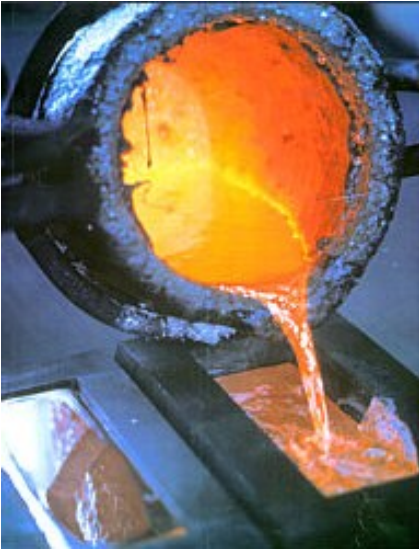




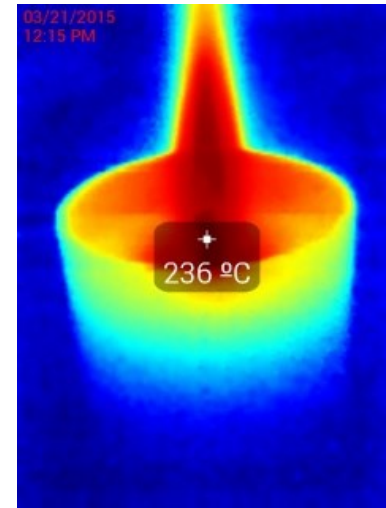
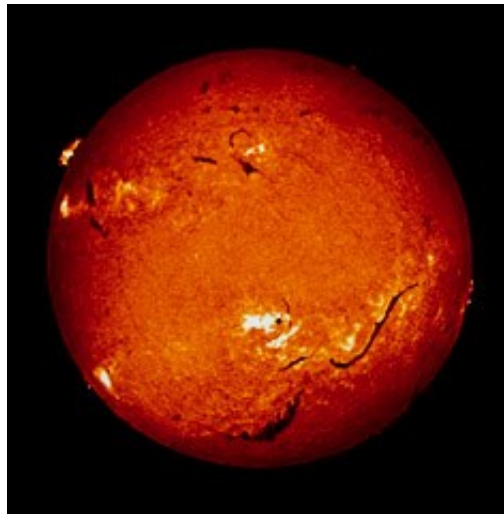
Temperaturstrahlung,
Infrarotdiagnostik, Wärmehaushalt.

Gusztáv Schay

Temperaturstrahlung



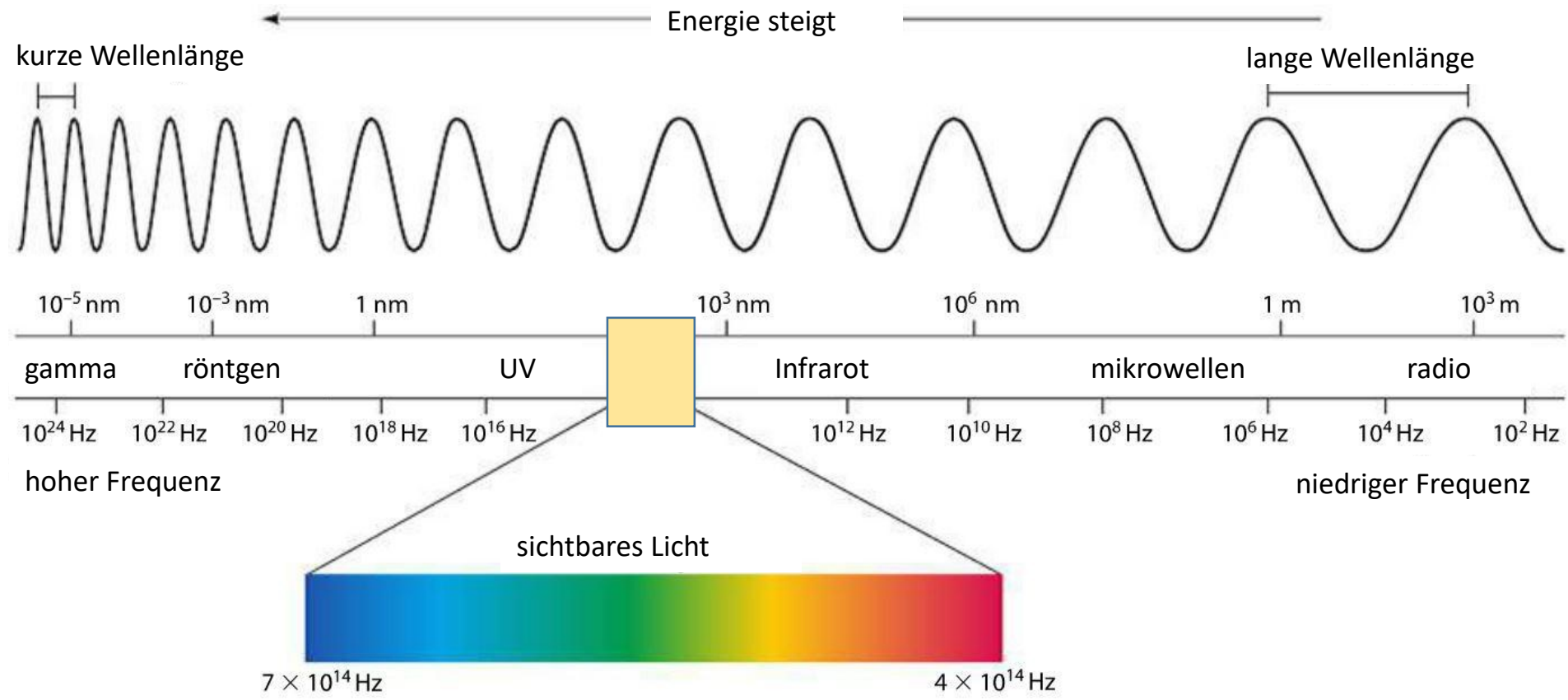
Glühend heiß...



Heiße Körper (Gegenstände) emittieren Licht.

Vielleicht ist das allgemein?



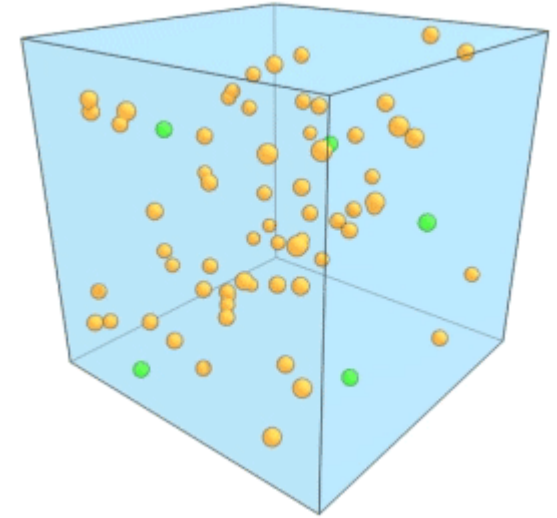


Alles ist Licht, aber wir sehen nur einen schmalen Bereich.

Alle Körper strahlen, wenn ihr Temperatur $>0 \text{ }^\circ\text{K}$ ist.

Thermische Emission, oder Temperaturstrahlung

Die Frequenzen sind aber sehr unterschiedlich!



Quelle: beschleunigte elektrische Ladungen oder dipole produzieren EM-Wellen.

Das kann sogar mathematisch berechnet werden ☺

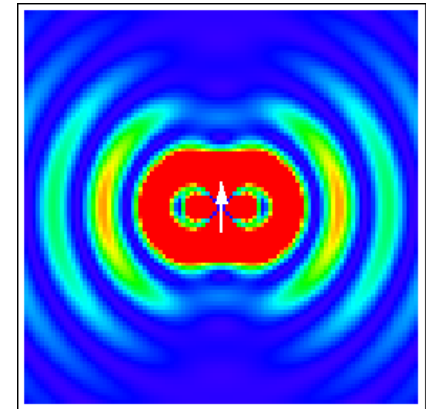
$$\mathbf{E}_{\text{rad}}(\mathbf{r},t) = -[1/(4\pi\epsilon_0)] * [q/(c^2 r')] * \mathbf{a}_{\text{perp}}(t - r'/c)$$

↑
elektrische
Feldstärke

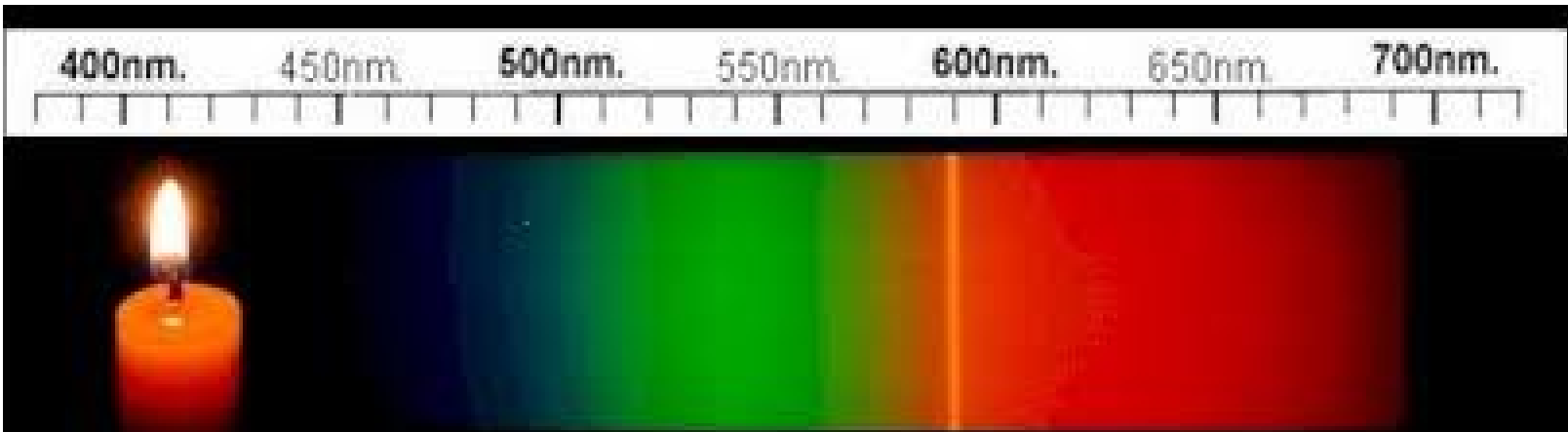
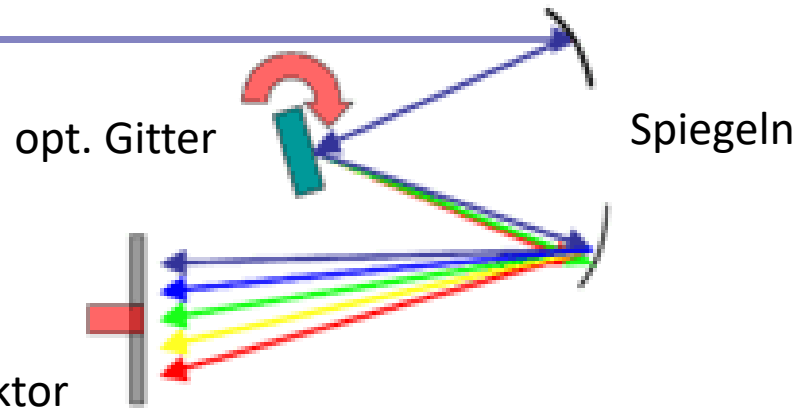
↑
Ladung

↑
Beschleunigung

↑
Lichtgeschwindigkeit: $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

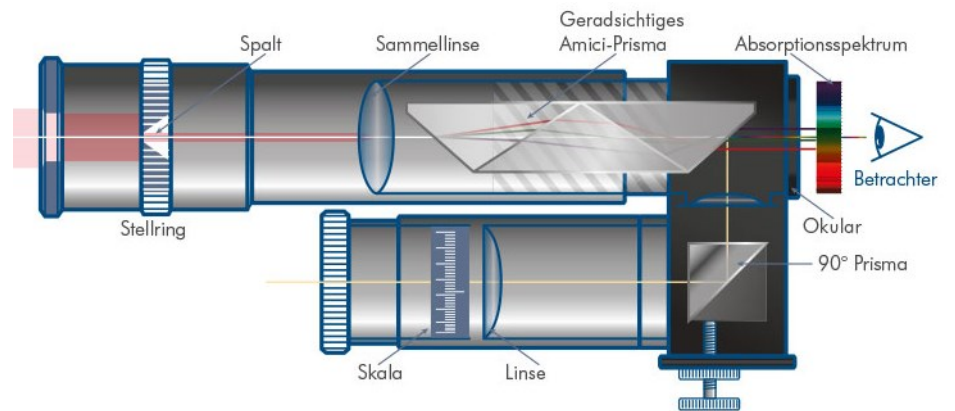


bloß nicht den Formel lernen!



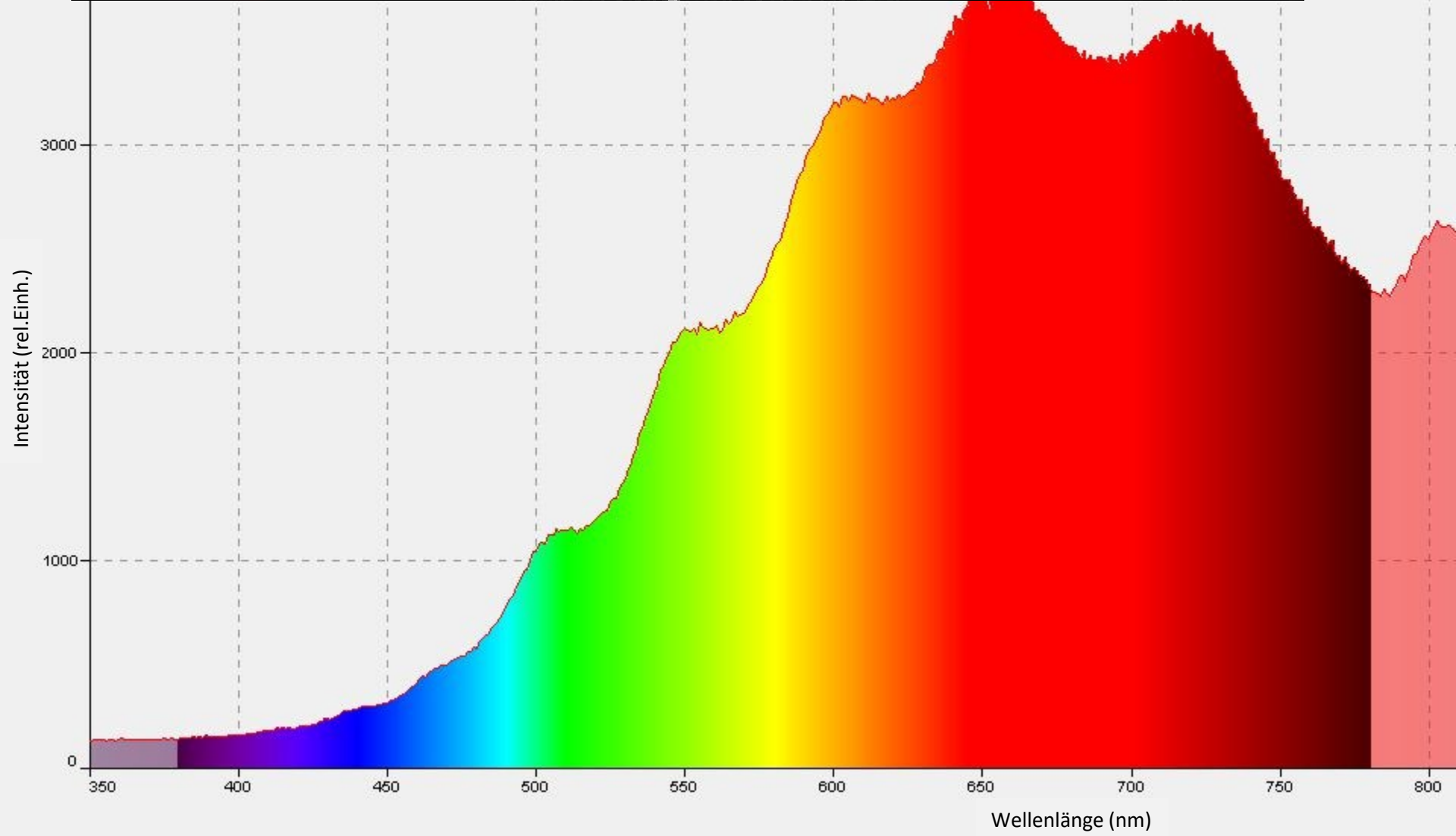
Kerzenflamme + Na 589nm Linie

Spektrum ist sichtbar, aber nicht ganz quantitativ, die Intensitätswerte fehlen...

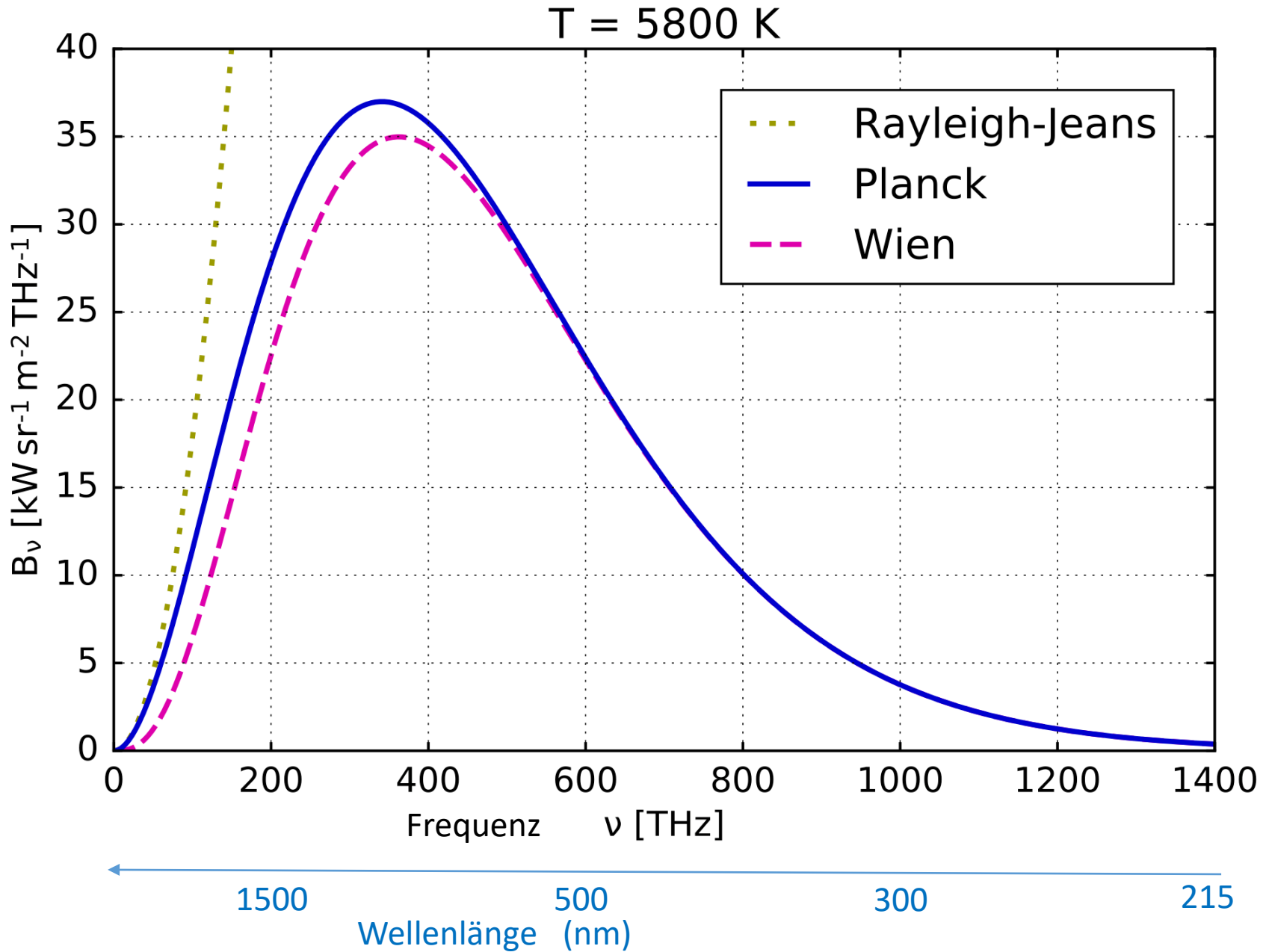


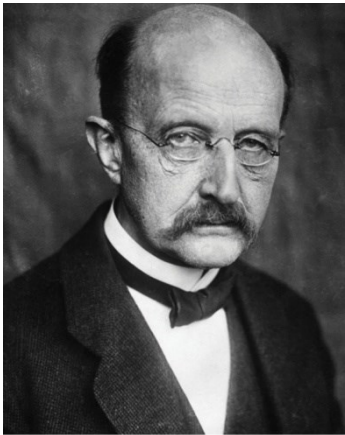
Emissionsspektrum der Kerze

Temperaturstrahlung + andere Quelle (Lumineszenz)



Mit klassischer Physik kann man nahe zu der richtigen Kurve kommen, aber nicht gut genug....





© 2008 Brooks/Cole - Thomson

Max Planck (~ 1900)

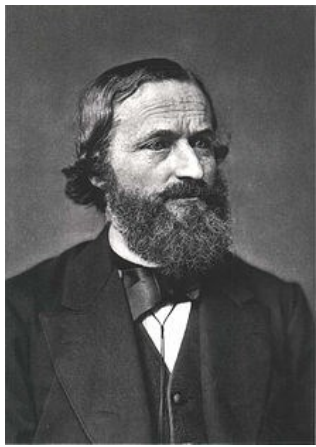
Max konnte zuerst eine korrekte Kurve als Lösung geben, indem er die Energie quantisiert angenommen hat.

$$E_n = nhf$$

Diagram showing the equation $E_n = nhf$ with arrows pointing to the variables: f is labeled "Frequenz" and n is labeled "Gerundeter Zahl".

E_n ist die Energiemenge von n "Stück" von „Photonen“

$$\rho(f, T) df = \frac{8\pi V f^2 df}{c^3} \frac{\text{blue oval}}{e^{hf/kT} - 1}$$



Gustav Kirchhoff (1824-1887)

Wenn ein Körper die Strahlungen gut absorbiert, dann ist dieser Körper auch ein guter Emmitter.

Also, am besten emittiert etwas was absolut schwarz ist...

Als Hindernisse bei der praktischen Anwendung dürften sowohl die Farbenunterschiede der mit dieser Einheit verglichenen Lichtquelle, als auch das schnelle Wachsen der ausgestrahlten Lichtmenge mit steigender Stromstärke bezeichnet werden. Dennoch möchten sich bei Anwendung anderer Lichtquellen zu dem genannten Zweck vielleicht noch größere Schwierigkeiten in den Weg stellen, da sich die Umstände, welche die Leuchtkraft modificiren, schwerlich auf so einfache Bedingungen wie im vorliegenden Falle zurückführen lassen.

IV. *Ueber das Verhältniß zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht;*
von G. Kirchhoff.

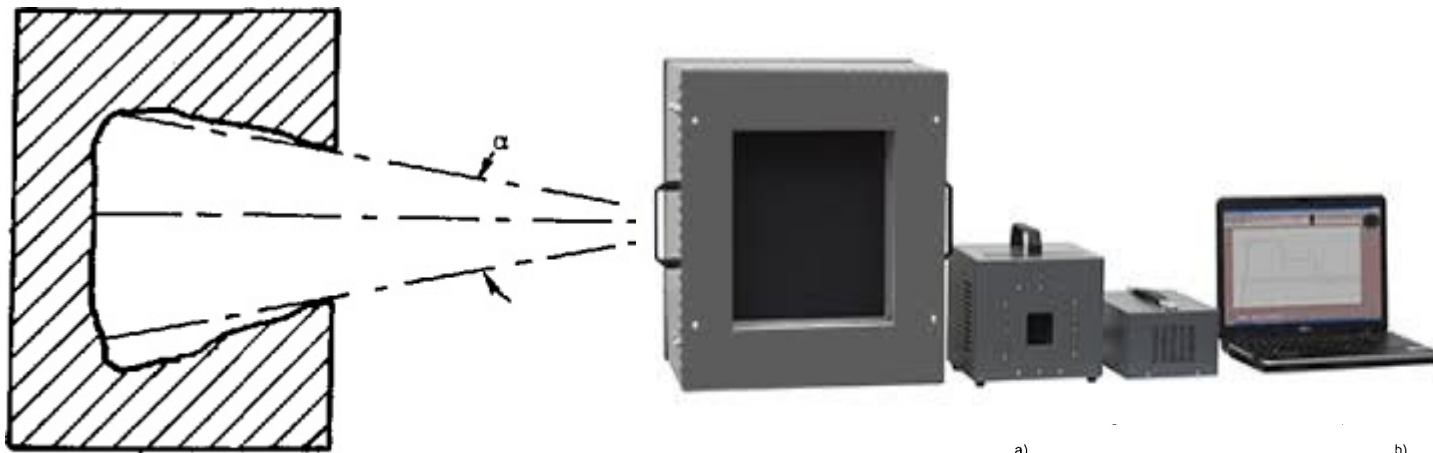
Ein Körper, der in einer Hülle sich befindet, deren Temperatur der seinigen gleich ist, ändert durch Wärmestrahlung nicht seine Temperatur, absorbiert also in einer gewissen Zeit eben so viel Strahlen als er aussendet. Schon vor langer Zeit hat man hieraus den Schluß gezogen, daß bei derselben Temperatur das Verhältniß zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen für alle Körper das gleiche ist. Dabei hat man vorausgesetzt, daß die Körper nur Strahlen einer Gattung aussenden. Dieser Satz ist durch Versuche, namentlich von den Hrn. de la Provostaye und Desains in vielen Fällen bestätigt gefunden, in denen die Gleichartigkeit der ausgesendeten Strahlen wenigstens näherungsweise in sofern vorausgesetzt werden konnte, als die Strahlen dunkle waren. Ob ein ähnlicher Satz gilt, wenn die Körper gleichzeitig Strahlen verschiedener Gattung aussenden, was streng genommen

$$\alpha = \frac{J_{abs}}{J_{ein}} \quad \text{Absorptionskoeffizient}$$

n.B.: $A = \lg(J_0/J_{tr})$
Absorbanz

absolut schwarzer Körper $\alpha=1$

Gar nicht so einfach zu machen



Innere Hülle

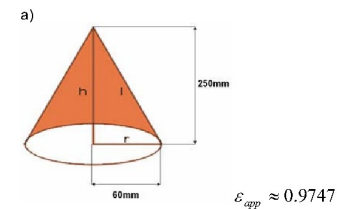


Fig. 2. Geometry of the cone radiator with its computational perfectivity (a) and the manufactured cone (b)

M: spezifische Ausstrahlung (W/m²)

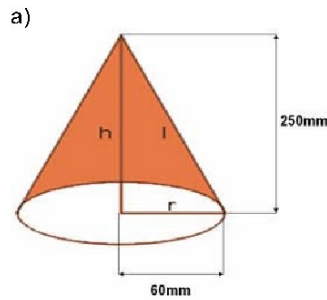
Kirchhoff : M/α ist konstant.

Also, falls wir einen absoluten schwarzen Körper haben, wo $\alpha=1$, dann $M=M_{\max}$

M und α sind Frequenz (oder Wellenlänge) abhängig!

Spektralspezifische Ausstrahlung M_λ und spektraler Absorptionskoeffizient α_λ)

Wie „schwarz“ ist etwas...



$\epsilon_{app} \approx 0.9747$

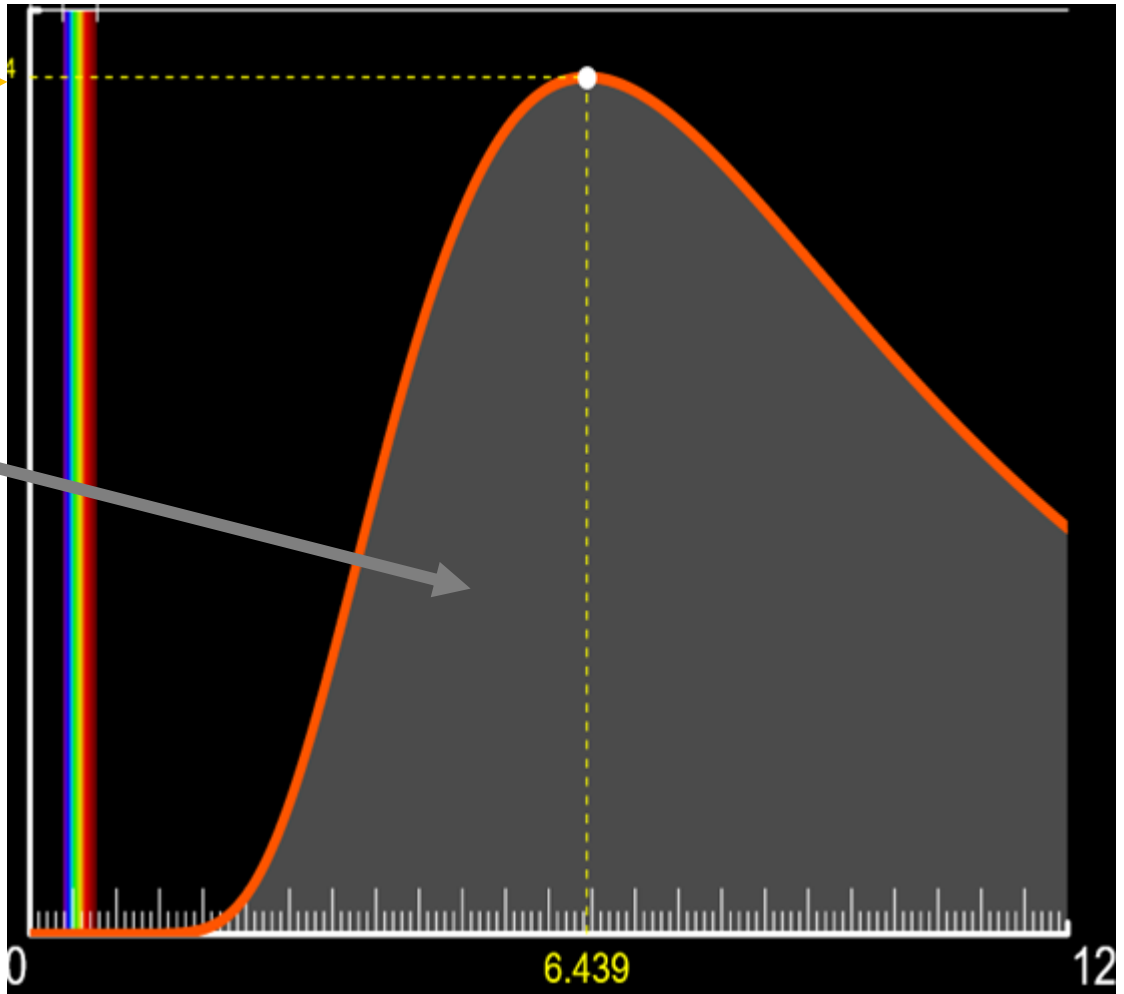


Fig. 2 Geometry of the cone radiator with its computational geometry (a) and the manufactured cone (b)

Maximale Ausstrahlung

$$\frac{\Delta M}{\Delta \lambda}$$

Oberfläche unter der
Kurve:
die
Gesamtausstrahlung
 M_{tot}



6.439

Wellenlänge (μm)

λ_{max}



B G R

3×10^{-4}

Infrared

Spectral Power Density ($\text{MW}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)

3×10^{-5}

0

9.659

12

Wavelength (μm)

$1 \mu\text{m} = 1000 \text{ nm}$

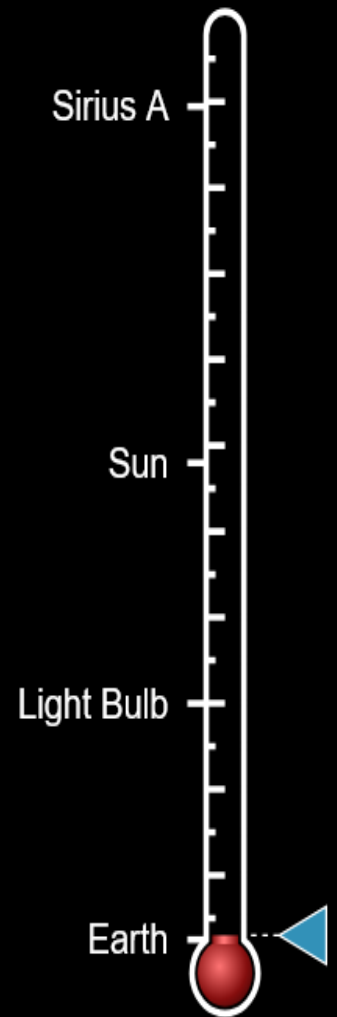


- Graph Values
- Labels
- Intensity

$4.59 \times 10^2 \text{ W}/\text{m}^2$

Blackbody Temperature

300 K



Blackbody
Temperature

450 K

Sirius A

Sun

Light Bulb

Earth



Graph Values

Labels

Intensity

$2.33 \times 10^3 \text{ W/m}^2$



B G R

Infrared

3×10^{-4}

2×10^{-4}

Spectral Power Density (MW/m²/μm)

0

6.439

12

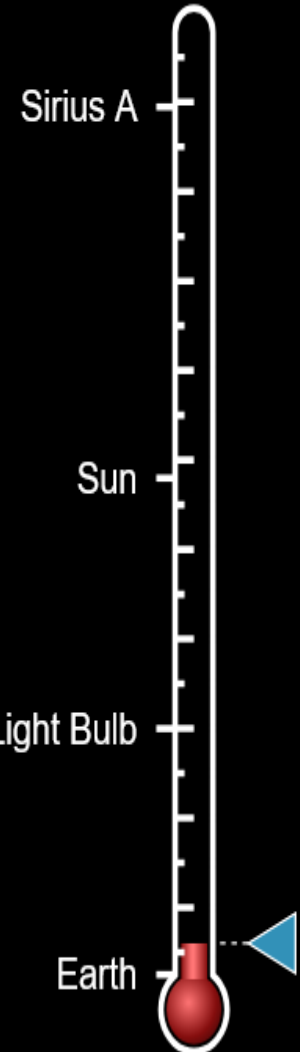
Wavelength (μm)

1 μm = 1000 nm



Blackbody
Temperature

600 K



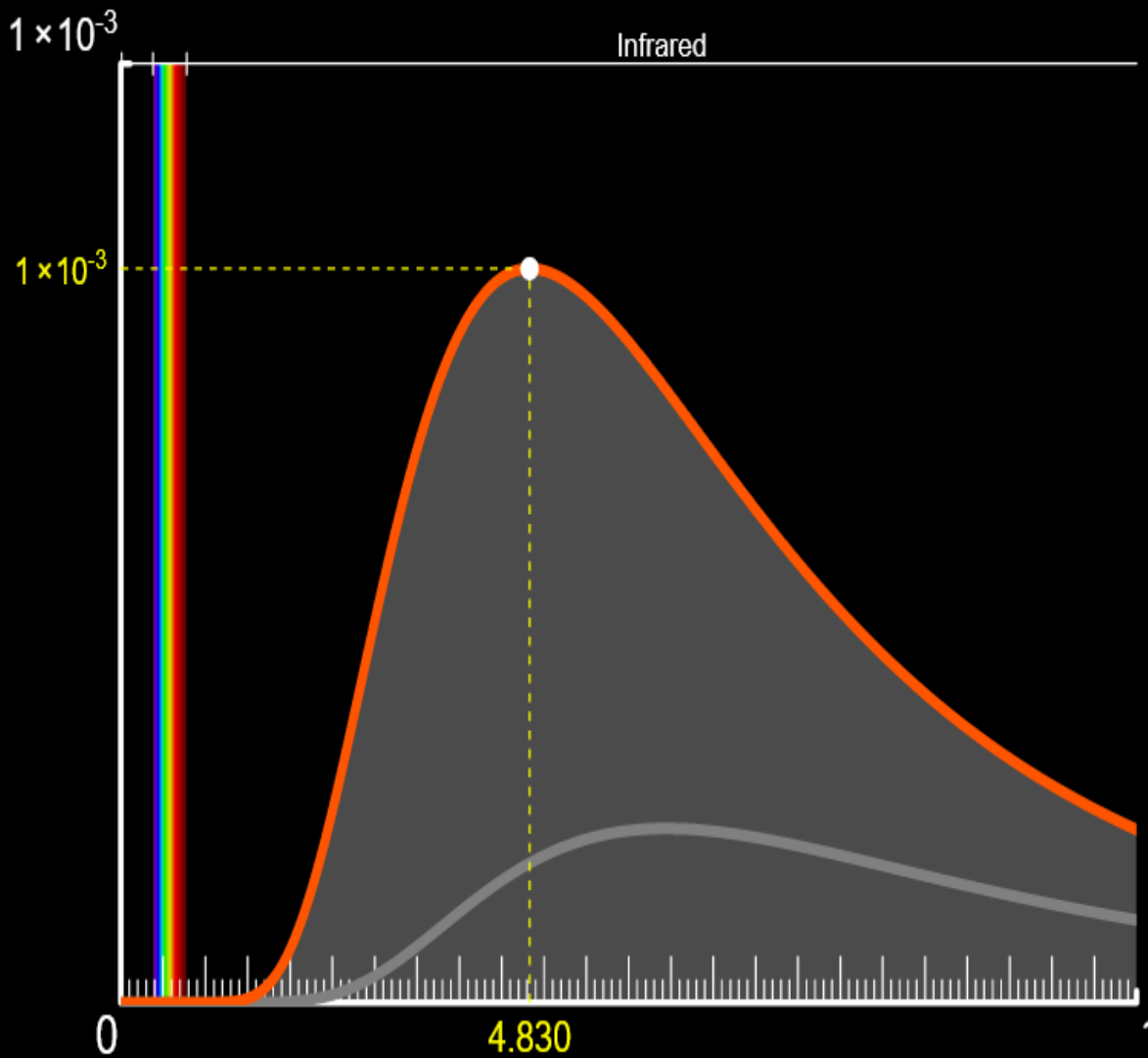
- Graph Values
- Labels
- Intensity

$7.35 \times 10^3 \text{ W/m}^2$


 600 K
 450 K

B G R

Infrared



Wavelength (μm)

1 μm = 1000 nm



Die zwei berühmte Gesetze:

Wiensches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2.898 \cdot 10^6 \text{ K} \cdot \text{nm} \quad (\text{Wien-konstante})$$

Stephan-Boltzmann Gesetz

$$M_{\text{tot}} = \sigma \cdot T^4$$

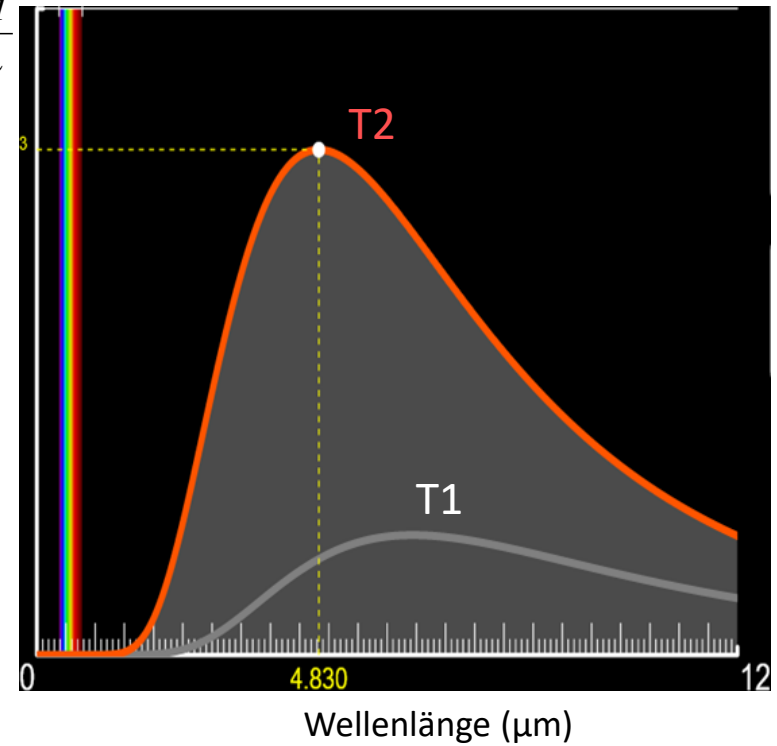
$$\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right]$$

$$\Delta M = \sigma (T_{\text{Körper}}^4 - T_{\text{Umgebung}}^4)$$

↑
W/m² !

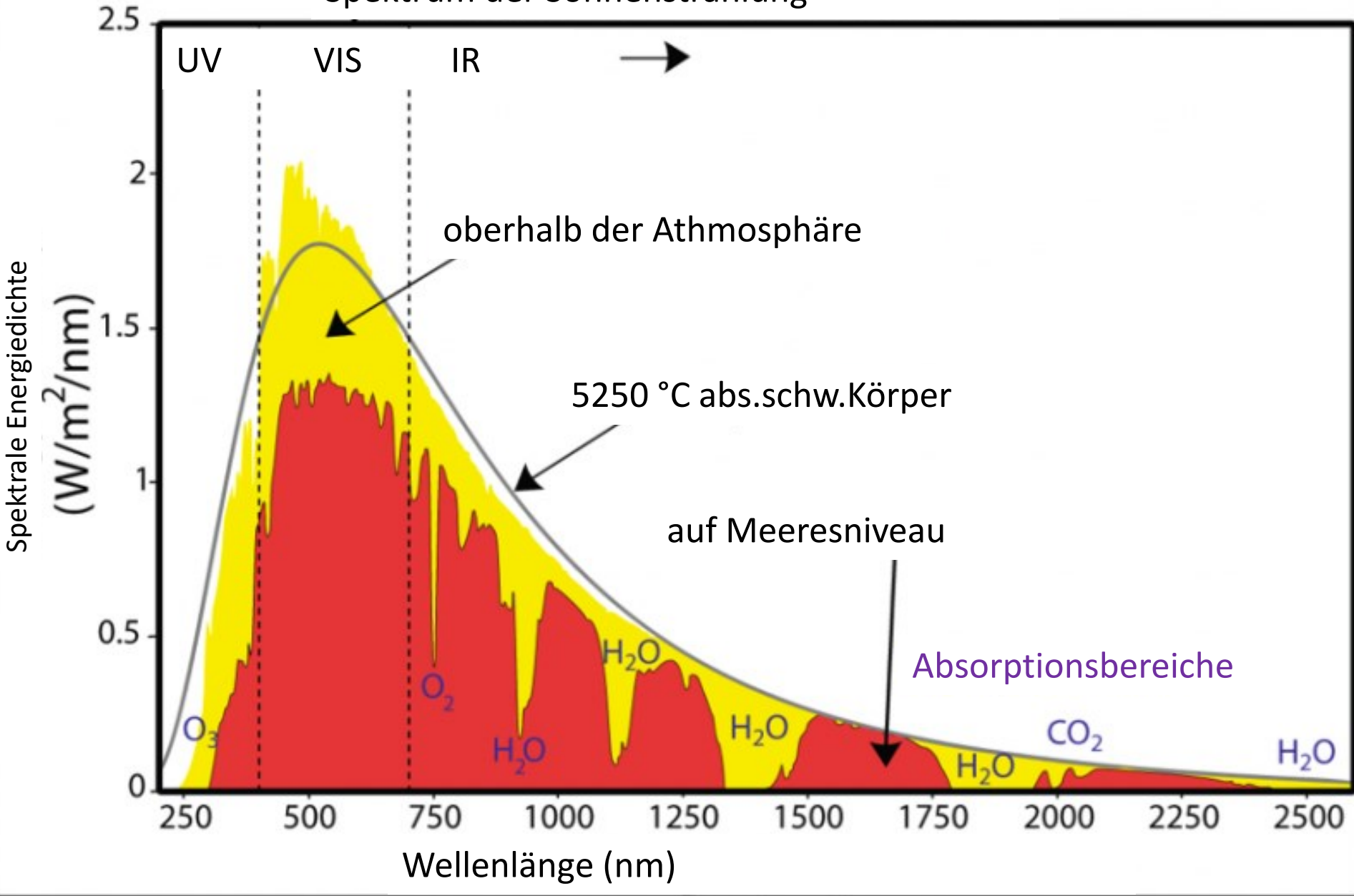
↑ °K

$$\frac{\Delta M}{\Delta \lambda}$$

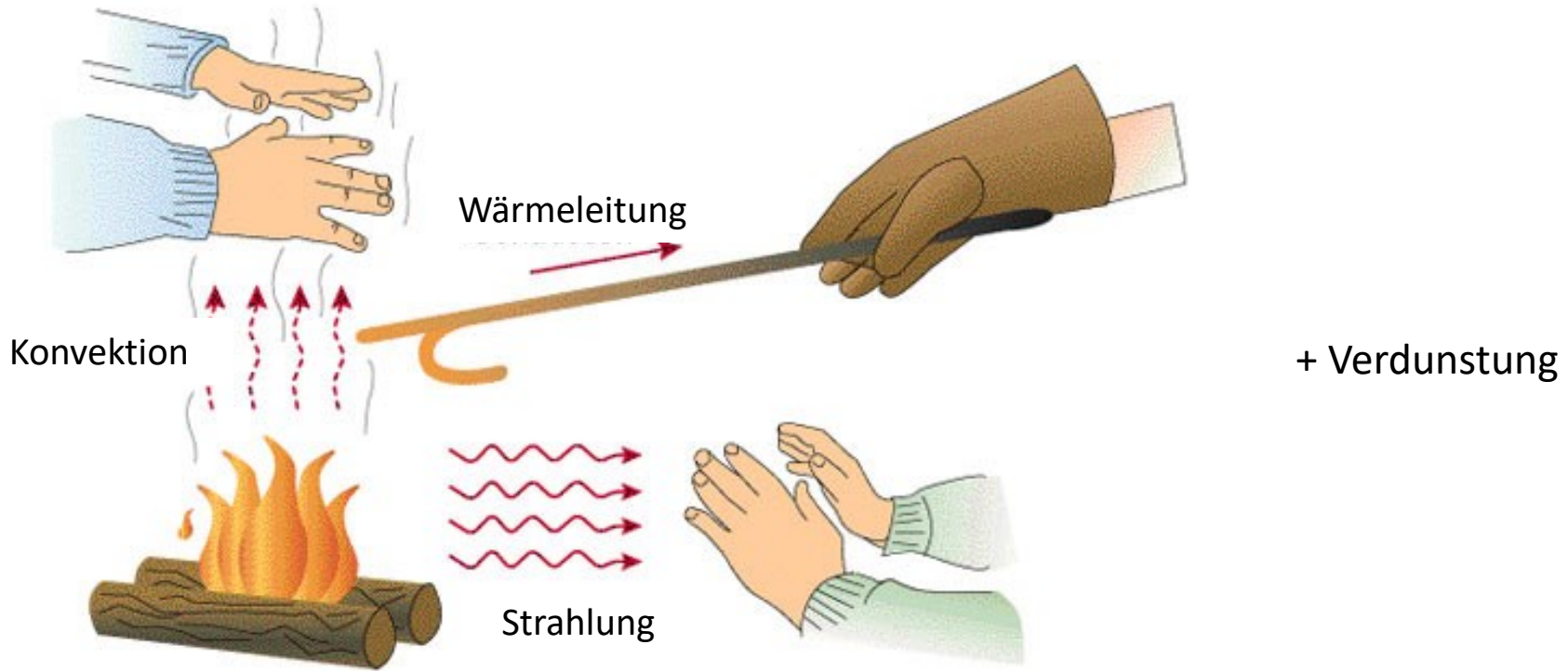


thermisches Gleichgewicht kann auch mit Strahlung erreicht werden

Spektrum der Sonnenstrahlung



Wärmeaustauschmöglichkeiten



2 m² Hautoberfläche, Raumtemperatur

Strahlung → $\approx 100W$

Wärmeleitung → $\leq 1W$

Konvektion → $\approx 10W$

Verdunstung → $\approx 10W$

Metabolismusrate: 2000kcal/Tag = 9MJ/Tag, im großen Teil wird mit Strahlung verliert.

Stephan-Boltzmann

$$M_{\text{tot}} = \sigma \cdot T^4$$

$$\sigma = 5.7 \times 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2 K^4} \right]$$

Wien-Verschiebung

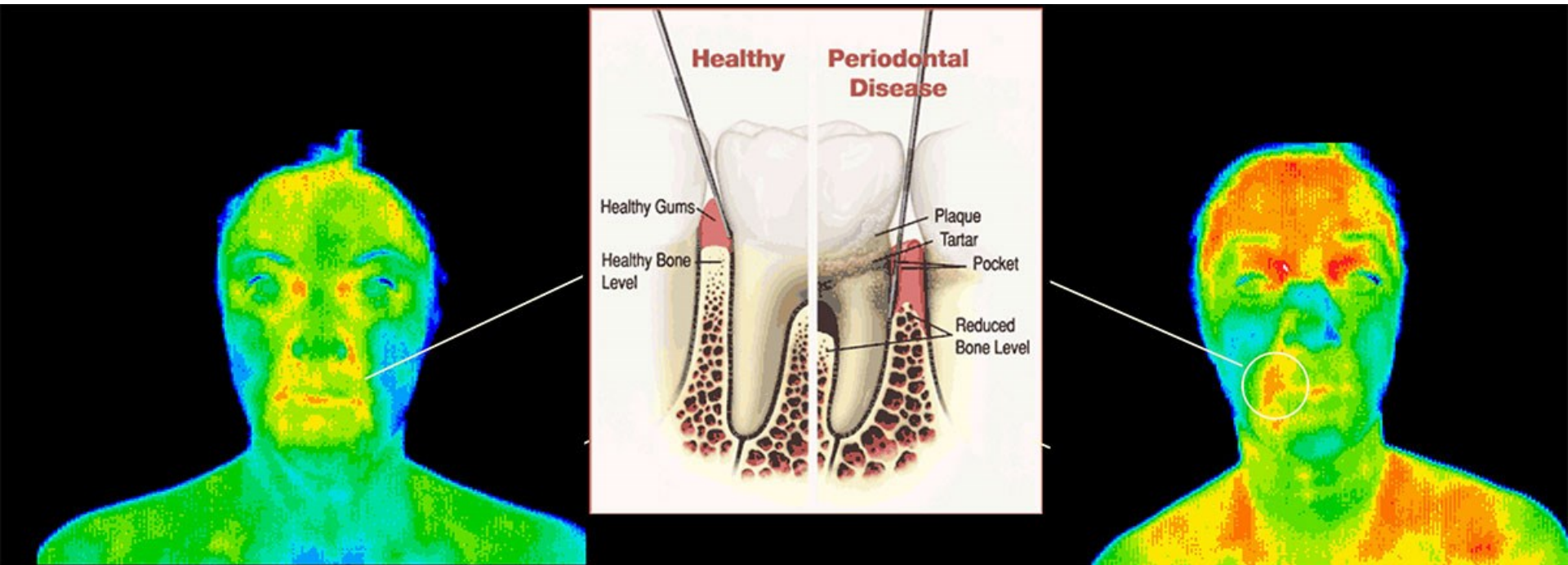
$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2.898 \cdot 10^6 \text{ K} \cdot \text{nm}$$

Hautoberfläche $\lambda_{\text{max}} = 7 \dots 15 \mu\text{m}$

Infrarotdiagnostik ist sehr empfindlich

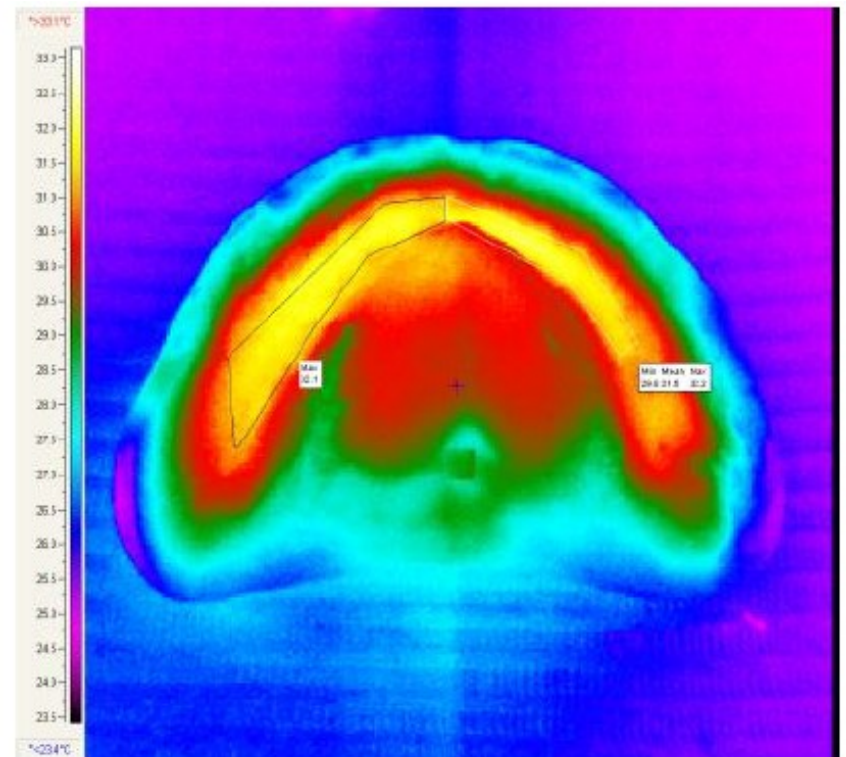
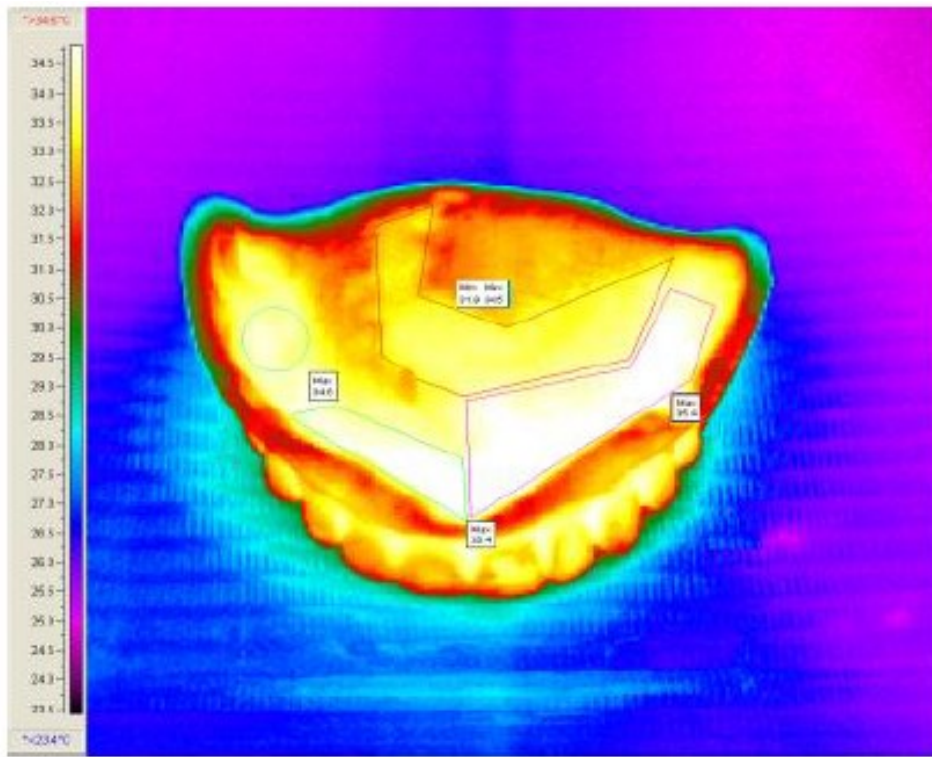


Eine erhöhte Metabolismusrate ist einfach nachweisbar.



$$M = \frac{\Delta E}{\Delta A \cdot \Delta t} = \sigma T^4 \quad \text{aber Einstrahlung und Ausstrahlung sind beide möglich}$$

$$\Delta E_{\text{verlust}} = M_{\text{ein}} - M_{\text{aus}} = \sigma T_{\text{Körper}}^4 - T_{\text{Umgebung}}^4$$



Wie gut die Zahnprothese passt?

Der Kiefer erwärmt die Zahnprothese an der Kontaktfläche.

