



Notwendige Vorkenntnisse

- Photoeffekt, Compton-Effekt, Paarbildung,
- Photon; Photonenenergie, Aufbau des Atoms
- Elektronenübergänge,
- Lichtemission (Lumineszenz),

Röntgendiagnostische Verfahren

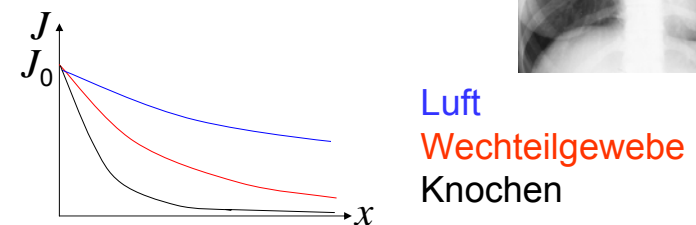
Summationsbild $\begin{cases} \rightarrow \text{- Statische Aufnahme (Filmaufnahme)} \\ \rightarrow \text{- Gleichzeitiges Bild (Fluoroskopie)} \end{cases}$

Tomographisches Bild CT

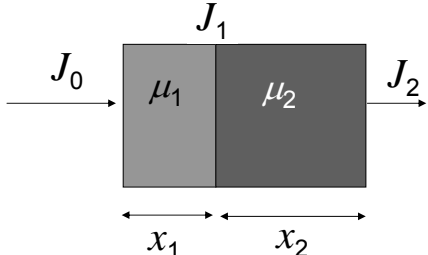
Spezialitäten: Anwendung von Kontrastmitteln, Digitalisierung, Subtraktion

Röntgenbildentstehung

Grundprinzip der Röntgenbildentstehung: Unterschiedliche Strahlungsabsorption der verschiedenen Gewebe.



Absorption von inhomogenen Körper



J_0 J_1 J_2

μ_1 μ_2

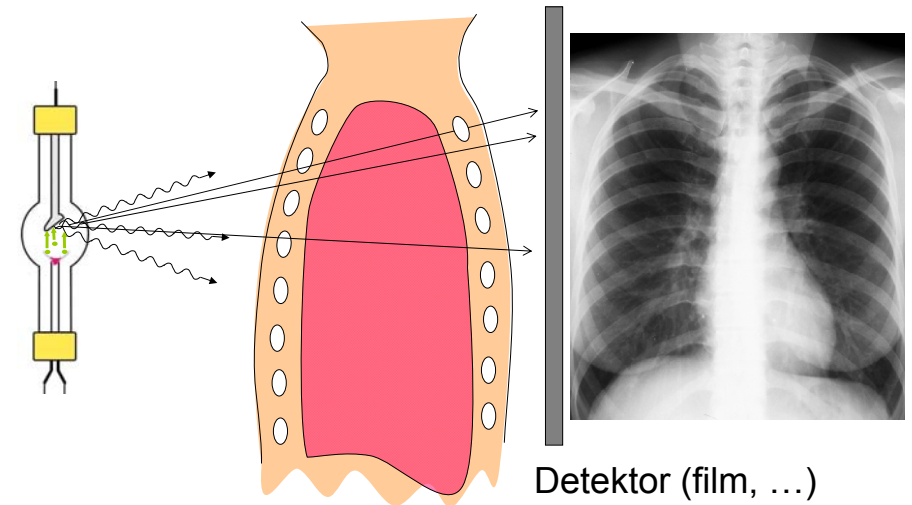
x_1 x_2

$\mu \cdot x$ Werte sind addiert (summiert) Summationsbild

$$J_1 = J_0 e^{-\mu_1 x_1}$$

$$J_2 = J_1 e^{-\mu_2 x_2} = J_0 e^{-\mu_1 x_1} e^{-\mu_2 x_2} = J_0 e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2)}$$

Grundprinzip der Summationsaufnahmen

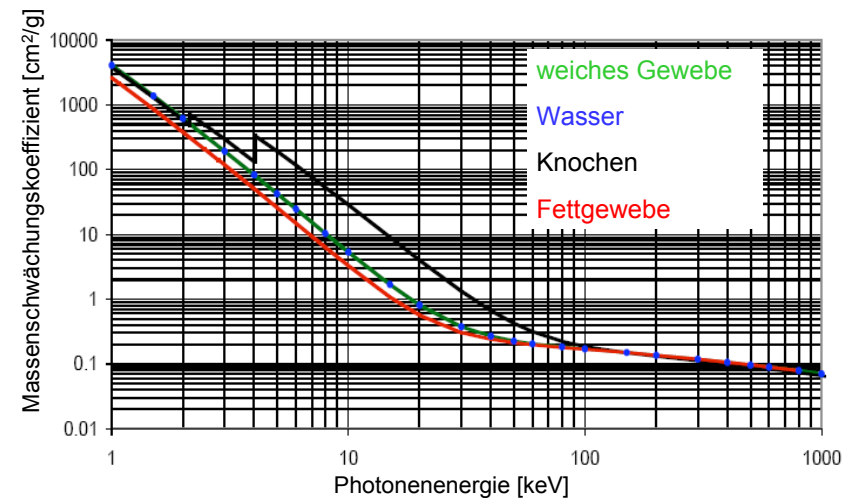


Zusammenfassung der Schwächungsmechanismen

Mechanismus	Abhängigkeit des Massenschwächungskoeffizienten		Wichtiger Bereich im Gewebe
	von E	von Z	
Photoeffekt	$\sim 1 / E^3$	$\sim Z^3$	10 - 100 keV
Compton-Effekt	Nimmt ab mit E	unabhängig $\sim Z/A$	0.1 - 5 MeV
Paarbildung	Nimmt zu mit E	$\sim Z^2$	> 5 MeV

Kontrast des Röntgenbildes:
Photoeffekt ($\sim Z^3$)

Photonenenergieabhängigkeit des Massenschwächungskoeffizienten



Effektive Ordnungszahl

Bei Verbindungen oder Mischungen:

$$Z_{eff} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n w_i Z_i^3}$$

Z_i Ordnungszahl von i -ten Atomtyp

w_i Elektronenzahlverhältnis

zB: Wasser H_2O 10 Elektronen: 2 von H, 8 von O

$Z_H=1, Z_O=8, w_H=0,2 w_O=0,8$

$$Z_{eff} = \sqrt[3]{0,2 \cdot 1^3 + 0,8 \cdot 8^3} = 7,4$$

Effektive Ordnungszahl der Gewebe

Zusammensetzung der verschiedenen Gewebe:

Element	Z	% Masse		
		in Fett-gewebe	in weichem Gewebe	in Knochen
H	1	11,2	10,2	8,4
C	6	57,3	12,3	27,6
N	7	1,1	3,5	2,7
O	8	30,3	72,9	41
P	15		0.2	7
Ca	20		0.007	14,7

Effektive Ordnungszahl: ≈ 6

7,4

13,8

Kontrast bei der Röntgenaufnahme

Schwächung durch Photoeffekt:

$$\frac{\tau_{m,Knochen}}{\tau_{m,weiches Gewebe}} = \frac{Z_{eff,Knochen}^3}{Z_{eff,weiches Gewebe}^3} = \frac{13,8^3}{7,4^3} = 6,5$$

Schwächung durch Compton Streuung:

$$\frac{\sigma_{m,weiches Gewebe}}{\sigma_{m,Knochen}} = 1 \quad \sigma_m \text{ ist } Z \text{ unabhängig!}$$

$$\mu_m = \tau_m + \sigma_m \quad \mu = \mu_m \rho \quad \rho_{wG} = 1.05 \quad \rho_{Knochen} = 1,7..1,8$$



Kontrastmittel

Positives Kontrastmittel:

mehr Absorption

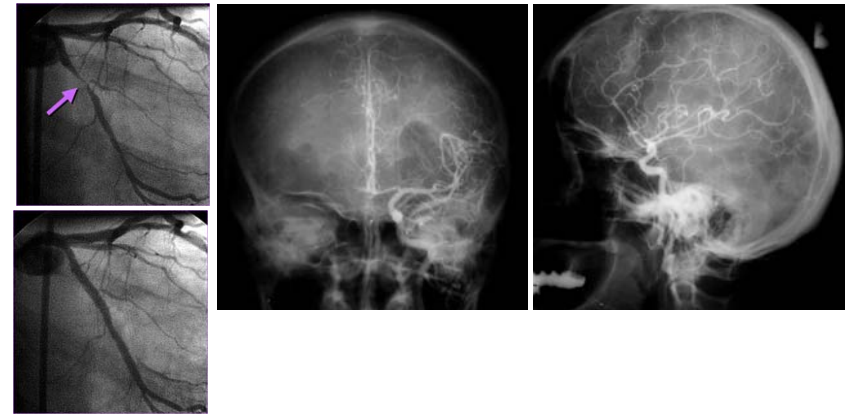
$$\mu \uparrow \quad \mu_m \uparrow \quad Z_{\text{eff}} \uparrow$$

Jod (Z= 53) Blutgefäß
(Angiographie)

Barium (Z=56) Magen, Darm
in Form von BaSO₄

$$\tau_m = \text{const} \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$$

Angiographie



Kontrastmittel

Negatives Kontrastmittel:

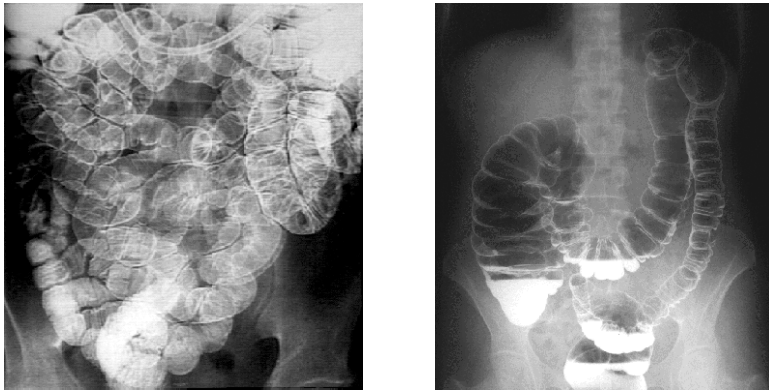
wenige Absorption $\mu \downarrow$ $\rho \downarrow$ $\mu_m - Z_{\text{eff}} -$

Luft, CO₂ (Gase) in Darm

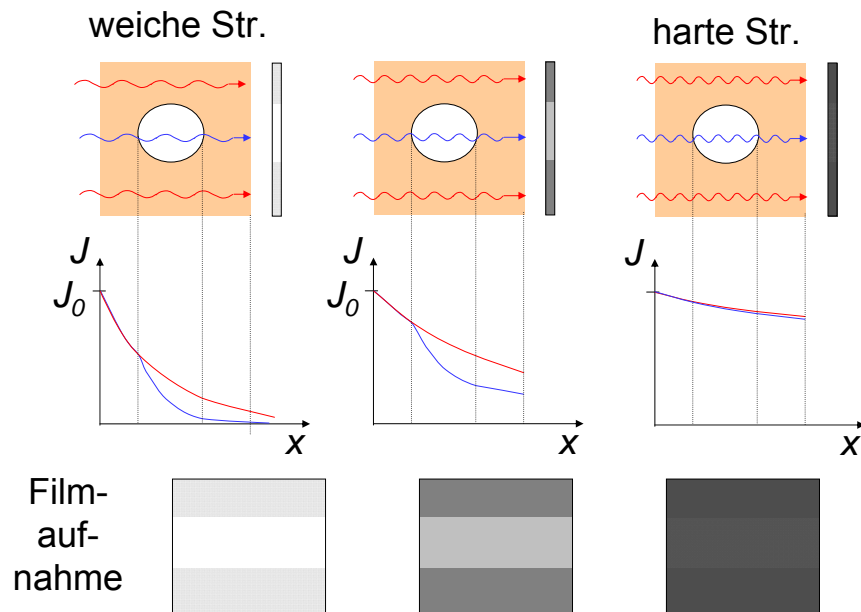
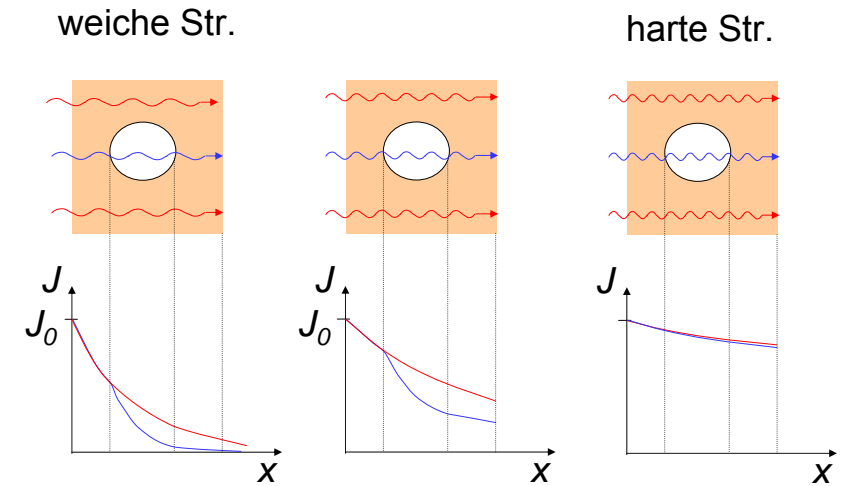
Doppelkontrast: gleichzeitige Anwendung
von einem positiven und einem negativen
Kontrastmittel.

BaSO₄ + Luft in Darm.

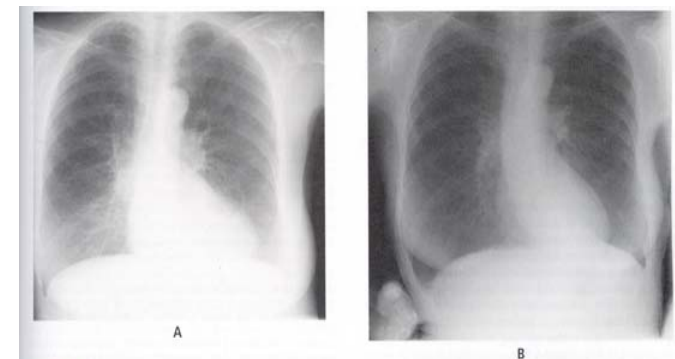
Doppelkontrastaufnahmen



Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität

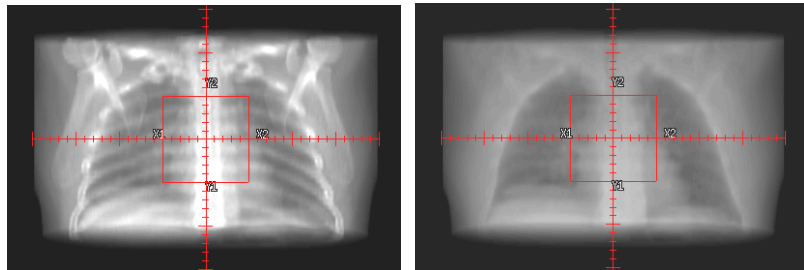


Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität: Beispiele



$$U_1 < U_2$$

Einfluss der Photonenenergie auf die Bildqualität: Beispiele



30 keV

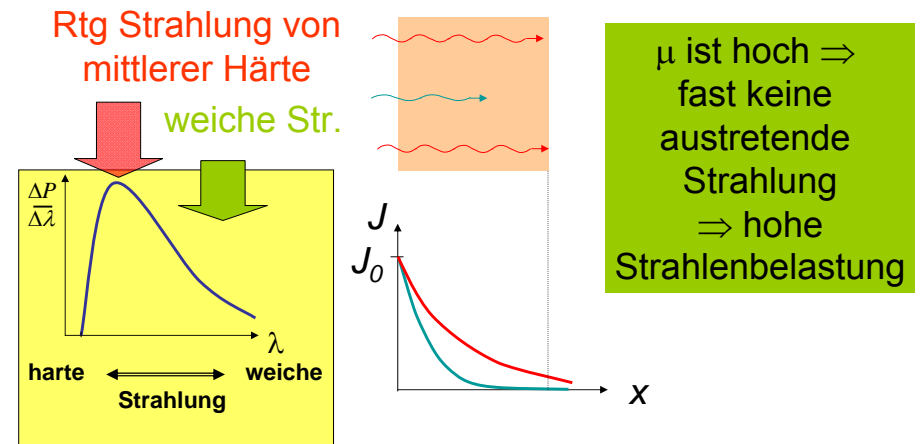
2 MeV

Photoeffekt: 36 %
Compton: 51 %
Paarbildung: 0 %

Photoeffekt: 0 %
Compton: 99 %
Paarbildung: 1 %

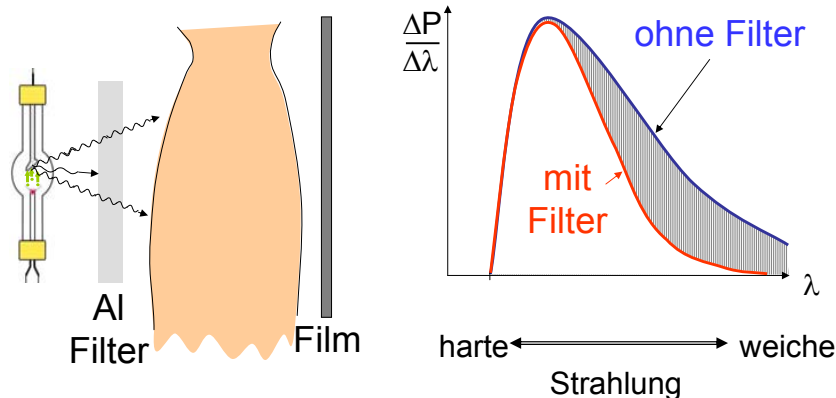
Absorption der weichen und harten Röntgenstrahlung

Kontinuierliches Emissionsspektrum \Rightarrow Photonen mit unterschiedlichen E_{Photon} unterschiedlichen μ

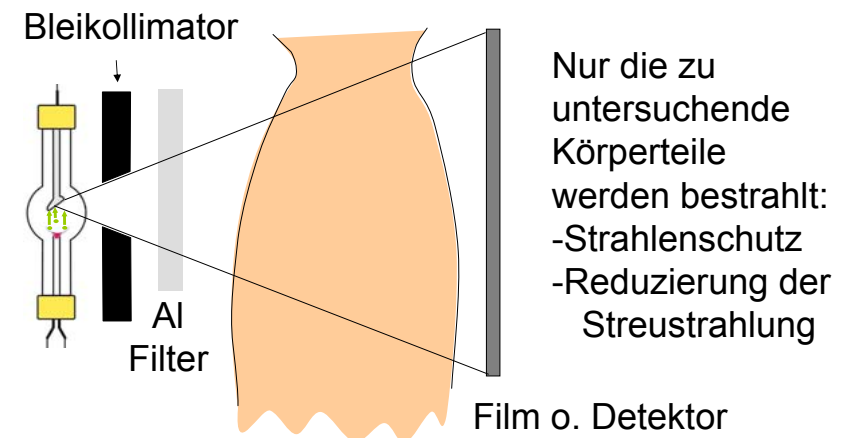


Anwendung von Filtern

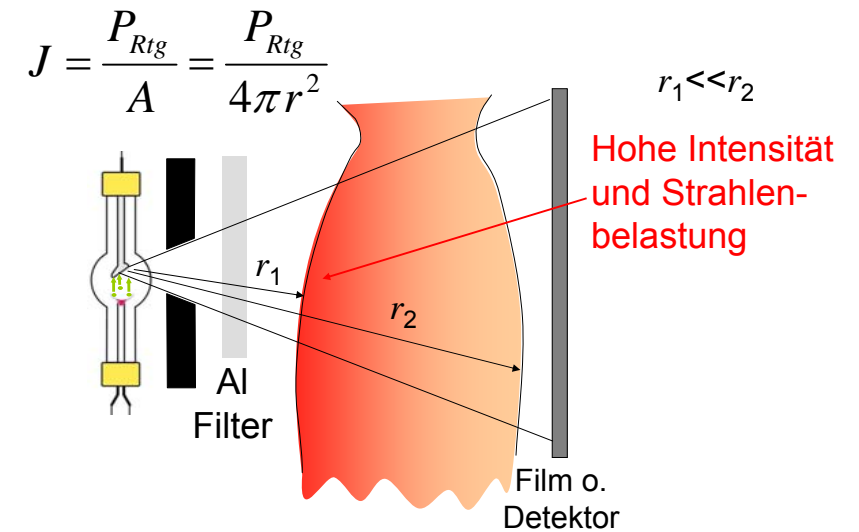
Die weiche Röntgenstrahlung muß vor dem Patient ausgefiltert werden!



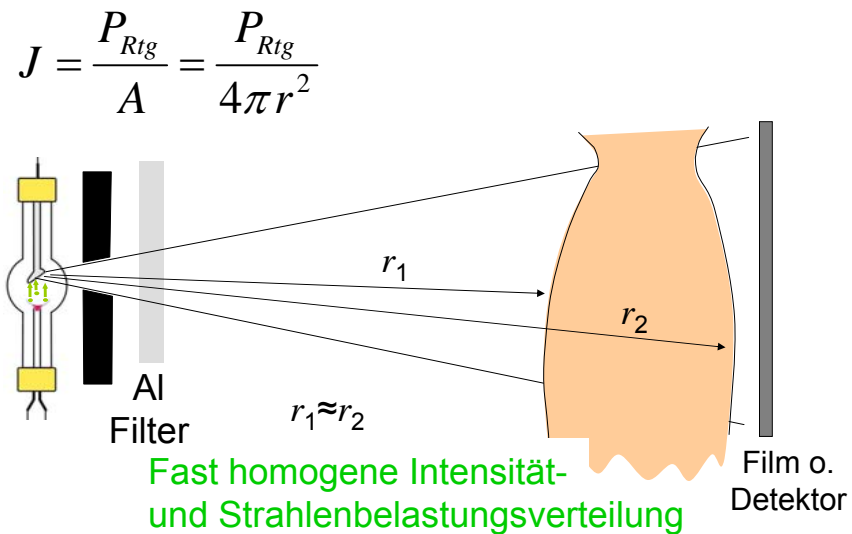
Kollimator



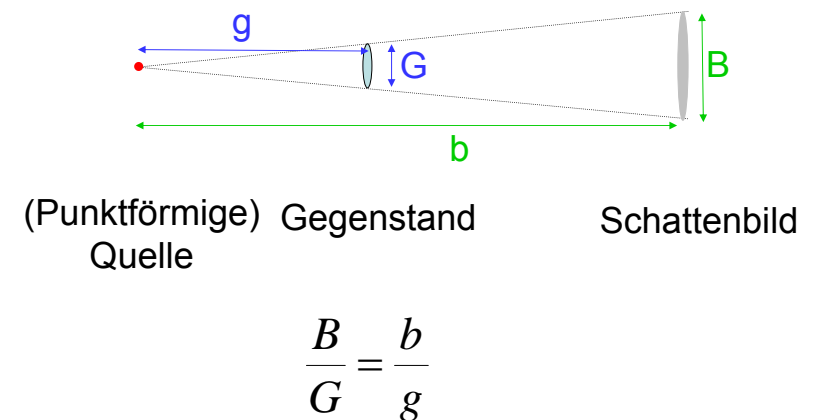
Abstand und Strahlenbelastung



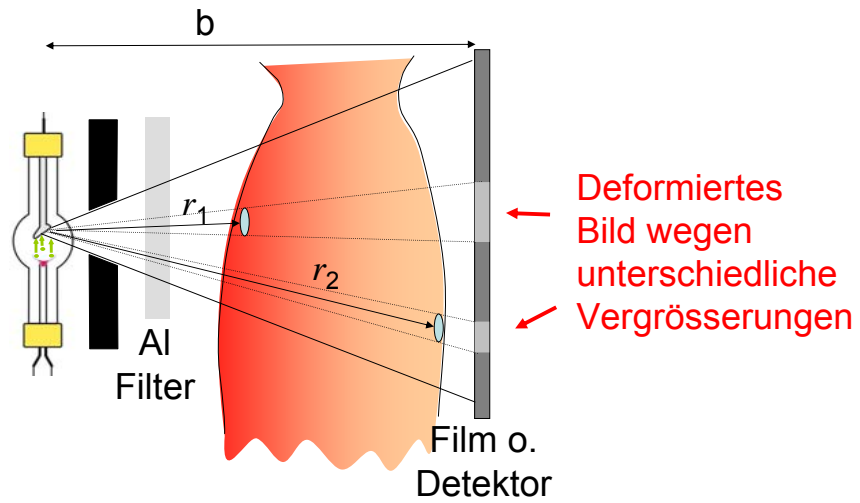
Abstand und Strahlenbelastung



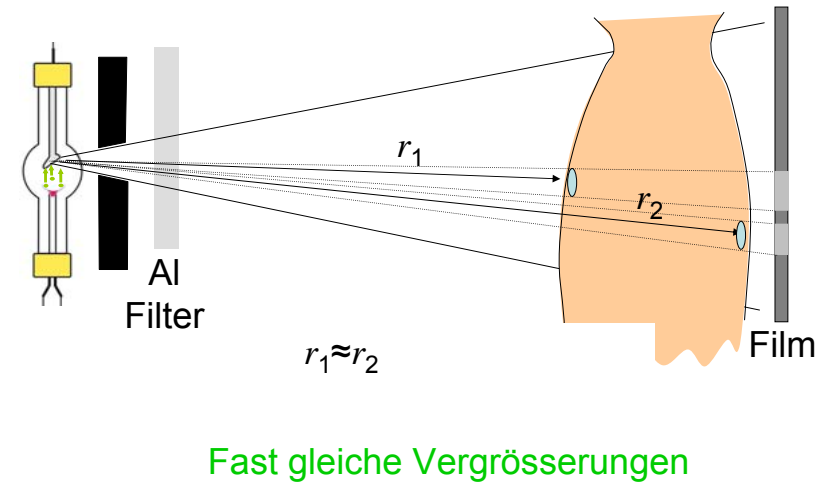
Vergrößerung des Schattenbildes



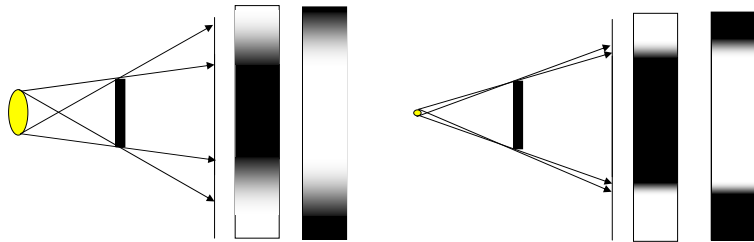
Abstand und Bildqualität



Abstand und Bildqualität



Bildschärfe: Schatten und Größe der Strahlungsquelle

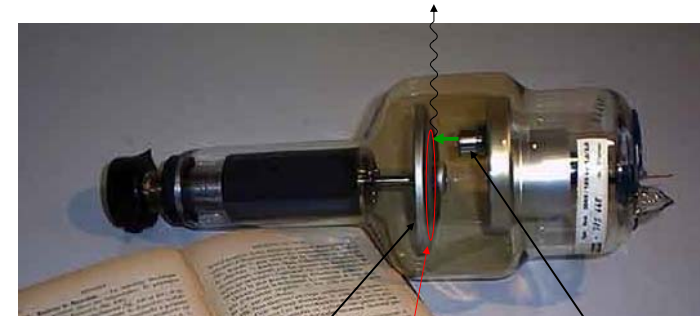


Bildschärfe erfordert eine kleine Strahlungsquelle (Fokus)

kleinerer Fokus \Rightarrow konzentrierte Wärmebelastung der Anode

\Rightarrow Kühlung, Drehanode

Drehanode-Röntgenröhre



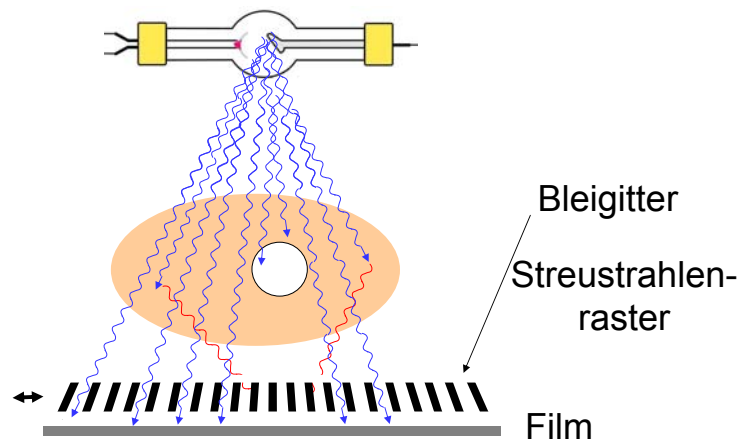
Drehanode

Kathode

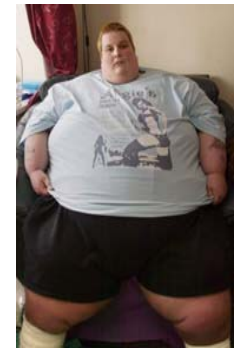
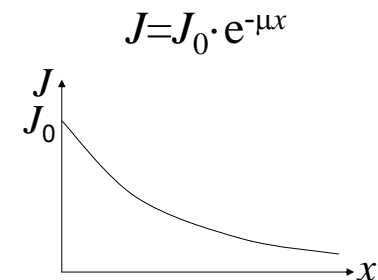
Wärme ist verteilt

Kühlung!

Minimalisierung der Streustrahlung



Rolle der Schichtdicke



Biophysik für Mediziner

Rechenaufgaben

- II/3.1.6
- VIII/3.1.1

23, 26, 28

Praktikum
Medizinische Physik
Abschnitt 13,13b

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

