

## Teil II: Radiologische Diagnostik

### 6 Physikalisch-Technische Grundlagen der Röntgendiagnostik:

#### Lösungen

Ralf Ringler

#### Lösung zu 6.1

Mögliche Antworten könnten lauten:

Röntgenstrahlen...

- ...breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.
- ...können bestimmte Stoffe zum Leuchten bringen = Fluoreszenz (Leuchtschirm).
- ...bewirken die Schwärzung photographischer Filme (wie sichtbares Licht).
- ...können Zellen verändern (biologische Wirkung).
- ...sind nicht direkt sicht- noch fühlbar.
- ...können Materie durchdringen und werden dabei (mehr oder weniger) geschwächt.
- ...unterliegen dem Abstandsquadrat-Gesetz (Strahlenschutz, Bildqualität, u.a.).

Lösung der Berechnung:

$$\lambda = \frac{c \cdot h}{e \cdot U_B} \approx \frac{1240 \text{ nm eV}}{e \cdot U_B} = \frac{1240 \text{ nm eV}}{100 \text{ k eV}} = 0,0124 \text{ nm}$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,0124 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 2,42 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$$



## Lösung zu 6.2

Niels Bohr baute sein Atommodell auf den Erkenntnissen von Rutherford auf und verbesserte das Rutherford'sche Atommodell. Im Zuge seiner Forschungen stellte Bohr die drei Bohr'schen Postulate auf.

1. Das Elektron bewegt sich in einem Atom nach den Gesetzen der klassischen Mechanik auf diskreten Kreisbahnen und Energien.
2. Die Bewegung der Elektronen auf der Kreisbahn erfolgt strahlungslos. Beim Übergang des Elektrons von einem stationären Zustand höherer in einen stationären Zustand niedrigerer Energie wird ein Photon mit der Differenz der Energiezustände emittiert.
3. Der Drehimpuls eines Elektrons in einem stationären Zustand nimmt nur diskrete Werte an.

## Lösung zu 6.3

Mögliche Antworten könnten lauten:

- Glühkathode zur Erzeugung freier Elektronen
- Beschleunigungsspannung (20-150 kV) zur Beschleunigung der Elektronen auf die Anode
- Anodenmaterial zur Erzeugung der Röntgenstrahlung
- Strahlenschutzgehäuse mit Vakuum
- Abfuhr der Wärme konstruktiv nach außen



## Lösung zu 6.4

Die Wechselwirkung von Elektronen mit dem Anodenmaterial findet über drei wesentliche Wechselwirkungsmechanismen im Energiebereich bis 150 keV statt. Dies sind im Wesentlichen die zwei Prozesse des Energieverlustes durch Ionisation (Ionisationsbremsung) und der Energieverlust durch Bremsstrahlung. Lediglich 1-2% der Elektronen werden im elektrischen Feld der Atomkerne des Anodenmaterials abgebremst und es entsteht Bremsstrahlung. Durch den Abbremsvorgang wird ein Teil der kinetischen Energie des Elektrons infolge der Energieerhaltung in Energie der entstehenden Photonen umgesetzt.

Trifft ein Elektron bei seinem Flug durch die Anode auf Elektronen eines Kernes des Anodenmaterials, werden diese aus der jeweiligen Schale herausgeschlagen. Der freie Platz wird i.d.R. sofort durch ein Elektron aus der höheren Schale wieder besetzt und die dabei frei werdende Energie wird durch auf ein Photon der Energie  $E_{ph}$  übertragen => Charakteristische Röntgenstrahlung.

## Lösung zu 6.5

Siehe Abbildung 6.10 auf Seite 128.

## Lösung zu 6.6

Röntgen berichtete, dass Luft und andere Gase bei der Exposition in einem Strahlenfeld ionisiert werden. Dabei entstehen Elektronen mit ihrer negativen Ladung und die ionisierten Atome mit der positiven Ladung. Die Ionendosis  $J=C/kg$   $J = \frac{dQ}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dQ}{dV}$  ermöglicht die

Beschreibung der Ladungsträger. Von Bedeutung in der Dosimetrie ist die Energiedosis und daraus abgeleitet die Äquivalentdosis. Bei der Energiedosis  $D$  handelt es sich um den Quotient aus der absorbierten Energie, aus einer Bestrahlung mit ionisierender Strahlung und der Masse des bestrahlten Volumens des Materials  $D = \frac{dE_{abs}}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE_{abs}}{dV}$ .

Die Umrechnung der Ionendosis  $J$  in die Energiedosis  $D$  erfolgt mit dem Dosisumrechnungsfaktor (siehe Tabelle 6.2 auf Seite 129).  $D = f \cdot J$  mit  $f$ : Dosisumrechnungsfaktor



## Lösung zu 6.7

Werden bei Aufnahmen in der Röntgendiagnostik kleine Leistungen in z.B. der Dentalradiographie oder bei kleineren Geräten in der Chirurgie bis ca. 2 kW benötigt, finden kompakte Röntgenröhren mit einer Festanode ihren Einsatz (Festanodenröhre oder Stehanodenröhre). Bei einer Leistung von 100 kW und mehr kommt eine Drehanodenröhre zum Einsatz. Der sich kontinuierlich drehende Anodenteller nimmt die Wärme gleichmäßig auf und verteilt diese über eine sehr viel größere Fläche am Anodenteller.

## Lösung zu 6.8

Die Brennfleckgröße ist von dem Durchmesser des Kathodenwendels und von der Dimensionierung der Länge des Kathodenwendels und dem Anodenwinkel abhängig.

Je kleiner der Anodenwinkel  $\alpha$ , z.B.  $6^\circ$ , desto kleiner der Fokus (Brennfleck) und umso geringer die Größe des nutzbaren Formats im Abstand von 1m, da die einseitig zur Anode hin abfallende Intensität der Röntgenstrahlung, begründet aus dem Heeeffekt, das nutzbare Format in Längsrichtung der Röntgenröhre begrenzt.

## Lösung zu 6.9

- Es wird die Hochfrequenz-Umrichtertechnik verwendet.
- Die einzelnen Schritte sind: Wechselspannung gleichrichten, glätten, DC/AC-hochfrequent wandeln und hochtransformieren; die Hochspannung wird wiederum gleichgerichtet, geglättet und steht so als  $U_B$  zu Verfügung.

## Lösung zu 6.10

- a) Am Bedienpult werden die KV-Werte und das mAS-Produkt vorgegeben. Bei der Einstellung des mAS-Produkts teilt der Prozessor des Generators die Einstellung automatisch so in einen Röhrenstrom (mA) und eine Aufnahmezeit (s) auf, dass zum einen die Röhre nicht überlastet und zum anderen eine möglichst kurze Schaltzeit angewählt wird.
- b) Bei der 0-Punkt-Technik werden Aufnahmen, die in Verbindung mit vorheriger Durchleuchtung erstellt werden, automatisch aus den Durchleutungsparametern übernommen.



## Lösung zu 6.11

Von Bedeutung ist die richtige Anwahl der selektiven Dominante in der Dosis-Messeinrichtung, der 3-Felder Kammer. Jede Röntgenaufnahme enthält einen für die diagnostische Aussage wichtigen Bereich. Dieser wird als „Dominante“ bezeichnet und muss nicht immer in der Bildmitte sein. Für die Belichtungsautomatik gilt, wenn die Schwärzung im Bereich der Dominante stimmt, ist die Aufnahme insgesamt gut belichtet.

## Lösung zu 6.12

- a) Der Anwender kann mit dem Vorfeldlichtvisier entsprechend der medizinischen Applikation die Größe des Nutzstrahlenfeldes (Formats) direkt am Objekt (Patienten) einstellen. Kleinstmögliche Einblendungen bedeuten kleinstmögliche Streustrahlung und damit bestmögliche Bildqualität. Aus der kleinsten notwendigen Einblendung ergibt sich für den Patienten die kleinste notwendige flächenmäßige Strahlenbelastung.
- b) Der Abstand der Lichtquelle zum  $45^\circ$  geneigten Spiegel muss auf der Zentralachse gleich dem Abstand des Fokus' zum Spiegelmittelpunkt sein, der vom Zentralstrahl geschnitten wird. Bei exakt eingestellter Lichtquelle wird das Lichtfeld und Röntgenfeld die gleiche Lage und Abmessung haben (s. Abb. 25).

