

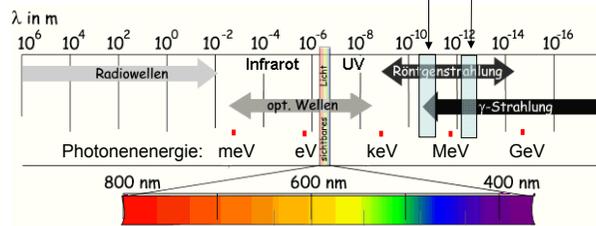


# Röntgenstrahlung

## Erzeugung und Eigenschaften

### Charakterisierung der Röntgenstrahlung

- elektromagnetische Strahlung
- Photonenergie:
  - Diagnostik: 30-200 keV
  - Therapie: 5-20 MeV
- Wellenlänge: ~ pm



## Vorkenntnisse

Mechanik: Dynamik:

Energie, kinetische Energie, Energieerhaltungssatz,

Wellen:

Frequenz, Welle, Transversalwelle, Wellenlänge,  $c = \lambda \cdot \nu$

Elektrizitätslehre:

elektrische Ladung, elektrische Spannung, elektrischer Strom, Stromstärke

Struktur der Materie: Atomphysik:

elektromagnetische Strahlungen, lichtelektrischer Effekt, Photon;

Photonenenergie, Elektronenübergänge, Lichtemission (Lumineszenz);

Kernphysik: Ordnungszahl,

- Wirkungen:

- Ionisation
- Lumineszenz (Fluoroskopie, Bildverstärker)
- chemische (z.B. Photo)
- biologische (Strahlenschädigung)

- Entstehung: in der Elektronenhülle

- Typen

- Bremsstrahlung
- charakteristische Strahlung



# Historie

- 1895 Wilhelm Conrad Röntgen X-Strahlung (X-ray)
- 1896 erste medizinische Anwendung
- 1901 Nobel Preis (erste Nobel Preis in Physik)
- ... heute:  
3D Röntgen-CT



# Entstehung der Röntgenstrahlung

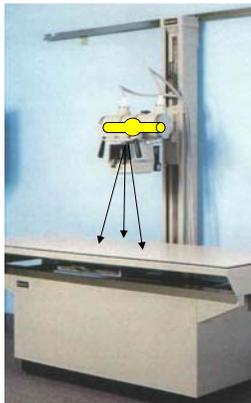
Röntgenstrahlung Entsteht wenn **hochenergetische** (beschleunigte) **geladene Teilchen** ihre Energie abgeben.

**Elektronen**  $E_{kin}$

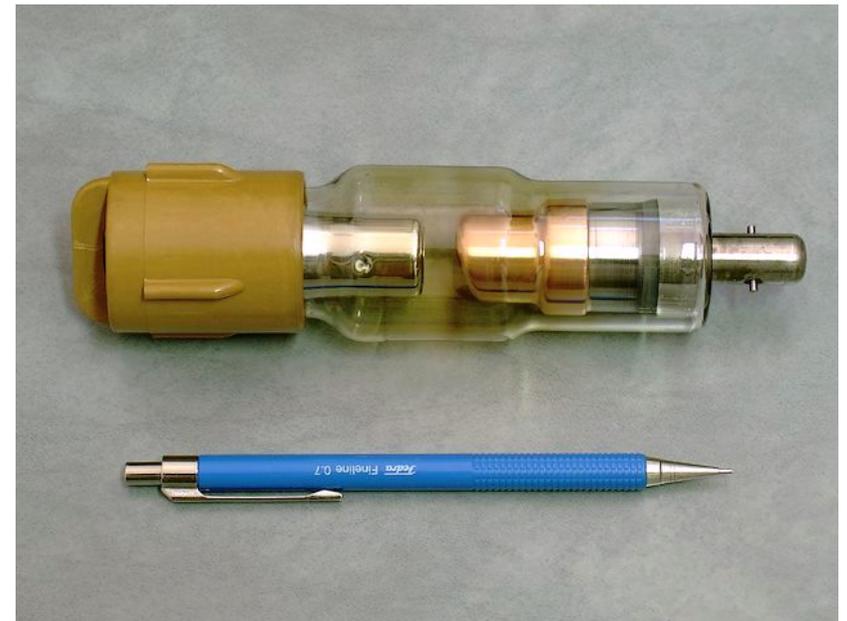
Röntgenröhre (Diagnostik)  
Teilchenbeschleuniger (Therapie)

# Geräte zur Erzeugung der Röntgenstrahlung

Röntgenröhre

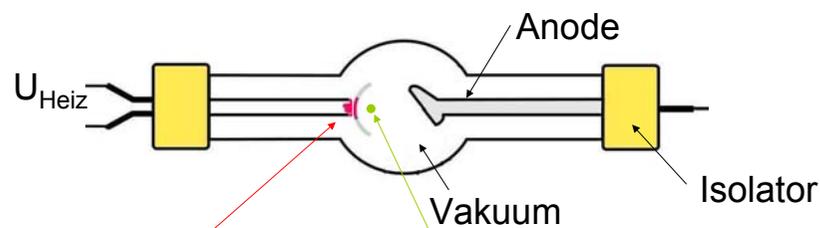


Teilchenbeschleuniger





## Die Röntgenröhre (1)

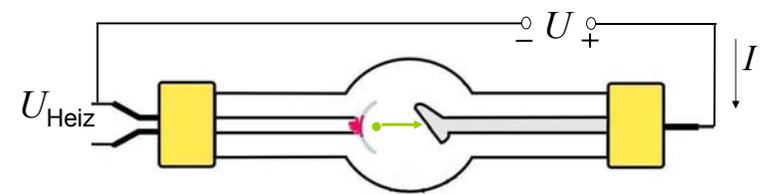


Heizkathode: Heizung (T Erhöhung)  $\Rightarrow$  Erhöhte thermische Energie  $\Rightarrow$  **Elektronen** treten aus der Kathode aus.

(Glühelctrischer Effekt)



## Die Röntgenröhre (2)



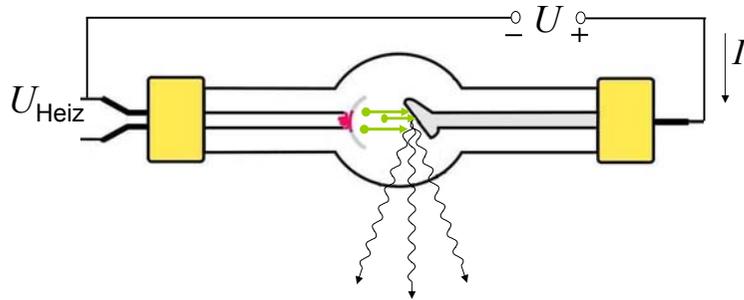
Anodenspannung(U) (typisch 30-200 kV): beschleunigt die Elektronen

$$U \cdot e = E_{\text{kin}}$$

Elementarladung  
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

kinetische Energie  
des beschleunigten Elektrons

# Die Röntgenröhre (3)

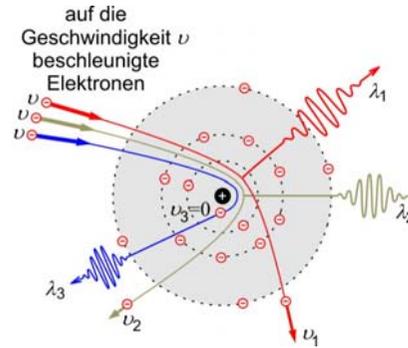


Röntgenstrahlung entsteht wenn die beschleunigten Elektronen auf die Anode prallen.

1. Abbremsung (Bremsstrahlung)
2. Elektronenausstoß+Elektronenübergang (Charakteristische Str.)

# Bremsstrahlung

Kinetische Energie  $\leftrightarrow$  Photonenenergie (Rtg)  
 $\leftrightarrow$  Thermische Energie



$$E_{kin} \geq hf$$

$$Ue = E_{kin} \geq hf = h \frac{c}{\lambda}$$

$$Ue \geq h \frac{c}{\lambda}$$

$$\lambda \geq \frac{hc}{Ue} = \lambda_{min}$$

# Grenzwellenlänge, Duane-Hunt Gesetz

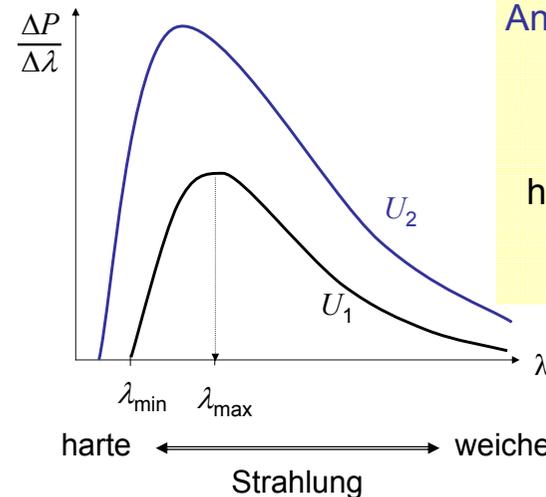
$$\lambda \geq \frac{hc}{Ue} = \lambda_{min}$$

$$\lambda_{min} = \frac{1230 \text{ kV} \cdot \text{pm}}{U}$$

nicht SI  
aber praktische  
Einheit

Rechenaufgaben 21 u. 22

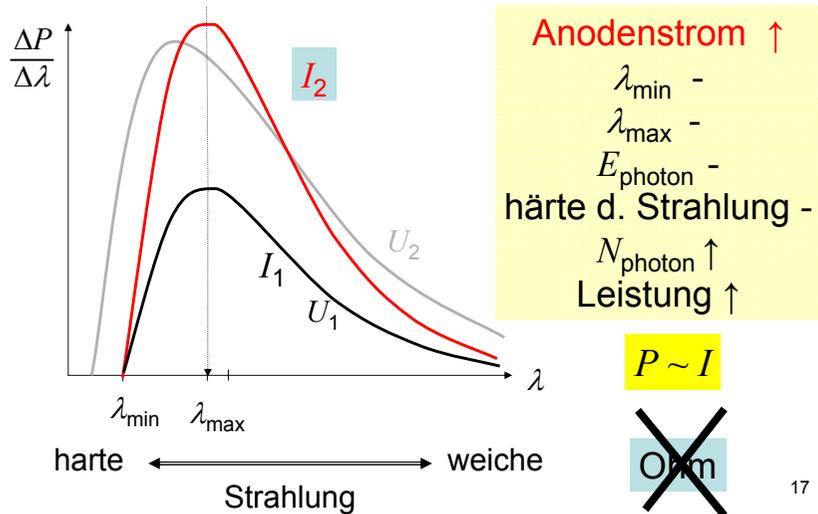
# Emissionsspektrum der Bremsstrahlung



Anodenspannung  $\uparrow$   
 $\lambda_{min} \downarrow$   
 $\lambda_{max} \downarrow$   
 $E_{photon} \uparrow$   
**härtere Strahlung**  
 $N_{photon} \uparrow$   
**Leistung  $\uparrow\uparrow$**

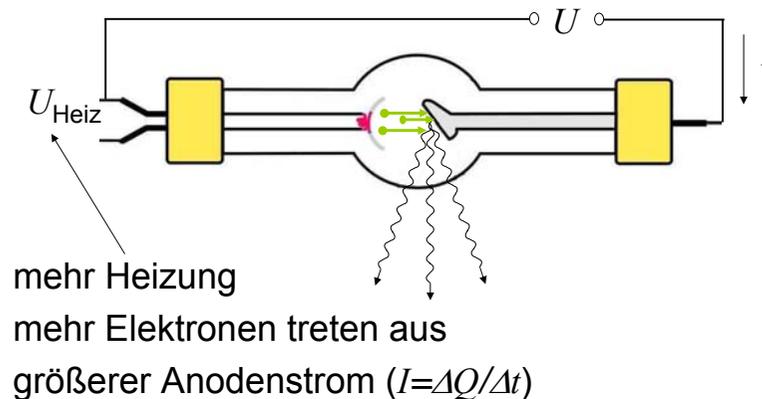
$$P \sim U^2$$

# Emissionsspektrum der Bremsstrahlung

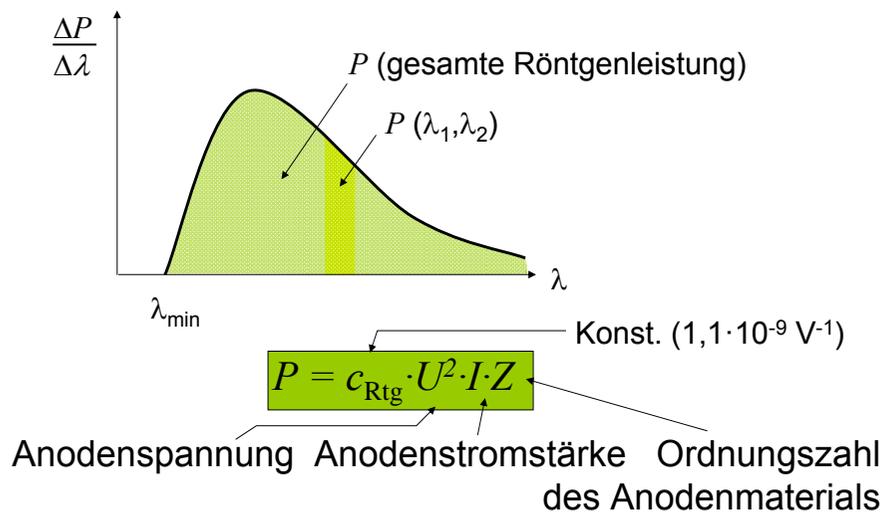


17

# Regulierung der Anodenstromstärke



# Leistung der Röntgenstrahlung



# Wirkungsgrad der Röntgenröhre

Wirkungsgrad =  $\frac{\text{nützliche Leistung}}{\text{investierte Leistung}}$

$$\eta = \frac{c_{Rtg} U^2 I Z}{UI} = c_{Rtg} U Z$$

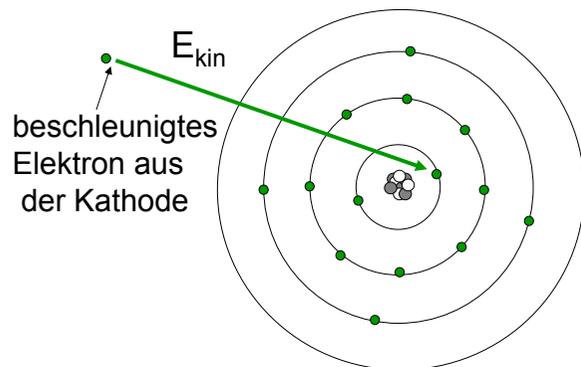
Anodenmaterial mit hoher Ordnungszahl!  
 Praktisch: Wolfram ( $Z=74$ )  
 typisches  $\eta$ : 1%    99% Wärme!



$Z_{blei} = 82!$

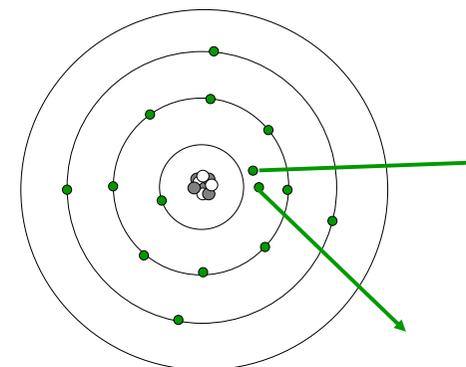
Aber:  $T_{Schm,W} \approx 3400^\circ C$      $T_{Schm,Pb} \approx 330^\circ C$

## Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



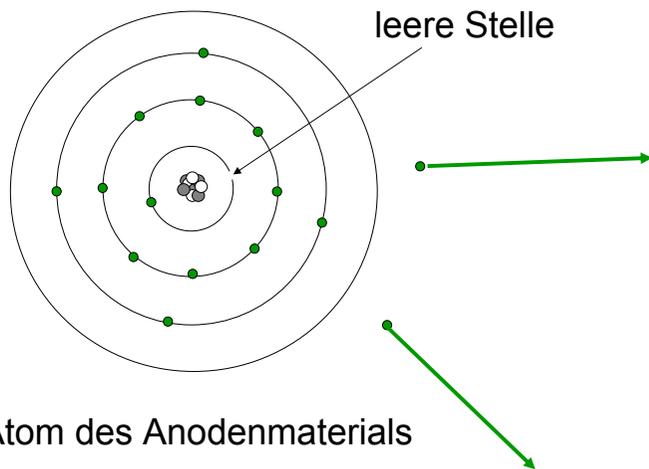
Atom des Anodenmaterials

## Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



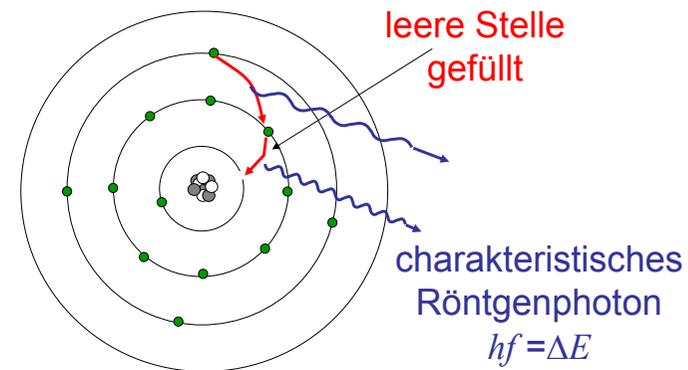
Atom des Anodenmaterials

## Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



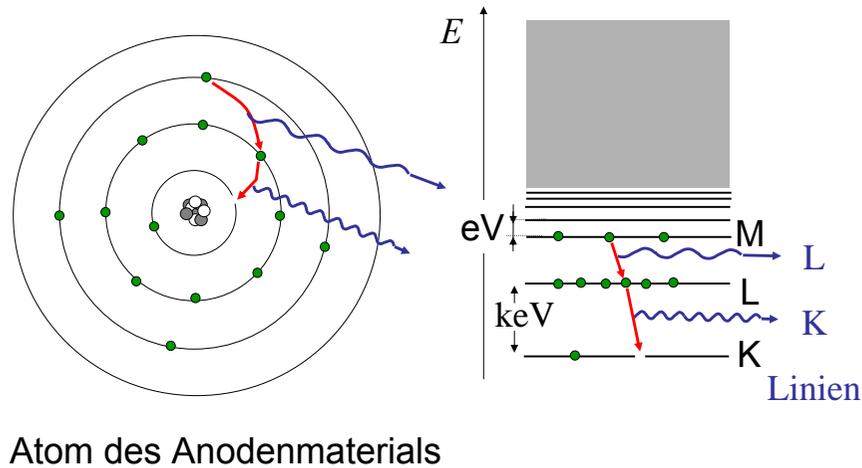
Atom des Anodenmaterials

## Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung

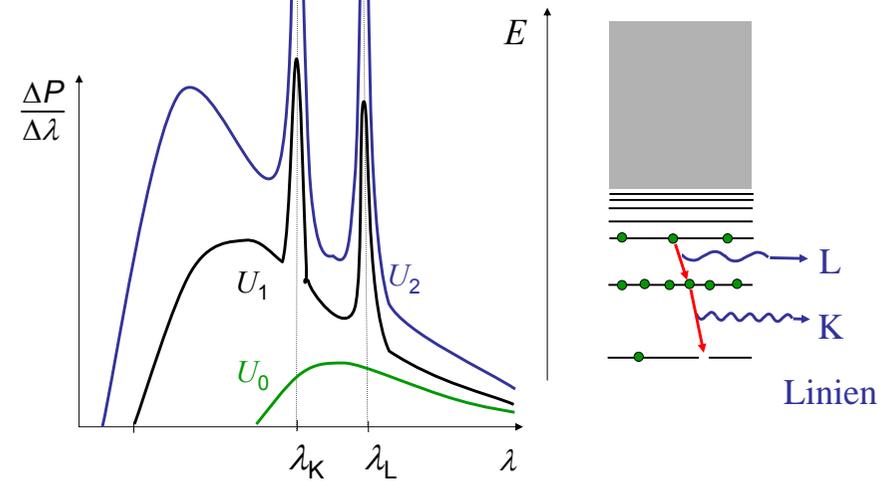


Atom des Anodenmaterials

## Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



## Spektrum der charakteristischen Röntgenstrahlung



## Anwendung der charakteristischen Röntgenstrahlung

fast monochromatische Röntgenstrahlung

-Diagnostik (zB.: Mammographie)

-Strukturanalyse der Materie (Röntgenbeugung)

### Biophysik für Mediziner

- II/3.1.1
- II/3.1.2
- II/3.1.3
- II/3.1.4

### Rechenaufgaben

- ✓ 21, 22
- ✓ (23,28)

**Praktikum**  
**Medizinische Physik**  
 Abschnitt 13, 13b