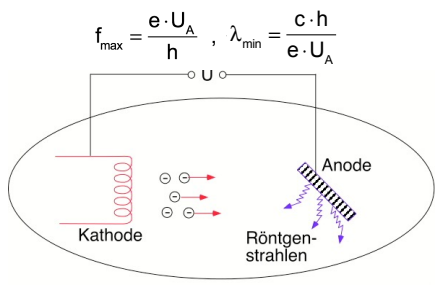
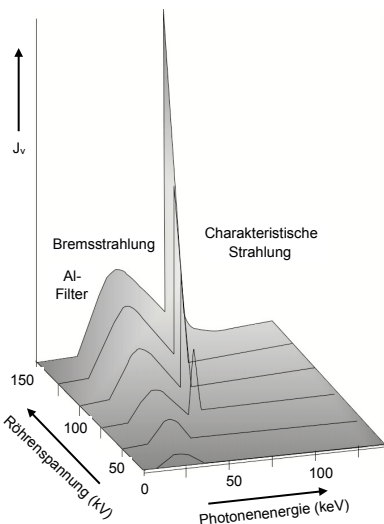


Bildgebende Verfahren in der Medizin - Röntgentechnik (Teil 1) -

Erzeugung von Röntgenstrahlung

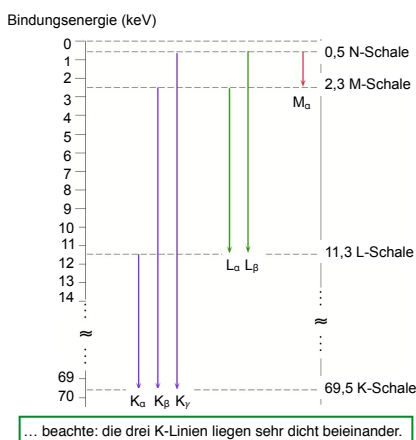


Zusammensetzung der Röntgenstrahlung



Charakteristische Strahlung

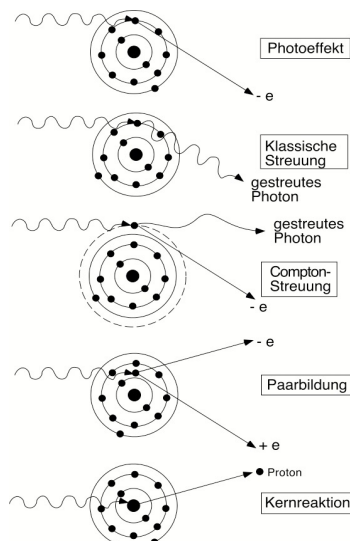
Energieniveauschema des Elements Wolfram



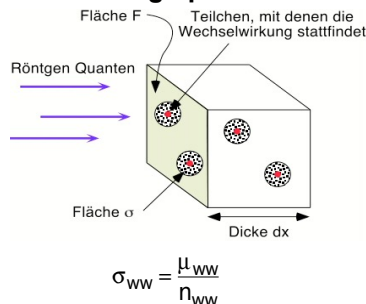
Schwächung von Röntgenstrahlung

Allgemeines Schwächungsgesetz:

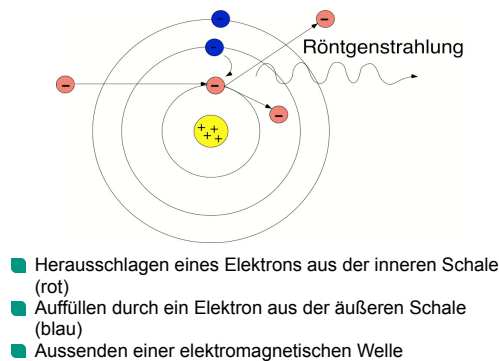
$$dN = \mu \cdot N \cdot dx, \quad N = N_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$



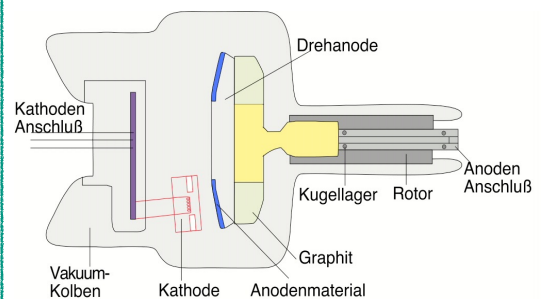
Wirkungsquerschnitt



Charakteristische Strahlung

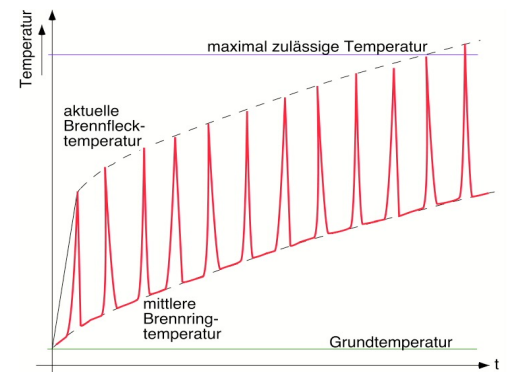


Aufbau einer Drehanoden-Röntgenröhre



Wirkungsgrad: $\eta = \frac{J_{\text{ges}}}{I_A \cdot U_A}$

Temperaturontwicklung an einer Stelle

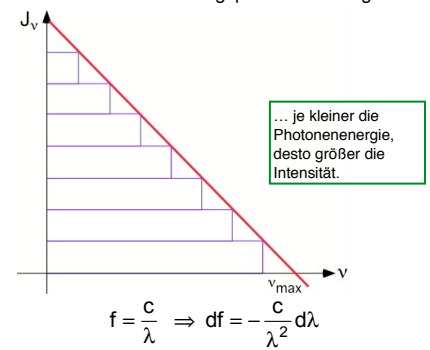


Auswahlkriterien für Anodenmaterial:

- ➡ hohe Ordnungszahl Z ($\eta = k \cdot U_A \cdot Z$)
- ➡ hohe Schmelztemperatur $T_{\max}$
- ➡ hohe Wärmeleitfähigkeit λ
- ➡ hohe spezifische Wärme c

Bremsstrahlungsspektrum

viele Wechselwirkungsprozesse in Folge

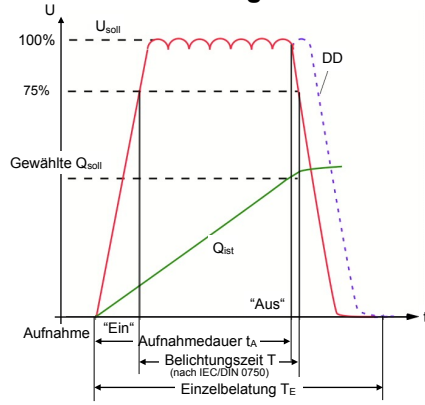


Verständnisfragen

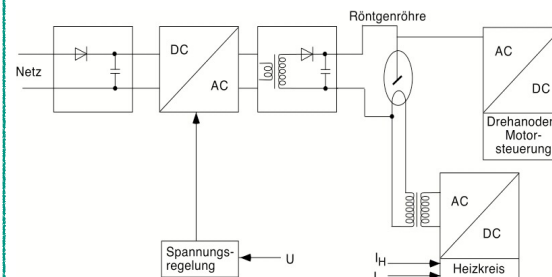
- Leiten Sie die Gleichung zur Bestimmung der kleinstmöglichen Wellenlänge der Röntgenstrahlung her.
- Erklären Sie die charakteristischen Kurven des Bremsstrahlungsspektrums. Warum werden in der Diagnostik Aluminiumfilter verwendet?
- Erläutern Sie die hier dargestellten Wechselwirkungen zwischen ionisierender Strahlung und Materie.
- Welche Wechselwirkung dominiert bei 100 keV a) bei Wasser, b) bei Blei?
- Was sind die Qualitätskriterien zur Konstruktion von Röntgenröhren?
- Erklären Sie die Temperaturentwicklung an einer Stelle einer rotierenden Anode. Warum wird in der Röntgendiagnostik hauptsächlich die Drehanode verwendet?
- Welches Anodenmaterial wird fast immer verwendet und warum?

Bildgebende Verfahren in der Medizin - Röntgentechnik Teil 2 -

Belichtungszeit, Aufnahmedauer und Schwankung der Dosis

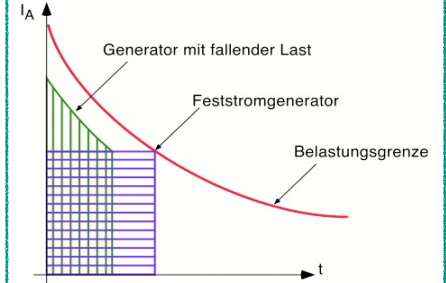


Prinzip des Hochfrequenzgenerators



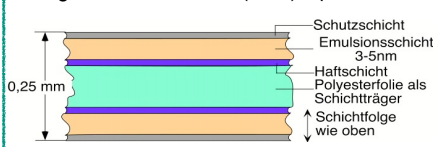
$$\text{Bildgebende Dosis: } D_{\text{Bild}} = k \cdot Z \cdot I_A \cdot U_A^n \cdot T$$

Generator mit „fallender Last“

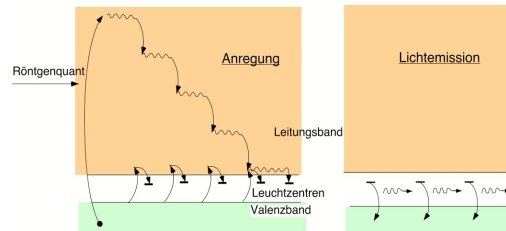


Röntgenfilm

$$\text{Bildgebende Dosis: } \ln(D_0/D) = \mu d$$



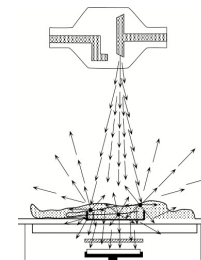
Verstärkerfolien



$$V = \frac{\text{Dosis ohne Verstärker folie}}{\text{Dosis mit Verstärker folie}}$$

dünnere Folien = feinzeichnende Folien
dickere Folien = hochverstärkende Folien

Streustrahlung



$$P = \frac{J_s}{J_p + J_s}$$

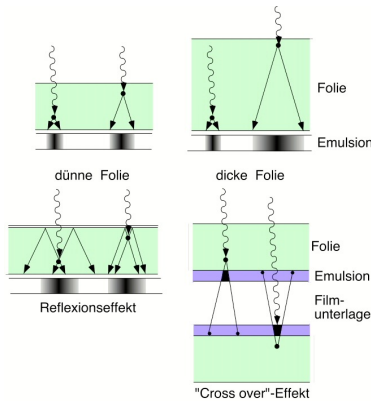
$$K_s = K_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{J_s}{J_p}}$$

$$\text{Selektivität } \Sigma = \frac{T_p}{T_s} \quad \text{mit: } T_p = \text{Primärstrahltransparenz, } T_s = \text{Streustrahltransparenz.}$$

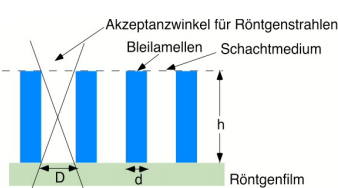
$$T_p = \frac{J_p'}{J_p} = \frac{\text{Primärstrahlintensität mit Raster}}{\text{Primärstrahlintensität ohne Raster}}$$

$$T_s = \frac{J_s'}{J_s} = \frac{\text{Streustrahlintensität mit Raster}}{\text{Streustrahlintensität ohne Raster}}$$

Bildunschärfe und Foliendicke

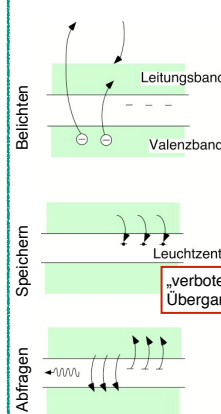


Lamellen-Raster



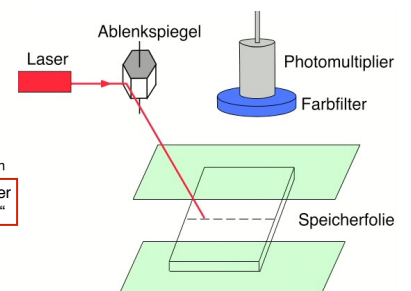
Speicherfolien

Energieniveauschema



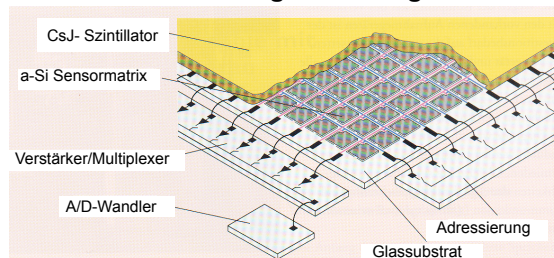
Licht kommt erst nach Laseranregung heraus.

Technik zum Auslesen der Bildinformation



... keine „Chemie“ mehr, und der erste Schritt in Richtung digitale Radiographie.

Flache digitale Röntgendetektoren



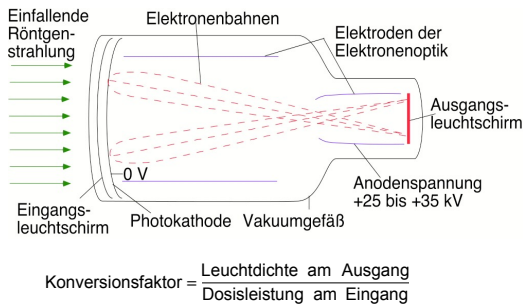
typisch:
40 cm x 40 cm,
3000 x 3000 Pixel

Verständnisfragen

- Welche Faktoren bestimmen die „bildgebende Dosis“ und wie lassen sich diese genau einstellen?
- Erklären Sie den Vorteil eines Generators mit „fallender Last“ gegenüber einem „Feststrom-Generator“.
- Beschreiben Sie die Umwandlung von Röntgenstrahlung im Röntgenfilm. Was beschreibt die Schwärzungskurve eines Röntgenfilms?
- Erläutern Sie die Vorteile sowie Nachteile von Verstärkerfolien gegenüber einfachen Röntgenfilmen.
- Welche physikalischen Prozesse spielen sich in einer Verstärkerfolie ab? Skizzieren Sie dazu die ablaufenden Prozesse in der Folie schematisch.
- Wie ist das Schachtverhältnis eines Lamellen-Rasters definiert?
- Erläutern Sie die Funktionsweise von Speicherfolien sowie digitalen Röntgendetektoren?

Bildgebende Verfahren in der Medizin - Röntgentechnik Teil 3 -

Röntgenbildverstärker



Die Qualitätskriterien für einen Röntgenbildverstärker sind:

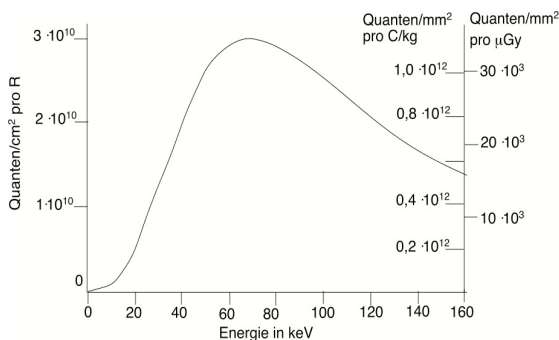
- die räumliche Auflösung (siehe MTF),
- das Rauschen (siehe DQE),
- der Konversionsfaktor,
- die Verzerrungen,
- die gleichmäßige Ausleuchtung („Vignetting“).

Zahl der Quanten pro Energiedosis

Quantendosis = $\frac{\text{Zahl der Quanten}}{\text{mm}^2}$ Einheit: 1/mm²

Energiedosis = $\frac{\text{durch Strahlung im Objekt deponierte Energie}}{\text{Masse des Objektes}}$

Einheit: $\frac{\text{J}}{\text{kg}} = \text{Gray} = \text{Gy}$



Rauschen

Poissonverteilung:

$$p(x) = \frac{\mu^x e^{-\mu}}{x!}$$

$$\sigma^2 = \mu$$

x: einzelner Messwert
p(x): relative Häufigkeit

Die relative Häufigkeit, in einem Pixel x Quanten zu zählen, folgt der Poissonverteilung.

Gaußverteilung:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

$$\mu: \text{Mittelwert} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

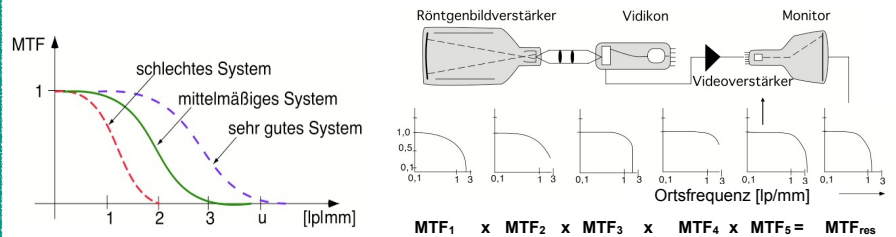
$$\sigma^2: \text{Varianz} = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

Modulationsübertragungsfunktion

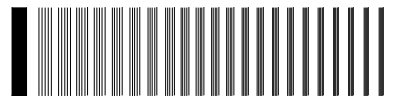
$$\text{MTF}(u) = \frac{\text{"Kontrast" des Bildes am Ausgang bei Frequenz } u}{\text{"Kontrast" des Originals bei Frequenz } u}$$

für Sinussignale

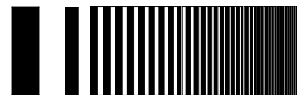
$$\text{MTF}(u) = \eta(u)$$



Bleistrichraster zur Messung der MTF



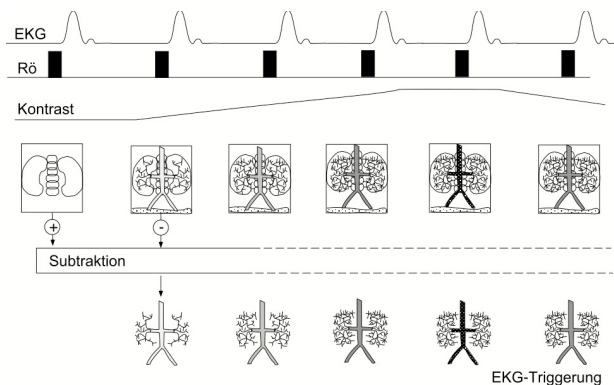
$$\text{MTF}(u) = \frac{\pi}{4} \left[R(u) + \frac{R(3u)}{3} - \frac{R(5u)}{5} + \frac{R(7u)}{7} - \dots \right]$$



Bleistrichraster zur Messung der MTF

mit: $R(u) = \frac{\text{"Kontrast" Ausgang}}{\text{"Kontrast" Eingang}}$ (Rechteck)

Digitale Subtraktionsangiographie mit EKG-Triggerung



$$J_M = J_0 \cdot e^{-\mu \cdot D}$$

$$J_F = J_0 \cdot e^{-[\mu(D-G) + \mu_J \cdot G]}$$

$$\ln J_F - \ln J_M = \ln J_0 - \mu(D-G) - \mu_J G - \ln J_0 + \mu \cdot D$$

$$= G(\mu - \mu_J) \approx -G \cdot \mu_J \quad (\text{wenn } \mu_J \gg \mu)$$

J_F = Intensität hinter dem Patienten mit KM (F steht für Füllung)
G = Dicke des Gefäßes
μ_J = Röntgenschwächungskoeffizient des Kontrastmittels (J steht für Jod)
J_M = Intensität hinter dem Patienten ohne Kontrastmittel (M steht für Maske)
J₀ = Intensität vor dem Patienten
μ = mittlerer Röntgenschwächungskoeffizient
D = Dicke des Patienten

Detective Quantum Efficiency

$$\text{DQE} = \frac{(\text{Signal} / \text{Rausch})^2 \text{ am Ausgang}}{(\text{Signal} / \text{Rausch})^2 \text{ am Eingang}}$$

Für reines Quantenrauschen gilt:

$$\text{DQE} = \frac{\text{mittlere Zahl der nachgewiesenen Röntgenquanten}}{\text{mittlere Zahl der auftreffenden Röntgenquanten}}$$

Verständnisfragen

- Erklären Sie die Arbeitsweise eines Röntgenbildverstärkers. Was sind die typischen Qualitätskriterien?
- Erläutern Sie die Vorgehensweise zur Bestimmung der MTF mit dem Bleistrichraster.
- Wie kann die DQE eines bildgebenden Systems aus mehreren Komponenten bestimmt werden? Was ist die maximale DQE?
- Beschreiben Sie das Verfahren der digitalen Subtraktionsangiographie?