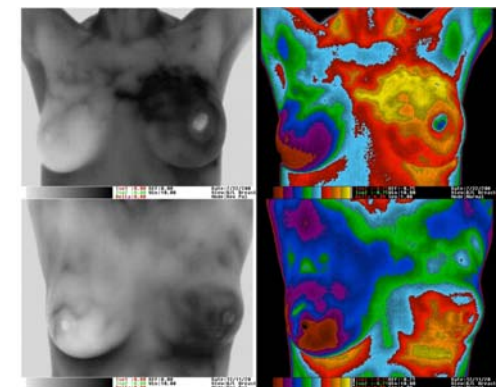
Chondrolyse und Thrombose

15

gesund



Brustkrebs



16



IR-Thermographie

Messbereich: 8-10 μm
 Präzision: 0.1 C
 Auflösungsgrenze: 1 mm²
 (Abstand: 40 cm)
 Abtastungszeit: 4 s



Mikrowellenthermographie, Mammathermographie (Tumor-Diagnostik)

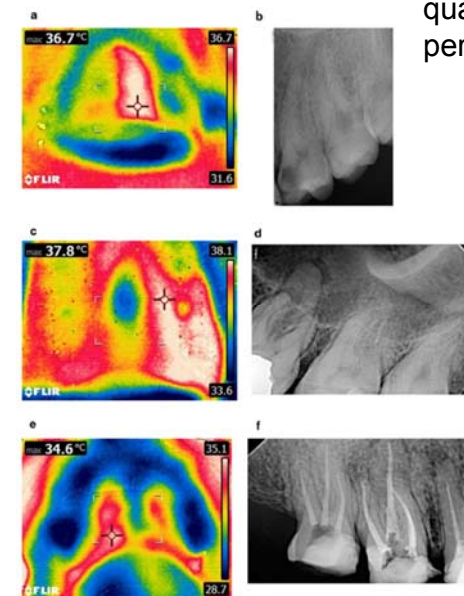
Vorteil: Körpergewebe ist
durchlässig für Mikrowellen.

Nachteil: Intensität im
Mikrowellenbereich ist
vielmal kleiner als im IR.

17

Aboushady et al. BMC Oral Health (2021) 21:260

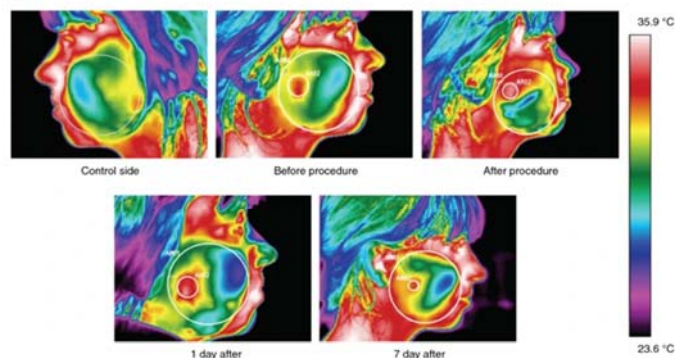
Thermography as a non-ionizing quantitative tool for diagnosing periapical inflammatory lesions



a Thermal image for AAP related to the upper left first molar. The heat detector is pointing to the highest temperature (36.7 °C). b Periapical radiograph showing widening of the lamina dura around the mesial root of the same tooth. c Thermal image for AA related to the upper left first molar with the highest temperature (37.8 °C) detected using Flir Tools software. d Periapical radiograph showing widening of the lamina dura around the roots of the same tooth with radiolucency related to the apex of the roots. e Thermal image for CA related to the upper right second premolar. f Periapical radiograph showing radiolucency surrounding the apex of the upper right second premolar. A sinus tract related to the same tooth was detected on clinical examination¹⁸

The applications of infrared thermography in surgical removal of retained teeth effects assessment

Fig. 1



Thermal images showing changes in the temperature on the buccal surface on the side of the performed procedure: before, immediately after, and on Day 1 and Day 7 after the procedure, and a thermogram of the control side, where AR01—buccal area, AR02—tooth area

Wärmebilder, die Temperaturänderungen an der Wangenfläche auf der Seite des durchgeführten Eingriffs zeigen.

19

Anwendungen 2: Wärmehaushalt

Stoffwechselprozesse \Rightarrow Wärme
konstante Körpertemperatur } \Rightarrow Wärmeabgabe

Wärmestrahlung:



$$M = \sigma \cdot T^4$$

Resultierende Energieabgabe (ΔE):

$$\Delta E = \sigma \cdot (T^4 - T_{\text{Umgebung}}^4) \cdot A \cdot t$$

$$M_{\text{Umgebung}} = \sigma \cdot T_{\text{Umgebung}}^4$$

Hat ein Körper höhere Temperatur als seine Umgebung, so strahlt er mehr als er aus der Umgebung absorbiert.

+ Transpiration, Verdunstung
(+ Wärmeleitung)

20

Anwendungen 3: Wärmetherapie, IR-Lampen



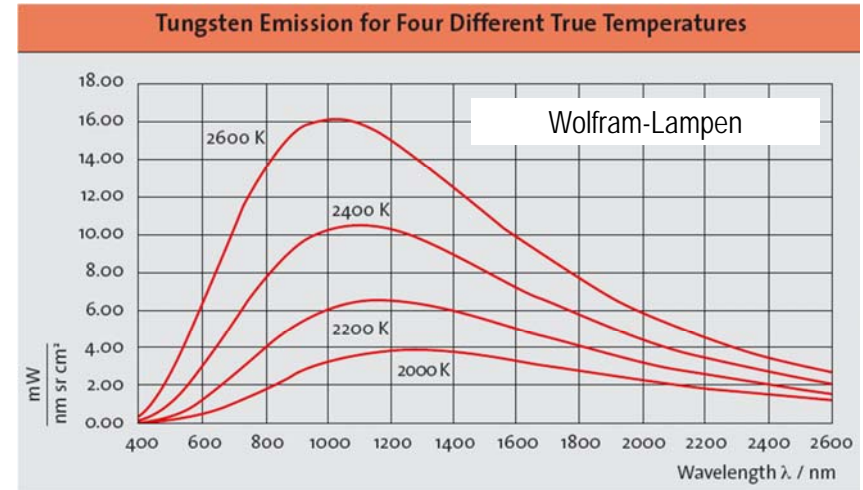
Glühlampen
 $T = 2000-3000\text{ K}$



21

höhere Temperaturen:
Tageslichtlampe

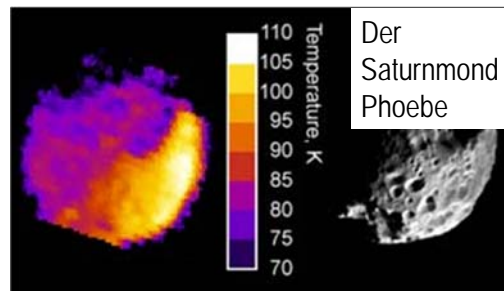
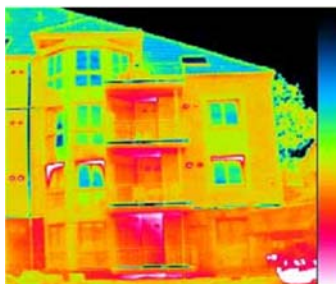
niedrigere Temperaturen:
IR-Lampen



22

Weitere Anwendungen

Bestimmung von
Oberflächentemperaturen



Sehen im ganz dunklen

23

Temperaturstrahler, Lumineszenzstrahler
Spezifische Ausstrahlung, Spektrale spezifische Ausstrahlung
Absorptionsgrad
Kirchhoffsches Strahlungsgesetz
Absolut schwarzer Körper
Spektrum des absolut schwarzen Körpers
Wiensches Verschiebungsgesetz
Stefan-Boltzmannsches Gesetz
IR Diagnostik, Telethermographie
Mikrowellenthermographie
Wärmehaushalt
Wärmetherapie, IR-Lampen

24