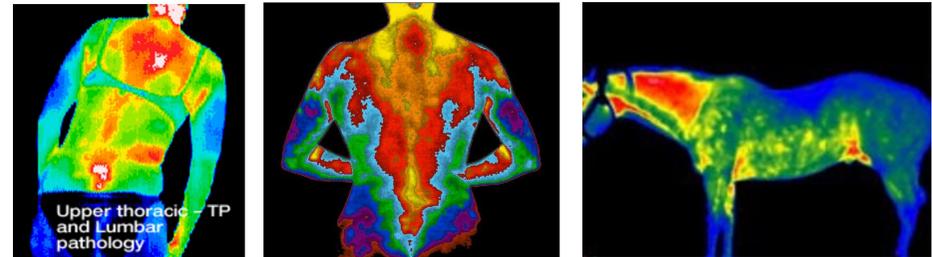


Tempertaturstrahlung (warmes Licht)

Lumineszenz, Laser (kaltes Licht)

1

Temperaturstrahlung



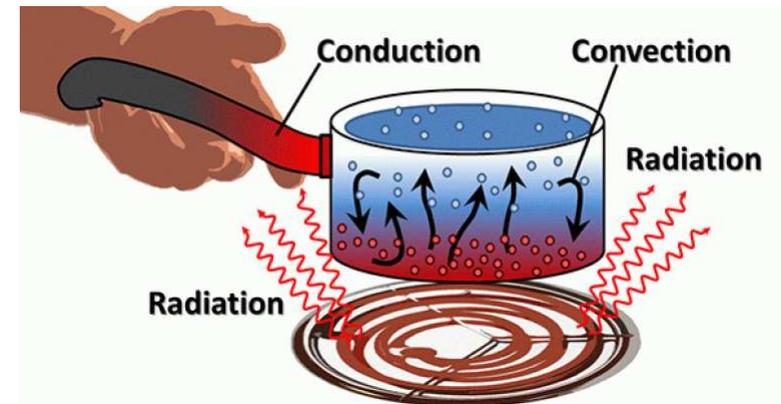
2

Wärmetransport

- **Wärmestrahlung** ist eine elektromagnetische Strahlung, die jeder Körper abhängig von seiner Temperatur emittiert (aussendet).
- Wärmestrahlung ist, neben den weiteren Methoden Konvektion und Konduktion, ein Mechanismus zum Transport von thermischer Energie von einem Ort zu einem anderen und niemals mit dem Transport von makroskopischen Teilchen verknüpft.

3

Wärmetransport illustrativ



Temperaturstrahlung:

4

Konvektion

- von lat. *convehere* = mittragen, mitnehmen
- Mechanismus zur Wärmeübertragung von thermische Energie von einem Ort zu einem anderen. Konvektion ist stets mit dem Transport von Teilchen verknüpft, die thermische Energie mitführen.
- Konvektion ist in Gasen oder Flüssigkeiten kaum zu vermeiden
- **freie** oder **natürliche Konvektion**,
- **erzwungene Konvektion**, Gebläse oder eine Pumpe,

5

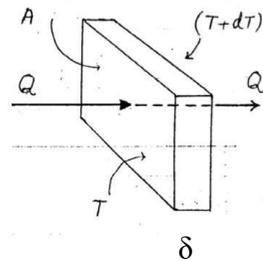
Konduktion

- Unter **Wärmeleitung**, auch **Wärmediffusion** oder **Konduktion** genannt, wird in der Physik der Wärmefluss in einem Kontinuum (Feststoff oder ruhendes Fluid) infolge eines Temperaturunterschiedes verstanden.
- *ein* Mechanismus zum Transport von thermische Energie von einem Ort zu einem anderen und *niemals* mit dem Transport von Teilchen verknüpft.

6

Konduktion

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{\delta} A (T_{W_1} - T_{W_2})$$



Einheit für \dot{Q} : W (Watt)

Hierbei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

- T_{W_1} die Temperatur der wärmeren Wandoberfläche
- T_{W_2} die Temperatur der kälteren Wandoberfläche
- A die Fläche, durch die die Wärme strömt,
- λ die Wärmeleitfähigkeit, eine meist temperaturabhängige Stoffgröße
- δ die Dicke der Wand.

Metalle sind gute Wärmeleiter

7

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.

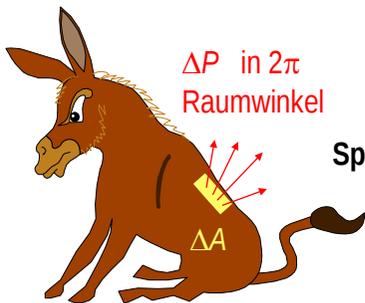
Strahlungsgleichgewicht: emittierte und absorbierte Leistungen müssen im thermischen Gleichgewicht gleich sein.

9

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):

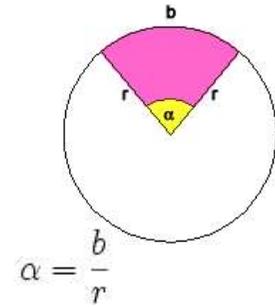
$$\alpha = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{einfallende Energie}}$$

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

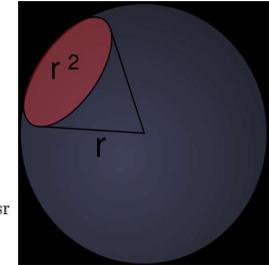
11

Raumwinkel

Winkel: Das **Bogenmaß** ist ein Winkelmaß.
Das Bogenmaß, Definition am Kreissektor:
Das Bogenmaß eines Winkels α (aufgefasst als Zentriwinkel eines Kreises) ist definiert als das Verhältnis der Länge des Kreisbogens b zum Radius r :



Der **Raumwinkel** Ω ist als geometrische Größe des dreidimensionalen Raumes das Pendant zum (für die Ebene definierten) Winkel.
Er kann definiert werden als Teilfläche S einer Kugel, dividiert durch das Quadrat des Radius r der Kugel:



Da die ganze Kugeloberfläche den Flächeninhalt $S = 4\pi r^2$ besitzt, ist der zugehörige volle Raumwinkel $\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{sr} \approx 12,57 \text{sr}$

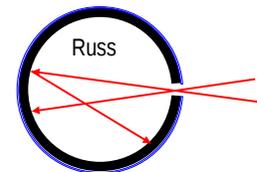
Kirchhoffsches Strahlungsgesetz:

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

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.



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

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

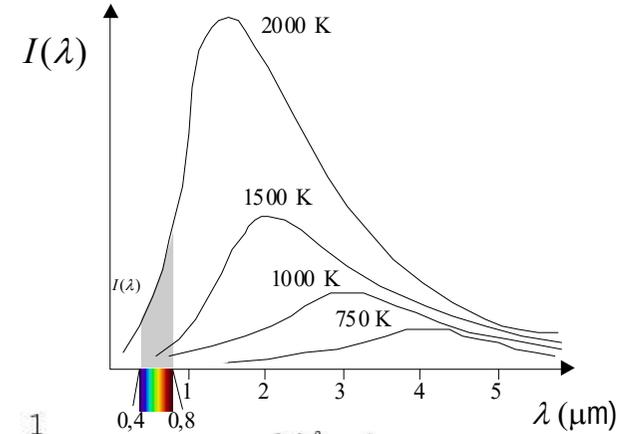
Hohlraumstrahlung

12



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

Spektrum des absolut schwarzen Körpers



$$I(\lambda) = \frac{C}{\lambda^5} \frac{1}{e\left(\frac{c}{\lambda T}\right)}$$

Wien

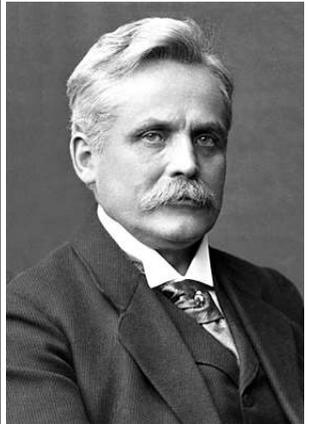
$$I(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right) - 1}$$

Planck

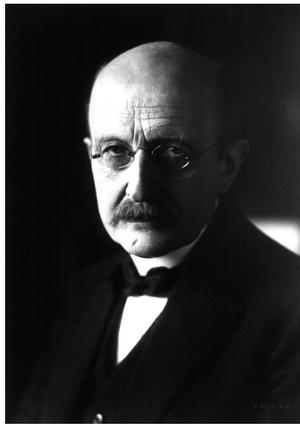
$$I(\lambda) = \frac{2\pi ckT}{\lambda^4}$$

Rayleigh

Spektrum des absolut schwarzen Körpers



Wilhelm Wien
1864 - 1928

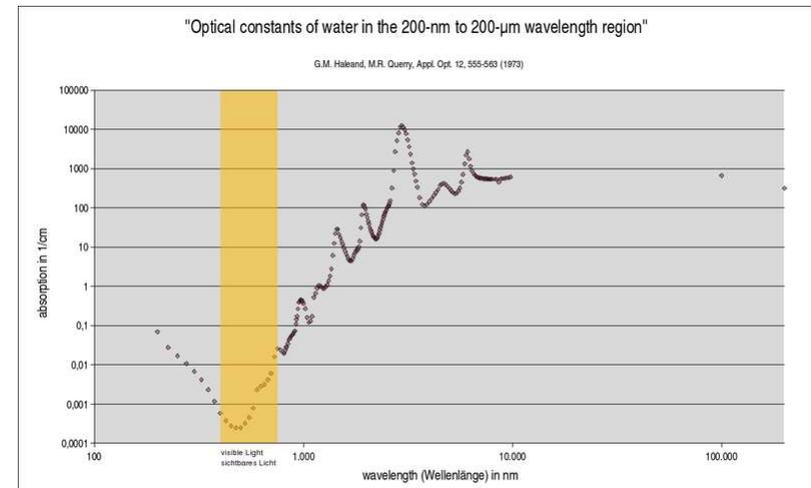


Max Planck
1858 - 1947

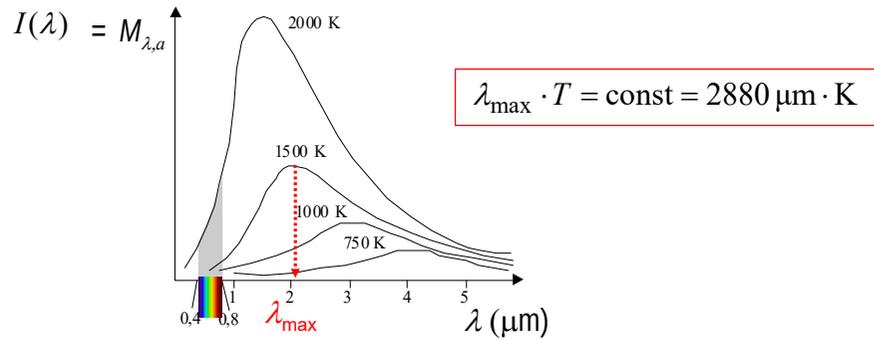


John William Strutt,
III. Lord Rayleigh,
1842 - 1919

Absorptionsspektrum des Wassers im Bereich von 200 nm bis 0.1 mm



Wiensches Verschiebungsgesetz



Verschiebung des Maximums mit der Temperatur

17

Zwei Darstellungen

$$\tilde{M}_{\lambda}^o(\lambda, T) = \frac{2\pi c}{\lambda^4} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad \tilde{M}_{\nu}^o(\nu, T) = \frac{2\pi \nu^2}{c^2} \frac{1}{e^{\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} - 1}$$

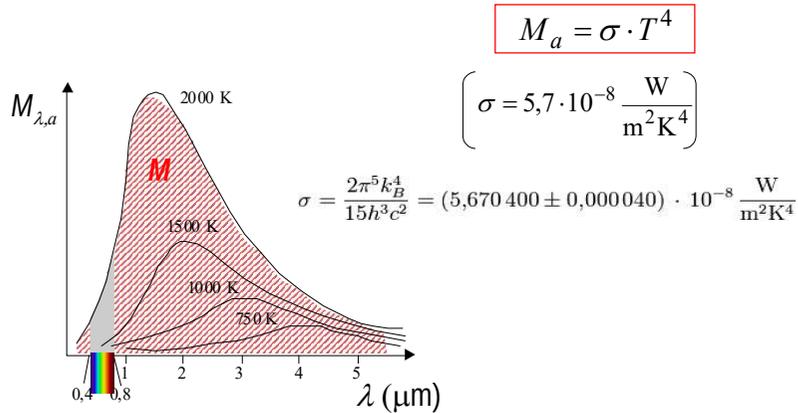
$$\lambda_{\max} = \frac{hc}{xkT} =: \frac{b}{T} = \frac{2897,8 \mu\text{m} \cdot \text{K}}{T}$$

$$\nu_{\max} = \frac{xkT}{h} = 3,320578 \cdot 10^{10} \text{ Hz K}^{-1} \cdot T$$

$$c = \lambda \nu$$

18

Stefan-Boltzmannsches Gesetz



hohe spezifische Ausstrahlung bei hohen Temperaturen

19

Stefan-Boltzmann...



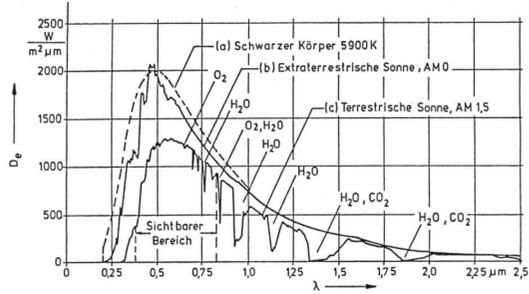
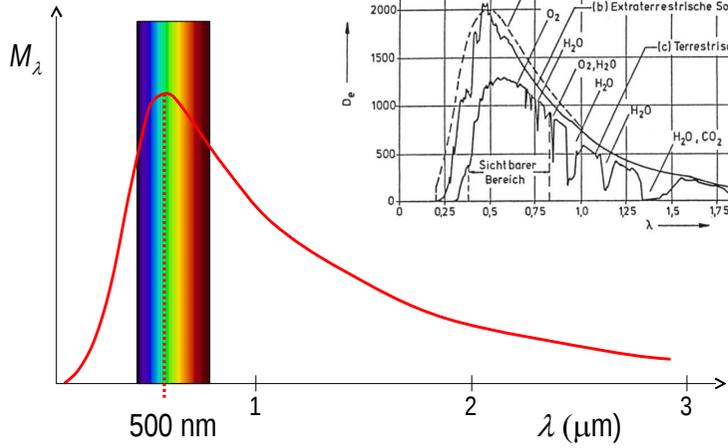
Josef Stefan
1835 – 1893
slovenian



Ludwig Eduard Boltzmann
1844 - 1906

z. B. Das Spektrum der **Sonne**:

$T = 500 \text{ K} (= 6000 \text{ K})$



21

Ein reeles Beispiel: Spektrum aus der Sonne durch den Fenster



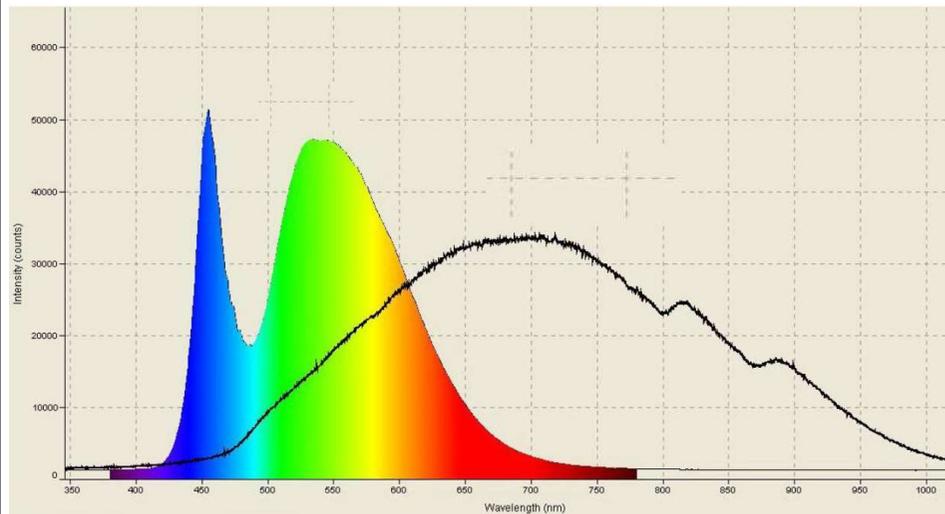
Labor

die Einhüllende Funktion ist für $T = 5800 \text{ K}$

mit der Fraunhofer-Linien



Spektrum von weißes LED

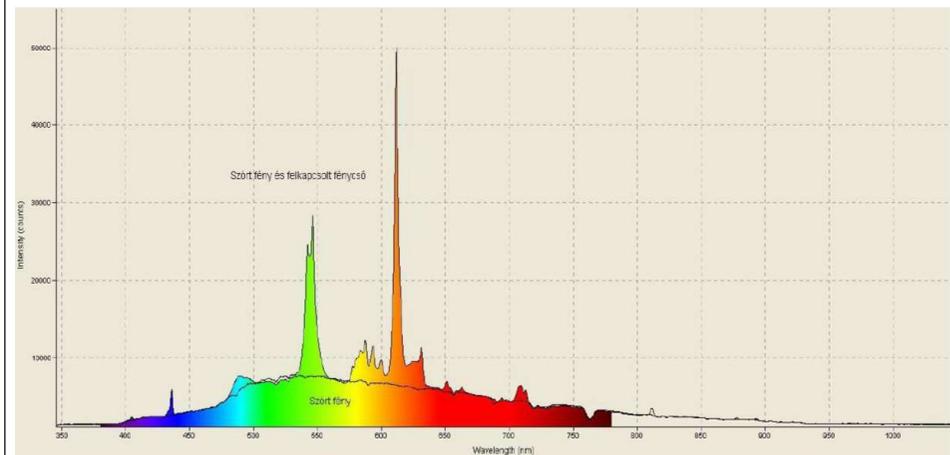


Das Spektrum von Gestreutes Sonnenlicht plus Leuchtstofflampe

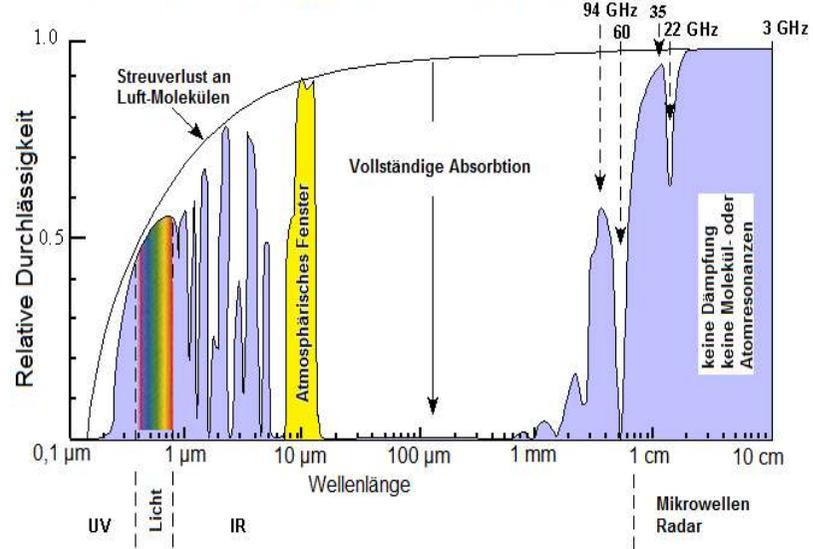
im Hörsaal



+



Durchlässigkeit elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre

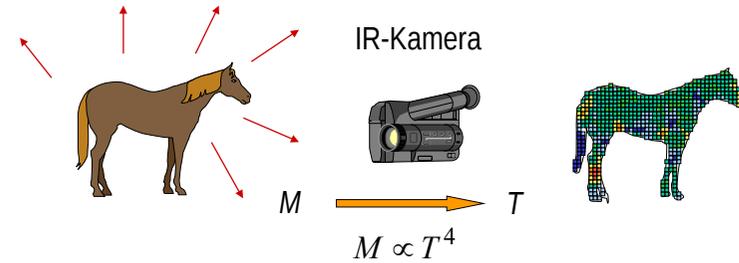


25

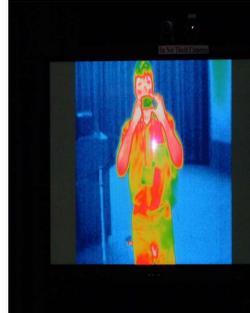
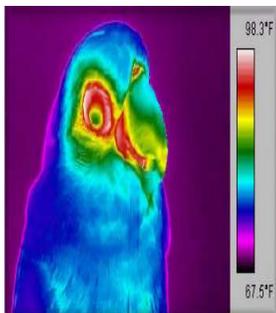
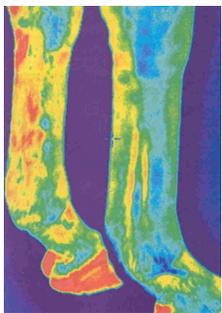
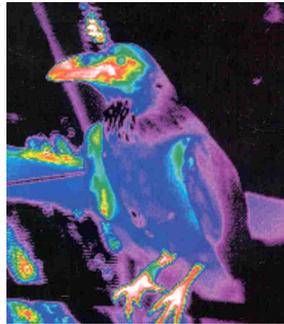
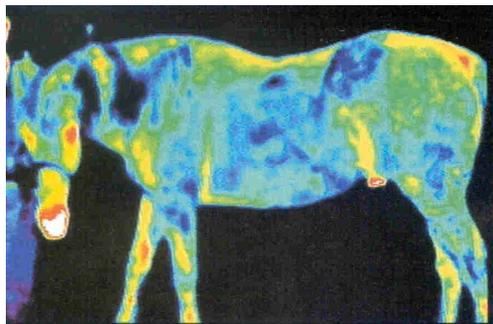
Anwendungen 1: IR Diagnostik (Telethermographie)

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

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

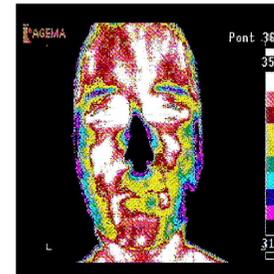


26

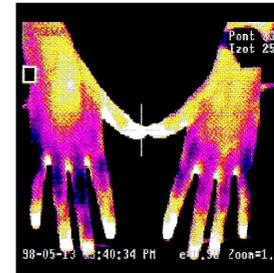
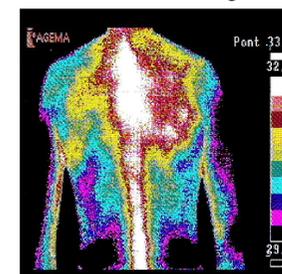


Im NASA Museum ☺

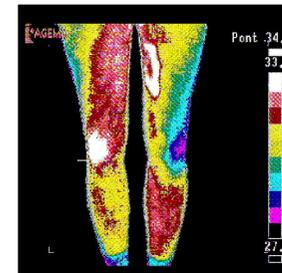
Gesichtshöhlenentzündung



Muskelzerrung



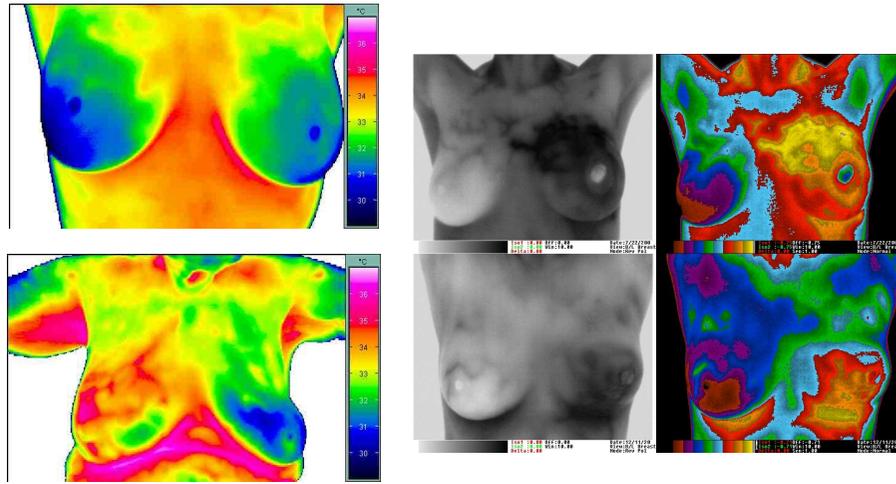
Gelenkentzündung



Chondrolyse und Thrombose

28

gesund



Brustkrebs

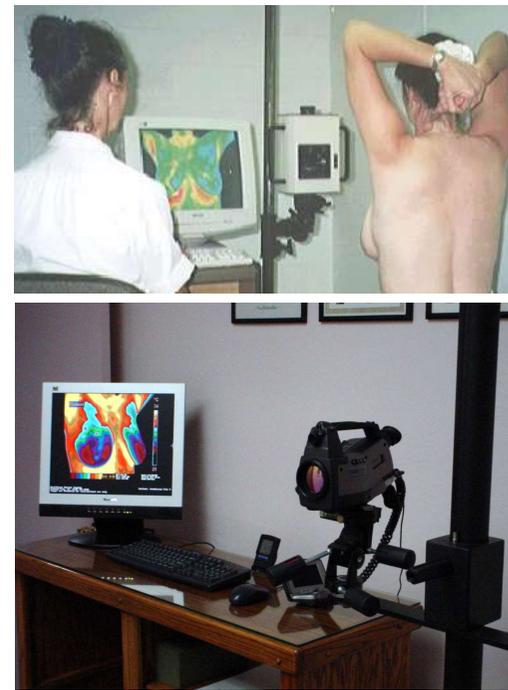
IR-Thermographie

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.



Körpertemperatur von Seuge(tieren)

ANIMAL	AVERAGE		RANGE	
	°C	°F	°C	°F
Hengst	37.6	99.7	37.2-38.1	99.0-100.6
Stute	37.8	100	37.3-38.2	99.1-100.8
Esel	37.4	99.3	36.4-38.4	97.5-101.1
Kamel	37.5	99.5	34.2-40.7	93.6-105.3
Rindfleisch kuh	38.3	101	36.7-39.1	98.0-102.4
Milchkuh	38.6	101.5	38.0-39.3	100.4-102.8
Schaf	39.1	102.3	38.3-39.9	100.9-103.8
Ziege	39.1	102.3	38.5-39.7	101.3-103.5
Schwein	39.2	102.5	38.7-39.8	101.6-103.6
Hund	38.9	102	37.9-39.9	100.2-103.8
Katze	38.6	101.5	38.1-39.2	100.5-102.5
Hase	39.5	103.1	38.6-40.1	101.5-104.2
Huhn	41.7	107.1	40.6-43.0	105.0-109.4

From Andersson BE, Jönasson H. Temperature regulation and environmental physiology. In: Swenson MJ, Reece WO, eds. Dukes' Physiology of Domestic Animals. 11th Ed. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1993.

Körpertemperatur von Tieren

Die Rektum gemessene Temperatur liegt bei Ratten bei 37,5 – 38,5 °C,
 bei der Spitzmaus bei 34,0 – 37,0 °C, bei Seebären bei 37,0 – 38,5 °C,

Heinz Penzlin: Lehrbuch der Tierphysiologie. 7. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag,
 Heidelberg 2005,
 ISBN 978-3-8274-2114-2 S. 463.

Funkelndes Veilchenohr (Colibri coruscans)
 „... having body temperatures as low as 8 °C
 during night compared to its daytime body temperature of 36 °C...”



Wolf BO, McKechnie AE,
 Schmitt CJ, Czenze ZJ, Johnson AB, Witt CC.

Extreme and variable torpor among high-
 elevation Andean hummingbird species.
 Biol. Lett. 16: 20200428. (2020)
<http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2020.0428>

Anwendungen 2: Wärmehaushalt

Stoffwechselprozesse \Rightarrow Wärme
konstante Körpertemperatur



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
(+ Wärmeleitung)

33

Anwendungen 3: Wärmetherapie (IR-Lampen)



Glühlampen
T = 2000-3000 K

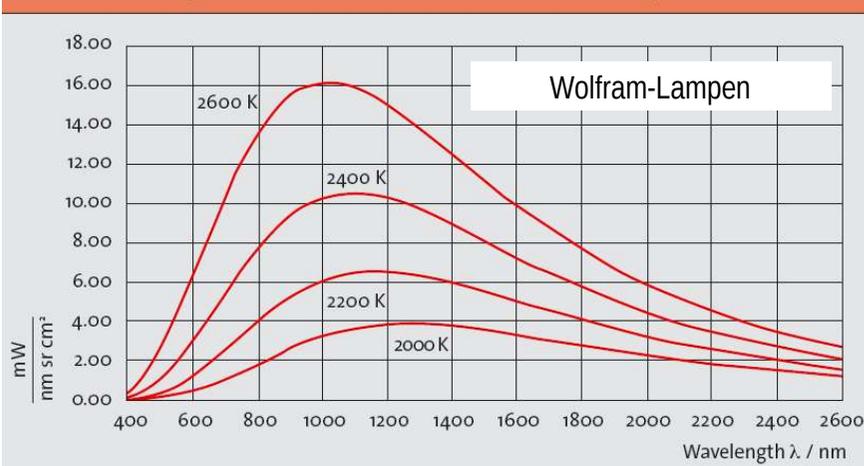


34

höhere Temperaturen:
Tageslichtlampe

niedrigere Temperaturen:
IR-Lampen

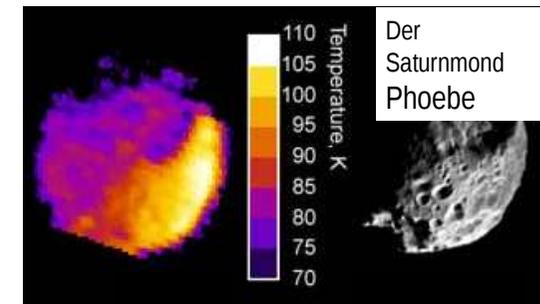
Tungsten Emission for Four Different True Temperatures



35

Weitere Anwendungen

Bestimmung von
Oberflächentemperaturen



Der Saturnmond
Phoebe

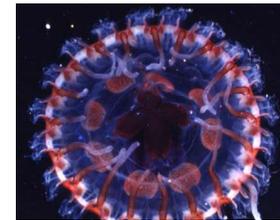
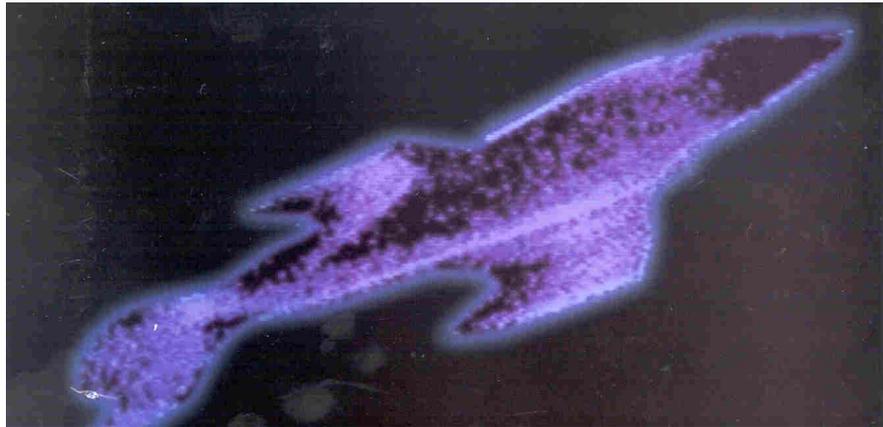


Sehen im ganz dunklen

36



Lumineszenz Kaltes Licht



- Entstehung der Lumineszenz
- Eigenschaften
- Fluoreszenz und Phosphoreszenz
- Messung
- Anwendungen
 - Labordiagnostik
 - Untersuchung von biol. Makromolekülen
 - Biosensoren
 - Lumineszenzmikroskopie
 - Lampen
 - Strahlungsdetektoren
 - Monitore
- Biolumineszenz

Entstehung des Lumineszenzlichtes

Lumineszenz: Lichtemissionüberschuss eines Körpers im Vergleich zu seiner Temperaturstrahlung.

Lumineszenz hat einen schwachen Zusammenhang mit der Temperatur des Körpers

→ „kaltes Licht“

Linien- o. Bandenspektrum im UV/VIS Bereich

→ Elektronenanregungen

DEFINITION Lumineszenz ist die optische Strahlung eines physikalischen Systems, die beim Übergang von einem angeregten Zustand zum Grundzustand entsteht (strahlende Desaktivierung). Je nach Art der Anregung unterscheidet man verschiedene Arten der Lumineszenz:



Klassifizierung der Lumineszenz nach der Anregungsart

Art der Anregung	Name	Beispiel
Licht	Photolumin.	Chinin-sulphat, Phosphor, ...
Röntgenstr.	Röntgenolumin.	NaI (Tl)
radioaktive Str.	Radiolumin.	NaI (Tl)
elektrisches Feld	Elektrolumin.	Quecksilberlampen
mechanische Wirkung	Tribolumin.	Würfelzucker
chemische Reaktion	Chemolumin. (Biolumin.)	Glühwürmchen
Wärme	Thermolumin.	CaSO ₄ (Dy)

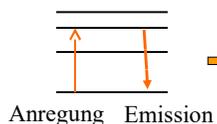
- **Elektrolumineszenz:** Die Anregung des Systems durch elektrischen Strom (Beispiel: Leuchtdioden, EL-Folien oder OLEDs).
- **Kathodolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Beschuss mit Elektronen (Beispiel: Fernsehbildschirm).
- **Photolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Photonen. Dabei unterscheidet man je nach Zeitdauer zwischen Anregung und Emission des Lichtes zwischen Phosphoreszenz und Fluoreszenz.
- **Chemolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch eine chemische Reaktion (Beispiel: Luminol zum Nachweis von Blut).
- **Biolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch eine chemische Reaktion in lebenden Organismen (Beispiel: Oxidation von Luciferin im Leuchtkäfer).
- **Tribolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Reibung oder Auseinanderreißen; z.B. bei Zuckerkrystallen oder beim Öffnen von selbst klebenden Briefumschlägen.
- **Thermolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Wärmezufuhr. (Beispiel: Glühlampen)
- **Sonolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Schallwellen (in Flüssigkeiten).
- **Crystallolumineszenz** bzw. **Kristallolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt beim Kristallisierungsvorgang einzelner Materialien (z.B. Arsen trioxid)
- **Radiolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Bestrahlung mit Alpha- oder Beta-Strahlung bzw. durch Röntgenstrahlung (ähnlich Thermolumineszenz)
- **Superlumineszenz:** Die Anregung des Systems kann nur durch spontane Emission erzeugtes Licht, das durch stimulierte Emission in einem Lasermedium optisch verstärkt wird, erfolgen.
- **Ionolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch hochenergetische Partikelstrahlung z.B. Alpha-Pakete (Heliumkerne)
- **Piezolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Pressen von Quarzen verwandt mit Piezoelektrizität.
- **Fractolumineszenz:** Die Anregung des Systems erfolgt durch Zerschneiden diverser Kristalle.

41

Video

Triboluminescence [Triboluminescence](https://www.youtube.com/watch?v=MzBXXmcaf2M)
<https://www.youtube.com/watch?v=MzBXXmcaf2M>

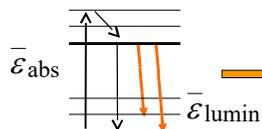
Atome: $E = E_{el}$



Linienpektrum

z.B. Na

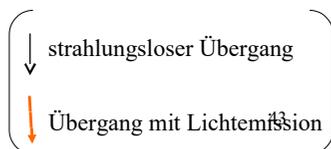
Moleküle: $E = E_{el} + E_v (+ E_r)$



Linien, Banden in dem Emissionsspektrum

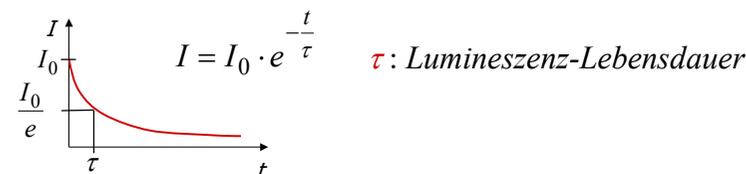
z.B. Fluoreszein

$$\bar{\epsilon}_{lumin} \leq \bar{\epsilon}_{abs}$$



Eigenschaften des Lumineszenzlichtes

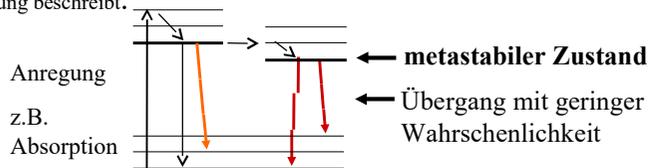
- Linien-, oder Bandenspektrum
- Stokes-Regel $\left[\bar{\epsilon}_{lumin} \leq \bar{\epsilon}_{abs} \right]$
- exponentieller Abkling nach der Anregung



44

Fluoreszenz und Phosphoreszenz

DEF: Die verschiedenen Arten der Lumineszenz können auch nach der Dauer des Leuchtens nach Ende der Erregung eingeteilt werden. Ein sehr kurzes Nachleuchten (meist < einer millionstel Sekunde) als unmittelbare Folge und Begleiterscheinung der Anregung bezeichnet man mit dem Begriff der Fluoreszenz, wohingegen Phosphoreszenz ein längeres Nachleuchten von mindestens 1/1000 Sekunde nach der Anregung beschreibt.

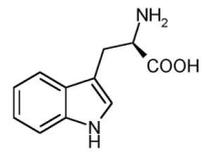


Fluoreszenz Phosphoreszenz

$$\bar{\epsilon}_{\text{phos}} \leq \bar{\epsilon}_{\text{fluo}} \leq \bar{\epsilon}_{\text{abs}}$$

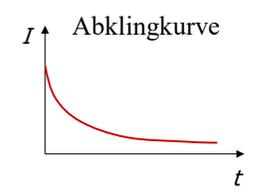
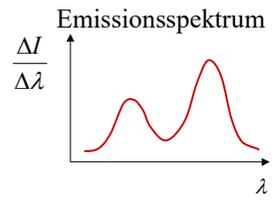
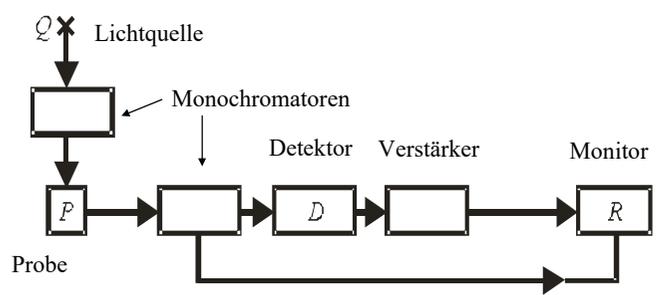
$$\bar{\lambda}_{\text{abs}} \leq \bar{\lambda}_{\text{fluo}} \leq \bar{\lambda}_{\text{phos}}$$

$$\bar{\tau}_{\text{fluo}} \ll \bar{\tau}_{\text{phos}}$$

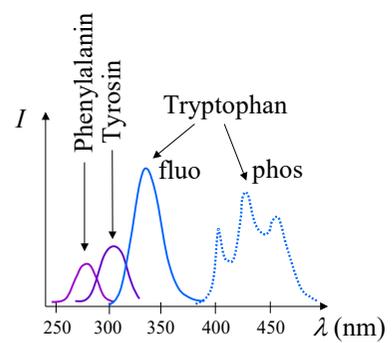


z. B. Tryptophan:
 $\bar{\lambda}_{\text{fluo}} = 340 \text{ nm}$
 $\bar{\lambda}_{\text{phos}} = 440 \text{ nm}$
 $\tau_{\text{fluo}} = 0,1 - 5 \text{ ns}$
 $\tau_{\text{phos}} = 0,001 - 5 \text{ s}$

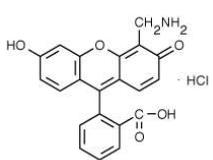
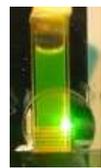
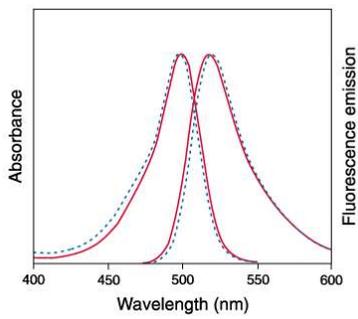
Messung – Aufbau eines Luminometers



Beispiele:



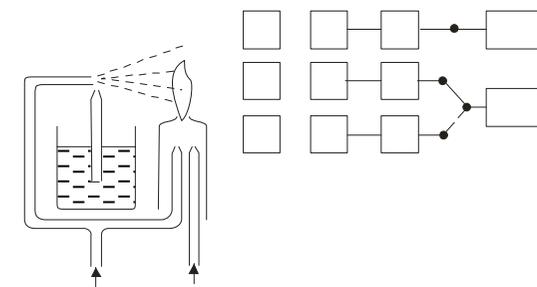
Fluorescein



Anwendungen

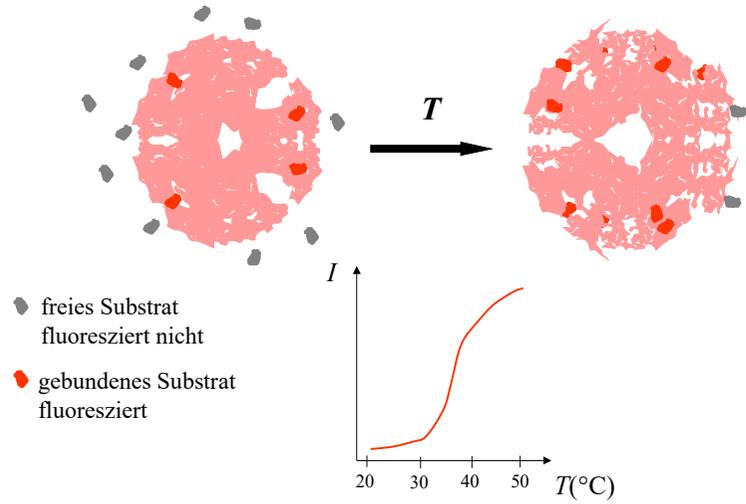
1. Labordiagnostik

z. B. Konzentrationsbestimmung von Na, K, ... mit Hilfe des Flammenphotometers



2. Untersuchung von biol. Makromolekülen (Proteine, DNA,...)

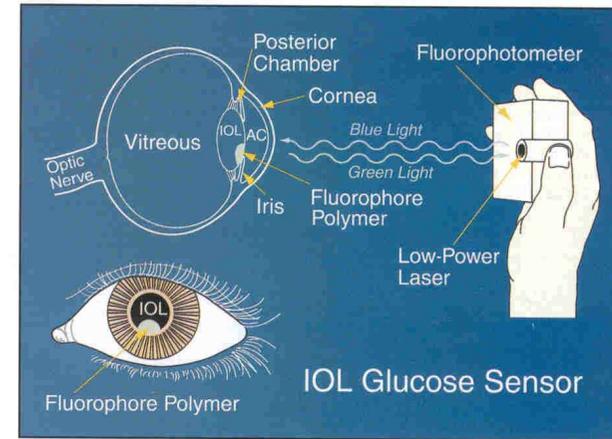
z.B. Chaperon-Aktivität von α -Crystallin



49

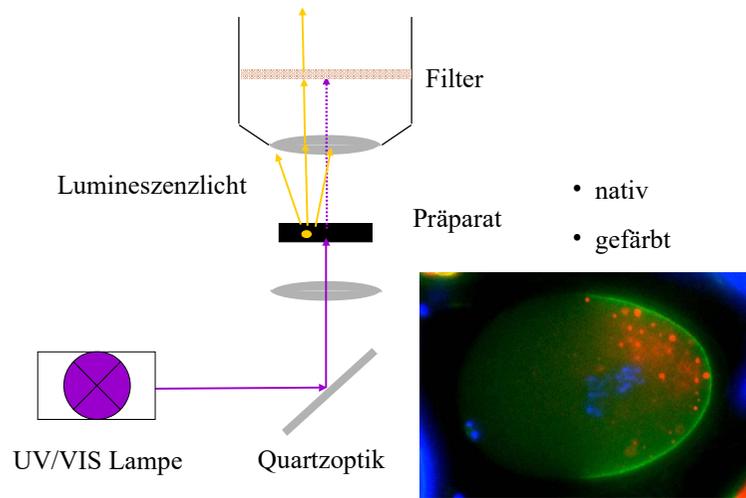
3. Biosensoren

z.B. Ca-, pH, O₂-Indikatoren, oder Glukosesensor

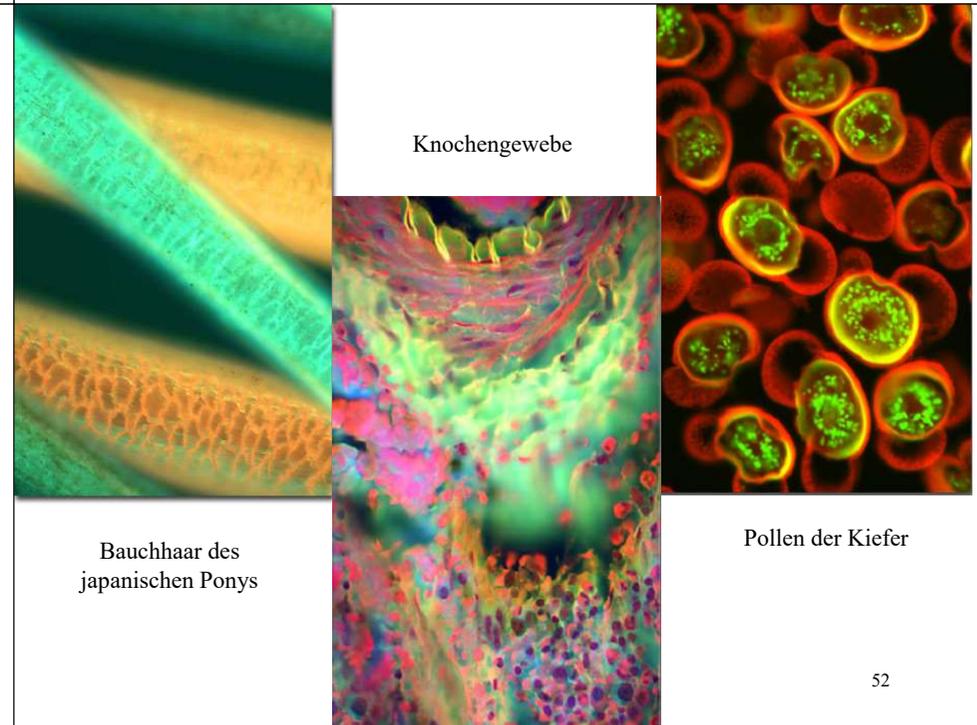


50

4. Lumineszenzmikroskopie



51



52

Tiefsee - bioluminescente Tiere



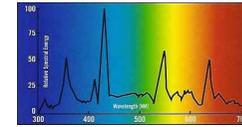
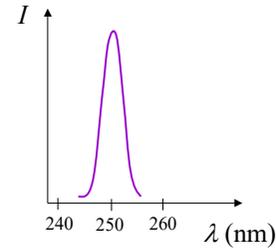
Leuchtkrebs *Meganctiphanes norvegica* (Krill)

Luminescente Tiere [BBC Deep Sea Bioluminescence.avi](#)
 BBC Deep Sea Bioluminescence on Prefuse 73's Digan Lo

<https://de.wikipedia.org/wiki/Biolumineszenz> <https://de.wikipedia.org/wiki/Leuchtorgan>

5. Lumineszenzlampen

- Natriumlampen
- Quecksilberlampen:
- Germizidlampe



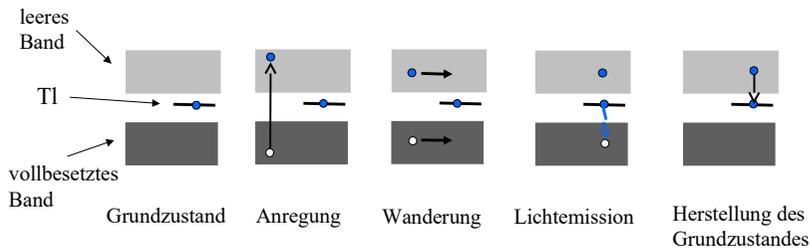
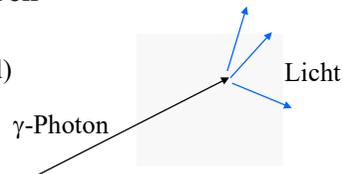
- Quartzlampe, Solariuml.
- Leuchtröhren

s. Absorptionsspektrum von DNA \Rightarrow Bakterizidwirkung (Entkeimung in OP-Räumen)

z.B. photodynamische Therapie

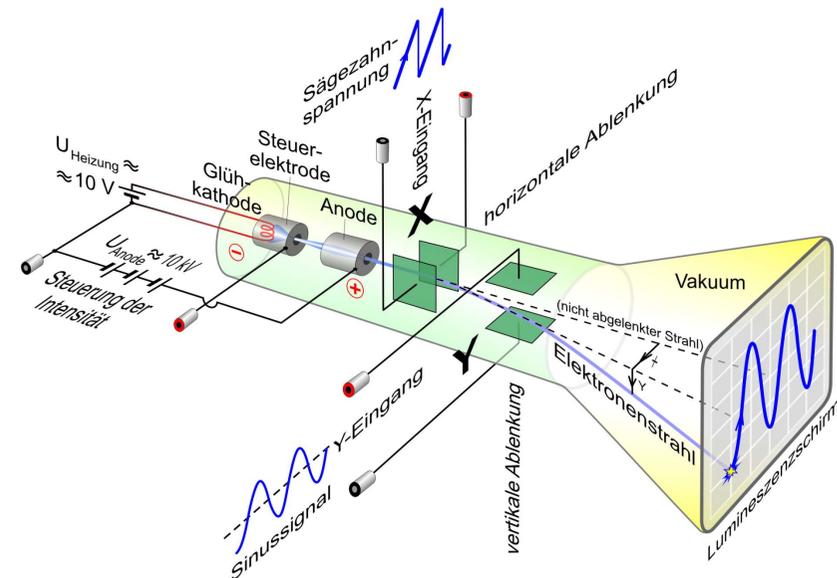
6. Strahlungsdetektoren

z.B. NaI(Tl)



7. Monitore

z. B. Kathodenstrahlröhre



Laser

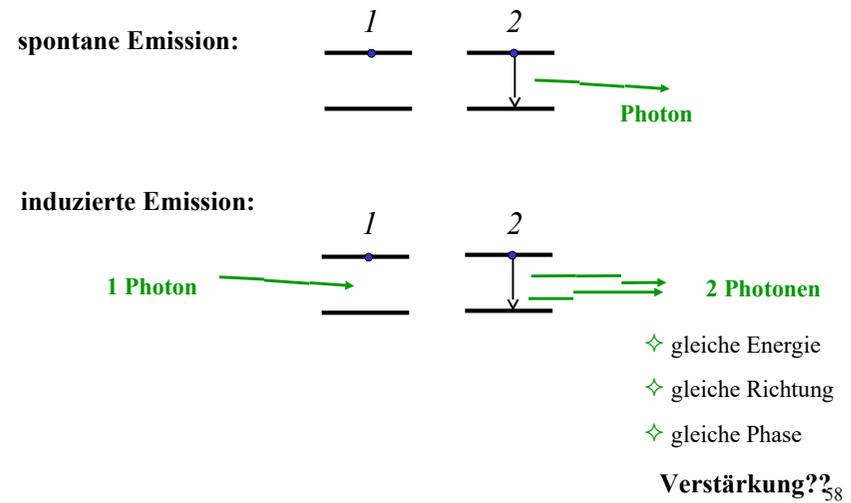
LASER = light amplification by stimulated emission of radiation



- ❖ Induzierte Emission
- ❖ Populationsumkehr
- ❖ Entstehung des Laserlichtes - Rubinlaser
- ❖ Eigenschaften des Laserlichtes
- ❖ Lasertypen
- ❖ Anwendungen

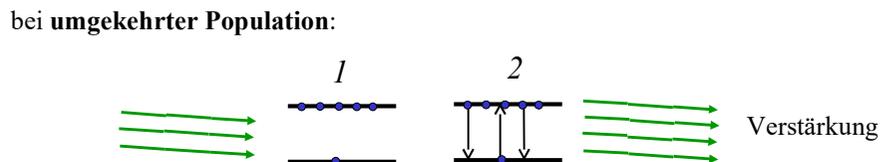
57

Induzierte Emission



Populationsumkehr

Absorption und induzierte Emission konkurrieren!



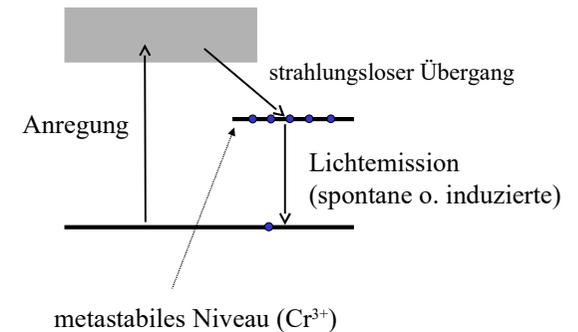
- ➔ 1. Drei-Niveau System
- ➔ 2. metastabiles Niveau

Entstehung des Laserlichtes – Rubinlaser

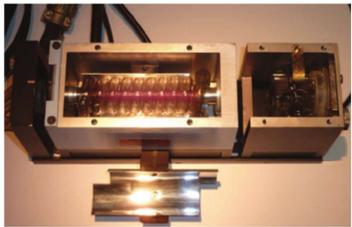
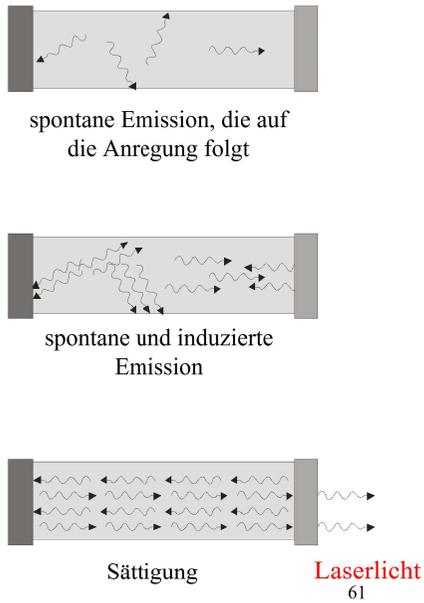
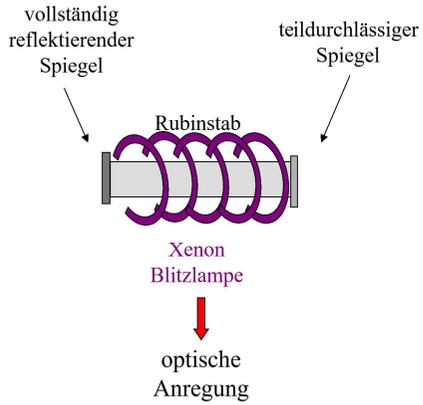


$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{Cr}^{3+})$
(Rubin)

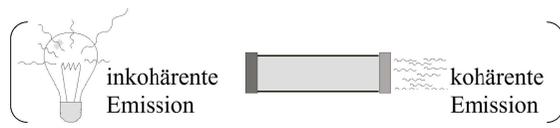
Drei-Niveau Lasersystem:



60



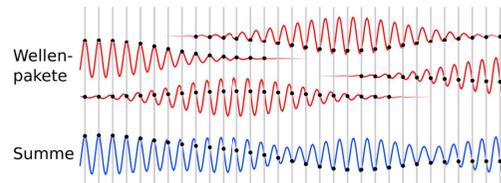
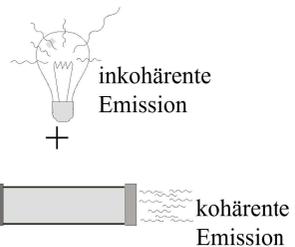
Eigenschaften des Laserlichtes

- ❖ monochromatisch $\left[\Delta f / f \approx 10^{-6} \right]$
- ❖ kohärent 
- ❖ kleine Divergenz $\left[\Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad} \right]$
- +
- ❖ hohe Intensität $\left[I \approx 10^{14} \text{ W/m}^2 \right]$
- ❖ polarisiert

Es ist eine gute Prüfungsfrage...

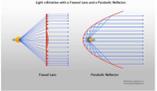
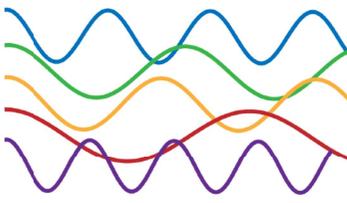
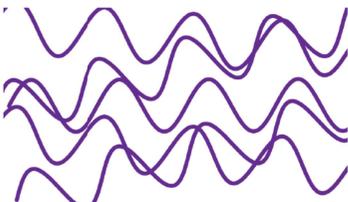
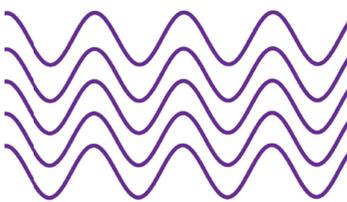
Kohärenz = Interferenzfähigkeit

Kohärenz (von lat.: cohaerere = zusammenhängen) bezeichnet in der Physik die Eigenschaft eines ausgedehnten Wellenfelds, dass die momentanen Auslenkungen an verschiedenen Orten sich zeitlich bis auf eine konstant bleibende Phasenverschiebung auf dieselbe Weise ändern. Als Folge kann bei der Überlagerung von kohärenten Wellen eine räumlich stationäre Interferenz sichtbar werden. Das Fehlen von Kohärenz wird als Inkohärenz bezeichnet.



Einzelne Wellenpakete gleicher Frequenz und unterschiedlicher Phase. Das Summensignal ergibt eine Kohärenzzeit in der Größenordnung, die der Dauer der einzelnen Wellenpakete entspricht.

Arten von Licht

weisses Licht 	kollimiertes weisses Licht 
	
	
monochromatisches Licht 	Laserlicht 

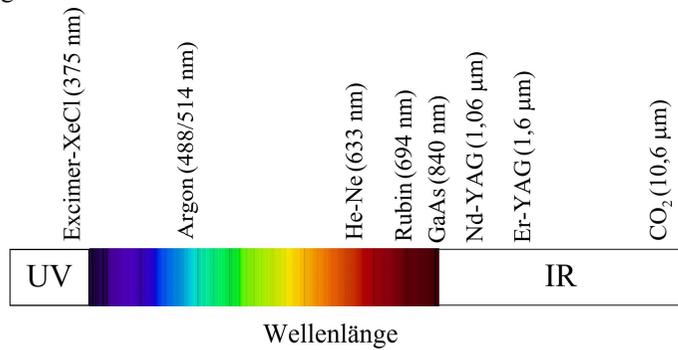
Lasertypen

Laserstoff:

- ◇ gasförmig (z. B. He-Ne, CO₂, Argon, Excimer)
- ◇ kristallin (z. B. Rubin, Nd-YAG, Er-YAG, Halbleiterdiode - GaAs)
- ◇ flüssig

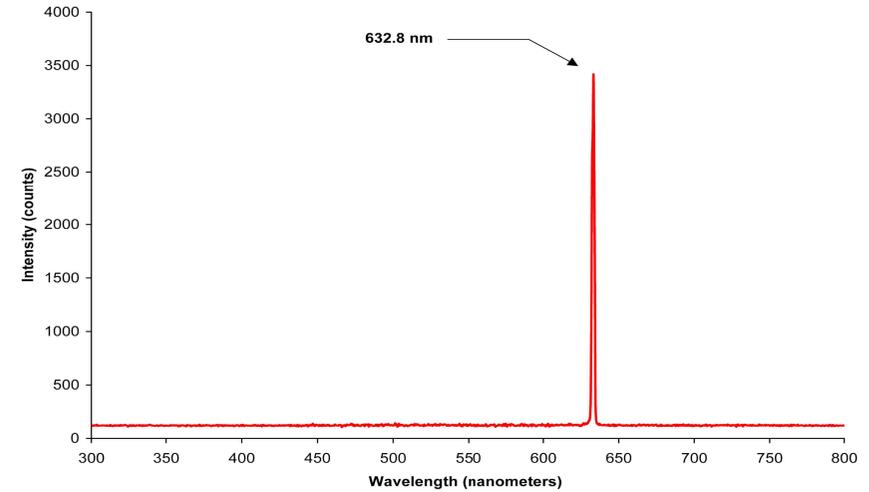
Betriebsart:

- ◇ impulsförmig,
- ◇ kontinuierlich



65

Spektrum von He-Na Gaslaser



https://en.wikipedia.org/wiki/Helium%E2%80%93Neon_laser

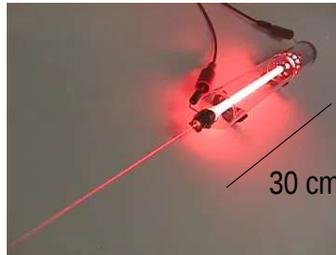
Lasertypen

Laserdiode

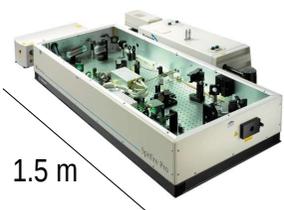
◇



He-Ne Gaslaser



Ti-Sapphire Festkörperlaser



neodymium glass Laser Vulcan, England eta. 50 m



Medizinische Anwendungen

- ◇ Labordiagnostik — z.B. Mikroskopie, optische Sensoren
- ◇ Klinische Diagnostik — z.B. Endoskopie, Laser-Doppler
- ◇ „Soft laser“ Therapie — z.B. Biostimulation
- ◇ Photodynamische Therapie — z.B. Tumorthherapie
- ◇ Laserchirurgie — z.B. Haut, Augenchirurgie
- ◇ Laserpinsette — z.B. „molekulare Chirurgie“

68

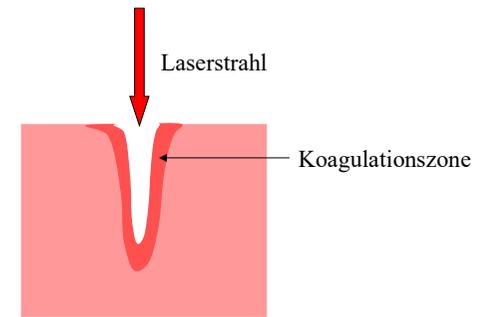
Laserchirurgie

Grundlage:

Absorption der Lichtenergie → Erwärmung des Gewebes

- ≈ 60-100 °C: **Koagulation** Proteine denaturieren, aggregieren, Gewebe verschmilzt.
- ≈ 150 °C: **Vaporisation** Wasser evaporiert explosionsartig.
- ≈ 300 °C: **Schneiden** Wasser evaporiert explosionsartig und gebrannte Gewebestückchen entfernen sich aus dem Körper.

69



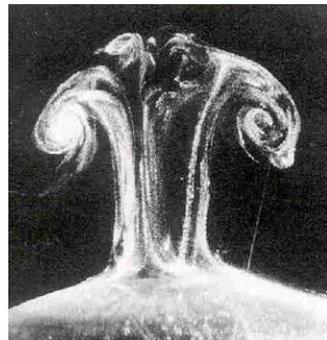
Vorteile der Laserchirurgie:

- ◇ feine, präzise Schnitte
- ◇ Blutung ist reduziert
- ◇ aseptisch
- ◇ möglich auch im innere des Körpers (Lichtleiter)
- ◇ selektive Behandlung von bestimmten Geweben

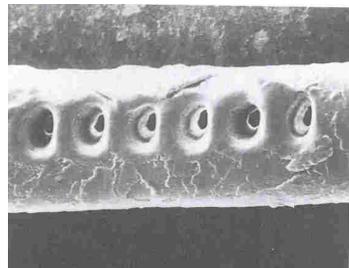
70



Laserbehandlung der Herzwand



Laserbehandlung der Hornhaut



Laserbohrungen durch ein menschliches Haar



Laserbohrung durch das Trommelfell

Veterinärmedizinische Beispiele



infizierte Tarsitis



nach 5 Laserbestrahlungen



nach 10 Laserbestrahlungen



Tumor in der Mundhöhle



Nase einer Katze mit Tumor



nach der Behandlung — Vaporisation mit Nd:YAG



nach 6 Wochen 72

Humanmedizinische



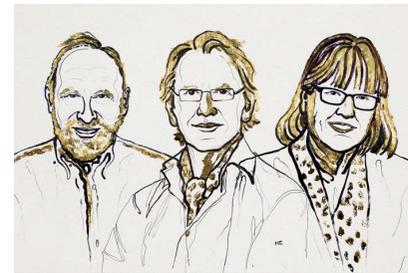
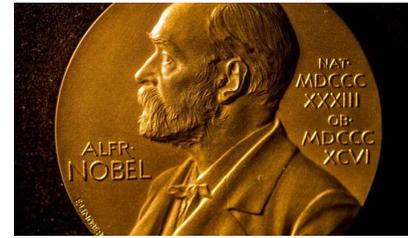
„port wine stain“
vor der
Lasertherapie

nach der
Laserbestrahlung



Entfernung von Fältchen 73

The Nobel Prize in Physics 2018

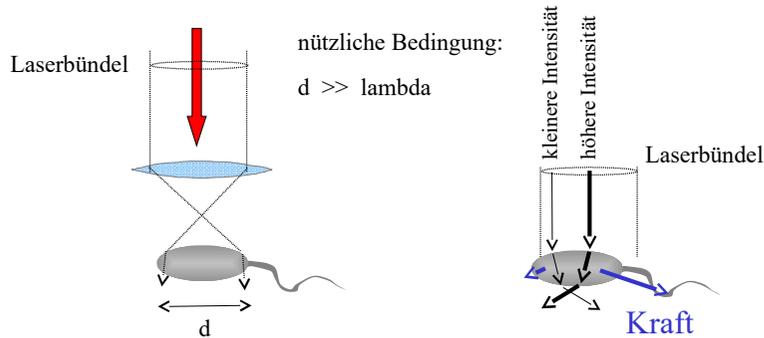


Der Nobelpreis für Physik wird dieses Jahr zur Hälfte an Arthur Ashkin „für die Entwicklung optischer Pinzetten und deren Anwendung in der Biologie“ verliehen, zur anderen Hälfte gemeinsam an Gérard Mourou und Donna Strickland „für die Entwicklung einer Methode, mit der sich hochenergetische, ultrakurze optische Pulse erzeugen lassen“. Mit ihren Arbeiten haben die in diesem Jahr ausgezeichneten Wissenschaftler die Laserphysik revolutioniert, so das Nobelpreiskomitee.

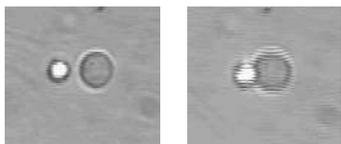


<https://www.weltdrphysik.de/thema/nobelpreis/nobelpreis-fuer-physik-2018>

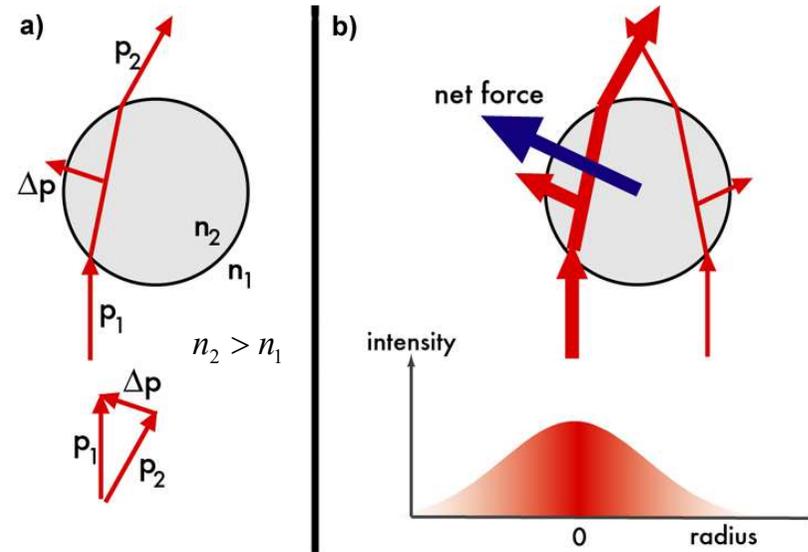
Laserpinzette



nützliche Bedingung:
 $d \gg \lambda$



Resultierende Kraft zeigt immer gegen die Mitte des Bündels. Bei Bewegung des Bündels, Objekt geht mit.



Zusammenfassung

9. Vorlesung

**Tempertaturstrahlung (warmes Licht)
Anwendungen**

Lumineszenz, Laser (kaltes Licht)

Youtube:

A tech 50 Lasertherapie Tiere:

<https://www.youtube.com/watch?v=2CCX92BWLS0>

Warum man in der Tiermedizin einen Laserkamm braucht

https://www.youtube.com/watch?v=EqlqpayY_ic

Wikipedia:

https://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Pinzette

77

Vielen Dank für ihre



Aufmerksamkeit!

Fragen, Bemerkungen, Kommentare?...

78