

II.F.15

Atom- und Kernphysik

Aufbau und Funktionsweise einer Röntgenanlage

Prof. Dr. Axel Donges



© RAABE 2025

© ER Productions Limited/DigitalVision

Am 8. November 1895 entdeckte der Physiker Wilhelm Conrad Röntgen in Würzburg durch Zufall die unsichtbaren X-Strahlen, wie er sie nannte. Er erhielt für seine Entdeckung den 1901 erstmals verliehenen Nobelpreis für Physik. Die später als Röntgenstrahlen bezeichneten Strahlen revolutionierten die medizinische Diagnostik und Therapie.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: II

Dauer: 18 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 10)

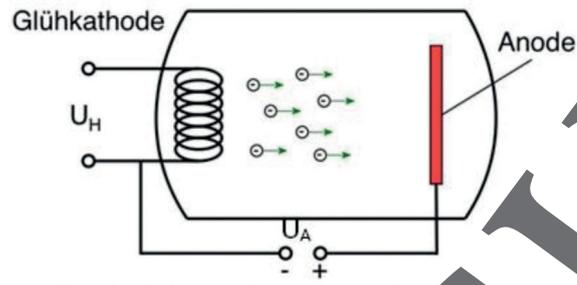
Kompetenzen: Sachtext mit physikalischem Bezug sinnentnehmend lesen; Aufbau und Funktionsweise einer Röntgenröhre und eines Röntgenröhrenbeschleunigers beschreiben; Röntgenspektrum mithilfe geeigneter Modellvorstellungen erklären; Wechselwirkungsprozesse der Röntgenstrahlung mit Materie kennen; Röntgenbild als Schattenbild verstehen; Funktionsprinzip einer Speicherplatte beschreiben; Recherchieren zu physikalischen Sachverhalten. Beschleunigung von Elektronen, Atom- und Quantenphysik, ionisierende Strahlung, optisch stimulierte Lumineszenz

Medien: Texte, Bilder, digitale Medien, Internet

Erzeugung und Beschleunigung von Elektronen

M 1

Die nebenstehende Abbildung zeigt das Grundprinzip der **Erzeugung** und **Beschleunigung** von Elektronen:



© 2021 Physikunterricht-Online.de

- Eine wendelförmige Kathode wird dank der anliegenden **Heizspannung** U_H (typischerweise 10 bis 20 V) und des daraus resultierenden **Heizstroms** I_H so stark erhitzt (teilweise bis 2000 °C), dass Elektronen aus der (negativ geladenen) Kathode austreten (**Glühemission**). Die Kathode wird daher auch **Glühkathode** genannt. Eine Glühkathode sollte eine hohe Schmelztemperatur und eine geringe Austrittsarbeit (für Elektronen) besitzen. Bewährt haben sich Wolfram-Kathoden, die teilweise mit einer Bariumoxid-Schicht überzogen sind.
 - Die freigesetzten Elektronen werden wegen des elektrischen Feldes zwischen der negativen Kathode und der positiven Anode in Richtung der Anode beschleunigt. Unter den Annahmen,
 - dass die Elektronen mit einer vernachlässigbar kleinen Geschwindigkeit aus der Glühkathode austreten und
 - dass die Elektronen sich zwischen Kathode und Anode ungestört bewegen können (Vakuum)
 hat ein Elektron beim Erreichen der Anode die **kinetische Energie** $E_{\text{kin}} = eU_A$ (1)
- U_A ist die **Beschleunigungsspannung** und e die **Elementarladung**.

Beispiel

Durchläuft ein Elektron mit einer Startgeschwindigkeit $v_0 = 0$ eine Spannung von $U_A = 40 \text{ kV}$, so hat es eine kinetische Energie von $E_{\text{kin}} = eU_A = e \cdot 40 \text{ kV} = 40 \text{ keV}$.

Frage

Welche Geschwindigkeit erreicht ein Elektron mit einer Startgeschwindigkeit $v_0 = 0$, das eine Beschleunigungsspannung $U_A = 2,0 \text{ kV}$ durchlaufen hat?

Lösung

Mit der Formel $E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2}$ (2)

folgt mit (1) $\frac{1}{2}mv^2 = eU_A$ und damit $v = \sqrt{\frac{2eU_A}{m}}$. (3)

Mit der Elementarladung $e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ und der Elektronenmasse $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ ergibt

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 2000 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Anmerkung

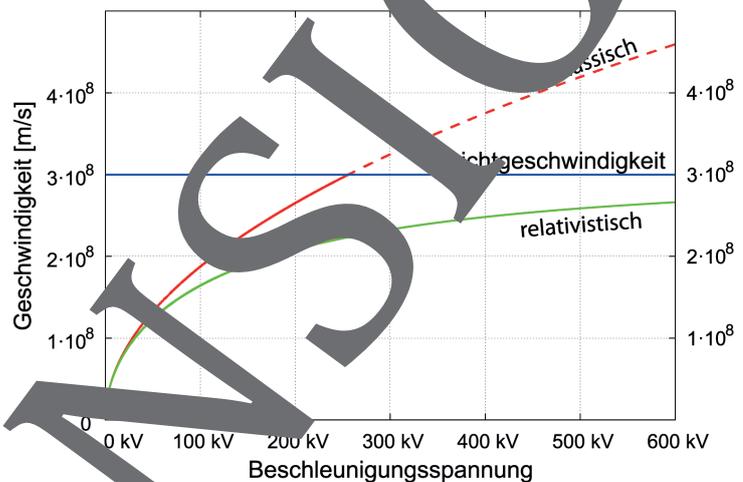
Bei einer Beschleunigungsspannung von $U_A = 300 \text{ kV}$ liefert Formel (3) eine Geschwindigkeit von

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 300000 \text{ V}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 3,2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Da sich Elektronen prinzipiell nicht mit Überlichtgeschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) bewegen können, liefert die Gleichung (3) offensichtlich ein falsches Ergebnis. Bei einer hohen Beschleunigungsspannung muss relativistisch¹ gerechnet werden. Die physikalisch exakte relativistische Berechnung der Elektronengeschwindigkeit – auf die hier nicht näher eingegangen wird – liefert für die Geschwindigkeit der Elektronen beim Erreichen der Anode

$$v = \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{eU_A}{mc^2}\right)^2}} \cdot c. \quad (4)$$

Den Zusammenhang zwischen der Beschleunigungsspannung U_A und der Geschwindigkeit v zeigt die nebenstehende Grafik: rote Kurve: klassische Rechnung, Gleichung (1); grüne Kurve: korrekte Rechnung, Gleichung (2). Man erkennt, dass die klassische Gleichung (1) nur bis zu einer Beschleunigungsspannung von $U_A \approx 50 \text{ kV}$ angewendet werden darf.



© Stefan Richtberg <https://virtuelle-experimente.de>, CC BY-NC-SA 3.0 DE

© RAABE 2025

**Aufgaben**

- Wie viel Energie nimmt ein Elektron auf, wenn es eine Spannung U_A von 1,0 MV durchläuft? Drücken Sie das Ergebnis in den Einheiten „eV“ und „J“ aus.
- Aus der Glühkathode treten pro Sekunde 4 Milliarden Elektronen aus und wandern zur Anode. Informieren Sie sich über die Definition der elektrischen Stromstärke und berechnen Sie den Strom, der zwischen Kathode und Anode fließt.
- Recherchieren Sie, bei welcher Temperatur das Metall Wolfram schmilzt.
- Welcher Geschwindigkeit erreichen die Elektronen die Anode, wenn die Beschleunigungsspannung $U_A = 100 \text{ kV}$ beträgt (Startgeschwindigkeit $v_0 = 0$)? Rechnen Sie sowohl klassisch als auch relativistisch. Wie groß ist der relative Fehler der klassischen Rechnung?
- Gegen welchen Wert konvergiert die Elektronengeschwindigkeit v laut Formel (4) im Grenzfalle großer Beschleunigungsspannungen U_A ($U_A \rightarrow \infty$)?

¹ D. h. man muss die Erkenntnisse der speziellen Relativitätstheorie berücksichtigen.

Erzeugung von Röntgenstrahlung

M 2

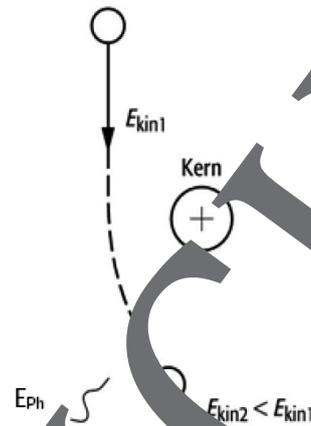
Röntgenstrahlung ist unsichtbare elektromagnetische Strahlung mit Photonenenergien im Bereich $100 \text{ eV} \leq E_{ph} < 35 \text{ MeV}$. Man unterscheidet **weiche** ($100 \text{ eV} \leq E_{ph} < 100 \text{ keV}$) und **harte** ($100 \text{ keV} \leq E_{ph} < 1 \text{ MeV}$) Röntgenstrahlung. **Ultraharte** Röntgenstrahlung ($1 \text{ MeV} \leq E_{ph} < 35 \text{ MeV}$) wird als „Photonenstrahlung“ bezeichnet. Röntgenröhren erzeugen im Wesentlichen Bremsstrahlung im Röntgenbereich.

Definition

Bremsstrahlung ist **elektromagnetische Strahlung**, die entsteht, wenn ein geladenes Teilchen **beschleunigt, gebremst** (= negative Beschleunigung) oder **abgelenkt** wird.

Beispiel

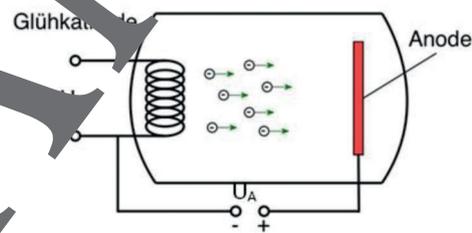
Das Bild zeigt ein Beispiel: Ein Elektron wird in der Nähe eines Atomkerns abgelenkt. Dabei verliert das Elektron einen Teil seiner anfänglichen kinetischen Energie und es entsteht ein **Photon** (Bremsstrahlung). Der Energieverlust des Elektrons findet sich in der Photonenenergie wieder: $E_{ph} = E_{kin,1} - E_{kin,2}$. Da die kinetische Energie $E_{kin,2}$ des Elektrons nach der Emission des Photons jeden beliebigen Wert im Bereich $0 \leq E_{kin,2} \leq E_{kin,1}$ annehmen kann, können die Bremsphotonen beliebige Werte im Bereich $0 \leq E_{ph} \leq E_{kin,1}$ annehmen.



© Spektrum

Praktische Erzeugung von Bremsstrahlung

Elektronen, die aus der Glühkathode angetrieben sind, werden zur Anode beschleunigt. Sie erreichen die Anode mit einer kinetischen Energie von $E_{kin,1} = eU_A$. Bei der Wechselwirkung mit den Atomkernen des Anodenmaterials entstehen Bremsphotonen mit Energien im Bereich $0 \leq E_{ph} \leq eU_A$ (5).

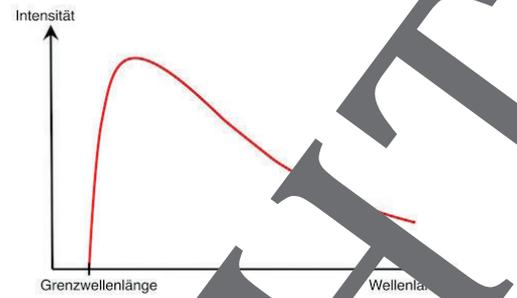


© 2021 Physikunterricht-Online.de

Bremsspektrum

Die Energie E_{ph} eines Photons hängt mit der Wellenlänge λ über die Gleichung $E_{ph} = \frac{hc}{\lambda}$ (6) mit $h = 4,1 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}$ (Plancksches Wirkungsquantum) zusammen. Aus (5) und (6) folgt

$0 \leq \frac{hc}{\lambda} \leq eU_A$ bzw. $\lambda_{\min} \frac{hc}{eU_A} \leq \lambda < \infty$ (7). Das Bremspektrum enthält also nur Photonen, deren Wellenlängen über der Grenzwellenlänge $\lambda_{\min} \frac{hc}{eU_A}$ liegen. Für die Intensitätsverteilung der Bremsstrahlung gilt die **Kramersche Regel**: $J(\lambda) \sim I \cdot Z \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_{\min}} - 1\right) \cdot \frac{1}{\lambda^2}$ ($\lambda \geq \lambda_{\min}$) (8). Hierbei bedeuten:



© 2021 Physikunterricht-Online.de

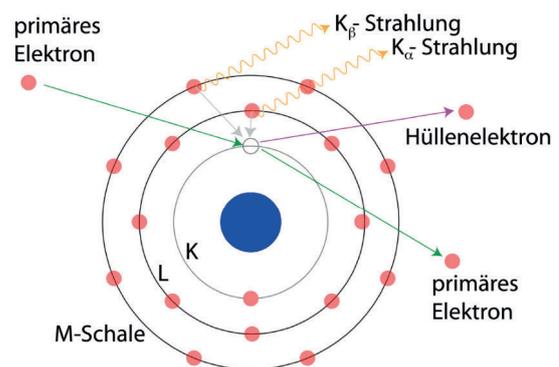
$J(z)$: die Zahl der erzeugten Bremsphotonen pro Sekunde bei der Wellenlänge λ , I : den Strom der Elektronen, die von der Kathode zur Anode wandern, Z : die Ordnungszahl des Anodenmaterials. Da die Bremsstrahlung unter der Materialoberfläche entsteht, wird ein Teil der Bremsstrahlung – insbesondere im langwelligen Bereich – vom Anodenmaterial absorbiert. Teilweise wird das Spektrum der erzeugten Bremsstrahlung mit Filtern (z. B. mit Kupferfolie) verändert.

Anodenmaterial

- Um eine hohe Ausbeute an Bremsphotonen zu erhalten, sollte das Anodenmaterial eine möglichst **große Ordnungszahl Z** aufweisen.
- Wenn die Elektronen auf die Anode treffen, wird der größte Teil der kinetischen Energie der Elektronen verwendet, um das Anodenmaterial aufzuheizen. Aus diesem Grunde sollte das Anodenmaterial eine **hohe Schmelztemperatur** T_{\max} und eine **gute Wärmeleitfähigkeit** $\tilde{\lambda}$ haben. Das Produkt $Z \cdot T_{\max} \cdot \tilde{\lambda}$ sollte für ein Anodenmaterial möglichst groß sein. Bewährt haben sich Anoden aus einer **Wolfram-Rhenium-Mischung**, die auf einen Sockel aus Molybdän und Graphit aufgetragen wird. Molybdän und Graphit sind leicht zu verarbeiten und besitzen noch bessere thermische Eigenschaften als Wolfram.

Charakteristische Röntgenstrahlung

Wenn die Elektronen auf das Anodenmaterial treffen, werden auch Hüllenelektronen aus den Atomen des Anodenmaterials geschlagen. Wenn die freien Plätze mit Hüllenelektronen aus weiter außen liegenden Schalen wieder aufgefüllt werden, entsteht **charakteristische Röntgenstrahlung**.



© Ludwig-Maximilians-Universität München

- Ein K-Elektron wird durch ein einfallendes Elektron aus der K-Schale geschlagen. Wird diese Lücke durch ein Elektron aus der L-Schale geschlossen, entsteht bei dem Übergang des L-Elektrons in die K-Schale ein Photon mit einer Energie von $E_{ph} = E_K - E_L$ (K_α -Strahlung).

M 3

Röntgenbild = Schattenbild

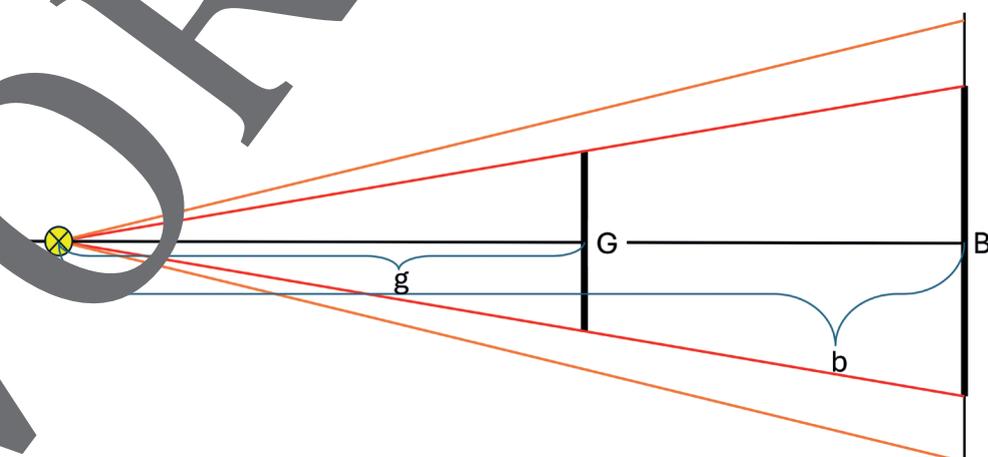
Schattenbild mit einer punktförmigen Lichtquelle

Ein Röntgenbild ist ein mit unsichtbaren Röntgenstrahlen aufgenommenes **Schattenbild** eines Teilbereichs des menschlichen Körpers. Es basiert auf der **geradlinigen Ausbreitung** der Röntgenstrahlung und der unterschiedlich starken Absorption der Röntgenstrahlen im menschlichen Körper. Die beiden folgenden Bilder zeigen, wie mit sich geradlinig ausbreitenden, sich abschwächenden Röntgenstrahlen Schattenbilder absorbierender Körper erzeugt werden können. Für die Größe B des Schattenbildes gilt: $B = \frac{b}{g}G$. Hierbei sind B : die Bildgröße, g : der Abstand zwischen Lichtquelle und Gegenstand und b : der Abstand zwischen Lichtquelle und Bild. Das gleiche Prinzip wird bei einer Röntgenaufnahme genutzt.



Schattenbild mit einer ausgeleuchteten Lichtquelle

© Walter de Gruyter GmbH



Skizze: Benjamin Streit

Anwendungsgebiete der Röntgenstrahlung



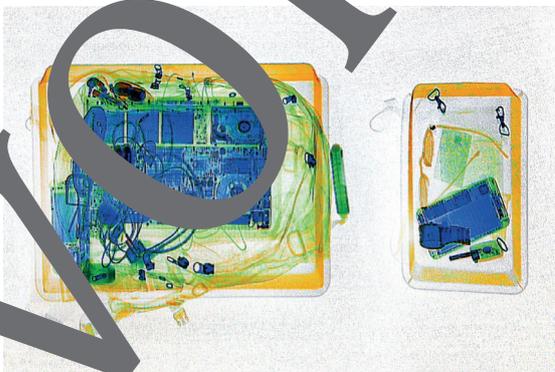
© Kobus Louw/E+/Getty Images Plus



© Vladimir Vladimirov/E+/Getty Images Plus



© Maxime Gaud/OJO Images plus

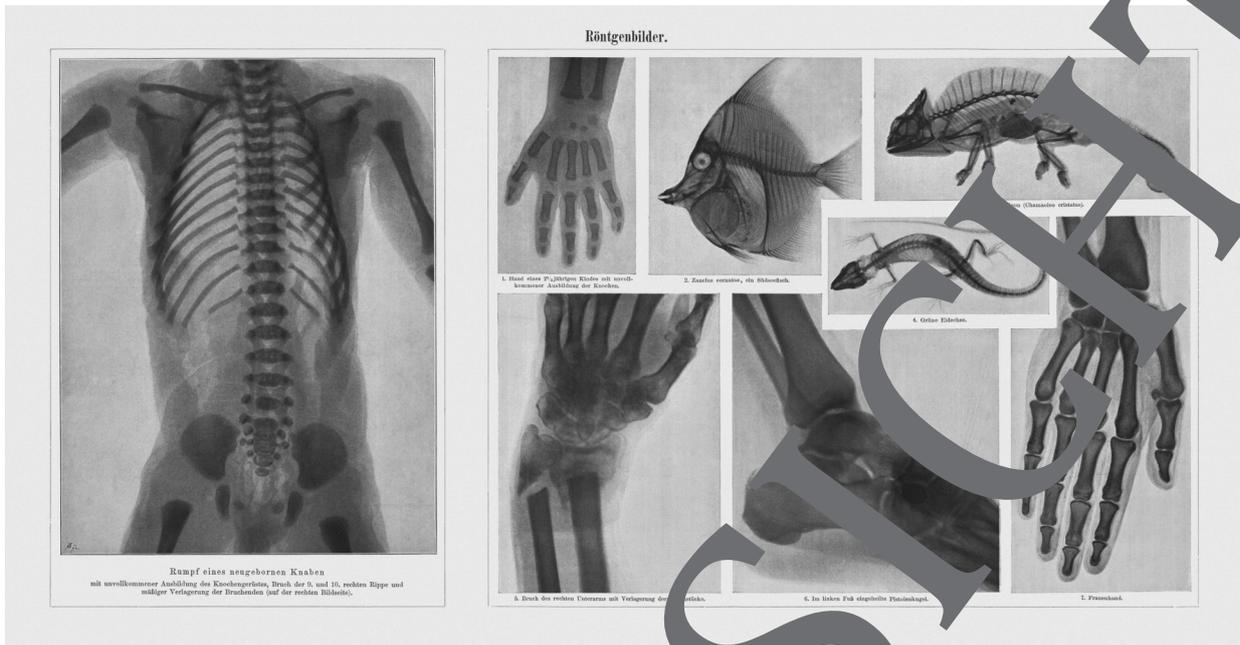


© Tony C French/DigitalVision



© Opla/E+

Historische Röntgenaufnahmen



Frühe Röntgenaufnahmen, Raster-Drucke (veröffentlicht 1898)

Abbildung: ZU_09/DigitalVision Vectors



Eingravierte Illustration von frühen Röntgenaufnahmen

Abbildungen links: mikroman6/Moment, rechts: ZU_09/DigitalVision Vectors



Professor Dr. W. K. Röntgen.

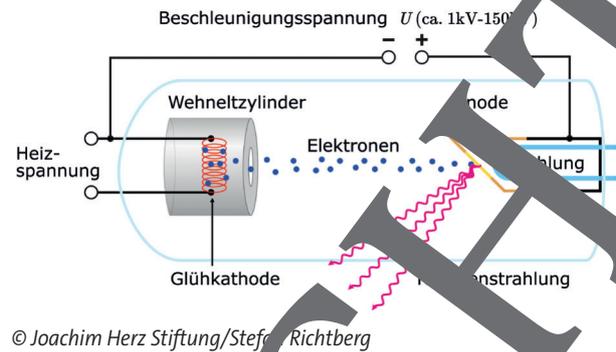
Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923)

© RAABE 2025

M 5

Praktischer Aufbau und Betrieb einer Röntgenröhre

Das Grundprinzip der Röntgenröhre wurde bereits in den Materialien **M 1** und **M 2** dargelegt: Die aus der Glühkathode austretenden Elektronen werden zur Anode beschleunigt. Wenn die Elektronen die Anode erreichen, werden sie stark abgebremst und es entsteht die Röntgenstrahlung (Bremsstrahlung sowie die charakteristische Röntgenstrahlung).



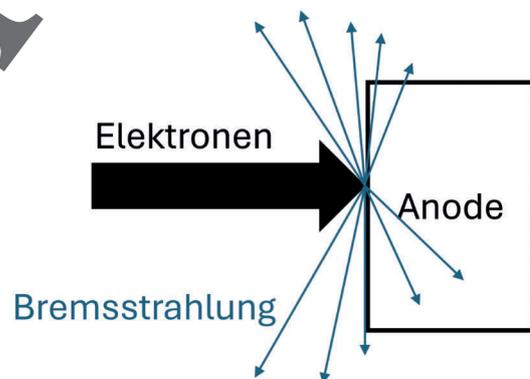
Wehnelt-Zylinder

Wie in Material **M 3** erläutert, benötigt man eine nahezu punktförmige Röntgenquelle, um ein scharfes Röntgenbild zu erhalten. Daher befindet sich um die Glühkathode herum meist ein **Wehnelt-Zylinder**. Ohne den Wehnelt-Zylinder würden die Elektronen nach allen Seiten divergieren. Dieser Zylinder ist schwach negativ geladen. Die Elektronen werden von den negativ geladenen Zylinderwänden abgestoßen. So entsteht in der Mitte ein feiner Elektronenstrahl, der in Richtung der Anode beschleunigt wird. Man bezeichnet den Bereich, an dem dieser feine Elektronenstrahl auf die Anode trifft, als **Brennfleck** (oder auch als Fokus).

Anode

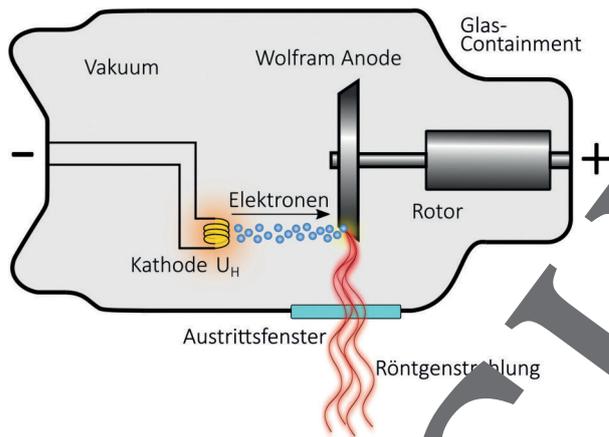
Die Elektronen, die auf die Anode treffen, werden abgebremst und erzeugen die Bremsstrahlung. Dabei wird die Bremsstrahlung bevorzugt senkrecht zur Richtung des Elektronenstrahls abgestrahlt. Daher stehen bei den meisten Röhren Röntgen- und Elektronenstrahl senkrecht aufeinander. Außerdem ist die Anode angeschrägt, damit sie nicht zu viel Bremsstrahlung (in Richtung des Elektronenstrahls) abstrahlt. Die Röntgenstrahlung verlässt durch das Austrittsfenster, meist einem 1,5–2,5 mm dickem Aluminiumblech, die Röntgenröhre. Durch das Aluminium werden die niederenergetischen Photonen durch den Photoeffekt entfernt („Aufhärtung“ des Röntgenspektrums).

Nur ca. 1 % der kinetischen Energie der auf die Anode treffenden Elektronen wird in Röntgenstrahlung umgewandelt. Die restlichen 99 % heizen die Anode auf. Es macht daher keinen Sinn, den Brennfleck zu klein zu machen, da dann die Intensität (= Leistung/Fläche) so stark anwächst, dass das Anodenmaterial schmilzt und zerstört wird. Um eine Überhitzung – und damit eine Beschädigung – der Anode zu vermeiden, gibt es verschiedene Möglichkeiten:



Skizze: Benjamin Streit nach Vorlage von Axel Donges

- Die Anode wird durch einen Wasser- oder Ölkreislauf **gekühlt**, um Beschädigungen zu vermeiden.
- Der Elektronenstrahl trifft auf den Rand einer sich drehenden Anode. Während sich das Material bei feststehender Anode im Brennfleck stark erhitzt, führt die Rotation der **Drehanode** zu einer besseren Verteilung der Abwärme. Typische Drehzahlen liegen bei 3000 Umdrehungen/Minute.



© Medizinische Physik und Strahlenschutz
Budde & Bärenfänger GbR

Die Tatsache, dass die Anode einen Keilwinkel aufweist, vergrößert zusätzlich die mit Elektronen beaufschlagte Fläche der Anode. Dies senkt die thermische Belastung der Anode.

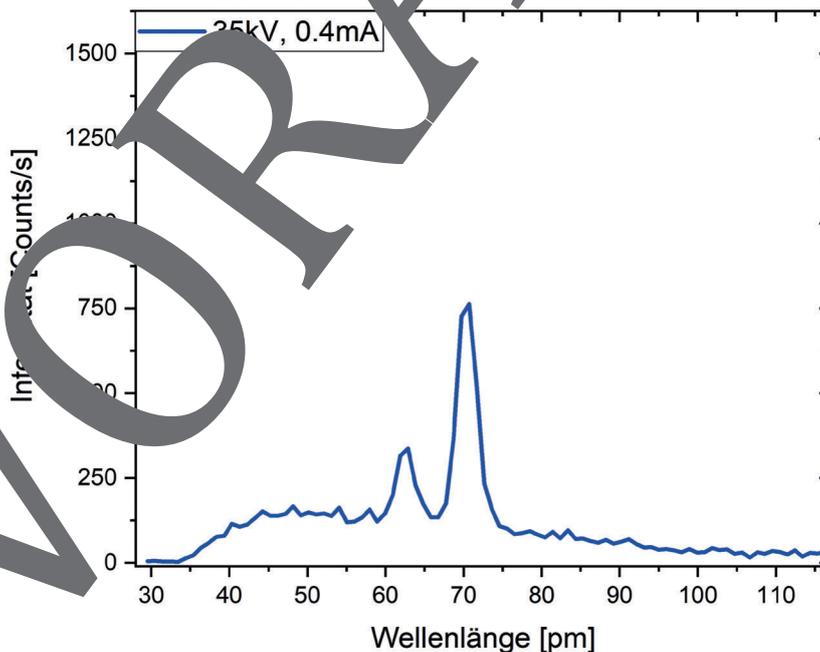
Werden alle Möglichkeiten kombiniert, lassen sich Röntgenröhren mit hoher Leistung und Lebensdauer bauen. Röntgenröhren können häufig mit zwei unterschiedlichen Brennfleckdurchmessern betrieben werden (**Doppelfokusröhren**). Verglichen mit dem Betrieb mit dem kleinerem Brennfleck erlaubt der Betrieb bei größerem Brennfleck eine größere Röntgenleistung, z. B. einer dafür jedoch größeren Bildunschärfe.



Skizze Axel Donges

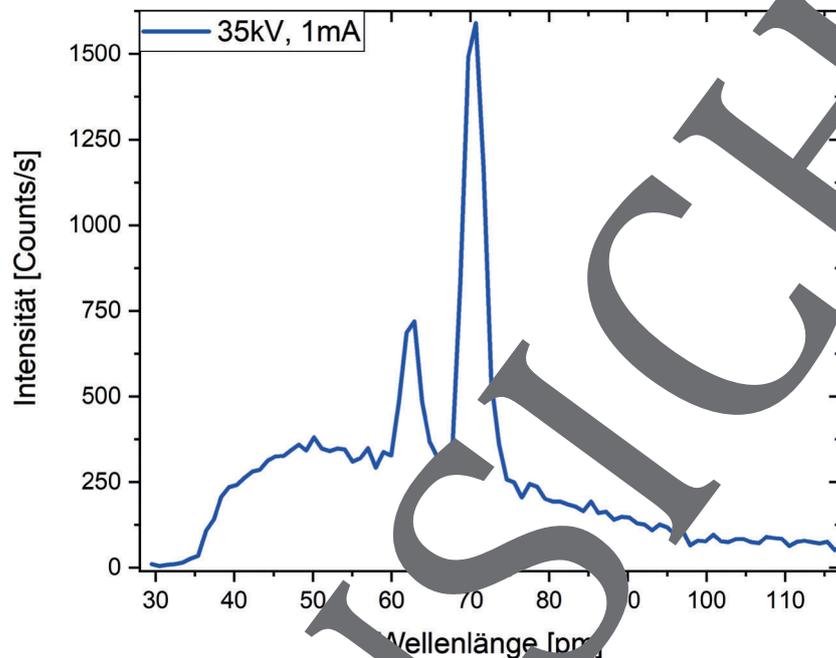
Variation des Heizstroms

Mit steigendem Heizstrom I_H , der durch die Glühkathode fließt, wächst auch die Temperatur der Glühkathode an. Eine Steigerung des Heizstroms führt also dazu, dass mehr Elektronen die Glühkathode pro Sekunde verlassen. Damit werden auch mehr Röntgenphotonen von der Röntgenröhre



© LMU München

pro Sekunde emittiert. Mit steigendem Heizstrom wächst also die Zahl der pro Sekunde von der Röntgenröhre emittierten Photonen, ohne dass sich die spektrale Verteilung ändert. Oben und untenstehend sind zwei Röntgenspektren zu sehen, die bei unterschiedlichen Heizströmen (0,4 mA und 1,0 mA) bei gleicher Beschleunigungsspannung ($U_A = 35 \text{ kV}$) aufgenommen wurden.



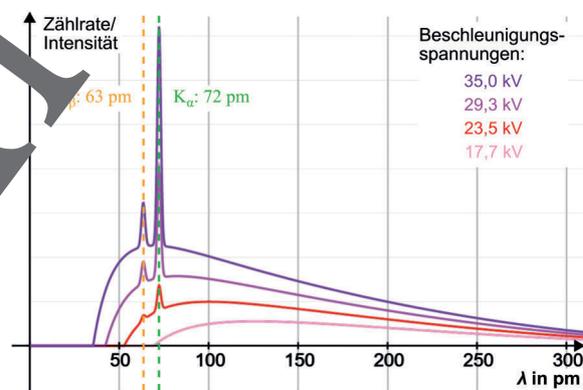
© LMU München

Variation der Beschleunigungsspannung

Wird die Beschleunigungsspannung U_A erhöht, so wird die kleinste auftretende

Wellenlänge $\lambda_{min} = \frac{hc}{eU_A}$ im Spektrum kleiner und die Intensität der Röntgenstrahlung größer. Es gilt die Kramersche Regel aus Material M 2:

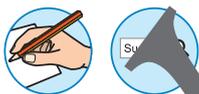
$$J(\lambda) \sim \left(\frac{\lambda}{\lambda_{min}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{\lambda^2} \cdot (\lambda \geq \lambda_{min} = \frac{hc}{eU_A}) \quad (8).$$



© 2024 Joachim Herz Stiftung (LEIF/Physik)

Aufgaben

1. Welche Aufgabe hat der Wehnelt-Zylinder?
2. Was versteht man unter dem Heel-Effekt?
3. Zeichnen Sie mithilfe einer Software (z. B. Excel) den qualitativen Verlauf von $J(\lambda)$ (Gleichung (8)) für $U_A = 50 \text{ kV}$, 100 kV und 150 kV bei sonst gleichen Bedingungen.
4. Was versteht man unter dem Heel-Effekt? Recherchieren Sie.



WORT

Speicherfolie – Aufbau und Funktionsweise

M 7

Das mithilfe von Röntgenstrahlung erzeugte Schattenbild (siehe Material M 3) wurde früher mithilfe silberhalogenid-basierter **fotografischen Platten** sichtbar gemacht und gespeichert. Das Schattenbild ruft in den Platten eine **latentes** (verborgenes) **Bild** hervor, das durch einen **Entwicklungsprozess** sichtbar und durch **Fixierung** haltbar gemacht wird. Die entwickelte Platte heißt **Negativ**, da Schattenbereiche hell und die bestrahlten Bereiche dunkel erscheinen. Diese Technik wird heute kaum mehr angewendet. Heute haben sich Speicherfolien durchgesetzt, die auf dem Prinzip der **optisch stimulierten Lumineszenz** basieren.

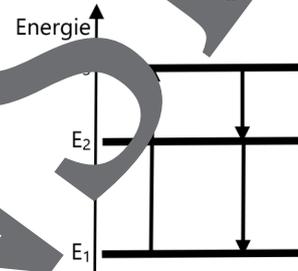


© ER Productions Limited/DigitalVision

Lumineszenz

Bei der **Lumineszenz** kommt es zur Umwandlung von energie-reicheren Photonen (z. B. UV-Licht) in energieärmere Photonen (z. B. sichtbares Licht). Dieses Phänomen wird an dem nebenstehend skizzierten (stark vereinfachten) Termschema erläutert:

- Ein Photon mit der Energie $E_3 - E_1$ wird von einem Festkörper absorbiert. Der Festkörper geht dabei vom Grundzustand mit der Energie E_1 in den angeregten Zustand mit der Energie E_3 über.
 - Dann geht der Festkörper unmittelbar strahlungslos (d.h. ohne Emission eines Photons) in den Zwischenzustand mit der Energie E_2 über.
 - Schließlich geht der Festkörper vom Zwischenzustand E_2 in den Grundzustand E_1 über. Dabei wird ein Photon mit der Energie $E_2 - E_1$ abgestrahlt. Diese Photonen bilden das **Lumineszenzlicht**.
- Findet die Lumineszenz sehr rasch nach der Energieaufnahme statt ($\leq 10^{-8}$ s), so spricht man auch von **Fluoreszenz**. Ist die Dauer zwischen Energieaufnahme und Abstrahlung des Lichts länger ($> 10^{-8}$ s), so wird die Lumineszenz auch als **Phosphoreszenz** bezeichnet.



Skizze: Axel Donges

Optisch stimulierte Lumineszenz (OSL)

- Wir betrachten den Fall, dass Röntgenstrahlung auf einen Festkörper fällt. Dadurch geht der Festkörper vom Grundzustand E_1 über den angeregten Zustand E_3 in den Zwischenzustand E_2 . Dieser Zustand hat nun eine sehr große Lebensdauer, so dass der Festkörper im Zustand E_2 verharren kann.
- Man bezeichnet den Zustand E_2 als **Falle**, da der Festkörper diesen Zustand „aus eigener Kraft“ nicht mehr verlassen kann.
- Wird dem Festkörper allerdings Energie in Form von Wärme oder Licht zugeführt, so kann er den Zustand E_2 verlassen und in den Grundzustand E_1 zurückkehren. Dabei wird **Lumineszenzlicht** emittiert. Man spricht von **optisch stimulierter Lumineszenz (OSL)**, wenn der Übergang von E_2 nach E_1 mit Licht ausgelöst wird. Anderenfalls liegt **Thermolumineszenz** vor.

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.
Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!

www.raabits.de

