

# Medizinische Biophysik

## Licht in der Medizin

8. Vorlesung  
25.10. 2023.

### VIII. LASER

#### 1. Entstehung des Laserlichtes

Induzierte Emission  
Besetzungsinversion  
Laserniveau  
Pumpen

#### 2. Eigenschaften der Laserstrahlung

#### 3. Lasertypen

#### 4. Medizinische Anwendung

- Absorption in Geweben
- Folgerungen der Absorption
- Anwendungsbeispiele

### IX. Biologische Wirkungen des Lichts

- Zielorgane
- Bestimmende Faktoren
- Molekularer Mechanismus
- Rolle der Ozon(O<sub>3</sub>)-Schicht

## Strahlungen

#### 1. Gemeinsame Eigenschaften

#### 2. Elektromagnetische Strahlungen

#### 3. Teilchenstrahlungen

# VIII. LASER

light amplification by stimulated emission of radiation



## 1. Entstehung des Laserlichtes

Schlüsselwörter des Lasers:

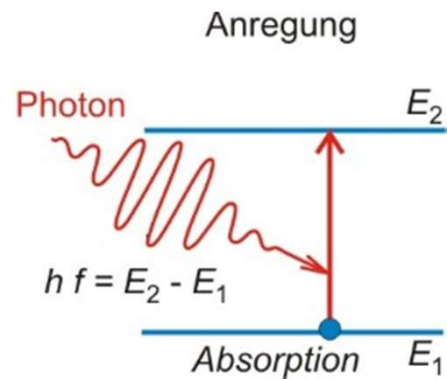
\* — Induzierte Emission

\* — Besetzungsinversion

\* — Laserniveau

\* — Pumpen

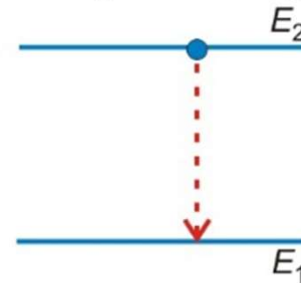
# \* Induzierte Emission



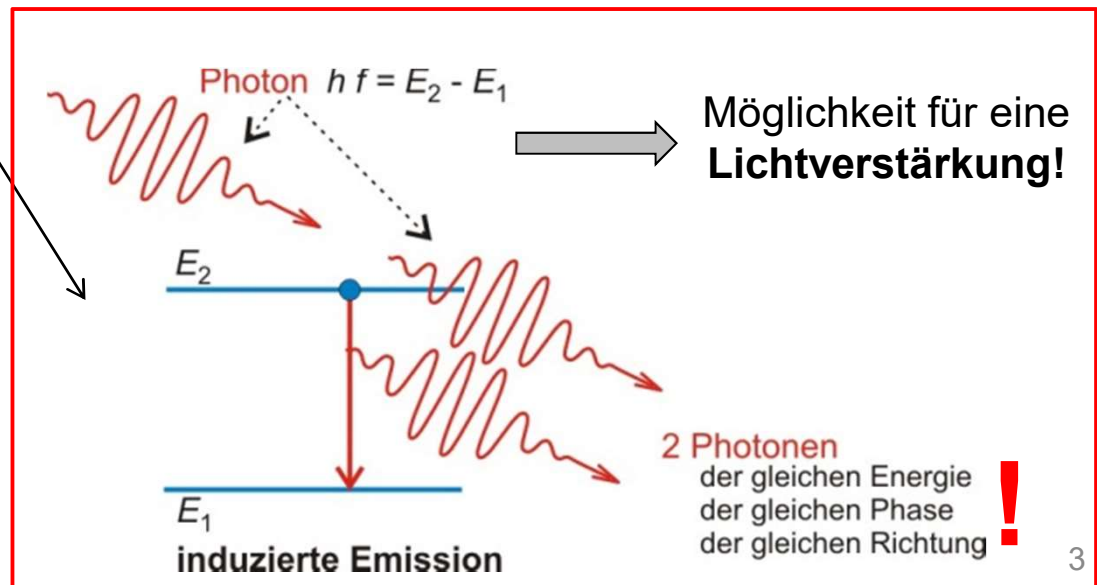
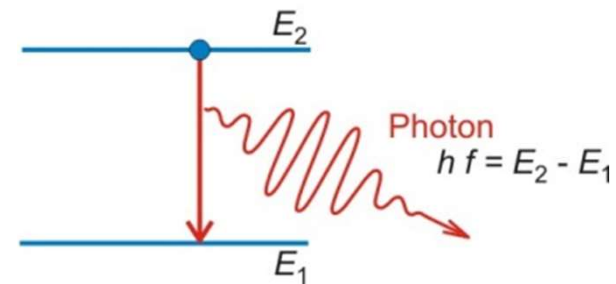
Nach der  
**Anregung**

entweder oder

strahlungsloser Übergang

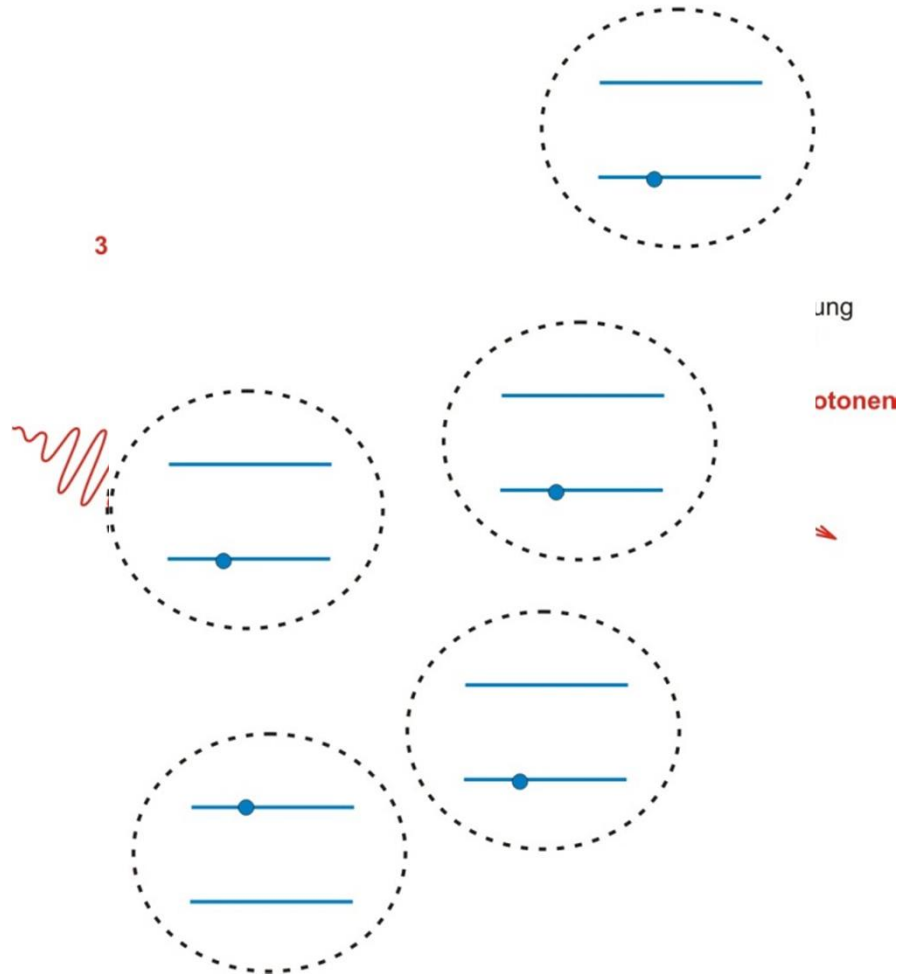


spontane Emission



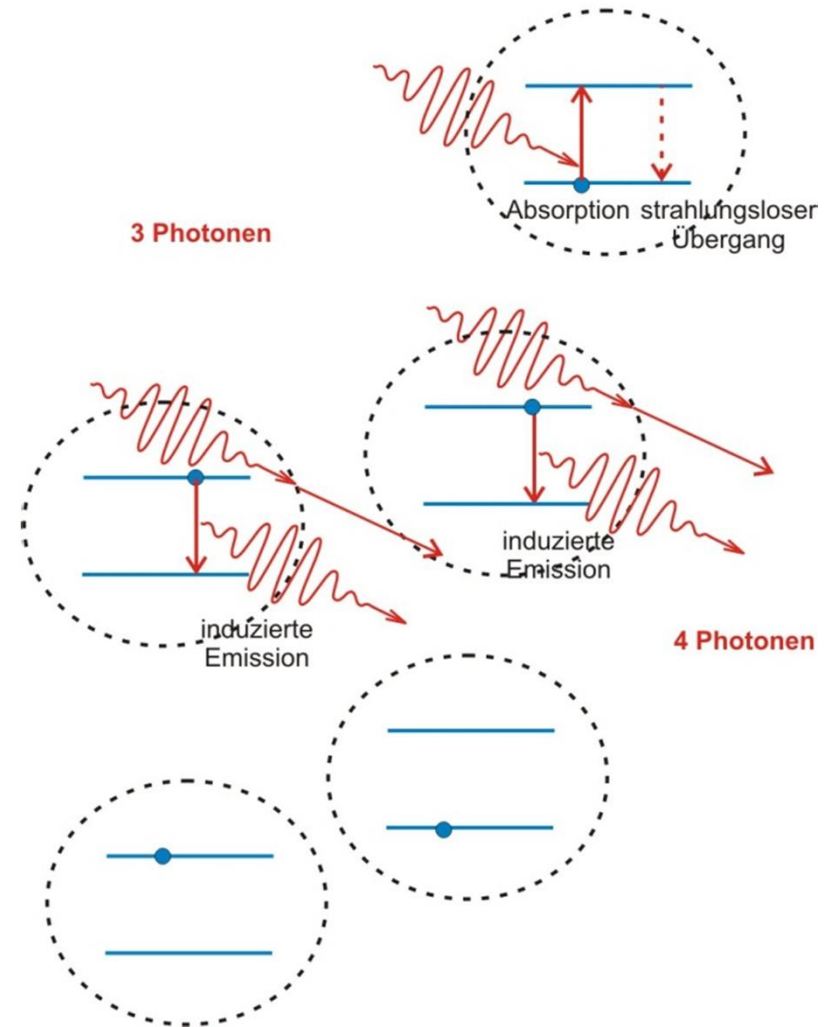
# \* Besetzungsinversion

**normale Besetzung**  
(nach der Boltzmann-Verteilung  
im Gleichgewicht)



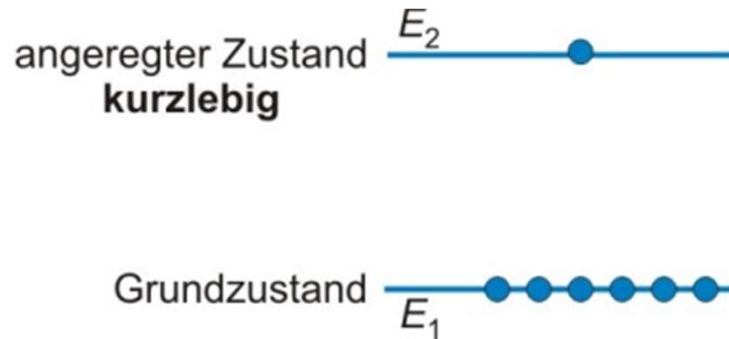
➡ Schwächung des  
einfallendes Lichtes

**Besetzungsinversion**  
(kein Gleichgewicht)



➡ Lichtverstärkung

## \* Laserniveau

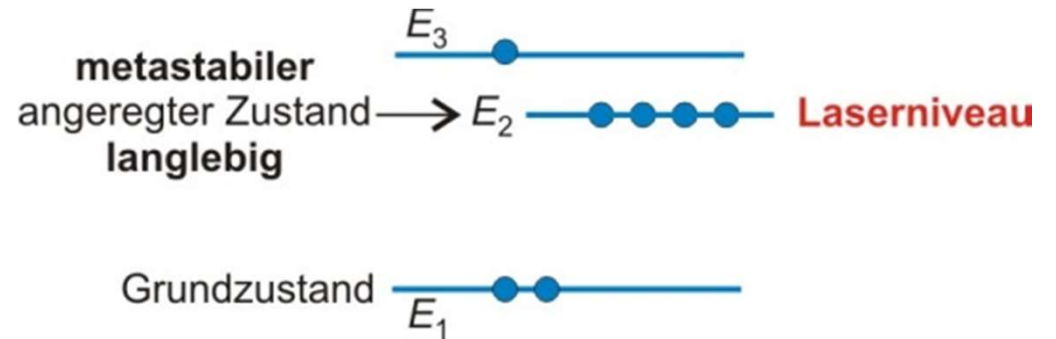


↓

Die zwei Zustände sind  
im Gleichgewicht

↓

normale Besetzung



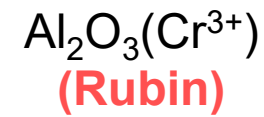
↓

Der metastabile Zustand und  
der Grundzustand sind nicht  
im Gleichgewicht

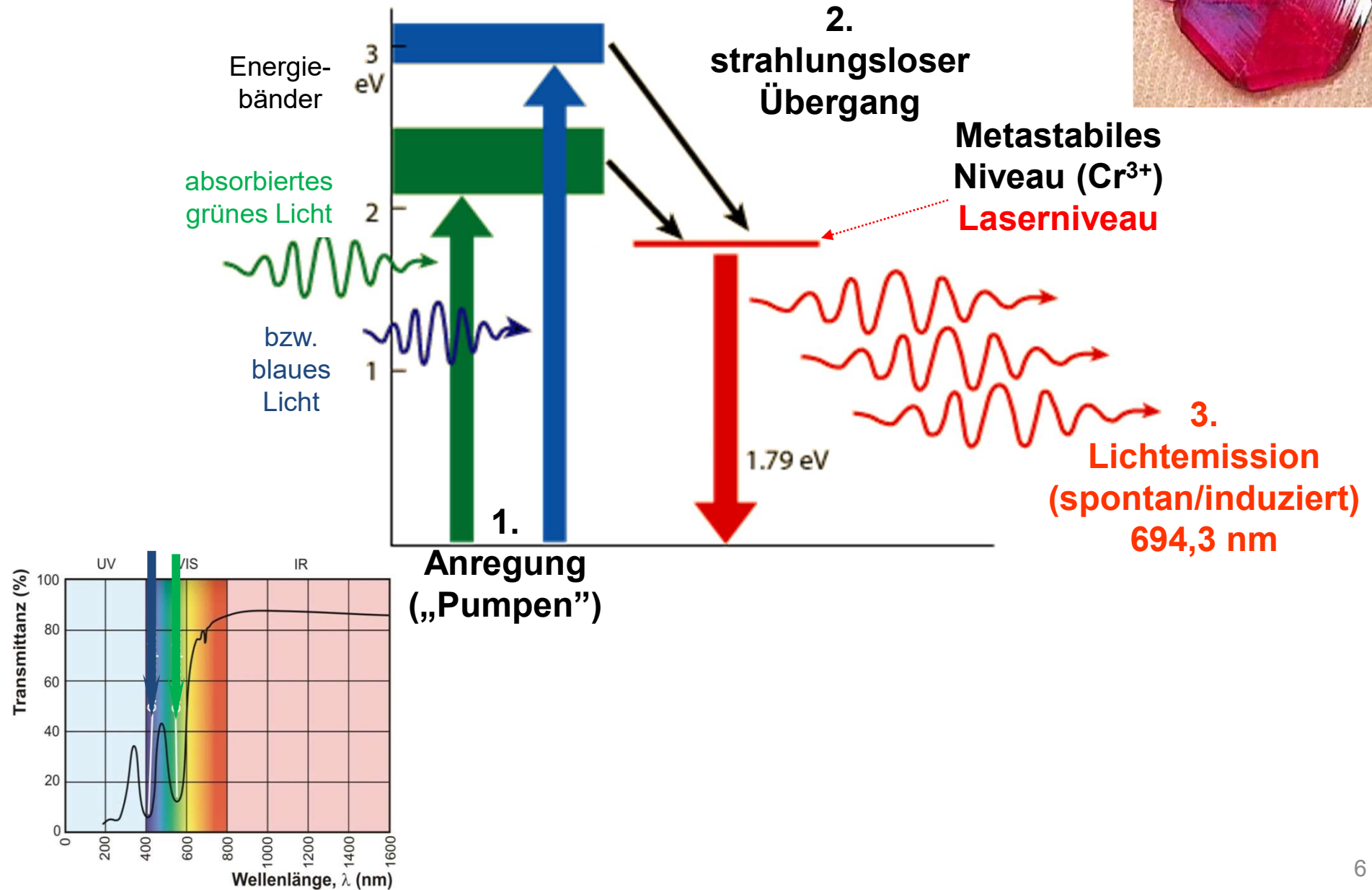
↓

Besetzungsinversion ist  
möglich

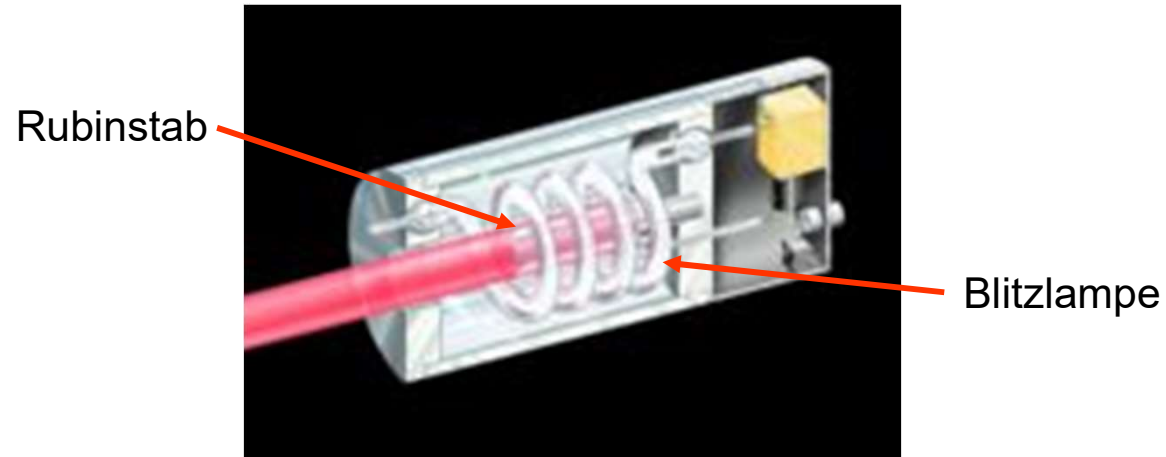
# Zusammenfassend am Beispiel des Rubinlasers



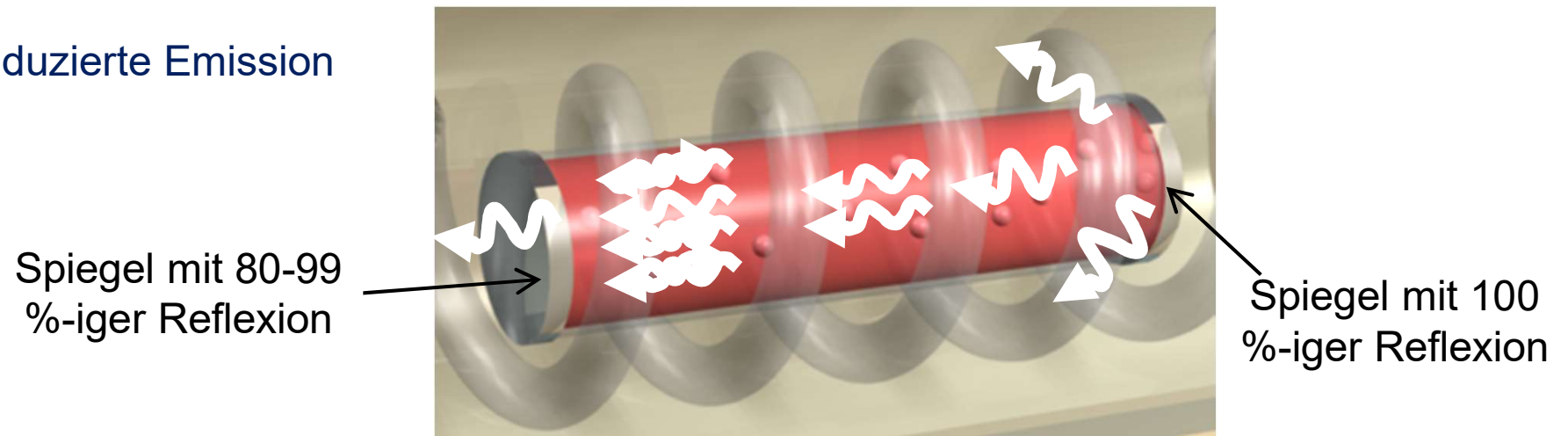
Drei-Niveau-System:



## \* Pumpen



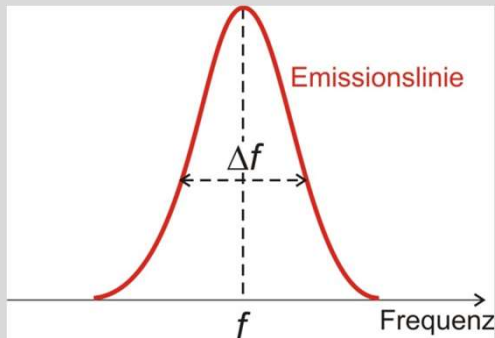
## \* Induzierte Emission



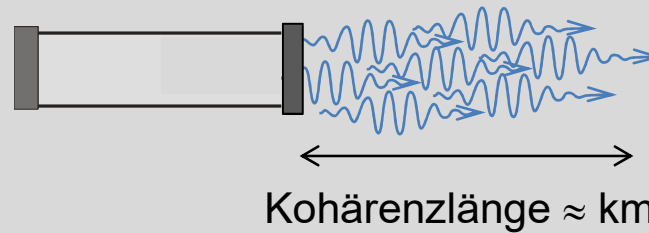
## 2. Eigenschaften der Laserstrahlung

✧ monochromatisch

$$\Delta f / f \approx 10^{-10}$$



✧ kohärent



✧ geringe Divergenz

$$\Theta \approx 0,1-1 \text{ mrad}$$



Gut fokussierbar

+

✧ hohe Intensität

$$J \approx 10^3 - 10^{14} \text{ W/m}^2$$

✧ polarisiert

## 3. Lasertypen

▪ Betriebsart

Dauerstrichlaser

Impulslaser

▪ Lasermaterial

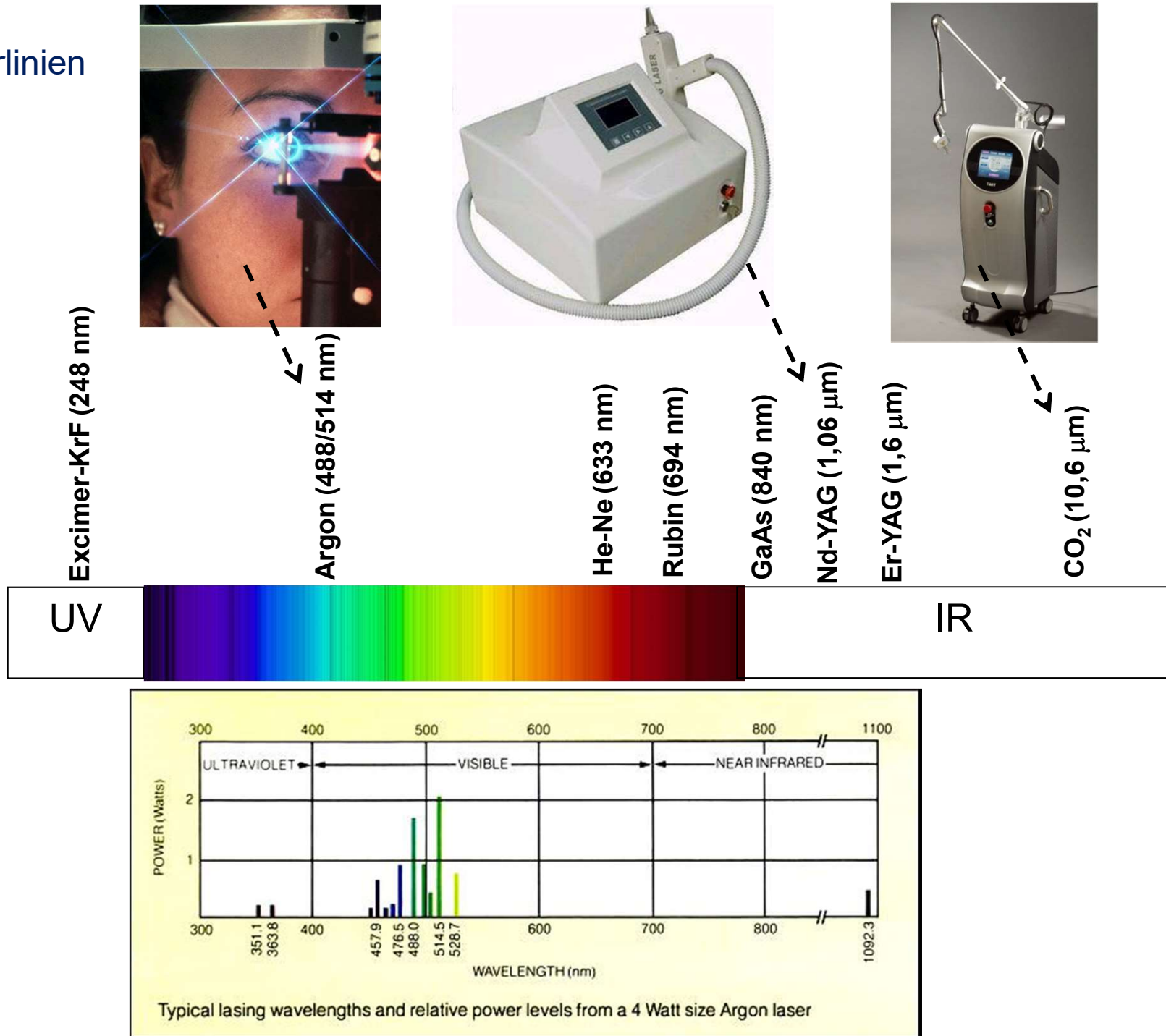
gasförmig

flüssig

kristallin



- Laserlinien



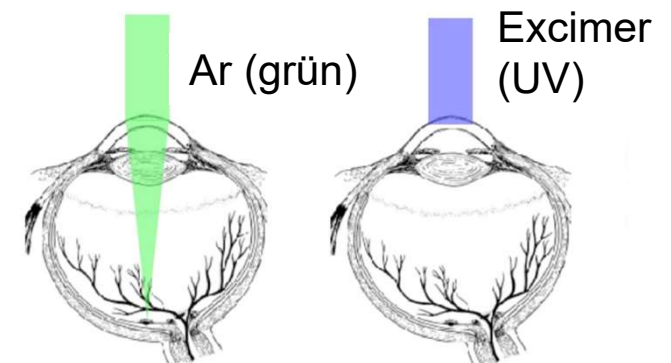
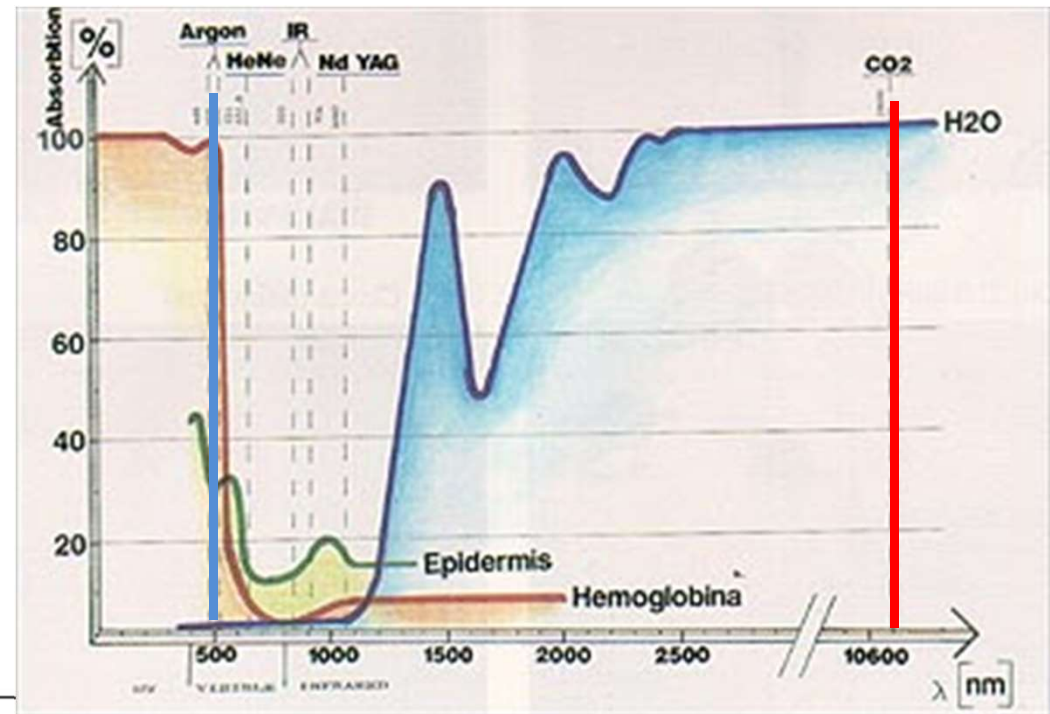
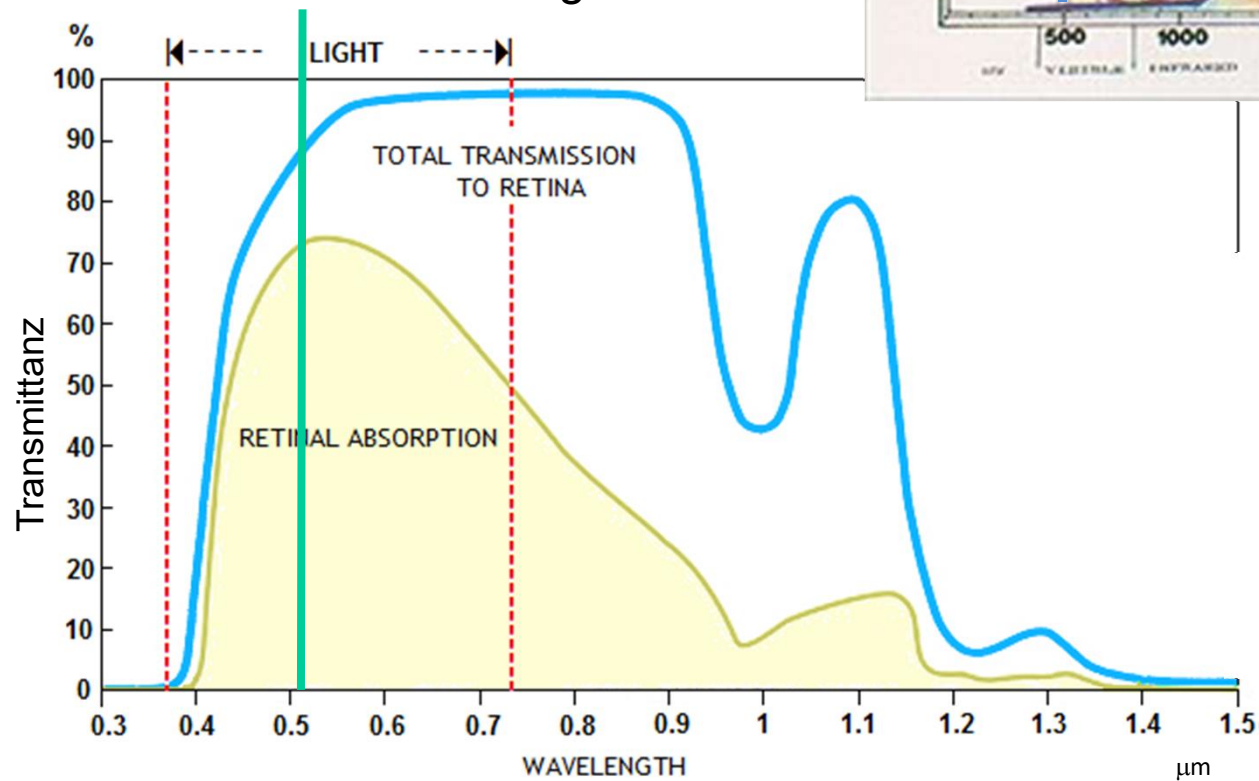
## 4. Medizinische Anwendung

- Absorption in Geweben

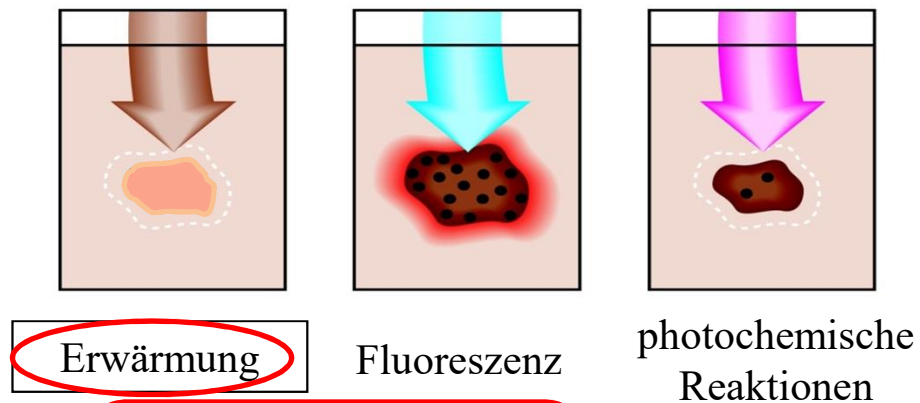
z. B. Argon (514 nm)



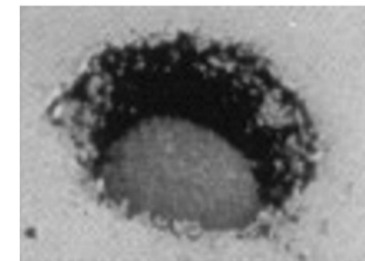
Transmissionsspektrum  
des Auges



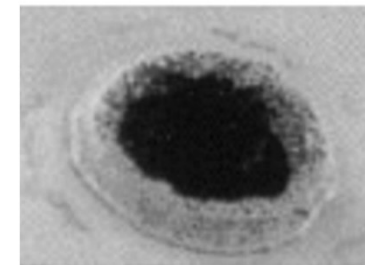
- Folgerungen der Absorption



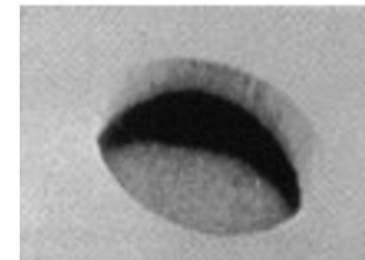
$\approx 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ : **Laserthermie**  
 $\approx 60\text{-}90\text{ }^{\circ}\text{C}$ : **Koagulation**  
 $\approx 100\text{-}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ : **Vaporisation**  
 $\approx 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ - : **Karbonisation**



Vaporisation

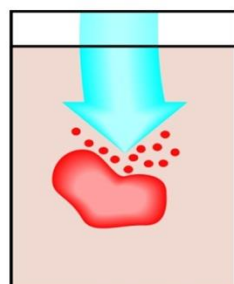


Karbonisation



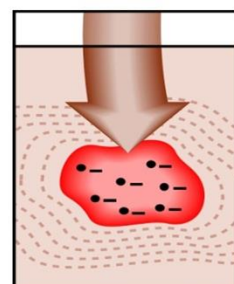
Atomisation

Photodissoziation



Atomisation

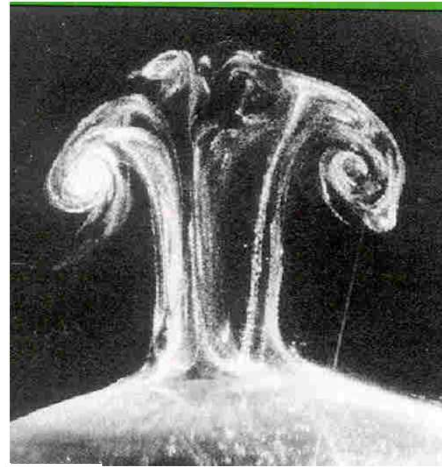
Ionisation



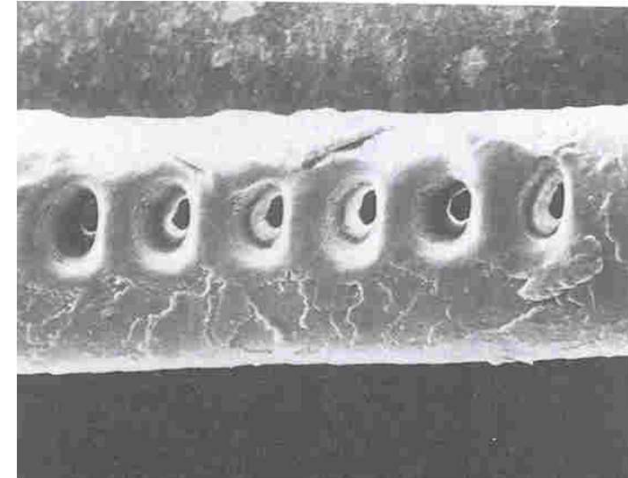
photomechanische Wirkung

- Beispiele

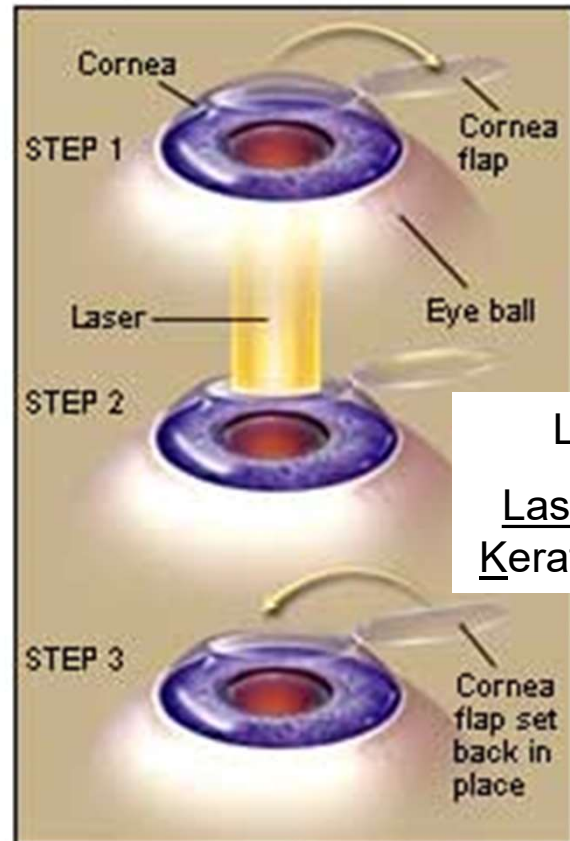
Explosionsartige  
Entfernung des  
Stoffes



Beispiel für die Präzision:  
Laserbohrungen durch ein  
menschliches Haar



### LASIK



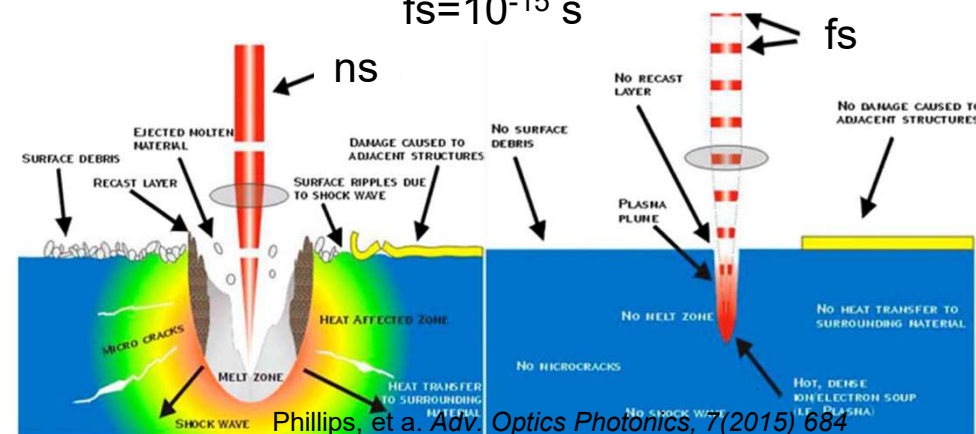
LASIK:

Laser In-situ  
Keratomeileusis

© 2003 WebMD Inc.

Vorteil der Anwendung des Femtolasers

$f_s = 10^{-15} \text{ s}$







Port Wine Stain



vor der Behandlung

nach der Behandlung

Laser Resurfacing

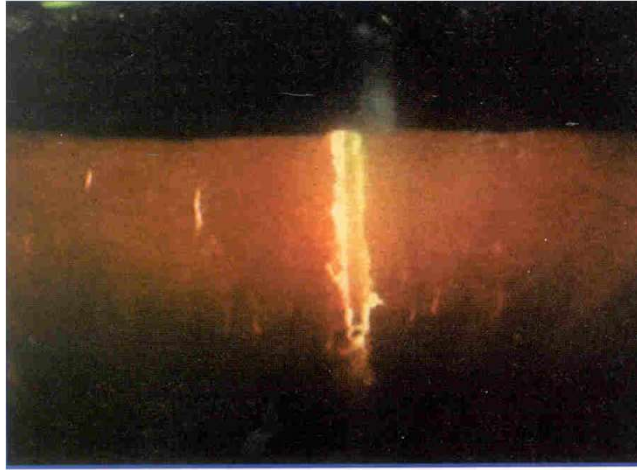


Enthaarung



Entfernung von Tätowierungen

Herzwandchirurgie



*Leg Veins After 2 Laser Treatments*



Kehlkopfchirurgie

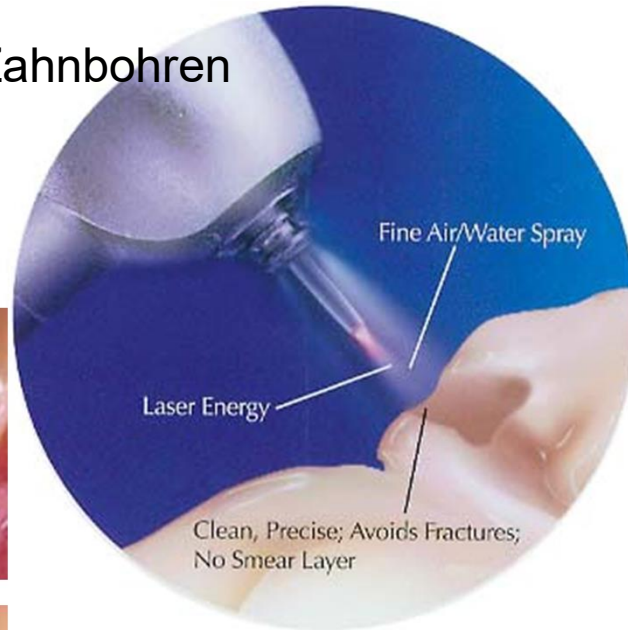


Trommelfelldurchbohrung





## Zahnbohren



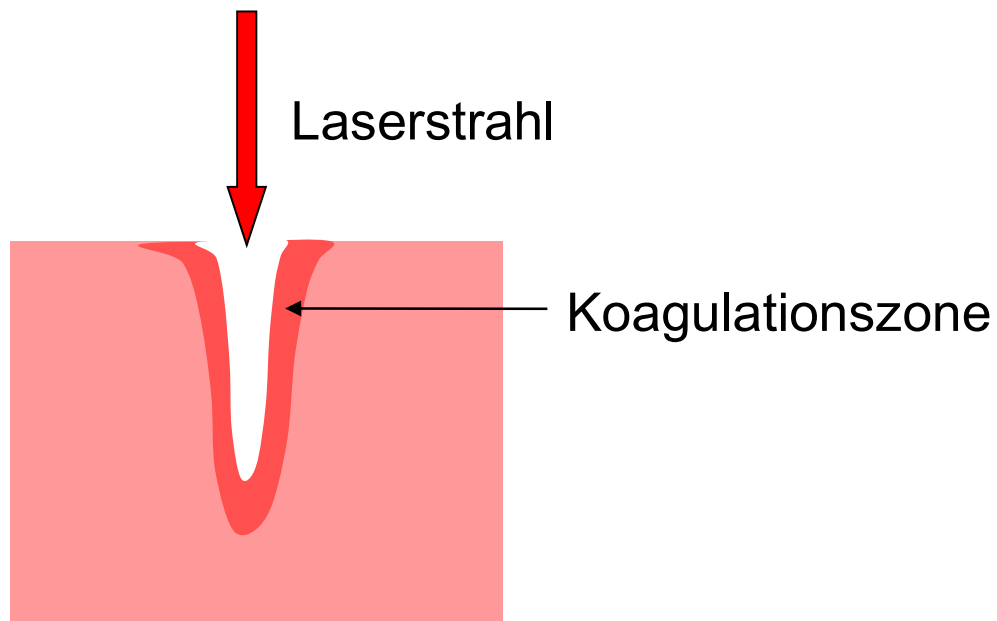
## Entfernen von Zahverfärbungen

## Zahnfleisch-Entfernung



## Vorteile der Laserchirurgie:

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





## IX. Biologische Wirkungen des Lichts

- Zielorgane:
- Haut
  - Auge

Einige  
Beispiele:

Erythem



Hautkrebs  
Melanom



Graustar  
Katarakt

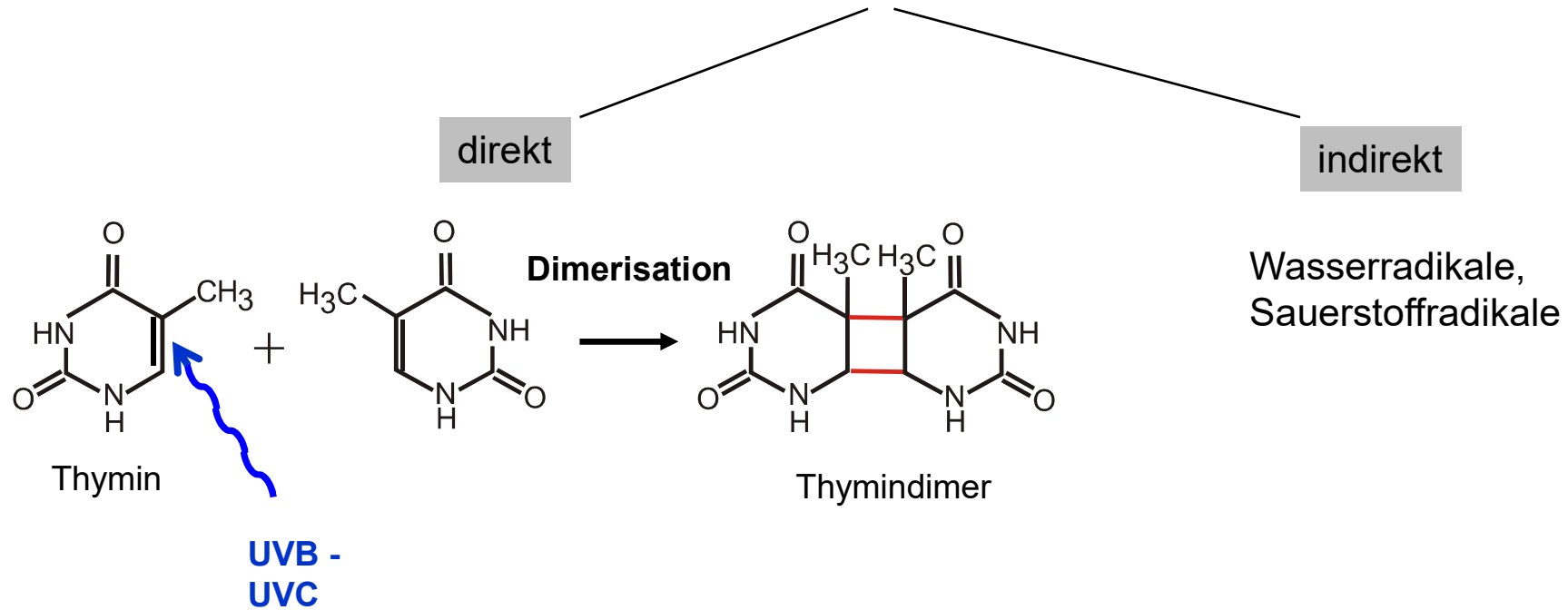


Hornhautentzündung  
Konjunktivitis



## Molekularer Mechanismus:

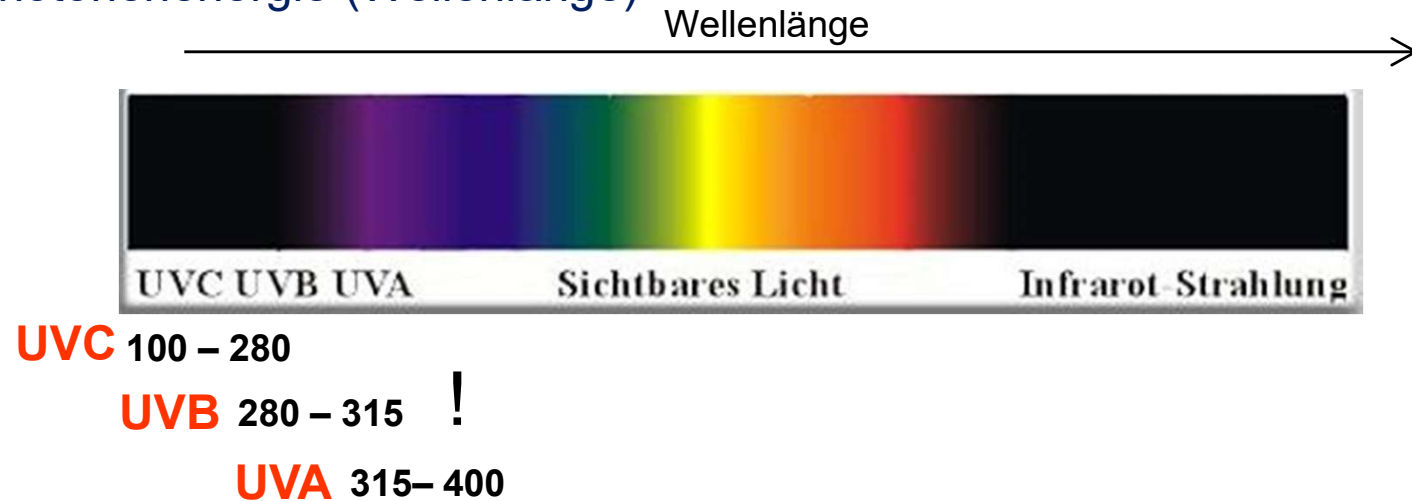
Absorption  $\Rightarrow$  Anregung  $\Rightarrow$  photochemische Reaktionen  $\Rightarrow$  biologische Wirkung



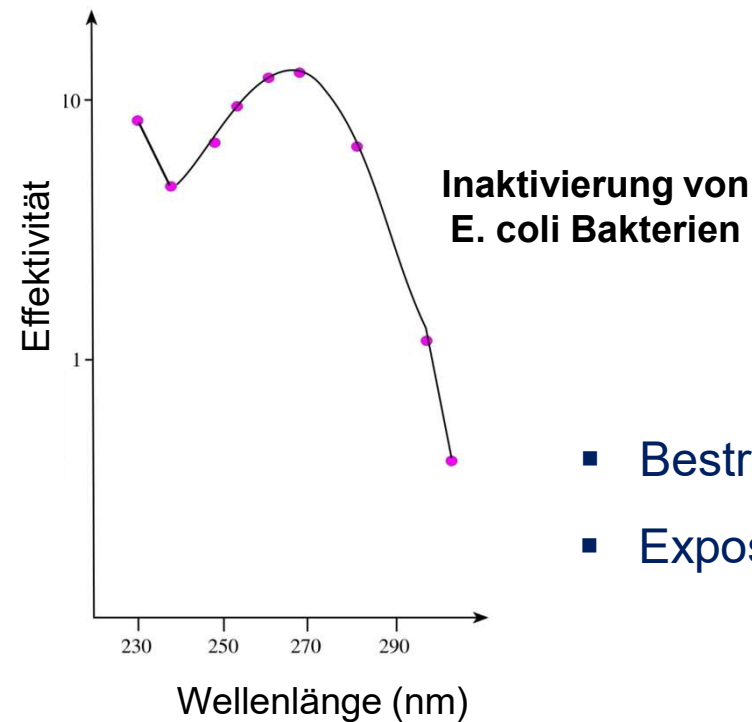
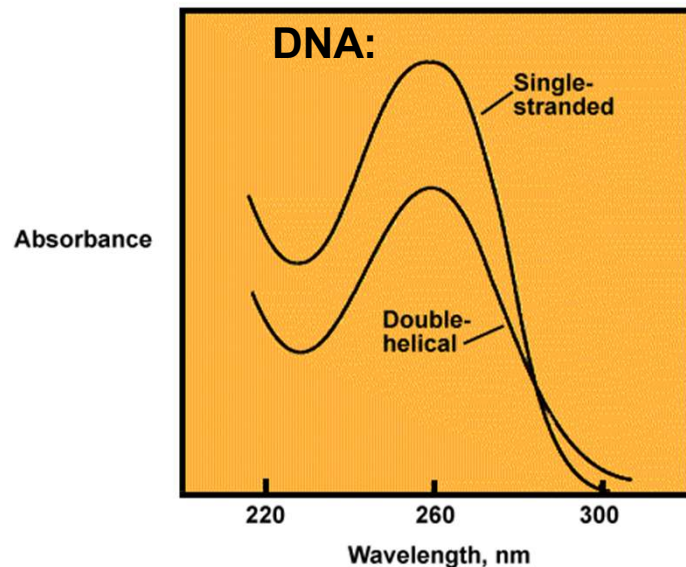
Zielmoleküle sind die **Chromophormoleküle**: DNA, Proteine, Melanin

## Bestimmende Faktoren:

- Photonenenergie (Wellenlänge)

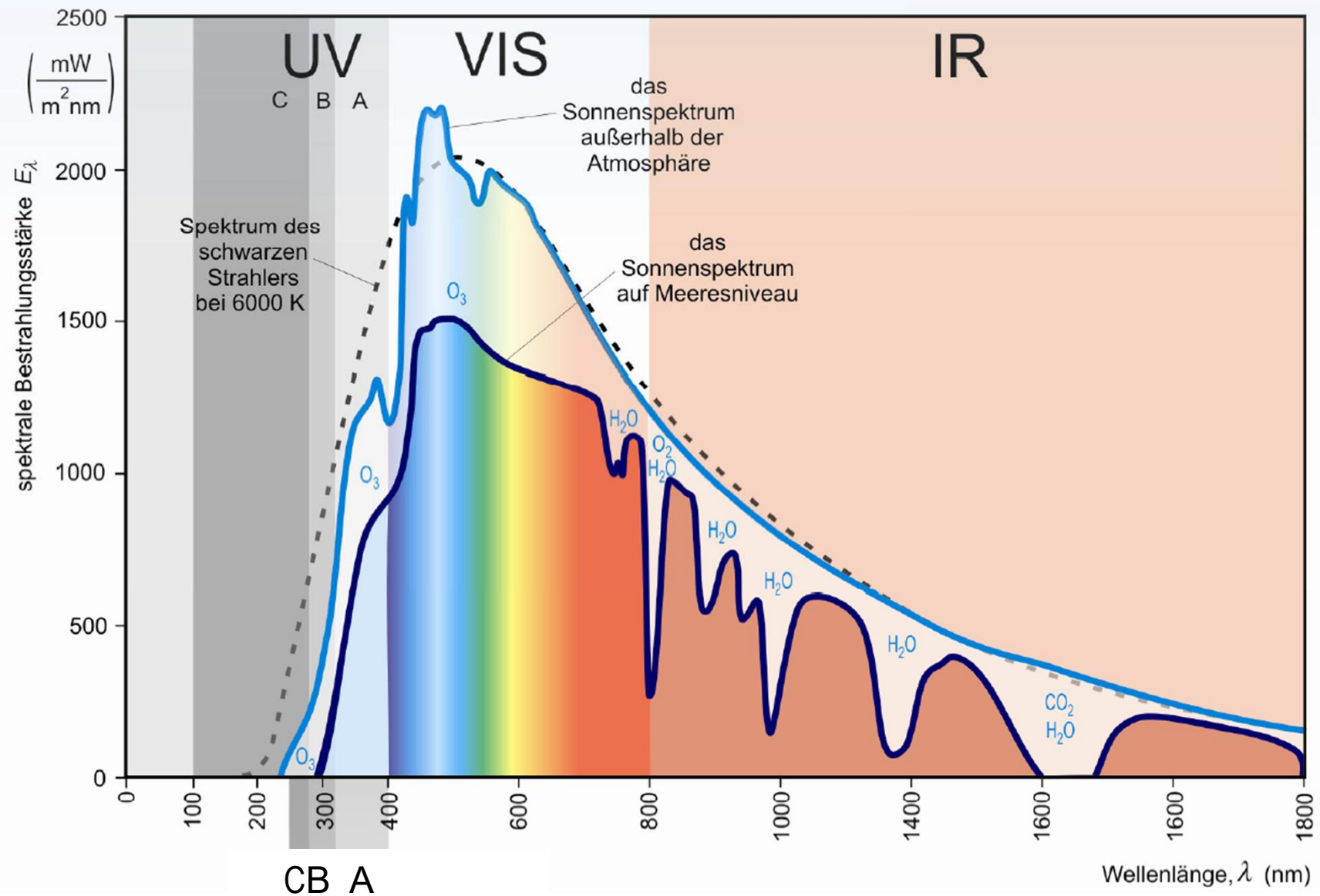


- Absorptionsspektrum

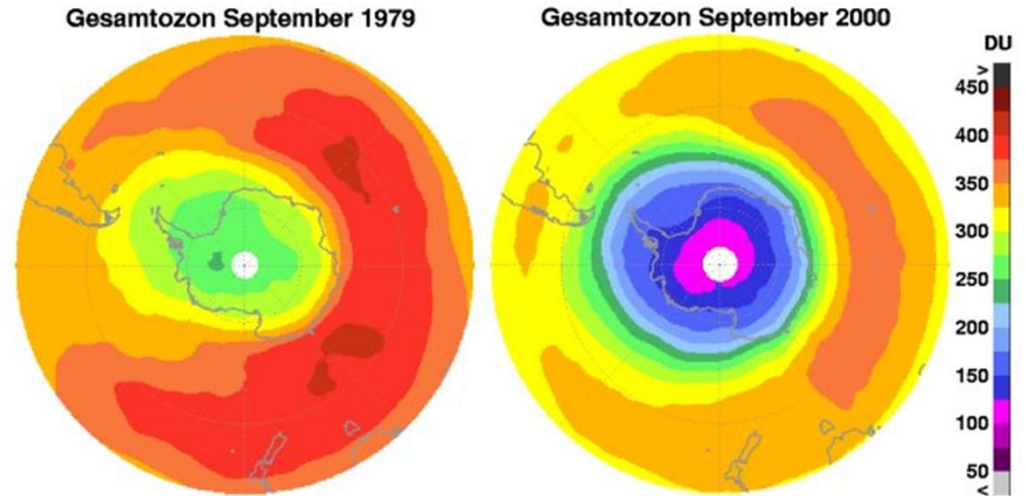
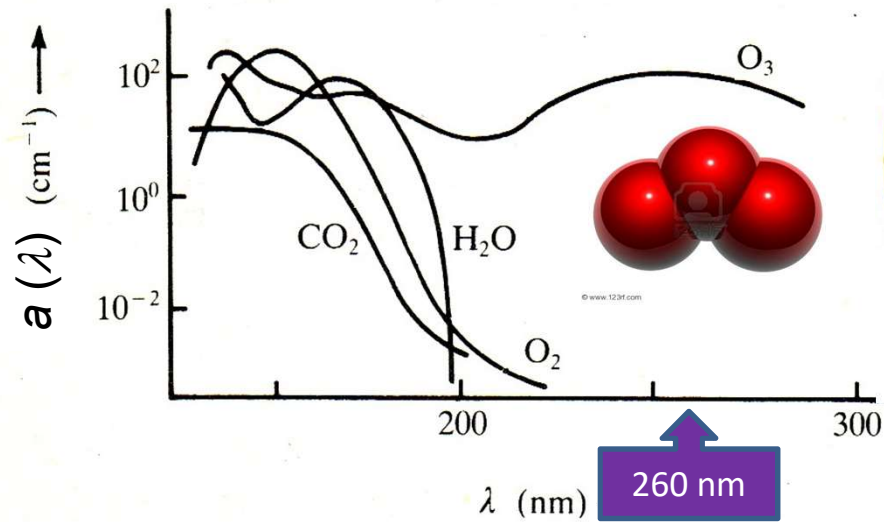


- Bestrahlungsstärke
- Expositionszeit

- Spektrum der Sonnenstrahlung



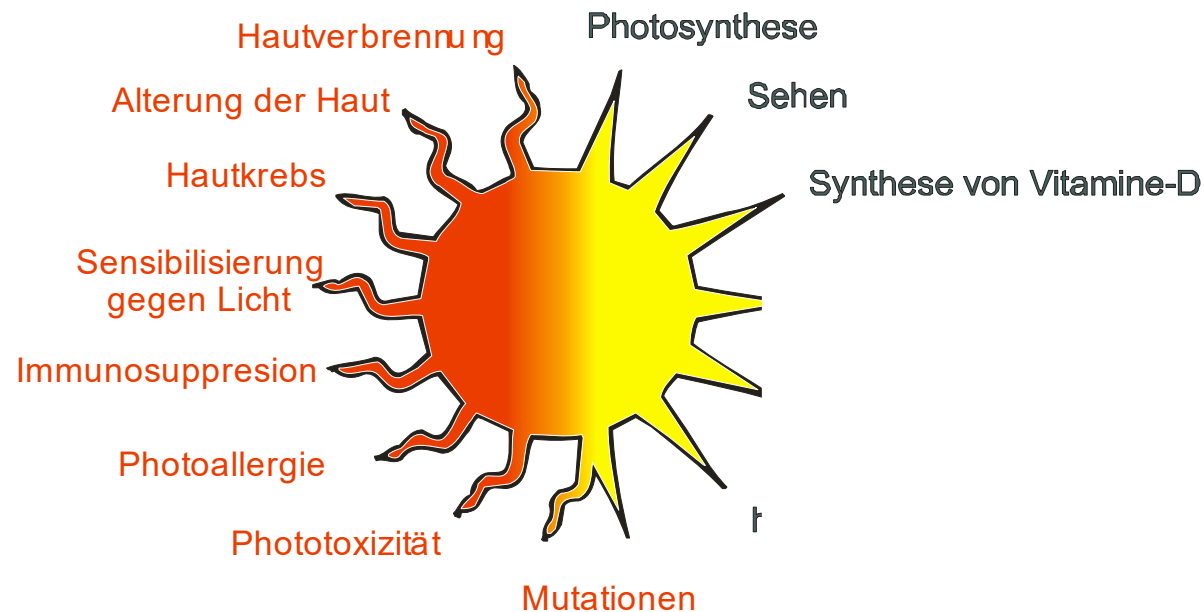
## Rolle der Ozon(O<sub>3</sub>)-Schicht:



Hole in the Ozone Layer?

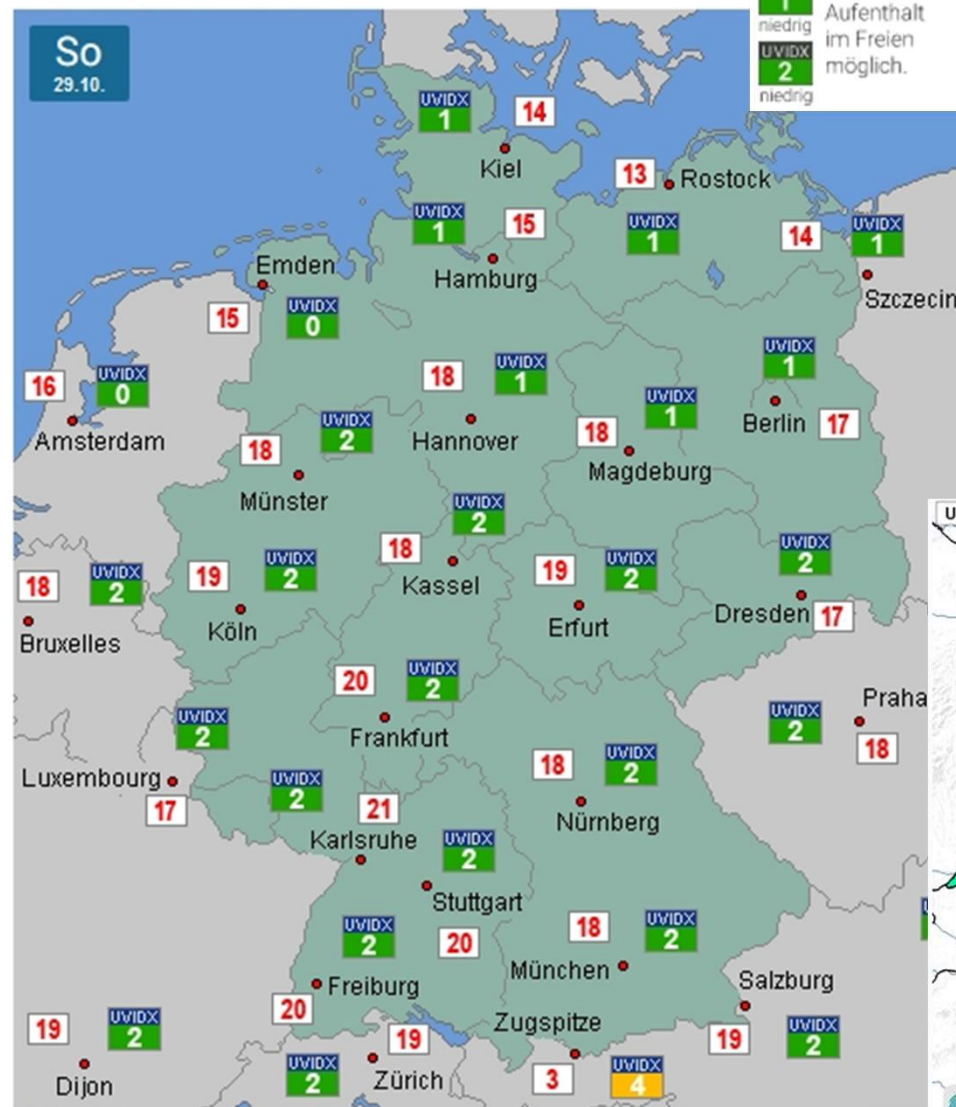


Janusgesicht der Sonne:

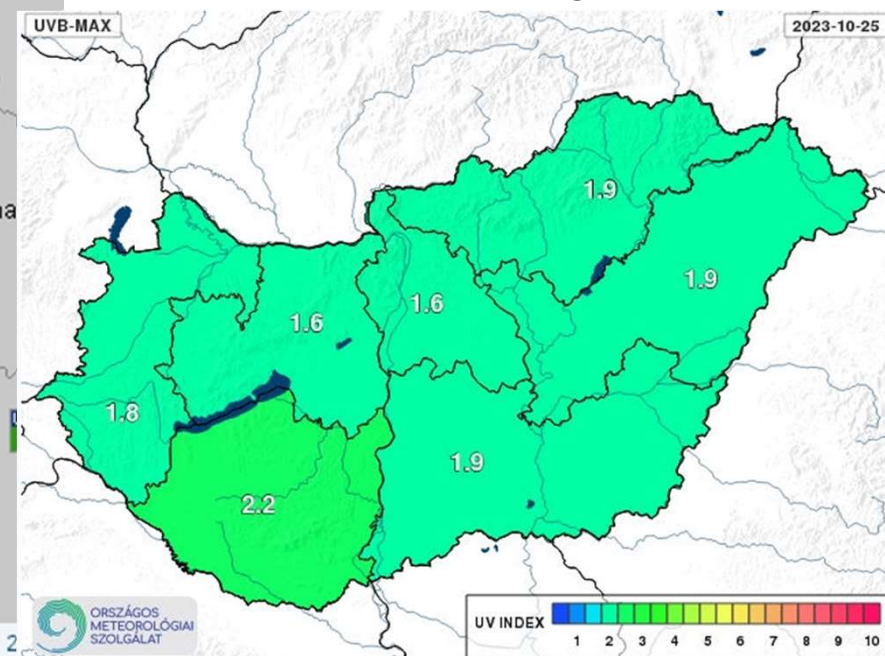




# Vorhersage für Sonntag, 29.10.2023

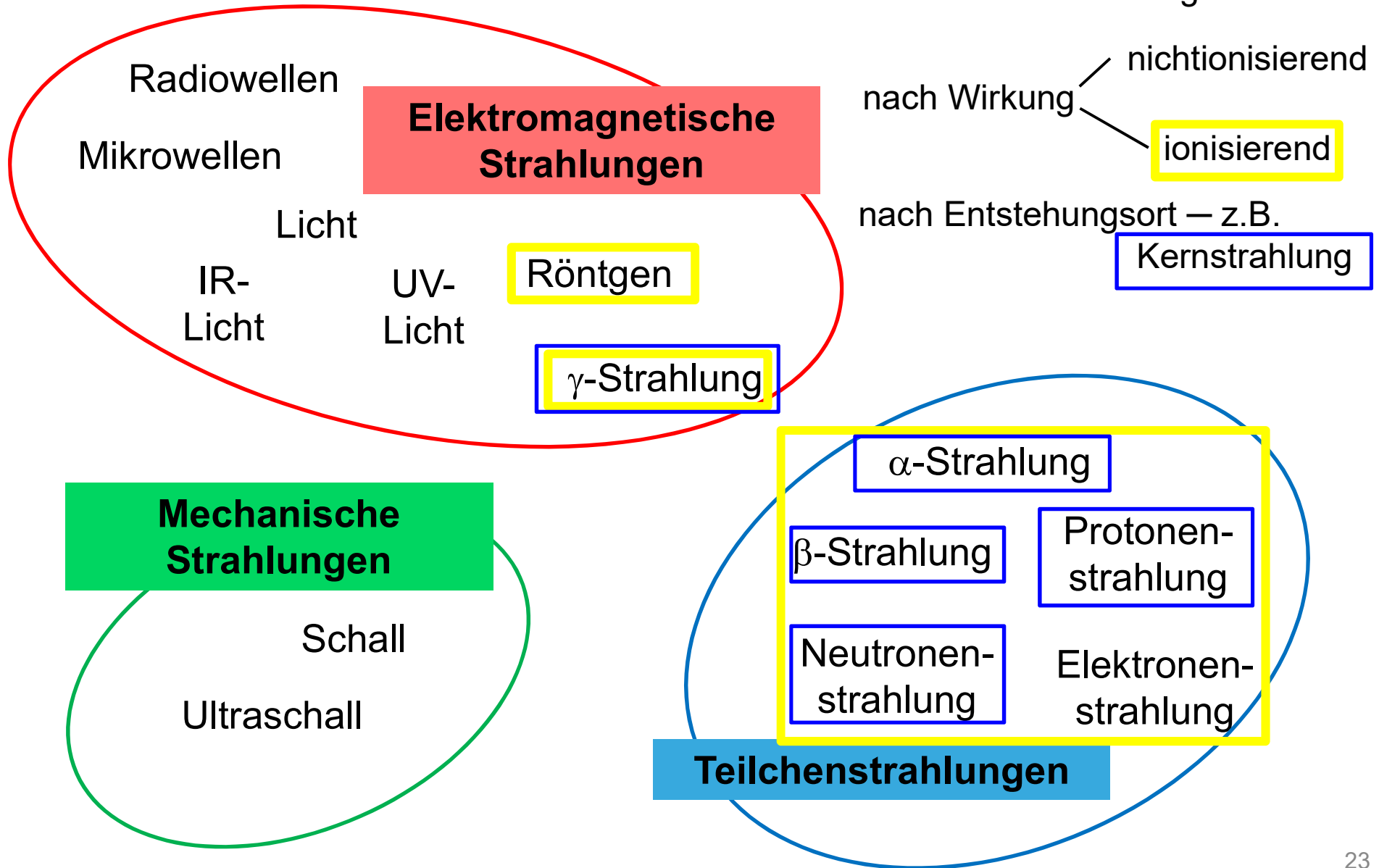


## UV-Index Ungarn



# Strahlungen in der medizinischen Praxis

Andere Klassifizierungen:



## 1. Gemeinsame Eigenschaften

- Strahlung = Energietransport

Strahlungsintensität ( $J$ )

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

$\Delta P$  = die Leistung, die auf  
 $\Delta A$  Fläche senkrecht fällt.

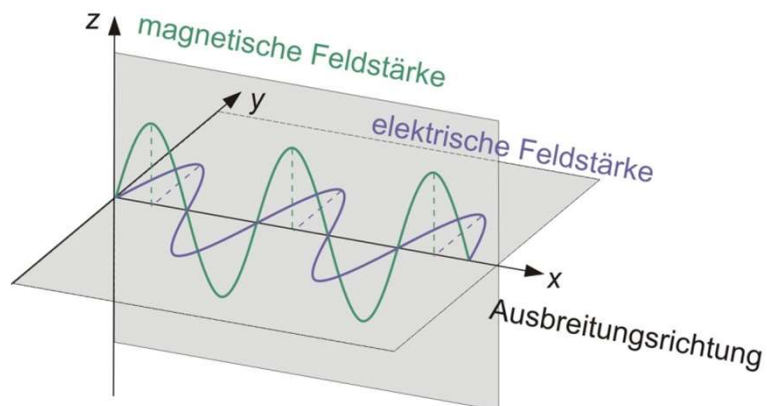
- Doppelcharakter = Wellencharakter & Teilchencharakter

## 2. Elektromagnetische Strahlungen

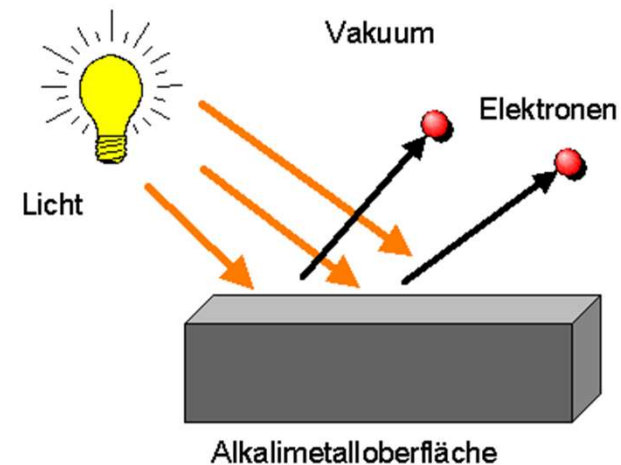
Elektromagnetische Wellen – Transversalwellen & Teilchen - Photonen

$$c = \lambda \cdot f \quad c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Vakuum})$$

elektromagnetische Welle



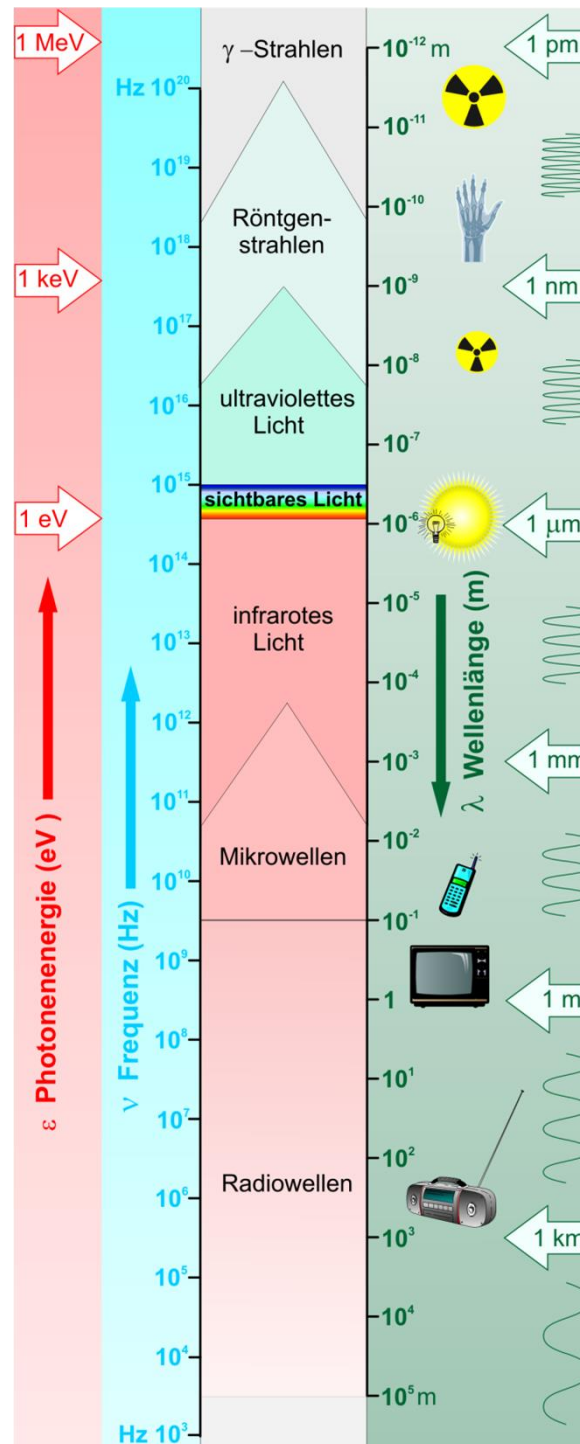
$$\varepsilon = h \cdot f$$





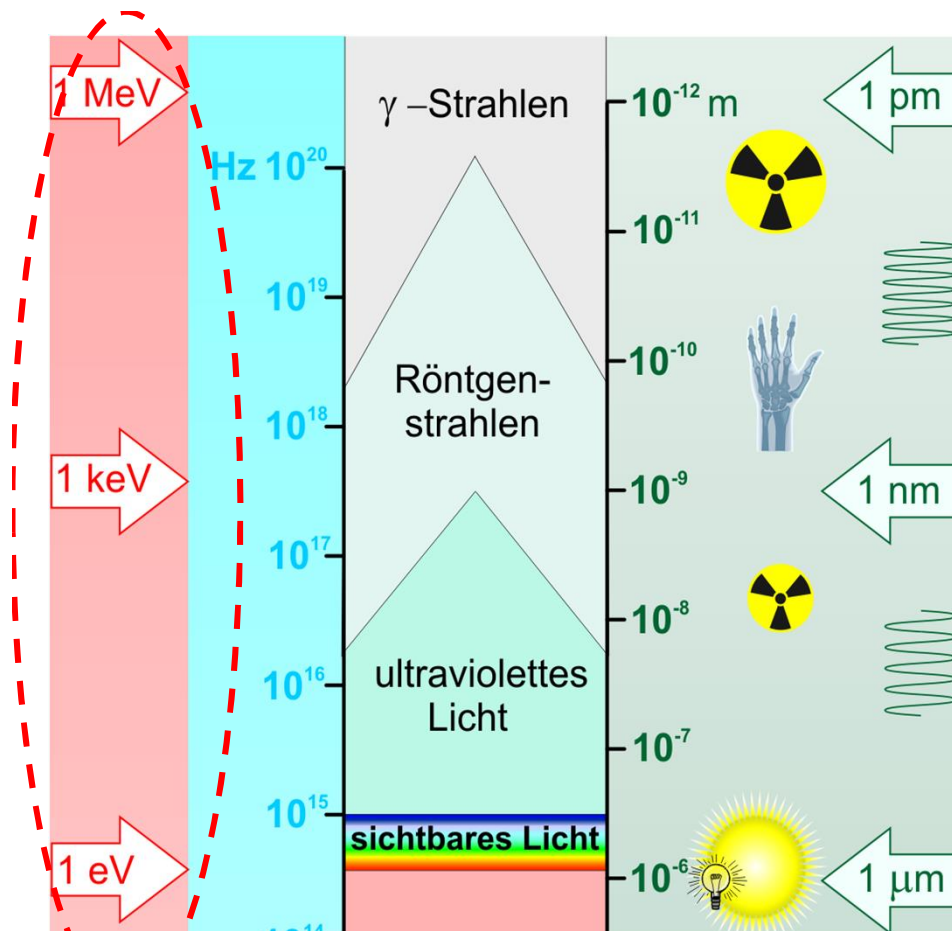
7 Bereiche:

- $\gamma$ -Strahlen
- Röntgenstrahlen
- UV-Licht
- VIS-Licht
- IR-Licht
- Mikrowellen
- Radiowellen



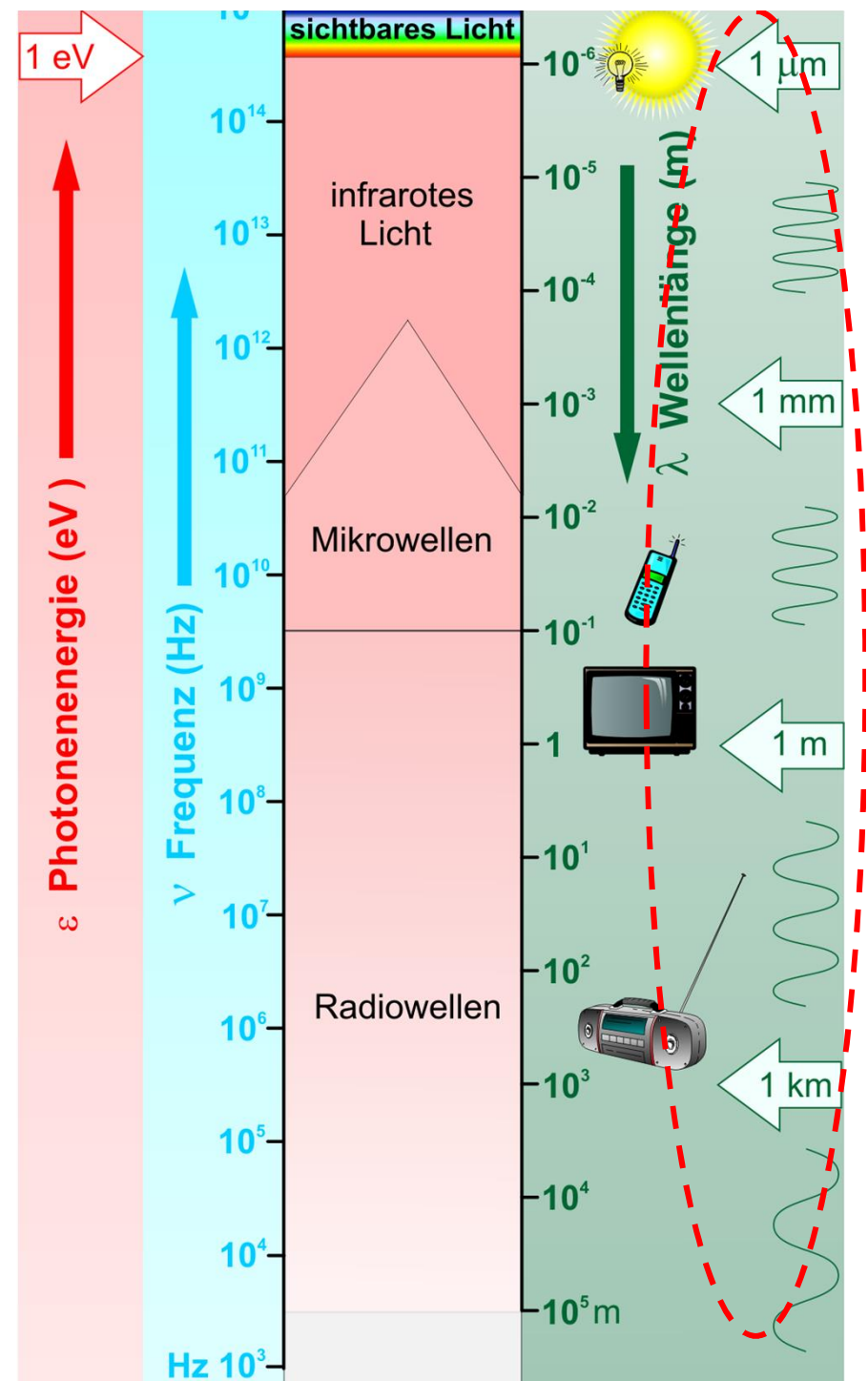
Anwendungsbeispiele:

- Gamma-Messer
- Röntgendiagnostik
- UV-Phototherapie
- Mikroskopie/Sehen
- Infrarotdiagnostik
- MRI



### Einige typische Größenordnungen:

$\gamma$ -Strahlung	MeV
Rtg-Strahlung	einige 10 keV
UV Licht	einige eV
Sichtbares Licht	eV
Sichtbares Licht	400-800 nm
IR	800 nm-1mm
Mikrowellen	cm
Radiowellen	m-km



### 3. Teilchenstrahlungen

- Teilchen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $e^-$ ,  $e^+$ ,  $p^+$ ,  $n^0$ , ...)

- Materiewellen

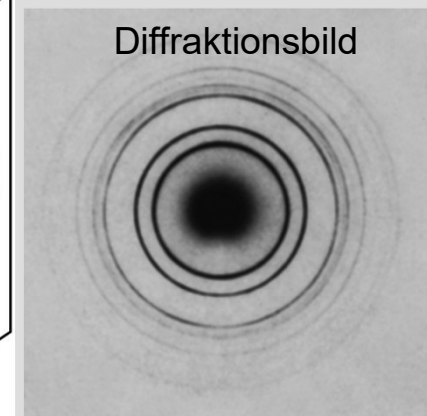
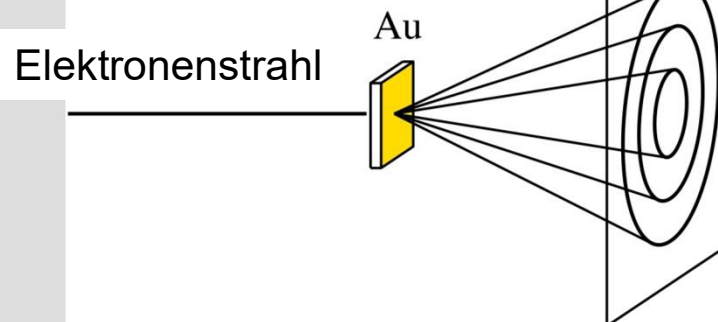
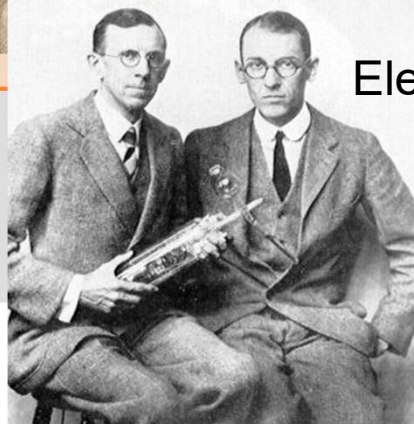


de Broglie (1923): Materiewellen

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$\lambda$  Wellenlänge der Materialwelle  
des Körpers mit Masse  $m$  und  
Geschwindigkeit  $v$ ,  $h$  ist die  
Plancksche Wirkungskonstante

Davisson & Germer (1927):  
Elektronenbeugungsexperiment



- Anwendungs-  
beispiele:

- Elektronenmikroskop
- Neutronendiffraktion
- Strahlentherapie

## 4. Mechanische Strahlungen (Schall, Ultraschall, ...)

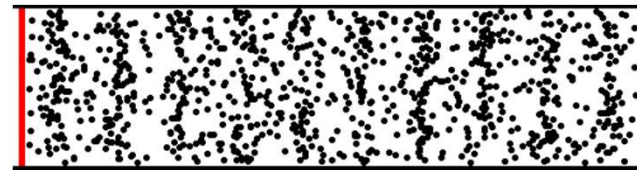
- Mechanische Wellen

$$c = \lambda \cdot f$$

$$c = 330 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{in der Luft})$$

$$c = 1500 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (\text{im Wasser und im Weichteilgewebe})$$

Meistens Longitudinalwellen:



- transversale/longitudinale Wellen

• 3 Bereiche:	Infraschall	–	Hörschall	–	Ultraschall
	< 20 Hz		20 Hz – 20 kHz		20 kHz <

- Anwendungsbeispiele:

- Sonographie
- Ultraschalltherapie
- Hören



*Hausaufgaben:*

Aufgabensammlung

2.75b-78 und 81

9.3-6

