

A photograph of an X-ray room with white tiled walls and a large X-ray machine. The text is overlaid on the image.

# Röntgenstrahlung

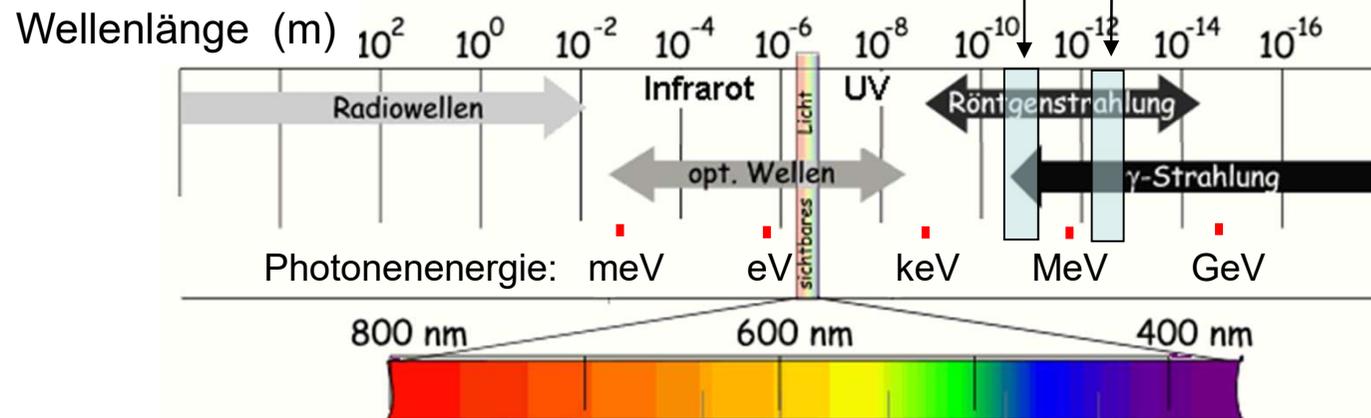
Erzeugung und Eigenschaften

Physikalische Grundlagen

der Röntgendiagnostik

# Charakterisierung der Röntgenstrahlung

- elektromagnetische Strahlung
- Photonenergie:
  - Diagnostik: 30-200 keV
  - Therapie: 5-20 MeV
- Wellenlänge:
  - ~ einige 10 pm (Diagn.)
  - ~ 100 fm (Ther.)



- Wirkungen:

- Ionisation

- Lumineszenz (Fluoroskopie, Bildverstärker)

- chemische (z.B. Photographie)

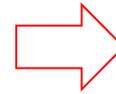
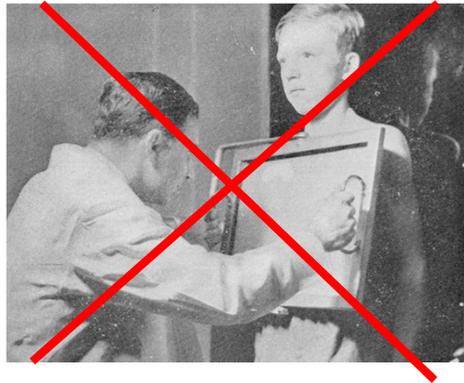
- biologische (Strahlenschädigung)

- Entstehung: in der Elektronenhülle

- Typen

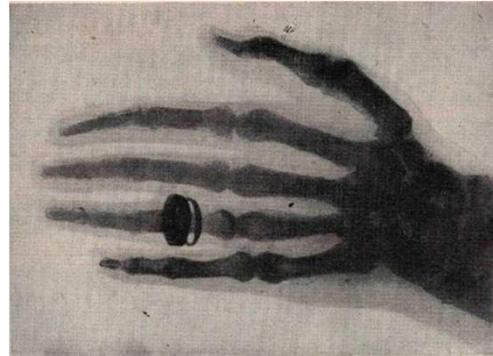
- Bremsstrahlung

- charakteristische Strahlung



# Historie

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



# Entstehung der Röntgenstrahlung

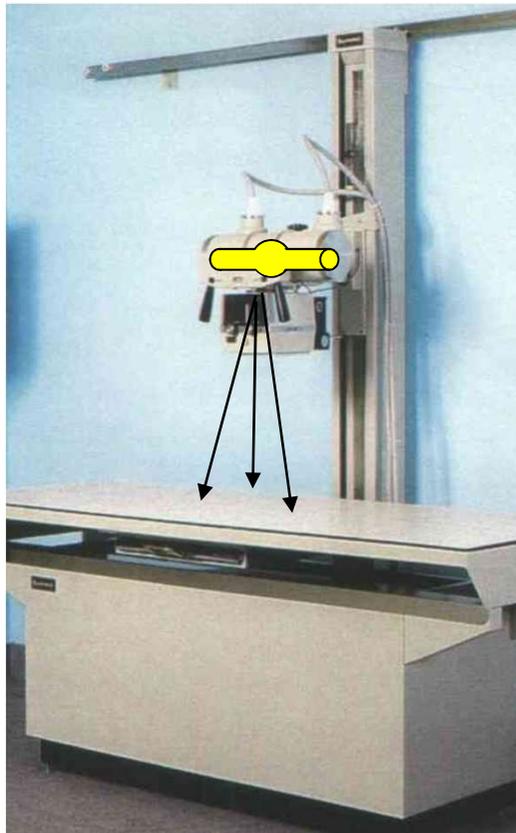
Röntgenstrahlung Entsteht wenn  
hochenergetische (beschleunigte)  
geladene Teilchen ihre Energie abgeben.

Elektronen  $E_{kin}$

Röntgenröhre (Diagnostik)  
Teilchenbeschleuniger (Therapie)

# Geräte zur Erzeugung der Röntgenstrahlung

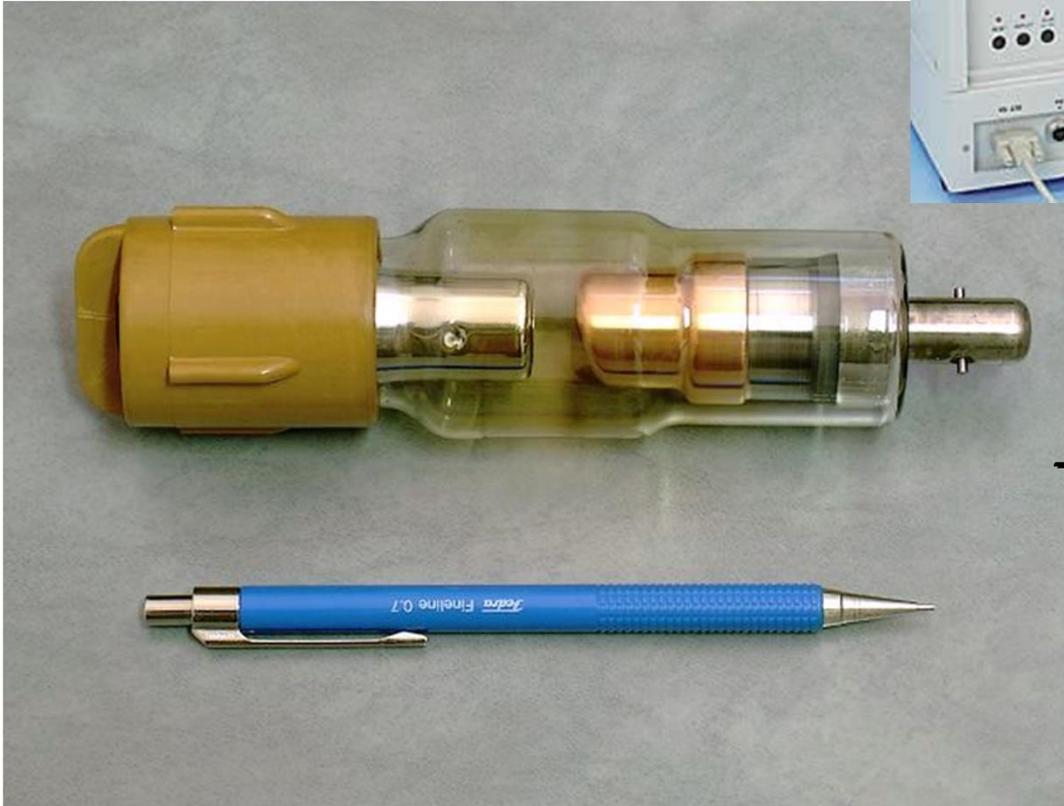
## Röntgenröhre



## Teilchenbeschleuniger

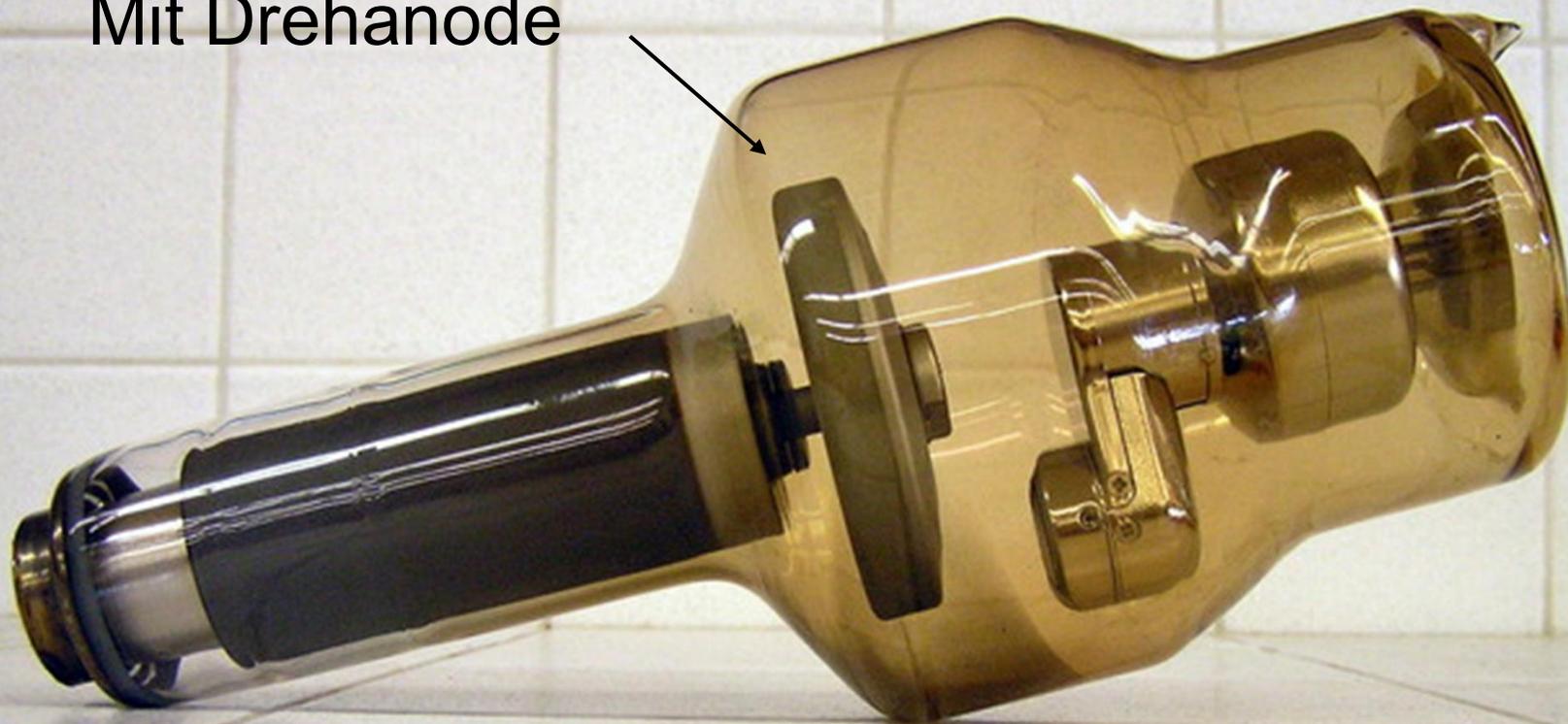
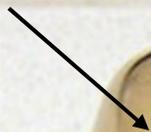


# Die Röntgenröhre

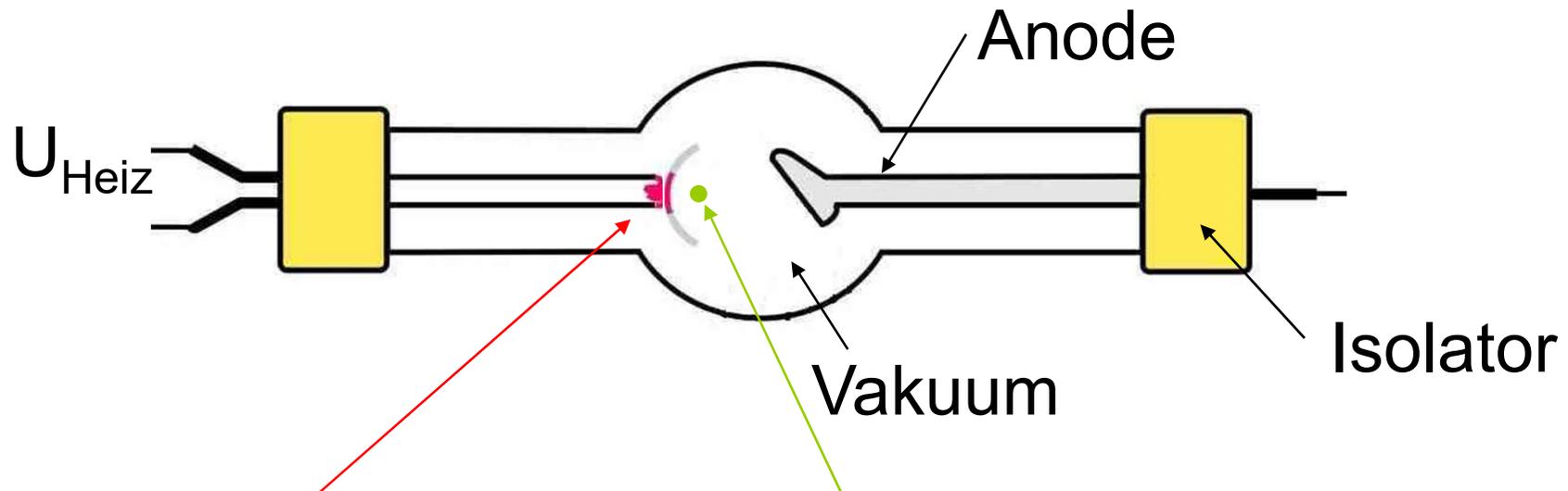




Mit Drehanode

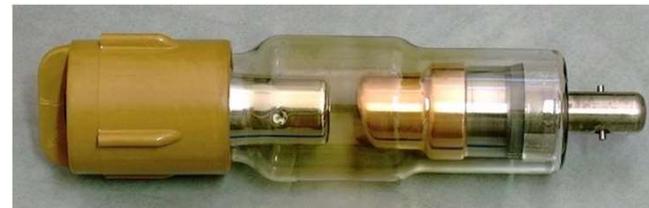


# Die Röntgenröhre (1)

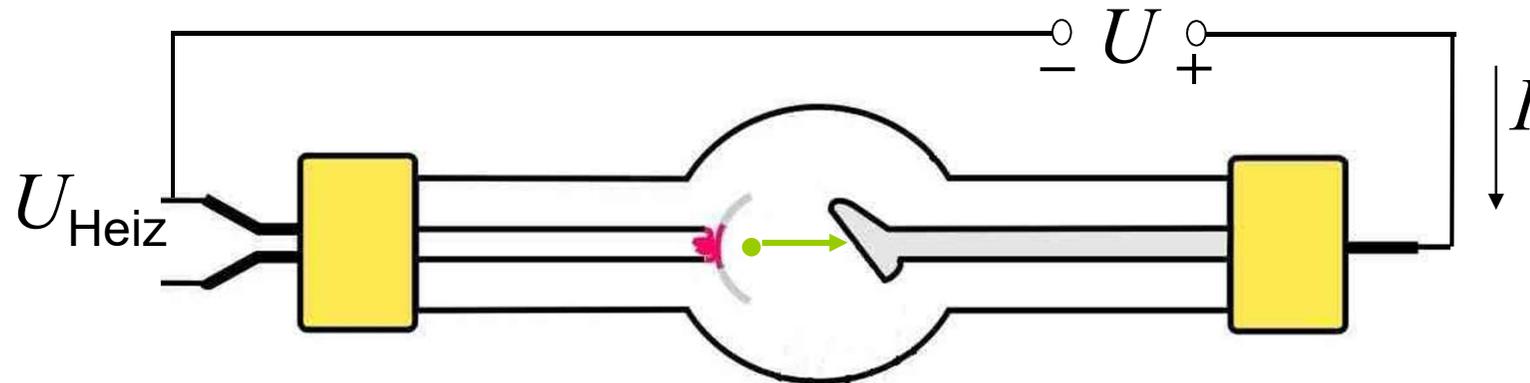


Heizkathode: Heizung (T Erhöhung)  $\Rightarrow$  Erhöhte thermische Energie  $\Rightarrow$  **Elektronen** treten aus der Kathode aus.

(Glühelektrischer Effekt)



# Die Röntgenröhre (2)



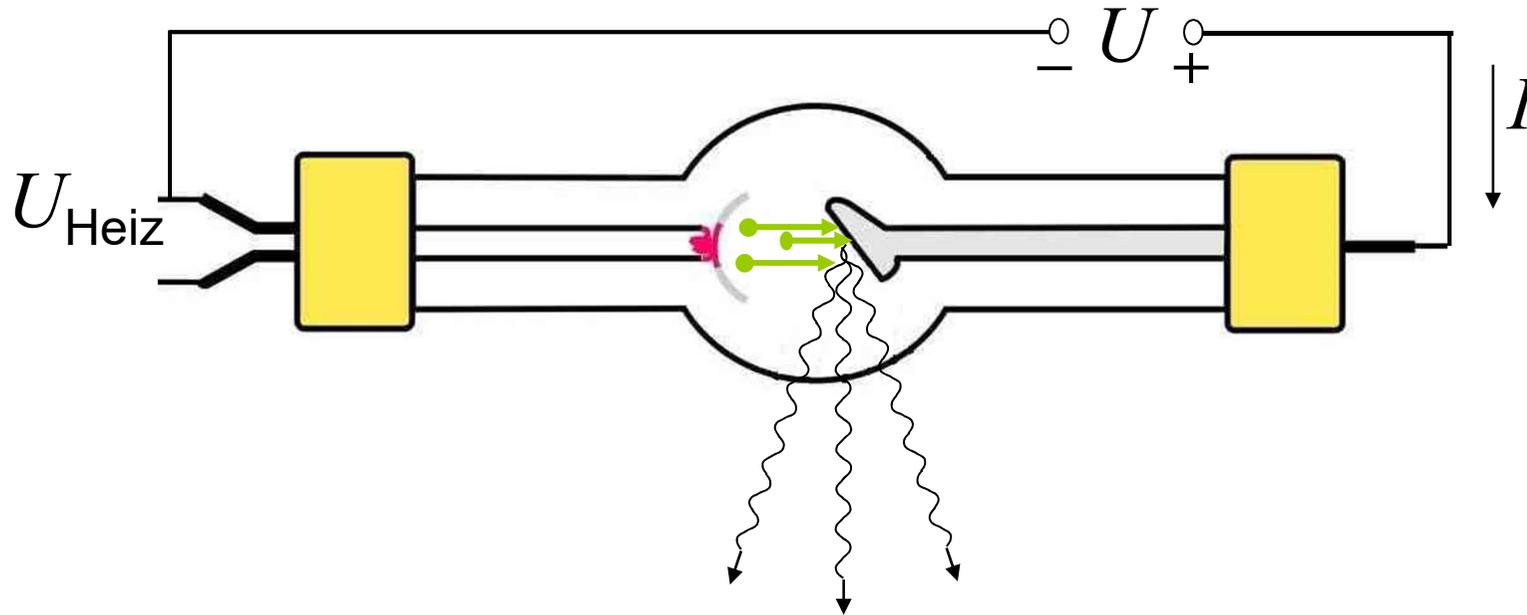
Anodenspannung( $U$ ) (typisch 30-200 kV):  
beschleunigt die Elektronen

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

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

kinetische Energie  
des beschleunigten Elektrons

# Die Röntgenröhre (3)

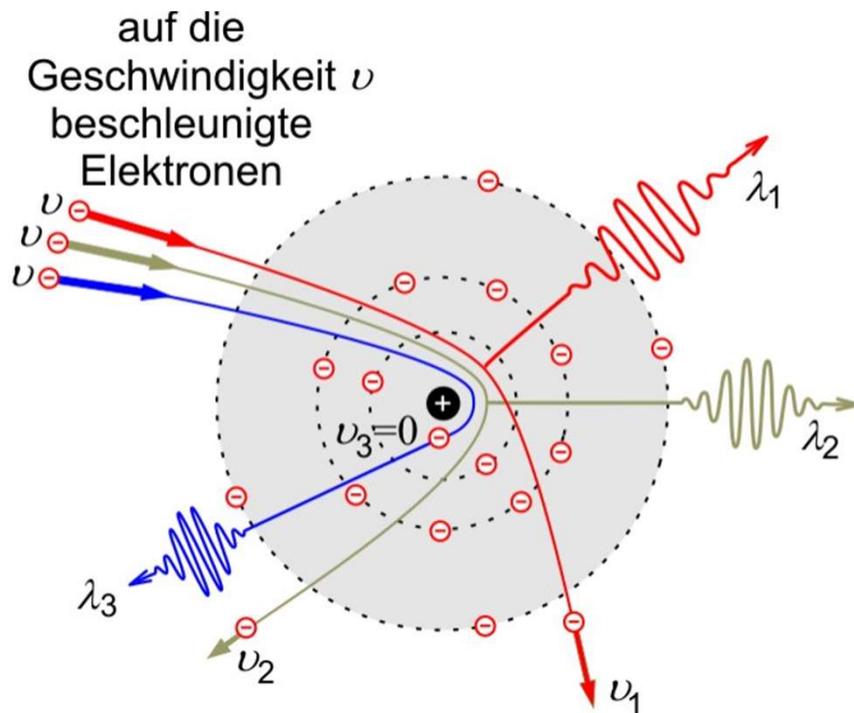


Röntgenstrahlung entsteht wenn die beschleunigten Elektronen auf die Anode prallen.

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

# Bremsstrahlung

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



$$E_{\text{kin}} \geq hf$$

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

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

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

# Grenzwellenlänge, Duane-Hunt Gesetz

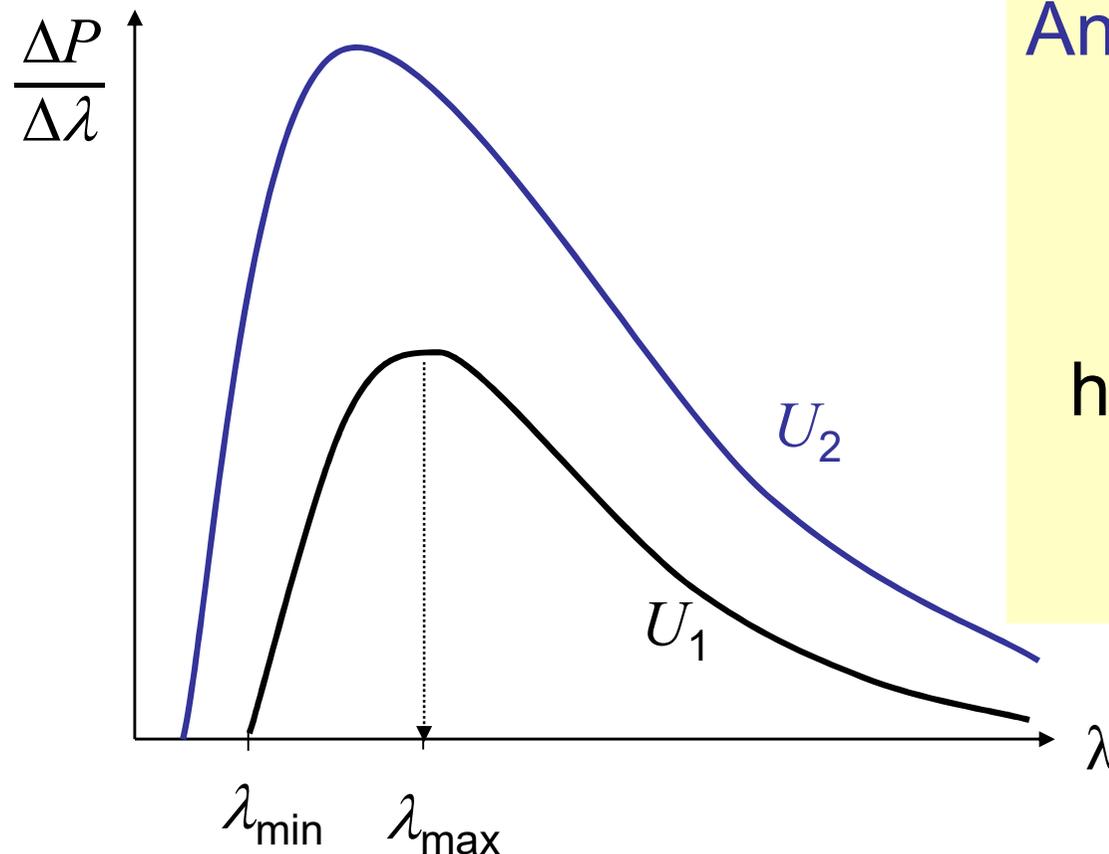
$$\lambda \geq \frac{hc}{U_e} = \lambda_{\min}$$

Konst.

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

nicht SI  
aber praktische  
Einheit

# Emissionsspektrum der Bremsstrahlung

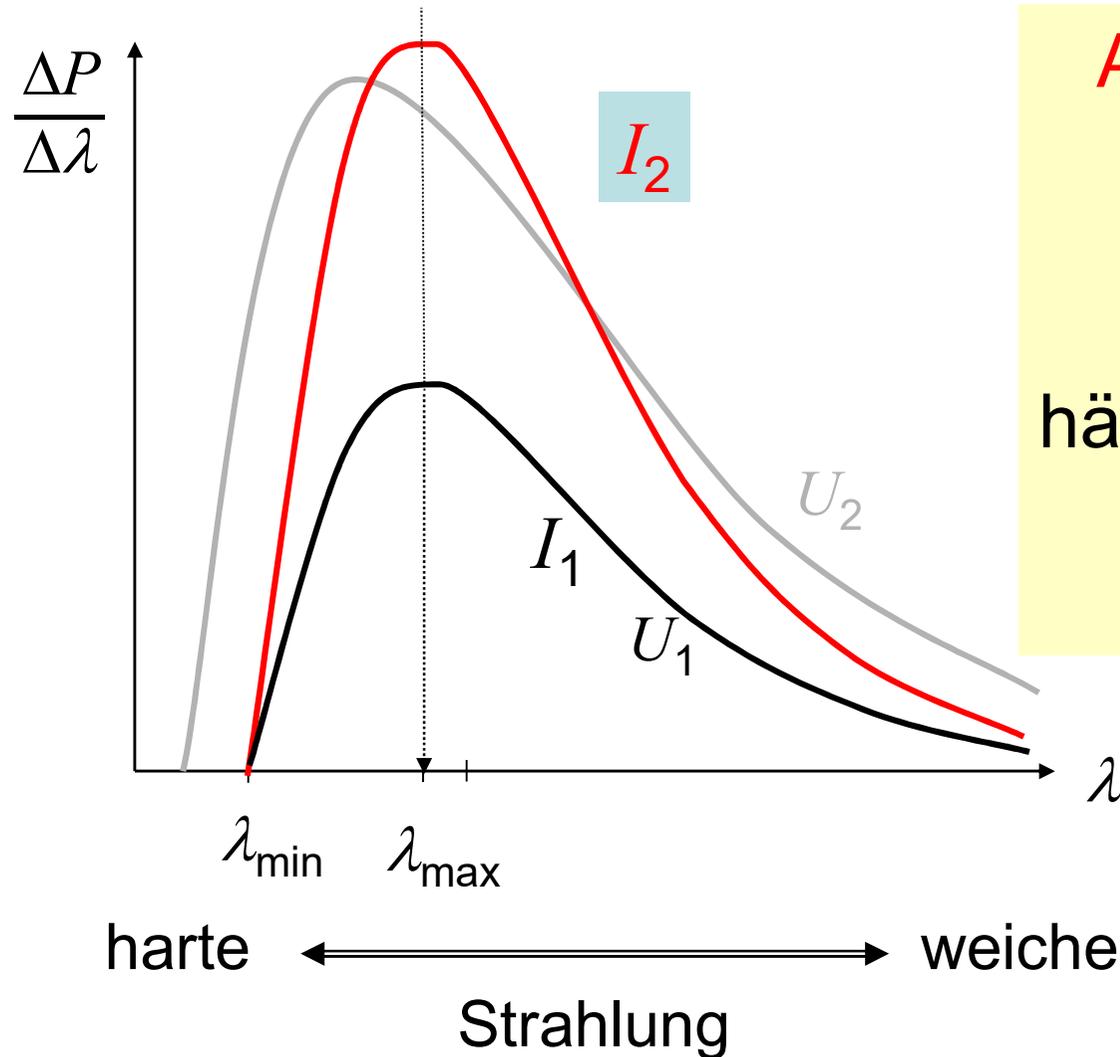


Anodenspannung  $\uparrow$   
 $\lambda_{\min} \downarrow$   
 $\lambda_{\max} \downarrow$   
 $E_{\text{photon}} \uparrow$   
härtere Strahlung  
 $N_{\text{photon}} \uparrow$   
Leistung  $\uparrow\uparrow$

$P \sim U^2$

harte  $\longleftrightarrow$  weiche  
Strahlung

# Emissionsspektrum der Bremsstrahlung

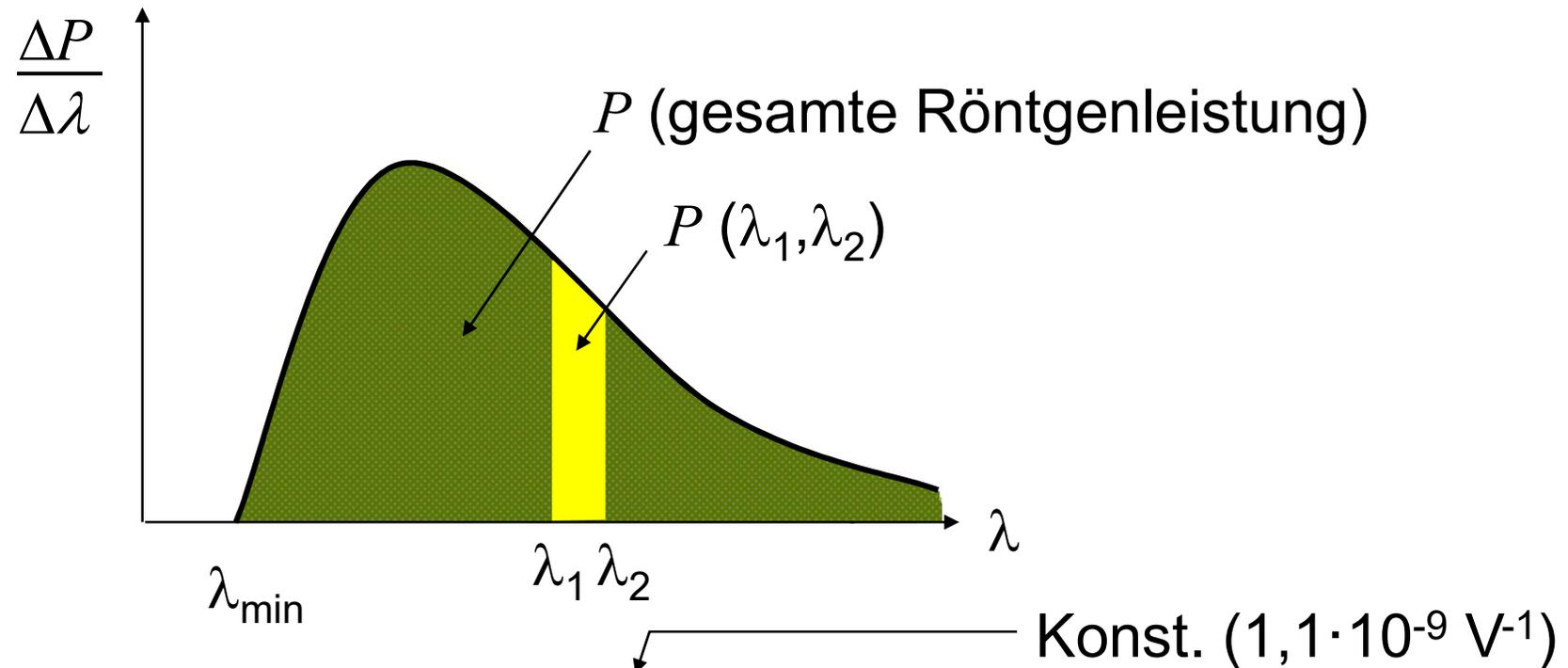


**Anodenstrom  $\uparrow$**   
 $\lambda_{\min}$  -  
 $\lambda_{\max}$  -  
 $E_{\text{photon}}$  -  
 härte d. Strahlung -  
 $N_{\text{photon}}$   $\uparrow$   
 Leistung  $\uparrow$

$P \sim I$

~~Ohm~~

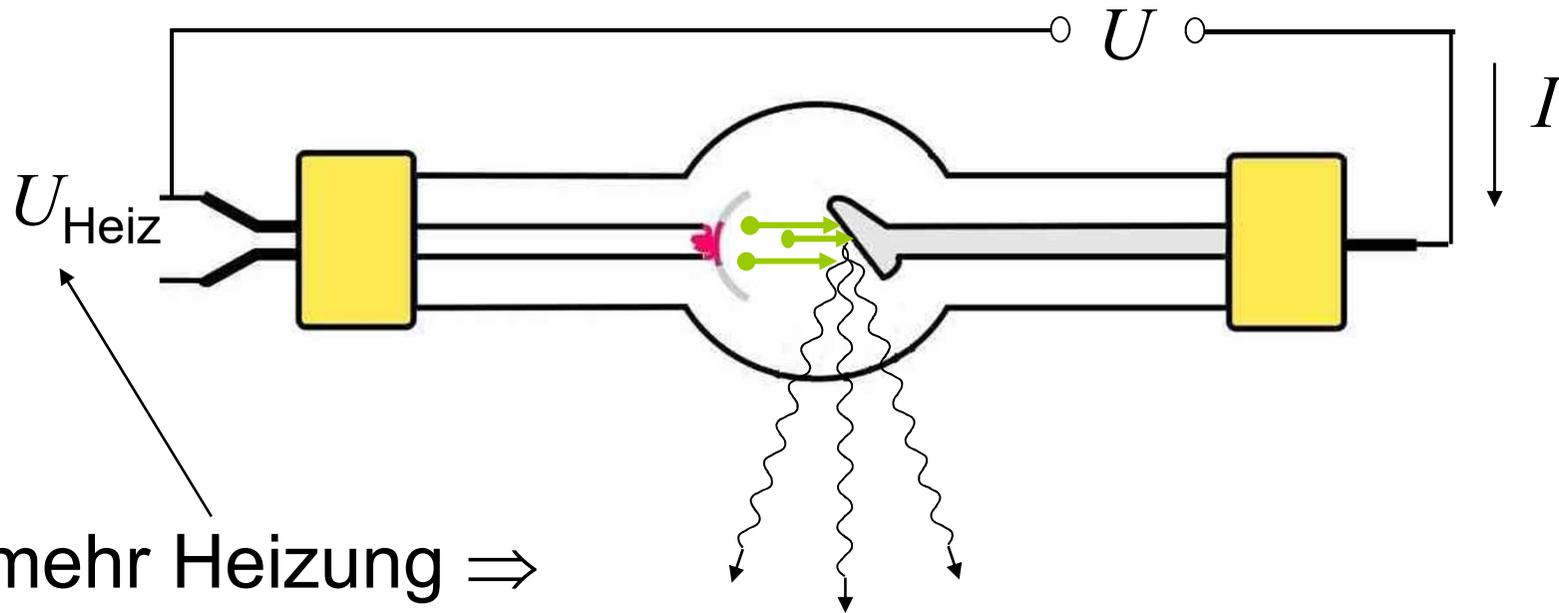
# Leistung der Röntgenstrahlung



$$P = c_{\text{Rtg}} \cdot U^2 \cdot I \cdot Z$$

Anodenspannung    Anodenstromstärke    Ordnungszahl  
des Anodenmaterials

# Regulierung der Anodenstromstärke



mehr Heizung  $\Rightarrow$

mehr Elektronen treten aus  $\Rightarrow$

größerer Anodenstrom  $(I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n \cdot e}{\Delta t})$

# Wirkungsgrad der Röntgenröhre

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

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

$1,1 \cdot 10^{-9} \text{V}^{-1}$

Anodenmaterial mit hoher Ordnungszahl !

Praktisch: Wolfram ( $Z=74$ )

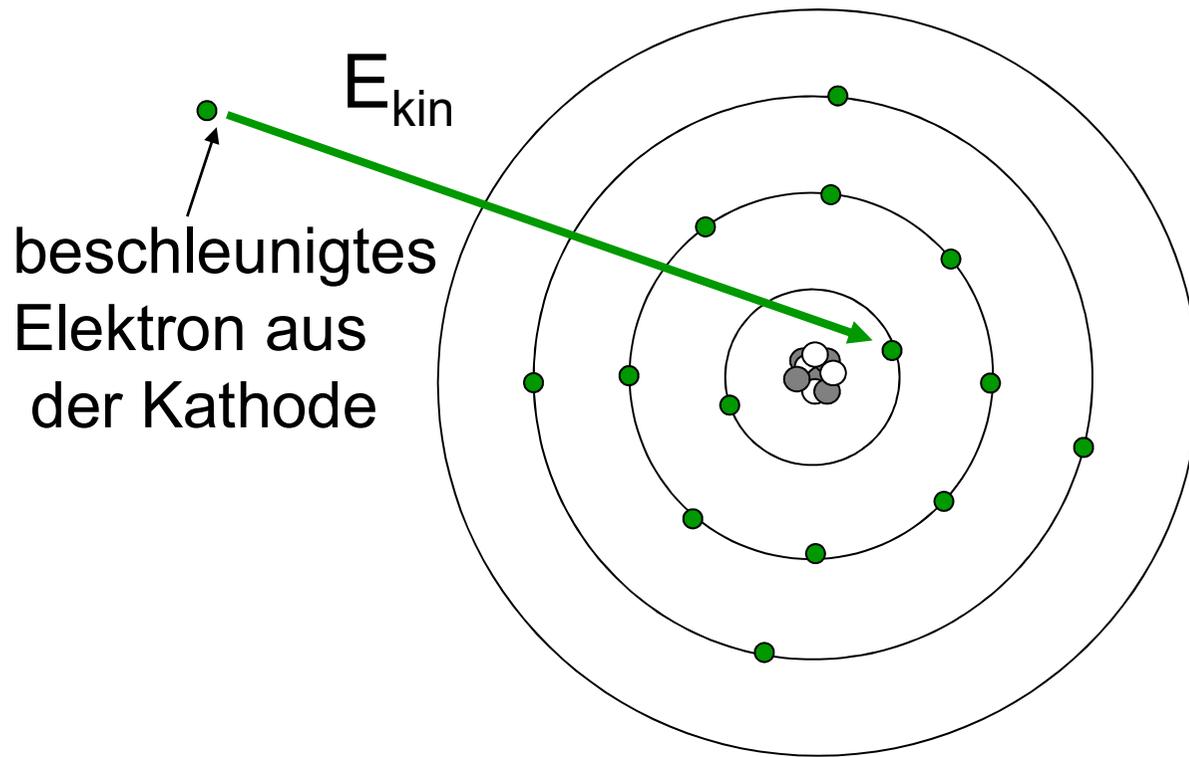
typischer  $\eta$  : 1%     **99% Wärme!**

**$Z_{\text{blei}}=82$  !**

**$T_{\text{Schm,W}} \approx 3400^\circ\text{C}$     $T_{\text{Schm,Pb}} \approx 330^\circ\text{C}$**

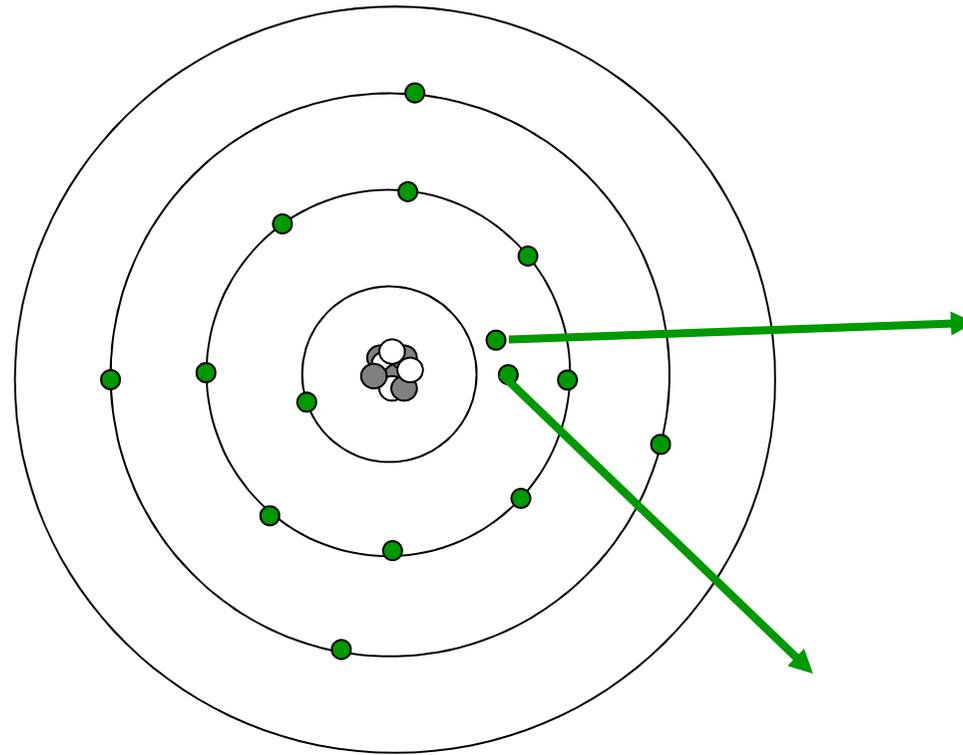
Auch Kühlung der Anode ist notwendig!

# Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



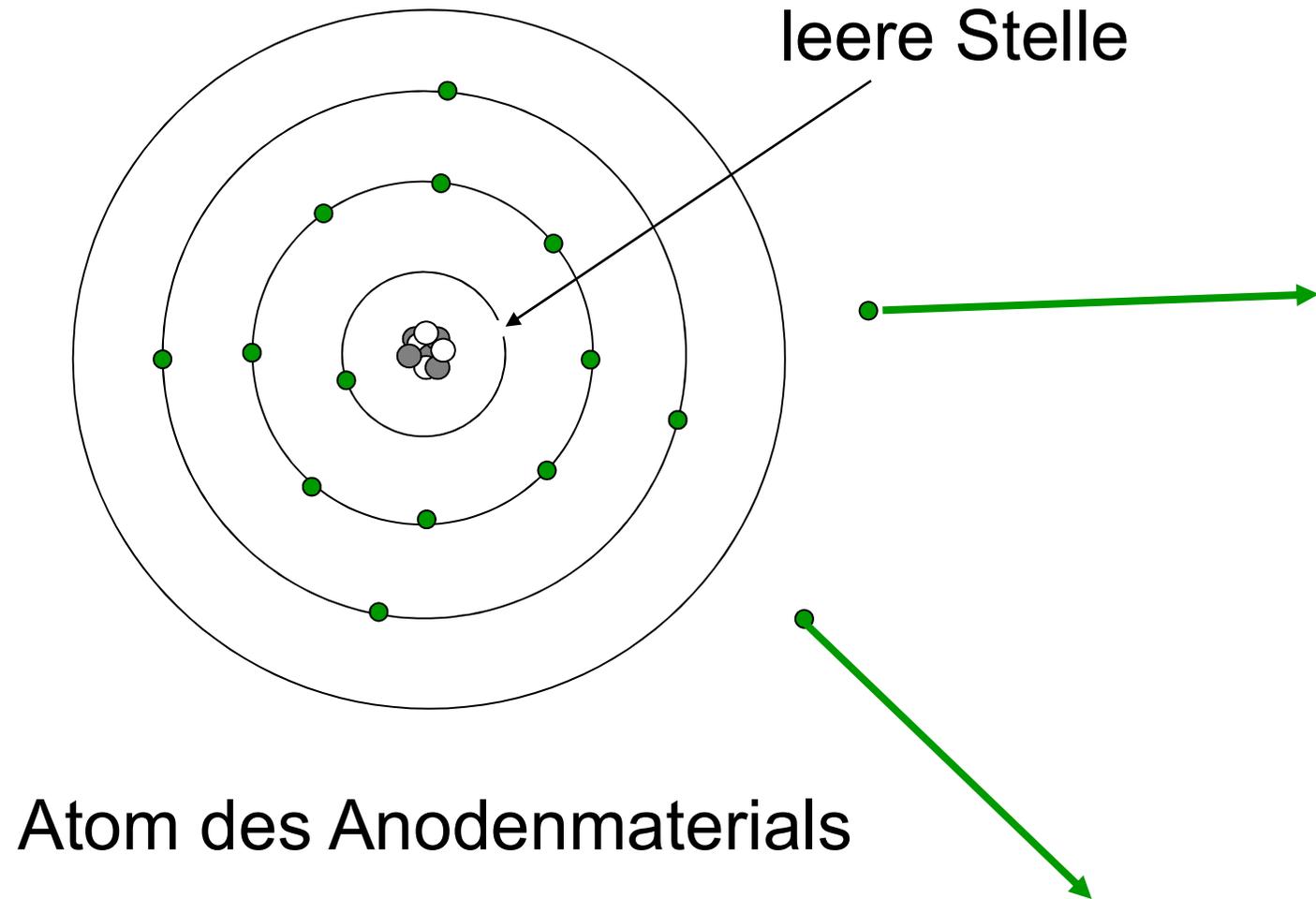
Atom des Anodenmaterials

# Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung

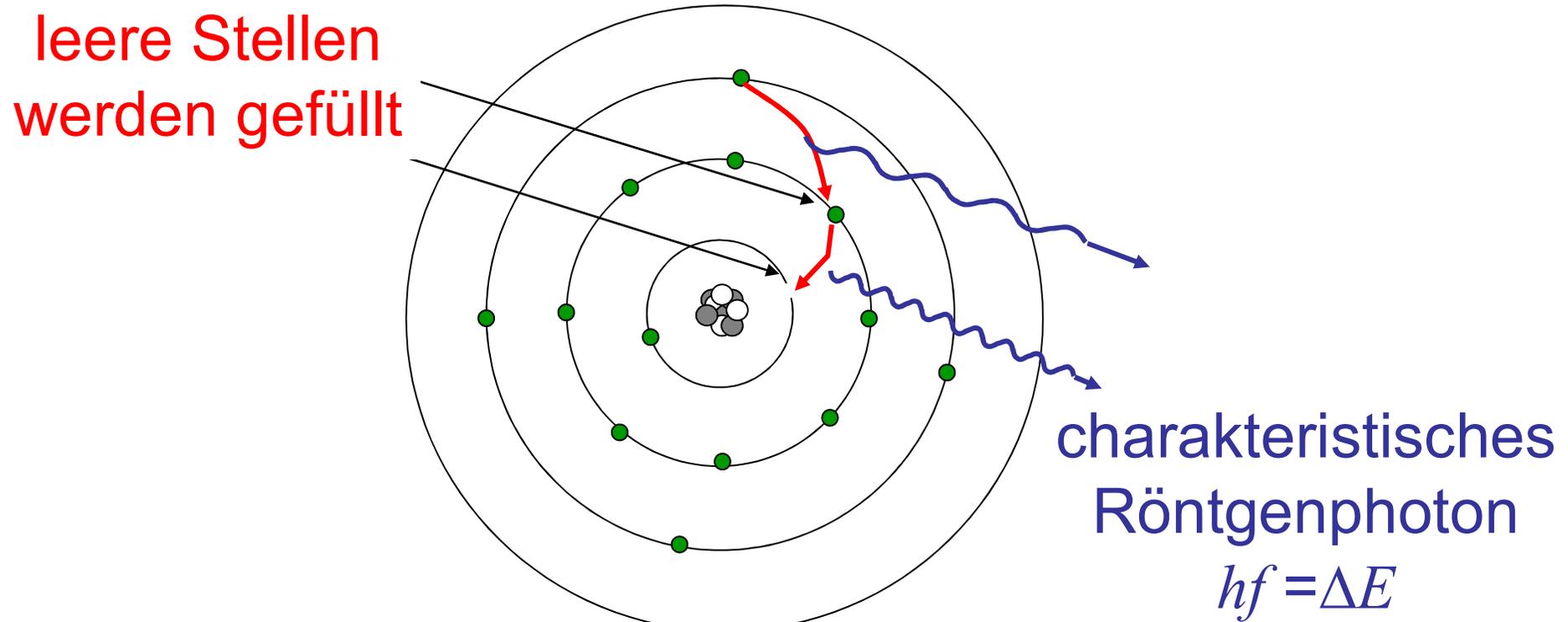


Atom des Anodenmaterials

# Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung

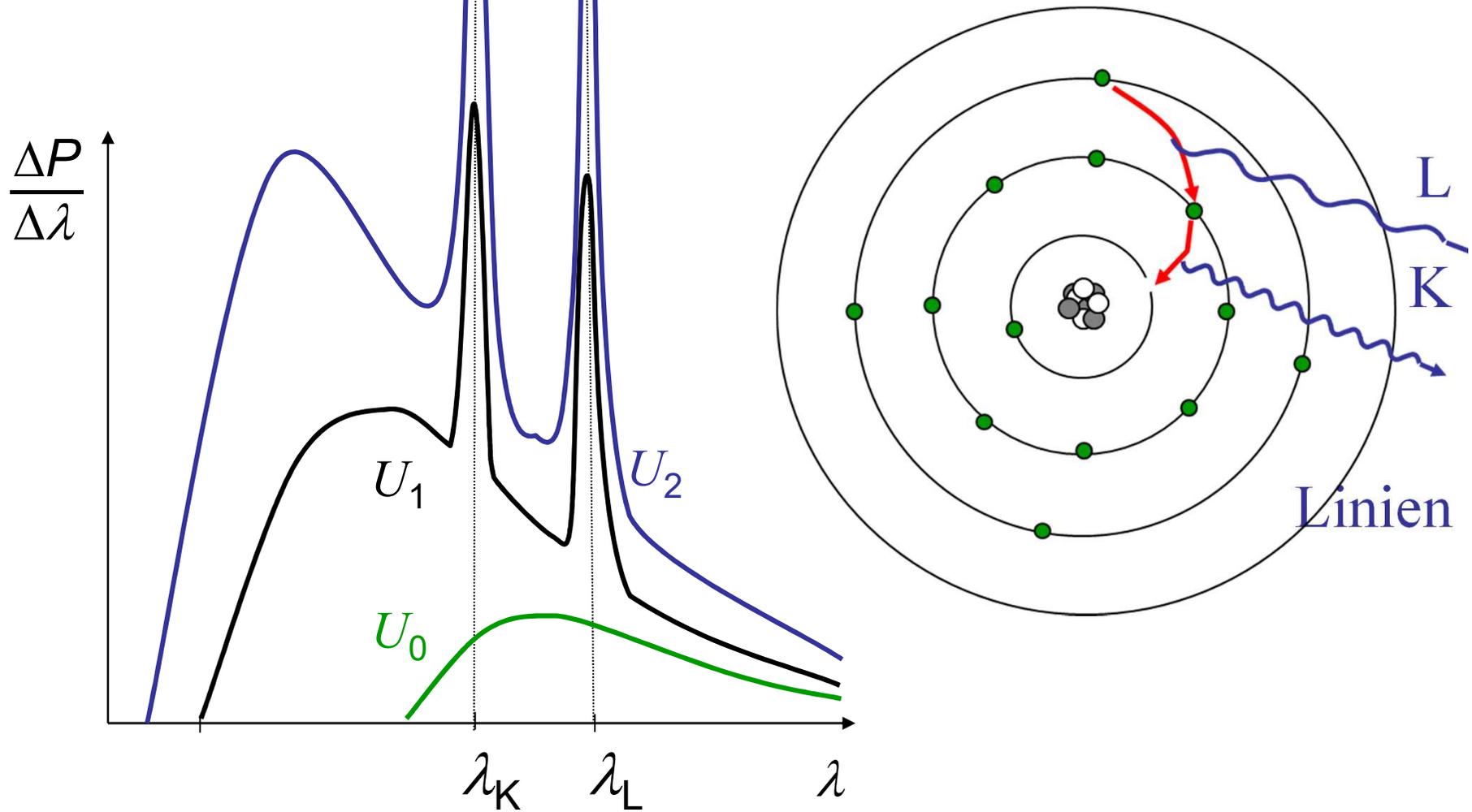


# Entstehung der charakteristischen Röntgenstrahlung



Atom des Anodenmaterials

# Spektrum der charakteristischen Röntgenstrahlung



# Anwendung der charakteristischen Röntgenstrahlung

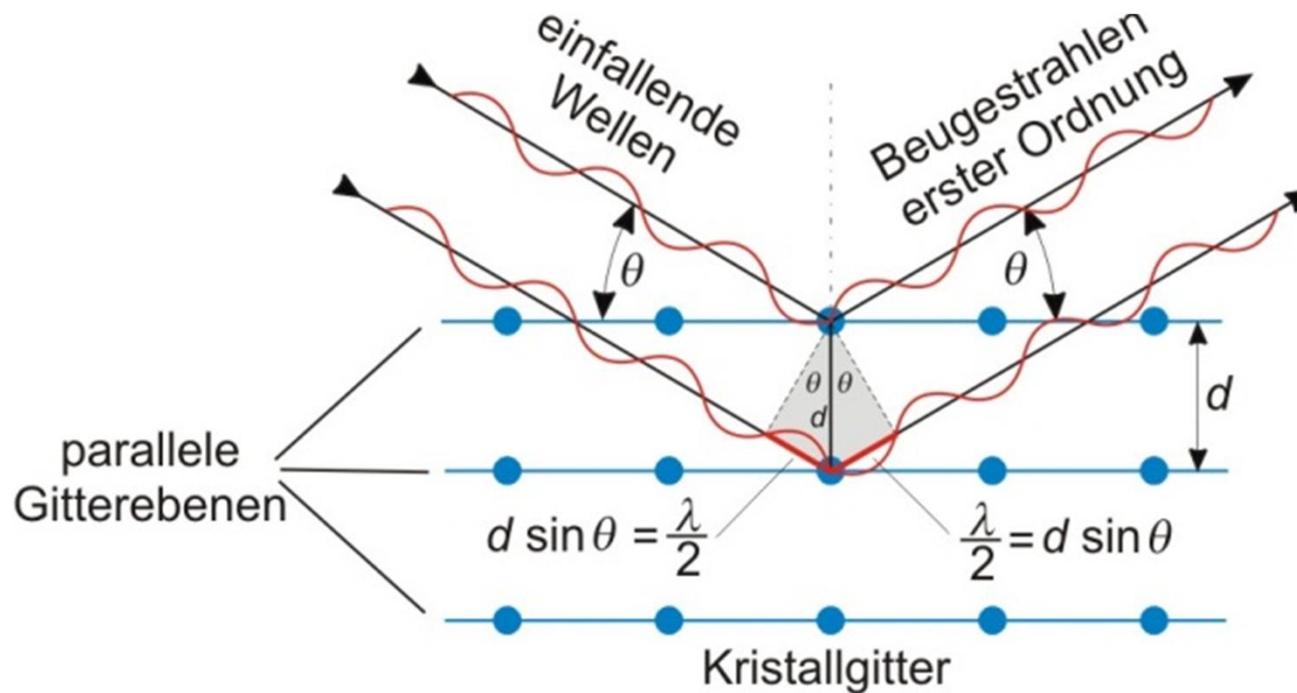
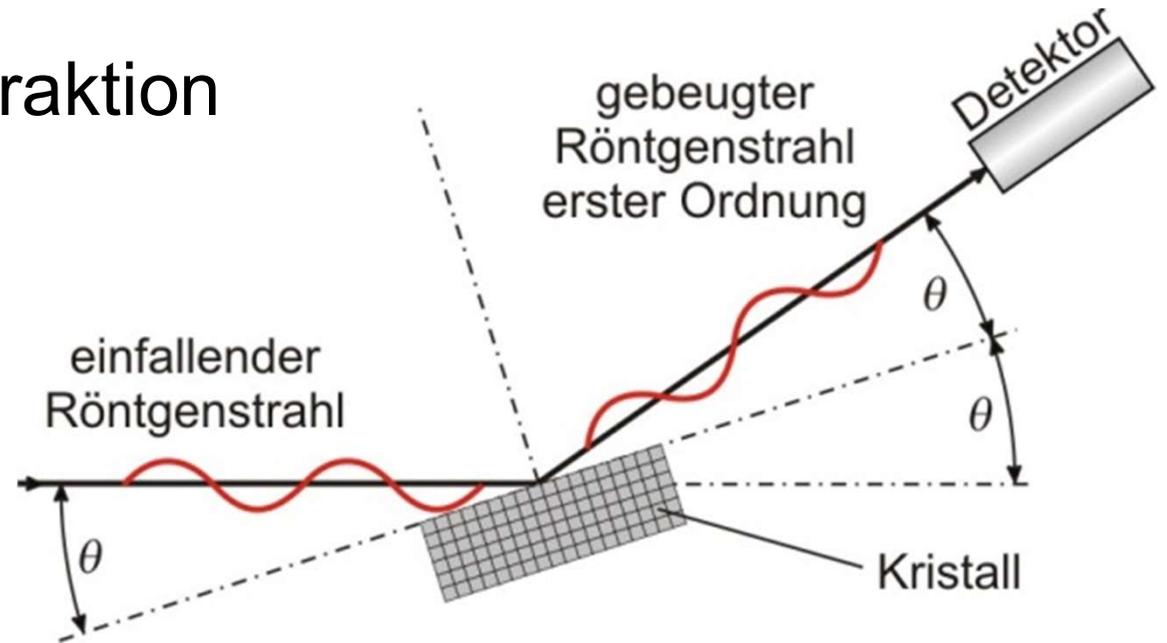
fast monochromatische Röntgenstrahlung

-Diagnostik (zB.: Mammographie)

-Strukturanalyse der Materie (Röntgenbeugung)

# Umweg: Röntgendiffraktion

$\lambda \approx 0,01-0,1 \text{ nm}$



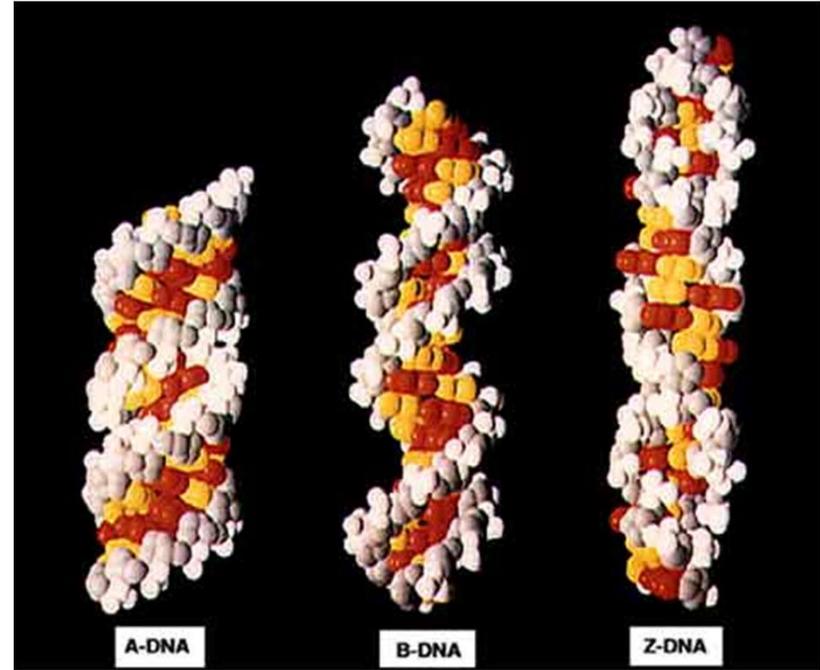
Bragg-Gleichung:

$$2d \sin \theta = n \cdot \lambda$$

Beispiele:

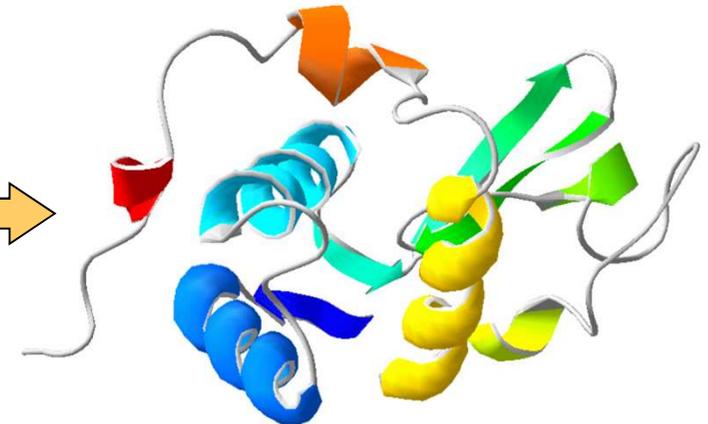
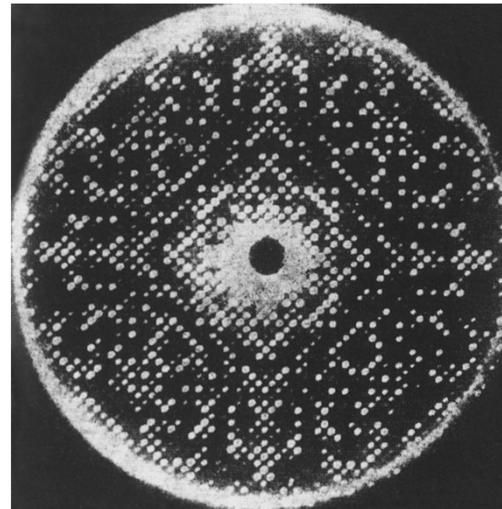
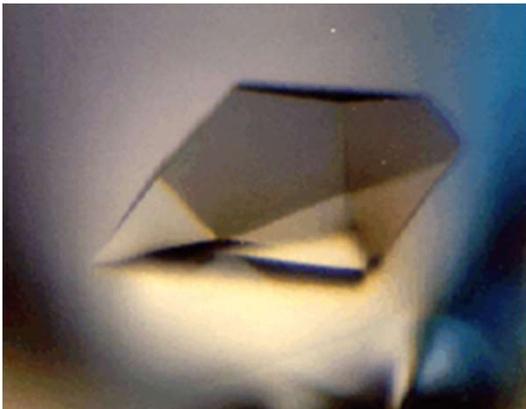


DNA



Lysozyme

Protein-Kristall



# PDB Database: 3D

## Makromolekülstrukturen meistens mit Hilfe der Rtgdiffraktion bestimmt

RCSB PDB - Mozilla Firefox

14.02.2021: 174507

Fájl Szerkesztés Nézet Előzmények Könyvjelzők Eszközök Súgó

www.pdb.org/pdb/home/home.do

RCSB PDB PROTEIN DATA BANK

PDB-101

A MEMBER OF THE PDB

An Information Portal to Biological Macromolecular Structures

As of Tuesday Feb 14, 2012 at 4 PM PST there are ~~79356~~ Structures | PDB Statistics

All Categories Author Macromolecule Sequence Ligand

Search | All Categories: e.g., PDB ID, molecule name, author

Browse Advanced

### Biological Macromolecular Resource

Full Description

Featured Molecules Hide

Structural View of Biology List View of Archive By: Title | Date | Category

Health & Disease

Molecule of the Month

**Aminoglycoside Antibiotics**

The discovery of streptomycin in 1944 provided the first effective treatment for tuberculosis. Ever since then, we have fought an escalating battle with

New Structures Hide

Latest Release  
New Structure Papers  
Search Unreleased Entries

New Features Hide

Ligands: Subcomponents and Leaving Atoms

Latest features released:

Website Release Archive: [dropdown]

RCSB PDB News Hide

Customize This Page

MyPDB Hide

Login to your Account  
Register a New Account  
Query Results (2)  
Query History (1)

Home Hide

News & Publications  
Usage/Reference Policies  
Deposition Policies  
Website FAQ  
Deposition FAQ  
Contact Us

A photograph of a medical X-ray room. In the center, a large, white mobile X-ray unit is mounted on a stand. Below it, a patient table is covered with a blue mat. The room has white tiled walls and various medical equipment, including a sink and a counter in the background. The text is overlaid on the image.

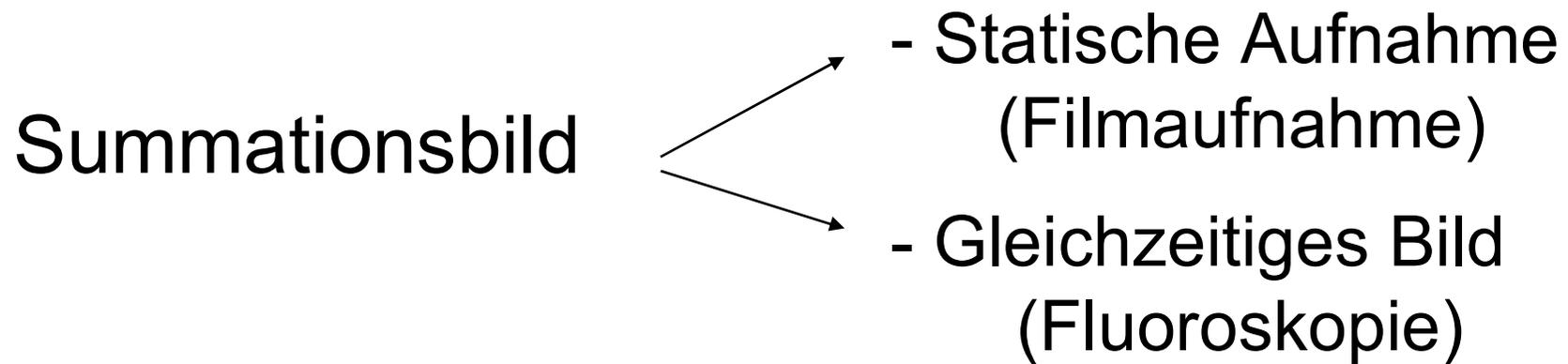
# Röntgenstrahlung

Erzeugung und Eigenschaften

Physikalische Grundlagen

der Röntgendiagnostik

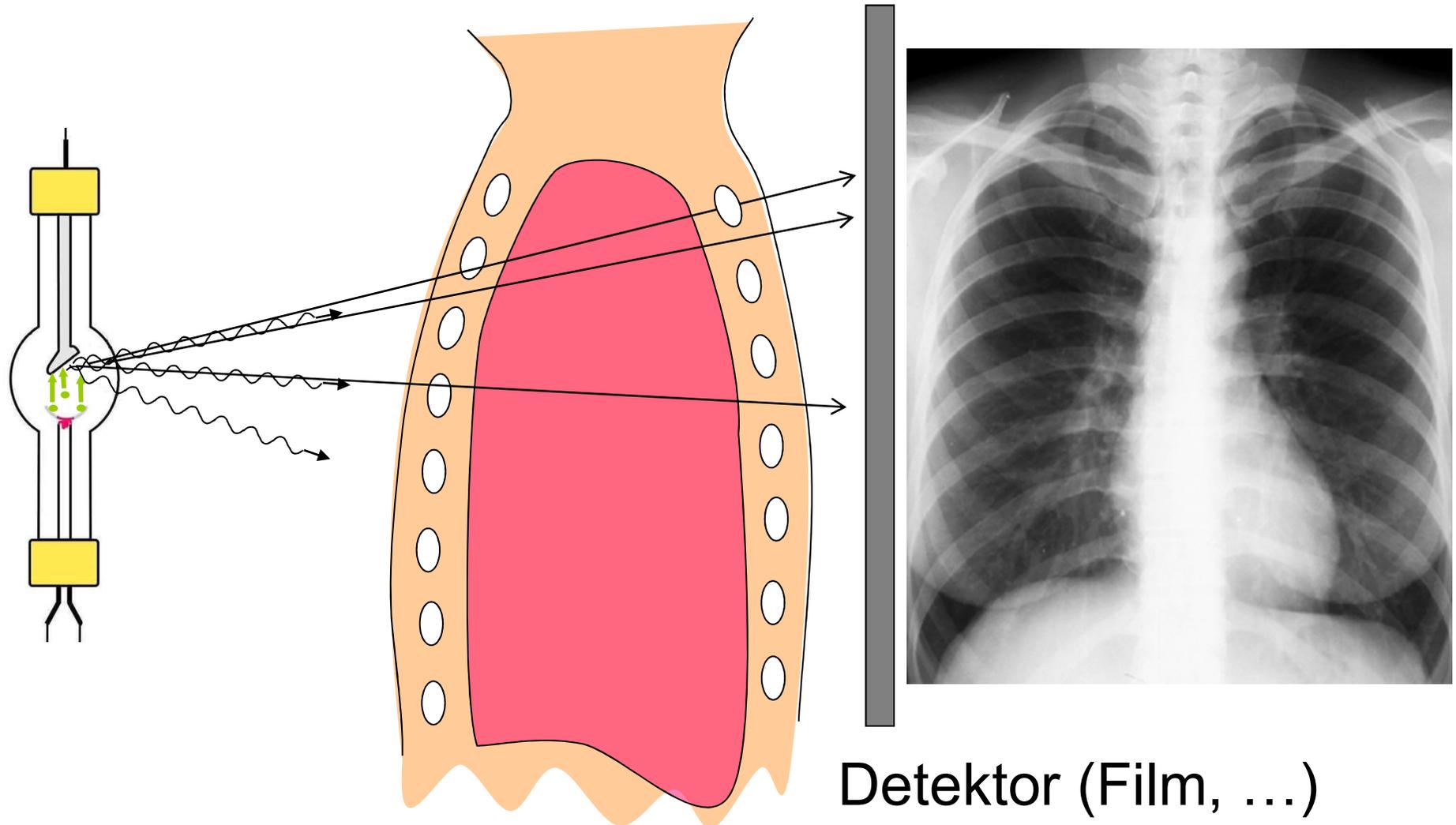
# Röntgendiagnostische Verfahren



Tomographisches Bild      CT

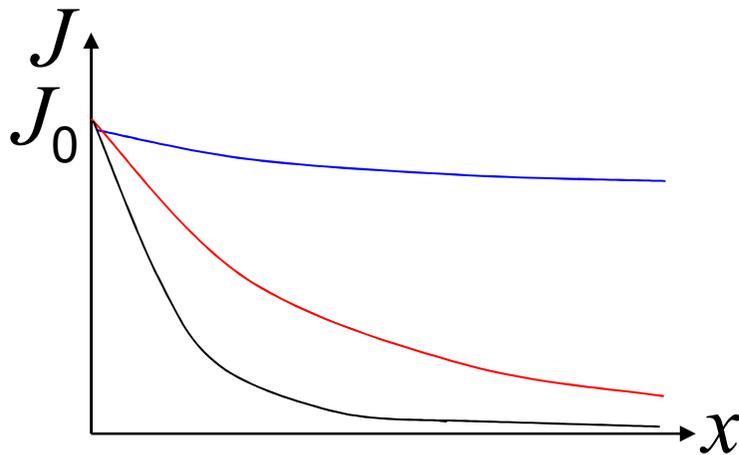
Spezialitäten: Anwendung von Kontrastmitteln,  
Digitalisierung, Substraktion

# Grundprinzip der Summationsaufnahmen



# Röntgenbildentstehung

Grundprinzip der Röntgenbildentstehung: Unterschiedliche Strahlungsabsorption der verschiedenen Gewebe.



Luft

Weichteilgewebe

Knochen