

Anwendung des Lichtes in Medizin und Pharmazie:

Entstehung des Lichtes,
Temperaturstrahlung, Infrarotdiagnostik
Fluoreszenzstrahlern,
Grundlagen der Emissionsspektroskopie

László Smeller

1

Das Licht, die wichtigsten physikalischen Größen

Licht: Lichtstrahl }
Welle } Energietransport!
Teilchen }

Energie [E] = Joule

Energiestrom = Leistung
[P] = W (Watt)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

← ΔE: die transportierte Energie während der Zeitspanne Δt



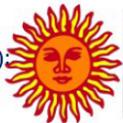
2

Größen zur Beschreibung des Energietransports

„Teilnehmer“ der Strahlungsvorgänge

Strahlungsleistung (P):

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \text{ (W)}$$



Strahlenquelle



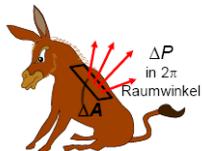
Strahlung



bestrahlter Körper

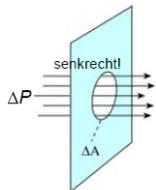
Spezifische Ausstrahlung (M):

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



Strahlungsintensität (J):

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



Bestrahlungsstärke (E):

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$



7

Entstehung des Lichtes

Temperaturstrahlung

Fluoreszenz

Quelle der Energie:

Thermische Energie
(Bewegungsenergie
der Teilchen)

Anregungsenergie des
Elektrons

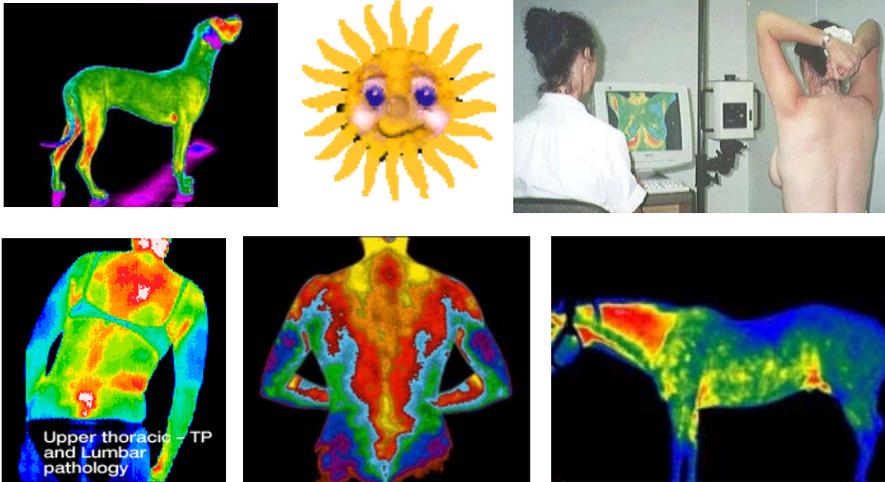
Braucht:

(Heiße) Körper

Angeregte Elektronen

4

Temperaturstrahlung



5

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.

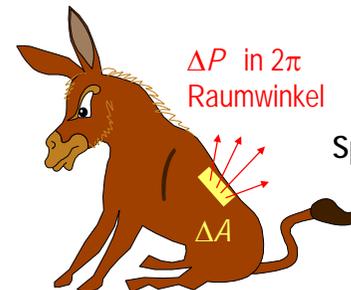
Strahlungsgleichgewicht: emittierte und absorbierte Leistungen müssen im thermischen Gleichgewicht gleich sein.

7

Größen zur Beschreibung der Temperaturstrahlung:

Spezifische Ausstrahlung (M):

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



Spektrale spezifische Ausstrahlung (M_λ):

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

Absorptionsgrad (α):

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

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

8

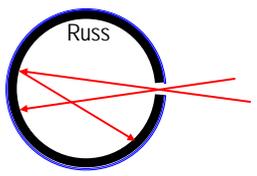
Kirchhoffsches Strahlungsgesetz:

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

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

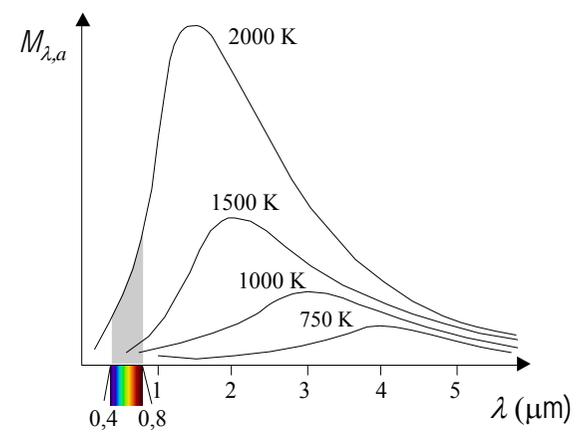
Absolut schwarzer Körper als Strahlungsreferenz: $\alpha = 1$

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

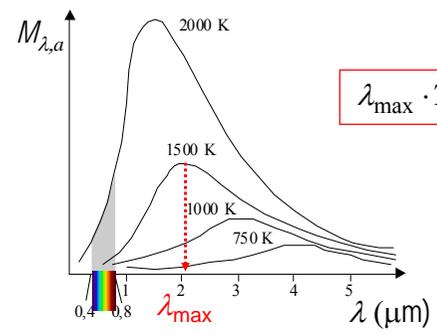


Die dunkle Farben absorbieren mehrere Strahlungsenergie als die helle (Kirchhoff!). Die Strahlenschädigung nach der Atombombenexplosion ist grösser unter den dunklen Teile des Kimonos.

Spektrum des absolut schwarzen Körpers



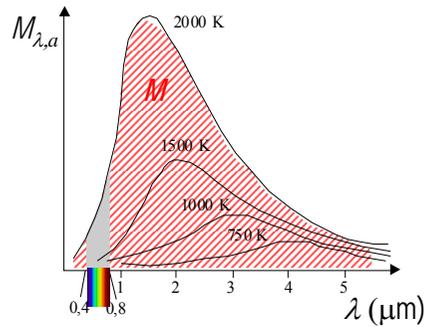
Wiensches Verschiebungsgesetz



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

Verschiebung des Maximums mit der Temperatur

Stefan-Boltzmannsches Gesetz



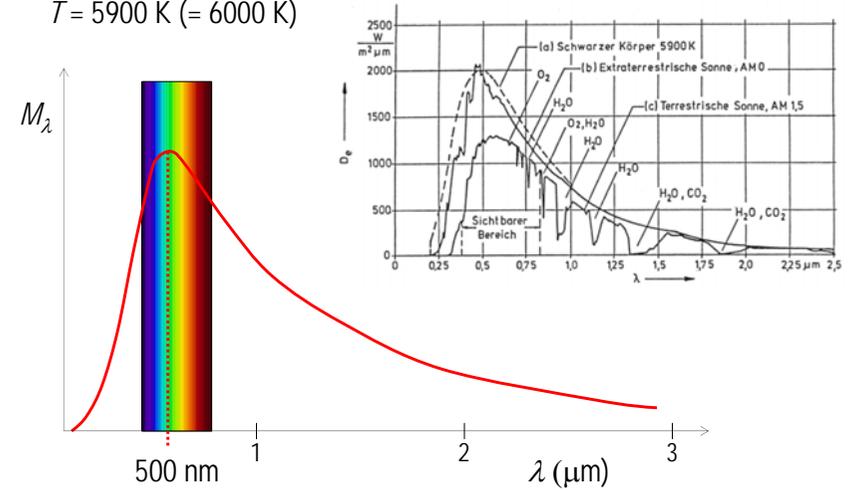
$$M_a = \sigma \cdot T^4$$

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

hohe spezifische Ausstrahlung bei hohen Temperaturen

z. B. Das Spektrum der Sonne:

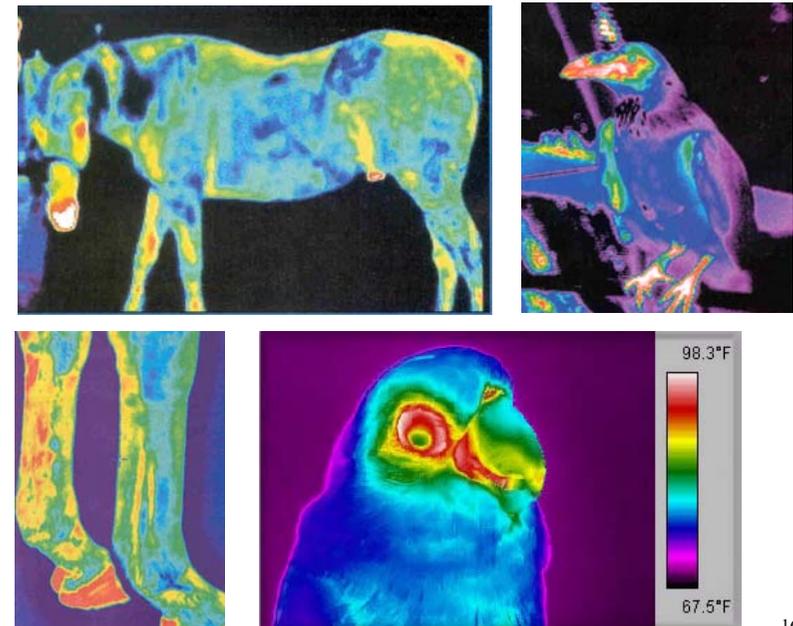
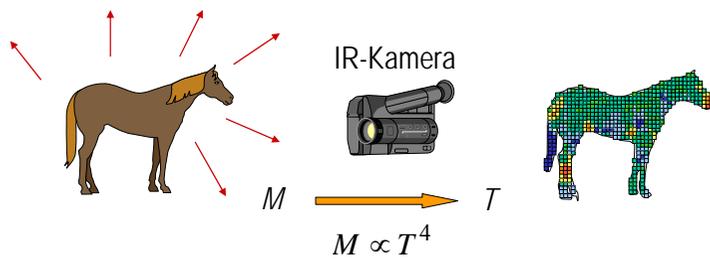
$T = 5900 \text{ K} (= 6000 \text{ K})$



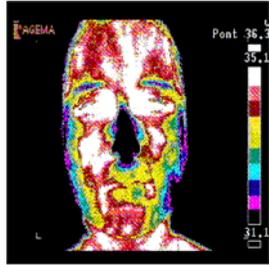
Anwendungen 1: IR Diagnostik (Telethermographie)

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

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

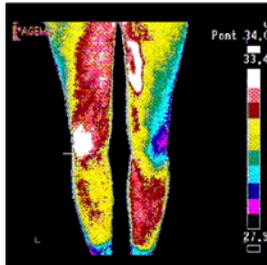
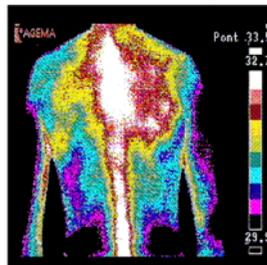


Gesichtshöhlenentzündung



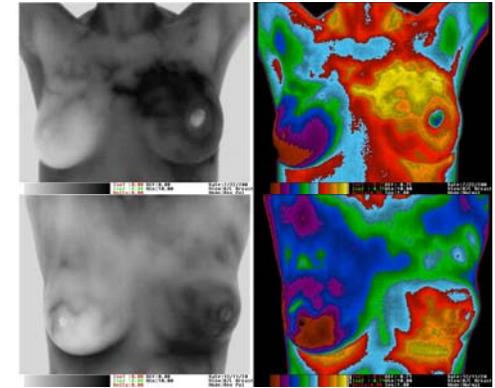
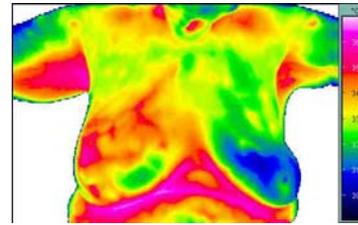
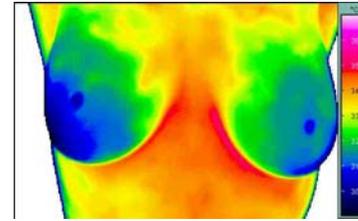
Gelenkentzündung

Muskelzerrung



Chondrolyse und Thrombose

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.

Anwendungen 2: Wärmehaushalt

Stoffwechselprozesse \Rightarrow Wärme }
 konstante Körpertemperatur } \longrightarrow 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)

Anwendungen 3: Wärmetherapie (IR-Lampen)



Glühlampen
T = 2000-3000 K

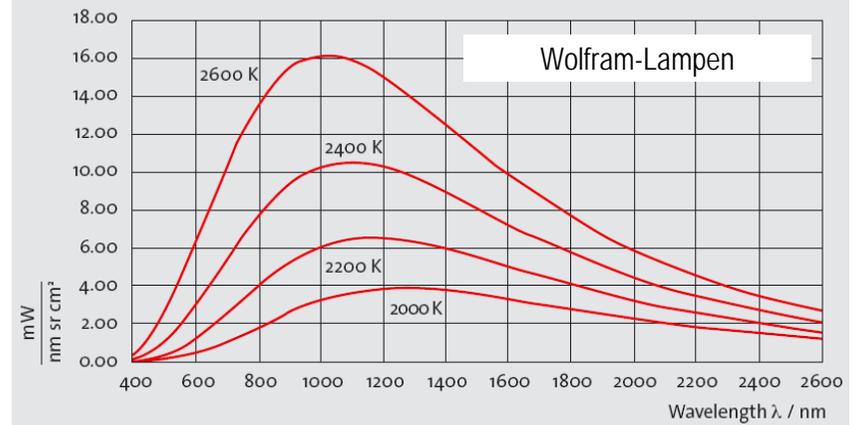


21

höhere Temperaturen:
Tageslichtlampe

niedrigere Temperaturen:
IR-Lampen

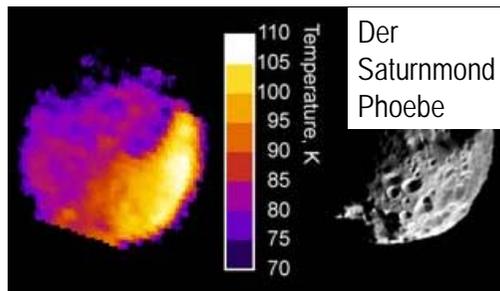
Tungsten Emission for Four Different True Temperatures



22

Weitere Anwendungen

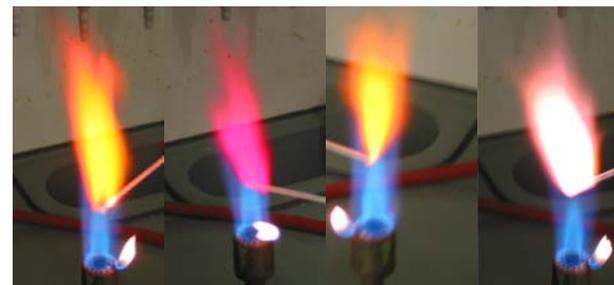
Bestimmung von
Oberflächentemperaturen



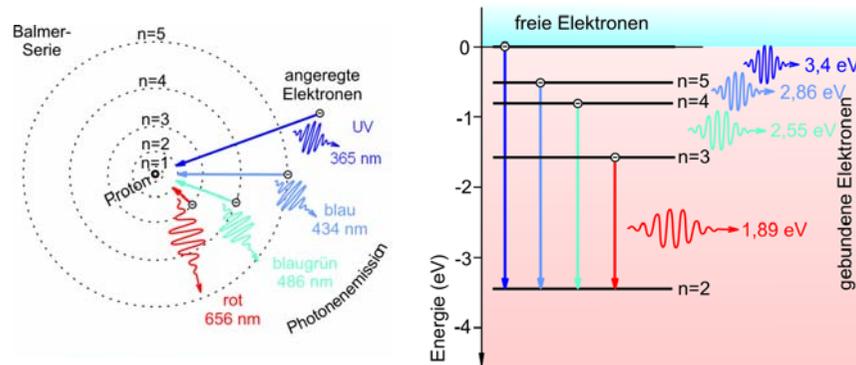
23

Fluoreszenz

- Atome
 - siehe auch Praktikum
- Moleküle
 - nächste Woche



Emission von Wasserstoff



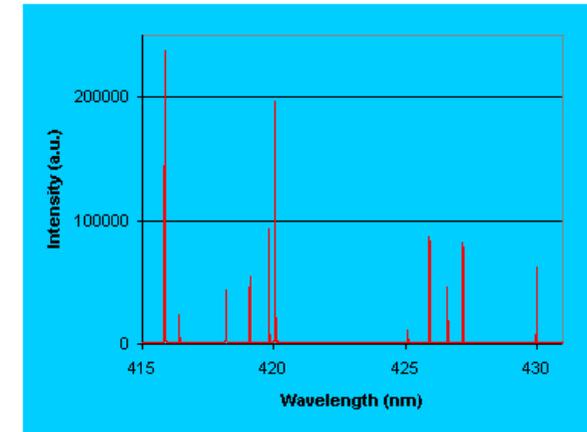
Die Atome des Niederdruck-Wasserstoffgases bewegen sich unabhängig voneinander. Entsprechend den Unterschieden der Energieniveaus emittieren sie Photonen bestimmter Wellenlängen, es entsteht ein Linienspektrum

Linienspektrum

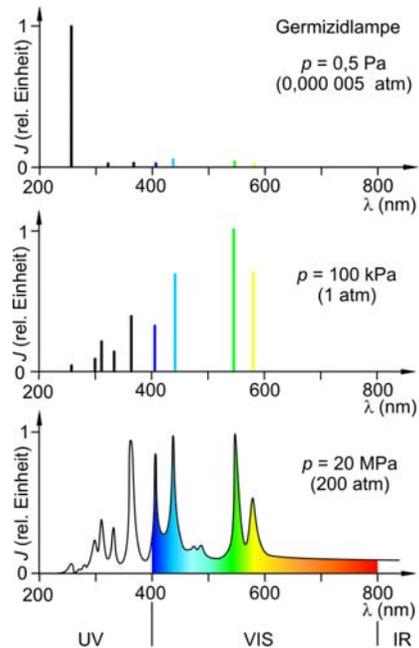
angeregte Atome, z. B. Na-Linie bei 590 nm

ein Teil des Emissionsspektrums von Argon Plasma

$$\frac{\Delta J}{\Delta \lambda}$$



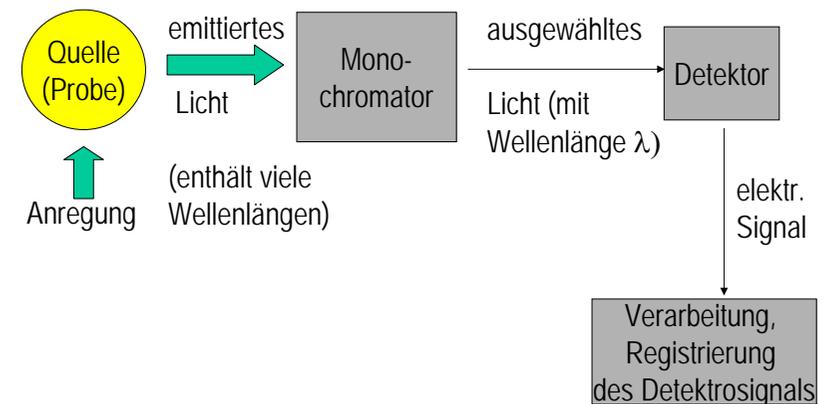
λ , nm



Spektren von Niederdruck-, Hochdruck- und Höchstdruck-Quecksilberdampf Lampen. Man beachte, dass die Spektrallinien mit zunehmendem Druck an Zahl zunehmen bzw. sich zu Banden verbreitern!

Messung des Emissionsspektrums

Allgemeine Schema:



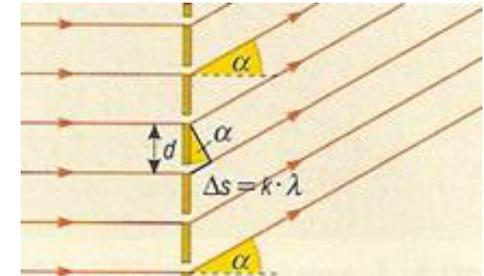
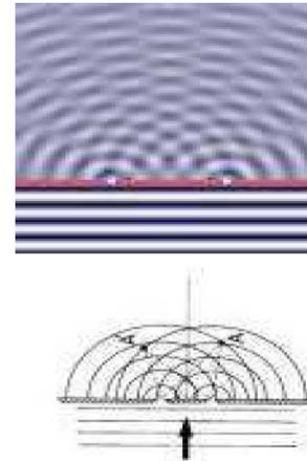
Monochromator

Dispersionselement (was die Lichtstrahlen nach Wellenlänge aufspaltet):

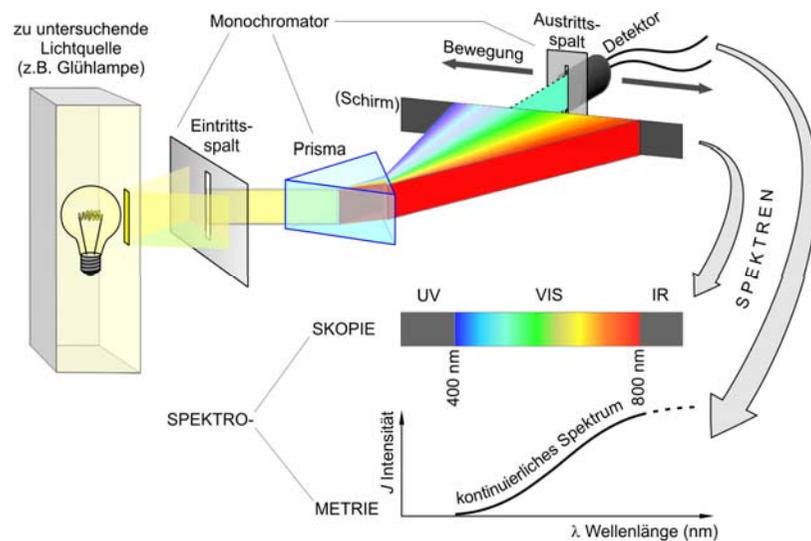
1. Prisma (siehe Dispersion)
2. Optisches Gitter (Beugung)



Optisches Gitter



Entstehung eines kontinuierlichen Spektrums mittels eines Prismenmonochromators bei einem Temperaturstrahler (z. B. Glühlampe)



Monochromator

Lichtquelle,
Eintrittsspalt,
fokussierbarer Spiegel,
Dispersionselement
(Amplitudengitter,
Prisma)
Ausgangsspalt,
Detektor (SEV)

