

# P529:

## Dosimetrie und Abschirmung

Stand: 10/2010

Bemerkung: Der Versuch zählt einfach

### 1 Versuchsziel

- Bestimmung der mittleren Ionendosisleistung
- Messung der Dosis mit einem Stabdosisimeter und Überprüfung des Abstandsquadratgesetzes
- Untersuchung der Abhängigkeit des Bildkontrastes und der Bildhelligkeit von der Strahlcharakteristik. Bestimmung der Ortsauflösung des Systems
- Bestimmung der Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohres
- Messung der Schwächung von Röntgenstrahlung in Abhängigkeit von der Absorberdicke und des Absorbermaterials

### 2 Vorkenntnisse

- Röntgenstrahlen (Erzeugung und Nachweis, kontinuierliches und charakteristisches Röntgenspektrum)
- Geiger-Müller-Zählrohr (Aufbau, Funktionsweise, Totzeit und Totzeitkorrektur)
- Dosimetrische Messgrößen (Aktivität, Energiedosis, Dosisleistung, Äquivalentdosis)
- Bildkontrast, Bildhelligkeit, visuelle Ortsauflösung
- 4A-Regel (Abstand, Aufenthaltszeit, Abschirmung, Aktivität) im Strahlenschutz
- Aufbau und Funktionsweise verschiedener Personendosisimeter
- Abschwächung von Röntgenstrahlen (Lambertsches Schwächungsgesetz).

### 3 Literatur

- L. Bergmann, C. Schäfer: „Lehrbuch der Experimentalphysik IV“

- W. Demtröder: „Experimentalphysik, Bd. 3: Atome, Moleküle, Festkörper“
- D. Meschede: „Gehrtsen Physik“
- W. R. Leo: „Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments“
- Detaillierte Anleitung beim Assistent

### 4 Aufgaben

1. Bestimmen Sie die mittlere Ionendosisleistung einer Molybdän- und einer Kupfer-Röntgenröhre in Abhängigkeit von Emissionsstrom und Beschleunigungsspannung und interpretieren Sie Ihr Ergebnis.
2. Beweisen Sie mit Hilfe eines Stabdosisimeters die Abnahme der Dosis mit dem Abstand von der Anode des Röntgenerätes.
3. Bestimmen Sie sowohl für die Molybdän- als auch für die Kupferöhre die Abhängigkeit des Kontrasts und der Helligkeit des Leuchtschirmbildes von Emissionsstrom und Röhrenspannung. Untersuchen Sie die Auflösung des Systems.
4. Schätzen Sie die Totzeit des Geiger-Müller-Zählrohres ab. Abschließend messen Sie die Transmission von Aluminium unterschiedlicher Dicke bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlung einer Molybdän-Röhre. Außerdem bestimmen Sie die Abhängigkeit des linearen Schwächungskoeffizienten vom Absorbermaterial.

### 5 Versuchsdurchführung und Auswertung

#### 5.1 Aufbau

Für diesen Versuch verwenden Sie ein Vollschutzröntgenerät mit unterschiedlichen Wechselröhren (Cu- und Mo-Anode).

Für den ersten Versuchsteil muss das Goniometer ausgebaut sein. Das Goniometer bauen Sie folgendermaßen aus:

- Röntgenerät ausschalten.
- Fensterzählrohr aus der Halterung entfernen, Schutzkappe aufsetzen und Zählrohrkabel lösen.
- Rändelschrauben der unteren Führungsnut des Goniometers lösen.
- Goniometer im Experimentierraum nach links schieben und Flachbandkabel aus der Pfostenbuchse des Goniometers ziehen.

- Goniometer bis zum Anschlag anheben, Goniometerunterteil nach vorne schwenken und Goniometer soweit absenken, bis sich der Goniometeroberteil nach vorne schwenken lässt.

Entfernen Sie nun noch den Kollimator und bauen Sie den Plattenkondensator ein. Verbinden Sie dazu die obere und untere Kondensatorplatte mit den entsprechenden Kabeln, die bereits im Experimentierraum liegen und setzen Sie den Kondensator in die dafür vorgesehenen Bodenlöcher. Das Experimentierkabel, das an die obere Kondensatorplatte angeschlossen ist, verbinden Sie mit dem 450 V Pluspol des Netzgerätes. Die beiden Messkabel, die mit der unteren Kondensatorplatte verbunden sind werden an den mit  $R = 1G\Omega$  bestückten Messverstärker angeschlossen. Beachten Sie dabei, das stromführende Kabel nicht auf Masse zu legen. Verbinden Sie den Masseanschluss des Elektrometer-Verstärkers mit dem Minus-Pol des 450 V Netzgerätes. Schließen Sie die zwei Multimeter so an, dass Sie die Kondensatorspannung  $U_C$  und die Ausgangsspannung des Elektrometerverstärkers  $U_E$  messen können.

Für den zweiten Versuchsaufbau müssen Sie den Plattenkondensator wieder aus- und das Goniometer einbauen. Beachten Sie dabei, dass zum ein- und ausbauen des Goniometers das Röntgengerät ausgeschaltet sein muss!

Zum Wechsel der Röntgenröhre gehen Sie folgendermaßen vor:

- Röntgengerät ausschalten, Röntgenröhre mehrere Minuten abkühlen lassen.
- Rotes Hochspannungskabel senkrecht nach oben aus dem Kühlkörper ziehen.
- Befestigungsschraube am runden Röhrensockel lösen.
- Röntgenröhre am Kühlkörper fassen und vorsichtig aus dem Sockel ziehen. Dabei den Glaskörper nicht beschädigen.
- Röntgenröhre am Glaskörper fassen und Kühlkörper abschrauben (normales Rechtsgewinde).
- Röntgenröhre und Kühlkörper entnehmen.
- Alternative Röntgenröhre in den Bleiglas-Zylinder eintauchen. Röntgenröhre so in die Fassung stecken, dass die Schräge der Anode zum Messraum weist. Röntgenröhre bis zum Anschlag herunterdrücken.
- Befestigungsschraube am runden Röhrensockel festschrauben.
- Kühlkörper handfest aufschrauben.
- Hochspannungskabel senkrecht von oben soweit in die Bohrung des Kühlkörpers einführen, dass auch die Isolierung in die Bohrung eintaucht.
- Röntgengerät einschalten.

## 5.2 Durchführung und Auswertung

**Dosimetrie** Untersuchen Sie als erstes in welchem Bereich der angelegten Spannung der Kondensator als Ionisationsdetektor arbeitet. Bauen Sie zunächst die Molybdän-Röntgenröhre in das Röntgengerät ein. Stellen Sie den Emissionsstrom  $I = 1,0 \text{ mA}$  und die Röhren-Hochspannung  $U = 15 \text{ kV}$  ein. Schalten Sie die Röntgenstrahlung mit dem Schalter „HV ON/OFF“ ein. Variieren Sie die Kondensatorspannung  $U_C$  zwischen 0 V und 400 V und bestimmen Sie den jeweiligen Wert des Ionisationsstroms  $I_C$  aus der Ausgangsspannung des Elektrometerverstärkers  $U_E$  ( $I_C = \frac{U_E}{R}$ ). Wiederholen Sie die Messreihen für zwei weiteren Werte der Röhrenspannung. Bestimmen Sie welche Spannung an den Plattenkondensator für die folgenden Messungen angelegt werden sollte. Legen Sie diese Spannung an den Kondensator an.

Bestimmen Sie als nächstes den Ionisationsstrom  $I_C$  in Abhängigkeit vom Emissionsstrom  $I$  und von der Röhrenspannung  $U$ . Variieren Sie zunächst den Anodenstrom  $I$  von  $I = 0 \text{ mA}$  bis  $I = 1 \text{ mA}$  in Schritten von  $\Delta I = 0,1 \text{ mA}$  bei fester Röhrenspannung von  $U = 35 \text{ kV}$ . Anschließend variieren Sie die Röhrenspannung  $U$  von  $U = 0 \text{ kV}$  bis  $U = 35 \text{ kV}$  in Schritten von  $\Delta U = 2,5 \text{ kV}$  bei festem Anodenstrom von  $I = 1,0 \text{ mA}$  und bestimmen wiederum den Ionisationsstrom  $I_C$ .

Danach führen Sie diese Messungen für die Kupfer-Röntgenröhre durch, wobei Sie den Messverstärker mit  $R = 100 \text{ M}\Omega$  bestücken, um den Messbereich des Elektrometerverstärkers anzupassen.

Die Ionendosis  $J = \frac{dQ}{dm}$  ist der Quotient aus der bei der Durchstrahlung von Luft erzeugten Ladung  $dQ$  und der Masse  $dm$  des durchstrahlten Volumenelements. Die wirksame Intensität der Röntgenstrahlung ist als Quotient aus Dosis und Zeit definiert. Die mittlere Ionendosisleistung  $\langle j \rangle = \frac{I_C}{m}$  ist mit dem vorliegenden Versuchsaufbau leicht messbar. Dazu muss der Ionisationsstrom  $I_C$  und die Gesamtmasse des durchstrahlten Volumens bestimmt werden. Abb. 1 zeigt die Geometrie des verwendeten Plattenkondensators, aus der das durchstrahlte Volumen bestimmt werden kann. Dabei gilt:  $s_0 = 15,5 \text{ cm}$ ,  $a_0 = 4,5 \text{ cm}$ ,  $b_0 = 0,6 \text{ cm}$ ,  $d = 2,5 \text{ cm}$  und  $D = 16,0 \text{ cm}$ . Die Dichte  $\rho$  der Luft hängt sowohl von der Temperatur als auch vom Luftdruck ab:  $\rho = \rho_0 \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{p}{p_0}$  mit  $\rho_0 = 1,293 \text{ kgm}^{-3}$ ,  $T_0 = 273 \text{ K}$  und  $p_0 = 1013 \text{ hPa}$ . Temperatur und Luftdruck können Sie dem im Raum befindlichen Thermometer und Barometer entnehmen. Die Messgenauigkeit des Thermometers ist angegeben mit  $\Delta T = 1,5^\circ\text{C}$  in einem Temperaturbereich von  $T = 0 - 35^\circ\text{C}$ , ansonsten ist  $\Delta T = 2,0^\circ\text{C}$ . Die Genauigkeit des Luftdrucks ist angegeben als  $\Delta p = 3 \text{ hPa}$ .

Bestimmen Sie aus Ihren Messungen des Ionisationsstroms  $I_C$  die mittlere Ionendosisleistung  $\langle j \rangle$  in Abhängigkeit von Anodenstrom  $I$  und Röhrenspannung  $U$  und stellen Sie Ihre Messwerte sowohl für die Molybdän- als auch für die Kupferrohre graphisch dar.

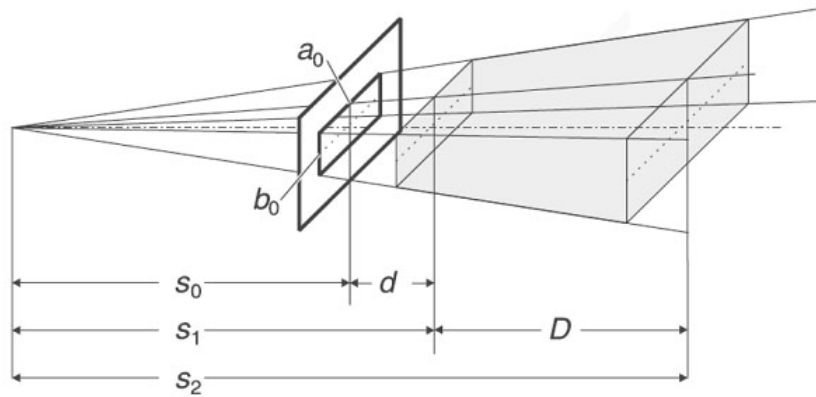


Abbildung 1: Geometrie des Plattenkondensators (LD Handblätter Physik)

Diskutieren Sie die Unterschiede der einzelnen Messungen insbesondere in Hinblick auf die unterschiedlichen charakteristischen Röntgenlinien der beiden Röntgenröhren.

Aus der mittleren Ionendosisleistung  $\langle j \rangle$  kann die entsprechende Äquivalentdosis bestimmt werden. Für die Umrechnung gilt:  $1 \text{ Akg}^{-1} \hat{=} 32,4 \text{ Svs}^{-1}$ .

Überprüfen Sie anhand Ihrer Messungen, ob der Bereich innerhalb des Plattenkondensators im Sinne der Strahlenschutzverordnung als Überwachungs-, Kontroll-, oder Sperrbereich klassifiziert werden muss.

**ACHTUNG: Die Hochspannung am Plattenkondensator ist unabhängig vom Röntgengerät und muss separat abgestellt werden, wenn Sie den Experimentierraum öffnen! Stellen Sie sicher, dass am Plattenkondensator keine Hochspannung mehr anliegt, wenn Sie den Experimentierraum des Röntgengerätes öffnen!**

Zusätzlich soll nun noch die Dosisleistung der beiden Röntgenröhren mit Hilfe eines Stabdosisimeters bestimmt werden. Befestigen Sie nach Abbau des Kondensators die Experimentierschiene in der Kammer. Stellen Sie das Dosimeter auf den Experimentiertisch so auf, dass die Ionisationskammer des Dosimeters sich im Strahlenfeld befindet. Vor jeder Messung ist das Stabdosisimeter abzulesen und gegebenenfalls neu zu eichen. Aus der Differenz zum vorher abgelesenen Wert und der eingestellten Bestrahlungszeit lässt sich die Dosisleistung berechnen und mit der aus dem Ionisationsstrom berechneten Dosisleistung vergleichen.

Überprüfen Sie dann das Abstandsquadratgesetz bei einem festen Wert des Emissionsstroms und der Röhrenspannung. Der Nullpunkt der Zentimeter-Skala an der Schiene

befindet sich in ca. 110 mm Entfernung von der Anode.

**Auflösung und Kontrast** Untersuchen Sie die Abhängigkeit der Helligkeit und des Kontrastes des Leuchtschirmbildes von Emissionsstrom und Röhren-Hochspannung mit Hilfe eines Strichrasters. Bestimmen Sie das Auflösungsvermögen des gesamten Systems (Röntgengerät und Leuchtschirm). Vergleichen Sie die Ergebnisse für beide Röhren.

Das Strichraster, das Sie für die weiteren Messungen benötigen, besteht aus 150  $\mu\text{m}$  dicker Kupferfolie und enthält 6 Felder mit jeweils konstanter Balkenbreite, die unterschiedliche Ortsfrequenzen erzeugen:

Balkenbreite/mm	0.3	0.5	1	2	3	4
Ortsfrequenz/Lp/mm	1.7	1	0.5	0.25	0.167	0.125

Befestigen Sie das Strichraster an dem Filmhalter. Klemmen Sie den Filmhalter so auf die Experimentierschiene, daß die Plexiglasscheibe zum Skalennullpunkt zeigt.

Um die Abbildung des Strichrasters am Leuchtschirm des Röntgengerätes zu beobachten verwenden Sie die Kamera und die Software des Computertomografiemoduls, das am Röntgengerät angeschlossen ist. Dafür schalten Sie das Modul an und starten das Programm „Computertomographie“ am Rechner. Die Einstellmöglichkeiten befinden sich in 5 aufklappbaren Feldern (Kamera, Röntgenstrahlung, ...). Stellen Sie die Kamera an und wählen Sie 40 als Anzahl der gemittelten Videoframes pro Bild, um die Bildqualität zu verbessern. Stellen Sie die Anzahl der Projektionen des CT-Scans auf 1. Nachdem Sie die gewünschten Parameter der Röntgenstrahlung gewählt haben, können Sie mit dem Taster „CT-Aufnahmen“ den Scan starten. Betrachten Sie erst qualitativ die Abhängigkeit von Kontrast und Helligkeit des Bildes von der Strahlcharakteristik und vom Abstand des Rasters von der Anode. Schätzen Sie die visuelle Ortsauflösung des Systems ein. Um die Beeinflussung der Bildqualität durch die oben genannten Größen genauer zu untersuchen, variieren Sie jeweils nur ein Parameter (Röhrenspannung, Emissionsstrom oder Abstand) und nehmen Sie drei verschiedene Bilder auf. Werten Sie die Bilder aus und bestimmen Sie die jeweiligen Werte von Kontrast und Ortsauflösung. Wiederholen Sie die Messung für die zweite Röhre und vergleichen Sie die Ergebnisse. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse in Bezug auf die Messungen, die im Versuchsteil **Dosimetrie** durchgeführt wurden.

**Totzeit** Für die weiteren Messungen verwenden Sie das Geiger-Müller-Zählrohr, dessen Zählcharakteristik durch seine Totzeit bestimmt ist. Um diesen Effekt angemessen zu berücksichtigen, ist es notwendig, die Totzeit des Zählrohrs abzuschätzen.

Bauen Sie zunächst den Kollimator und das Goniometer ein und positionieren Sie dieses

so, dass sowohl der Abstand Kollimator – Goniometermitte als auch der Abstand Goniometermitte – Zählrohr ca. 5 – 7 cm beträgt. Aus dem ersten Versuchsteil (Dosimetrie) wissen Sie, welche Größe (Anodenstrom  $I$  oder Röhrenspannung  $U$ ) linear mit der Zählrate skaliert. Variieren Sie diese Größe während Sie die andere beim Maximalwert konstant halten und mitteln Sie die zugehörige Zählrate über  $\Delta t = 30$  s.

Hierzu stellen Sie die Winkelschrittweite  $\Delta\beta = 0^\circ$  und den Grenzwinkel  $\beta_{\text{limits}} = 0^\circ$  ein. Die Integrationszeit  $\Delta t$  stellen Sie auf 30 s ein. Anschließend drücken Sie die Taste „SCAN“ und rufen nach Ablauf der Messzeit den Mittelwert durch Drücken der Taste „REPLAY“ ab.

Bestimmen Sie als erstes das Maximum der Winkelverteilung des Strahles, indem Sie das Geiger-Müller-Zählrohr um die optische Achse drehen und die jeweilige Rate bestimmen. Lassen Sie während den folgenden Messungen den Zähler beim Maximum. Variieren Sie den Abstand der Messpunkte sinnvoll, so dass Sie den Verlauf der Kurve sauber darstellen können. Diskutieren Sie den Verlauf der Kurve (paralysierend/nicht-paralysierendes System), und schätzen Sie aus dieser Messung die Totzeit des Zählrohrs ab.

**Abschirmung** Bauen Sie zunächst einen der beiden Absorbersätze in die viertelkreisförmige Nut des Targethalters ein. Drehen Sie den Targethalter bis zum Maximum des Strahlenfeldes, das Sie vorher bestimmt hatten. Mitteln Sie wieder die Zählraten über  $\Delta t = 30$  s. Aus der Bestimmung der Totzeit wissen Sie, welche Zählrate nicht überschritten werden sollte, damit Sie auf eine Totzeitkorrektur verzichten können. Wählen Sie die Parameter Anodenstrom  $I_A$  und Röntgenspannung  $U$  so, dass Sie einerseits keine Totzeitkorrektur durchführen müssen und andererseits direkt auf die Zählrate bei Maximalwerten für  $I_A$  und  $U$  schließen können. Messen Sie für alle Absorber verschiedener Dicke (Absorbersatz I) und für alle Absorbermaterialien (Absorbersatz II) die Zählrate. Tab. 1 gibt an, welche Materialdicke bzw. welches Material unter welchen Winkeln  $\beta$  des Targethalters im Strahlengang sind.

Führen Sie die beiden Messungen sowohl ohne als auch mit Zirkoniumfilter durch, welcher auf den Kollimator gesteckt wird. Aus den Zählraten bestimmen Sie die auf maximalen Anodenstrom  $I_A$  und maximale Röhrenspannung  $U$  korrigierten Zählraten sowie die Transmission für die einzelnen Absorber. Tragen Sie die Transmission in halblogarithmischer Skala gegen die Absorberdicke auf und bestimmen Sie den linearen Transmissionskoeffizienten für Aluminium aus der Messung mit dem Absorbersatz I. Anhand dieses Wertes können Sie die Absorberdicke im zweiten Absorbersatz bestimmen und die Transmissionskoeffizienten für die übrigen Materialien berechnen. Tragen Sie diese graphisch auf und diskutieren Sie das Ergebnis. Vergleichen und bewerten Sie die Ergebnisse der Messungen ohne und mit Zirkoniumfilter.

Tabelle 1: Dicke der Aluminiumabsorber bzw. Liste der Absorbermaterialien in den beiden Absorbersätzen I und II

$\beta$	Dicke	Material
0°	0 mm	leer
10°	0,5 mm	C
20°	1,0 mm	Al
30°	1,5 mm	Fe
40°	2,0 mm	Cu
50°	2,5 mm	Zr
60°	3,0 mm	Ag