

Versuchsanleitung Physik IV Praktikum

Röntgenanalysemethoden

Prof. Dr. A. Förster

WiSe 2014/15

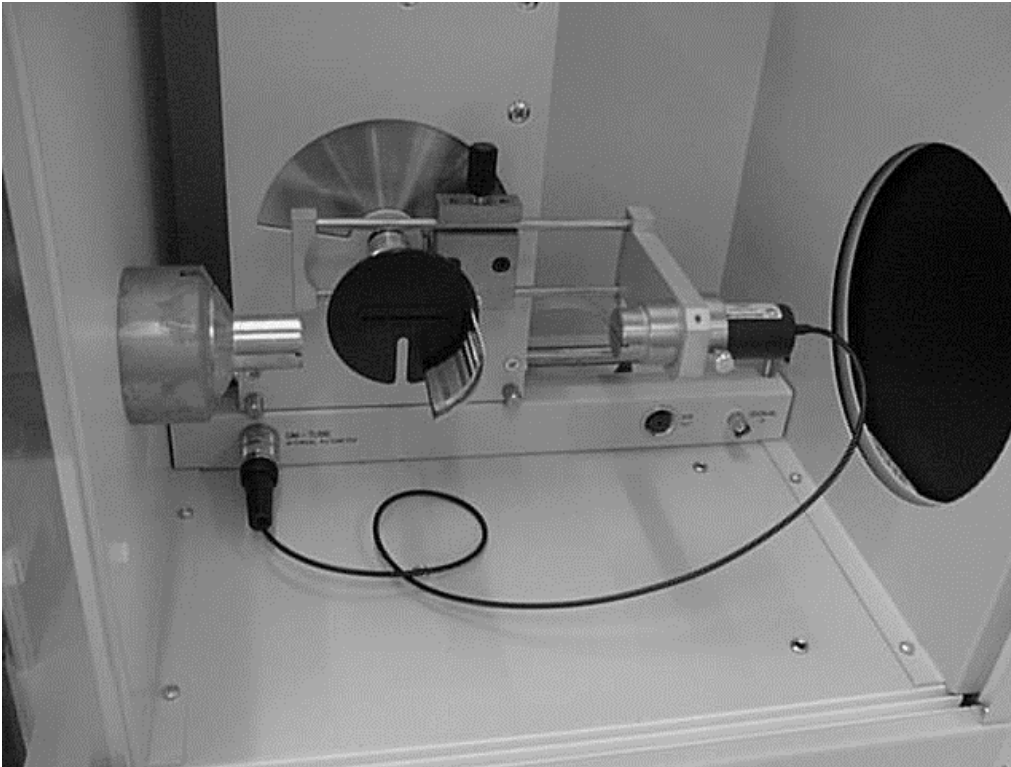
Inhaltsverzeichnis

1 Abschirmung von Röntgenstrahlung	2
1.1 Abschirmung in Abhängigkeit der Materialstärke	2
1.2 Abschirmung mit verschiedenen Stoffen gleicher Dicke	9
1.3 Messung der Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohres	15
2 Bragg-Reflexion an einem NaCl-Einkristall	20
2.1 Bestimmung des Gitterebenenabstandes	21
2.2 Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums	23
3 Demonstration einer Ionisationskammer	24
4 Bestimmung der Zusammensetzung von Präparaten mittels Röntgenfluoreszenz	29

1 Abschirmung von Röntgenstrahlung

1.1 Abschirmung in Abhängigkeit der Materialstärke

1.1.1 Versuchsaufbau



Gerätebestückung:

- Kollimator
- Goniometer
- Sensorhalter
- Sensorkollimator
- Geiger-Müller-Zählrohr
- Targethalter
- Absorbersatz I (Absorber gleichen Materials verschiedener Dicke)

Geometriedaten:

Abstand Kollimatorausgang bis Absorbersatz : 65mm

Abstand Absorbersatz bis Sensorkollimator : 60mm

1.1.2 Grundeinstellungen

Bedeutung	Formelzeichen	Wert
Röhrenspannung	U_R	35,0 kV
Röhrenstrom	I_R	0,01 mA
Messzeit	Δt	10 s
Sensorwinkel	α	0°
Targetwinkel	β	0°
Targetschrittweite	$\Delta\beta$	0°

1.1.3 Versuchsablauf

Nachdem das Gerät ordnungsgemäß mittels Netzstecker an die 230 V Stromversorgung angeschlossen und sichergestellt wurde, dass das Gerät keinerlei sichtbare Beschädigungen aufweist, kann es in Betrieb genommen werden. Gleich nach dem Betätigen des Hauptschalters, welcher sich an der linken Außenwand unten befindet, fahren Target- und Sensorarm des Goniometers vollautomatisch in die messtechnische Nullposition.

Um eine Überhitzung der Röntgenröhre zu vermeiden, sollte nun zuerst überprüft werden, ob sich der Lüfter im Röhrenraum dreht. Anschließend können die oben angegebenen Grundeinstellungen eingestellt werden. Die Verfahrensweise zum Einstellen der einzelnen Werte können Sie dem beigefügten „Merkblatt zur Parametereinstellung“ entnehmen.

Nachdem die Grundeinstellungen getroffen und die Bleiglastüren geschlossen worden sind, kann die Messung beginnen. Es werden insgesamt 7 Messungen durchgeführt, wobei von Messung zu Messung der Targetwinkel β um 10° verändert wird. Auf diese Weise wird, durch Drehung des Targetarms, ein um jeweils 0,5 mm dickerer Aluminiumfilter in den Strahlengang eingebracht. Die erste Messung wird unter einem Targetwinkel von $\beta = 0^\circ$ durchgeführt, wobei die Leerblende des Absorbersatzes durchstrahlt wird und somit kein Filter den Strahl schwächt. Die letzte Messung wird bei einem Targetwinkel von $\beta = 60^\circ$ durchgeführt, wobei ein 3 mm dicker Aluminiumfilter im Strahlengang ist. Jede Messung wird durch Druck auf die Taste „SCAN“ gestartet, wodurch die Röntgenröhre aktiviert wird, was durch die blinkende Kontrollleuchte „HV ON/OFF“ signalisiert wird. Die Uhr im Display zählt nun von der vorher in der Grundeinstellung eingestellten Messzeit Δt auf 0 herunter, woraufhin die Röntgenröhre sich abschaltet und die Kontrollleuchte „HV ON/OFF“ erlischt. Sobald dies geschehen ist, kann die bereits über Δt gemittelte Zählrate des Geiger-Müller-Zählrohres nach Drücken der Taste „REPLAY“ im Display abgelesen werden. Nachdem der Wert notiert worden ist, wird der Targetwinkel um 10° erhöht und anschließend die nächste Messung durchgeführt.

1.1.4 Messprotokoll

Tabelle 1: Abschirmung für $d_s = 0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 2: Abschirmung für $d_s = 0,5$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 3: Abschirmung für $d_s = 1,0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 4: Abschirmung für $d_s = 1,5$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 5: Abschirmung für $d_s = 2,0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 6: Abschirmung für $d_s = 2,5$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 7: Abschirmung für $d_s = 3,0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

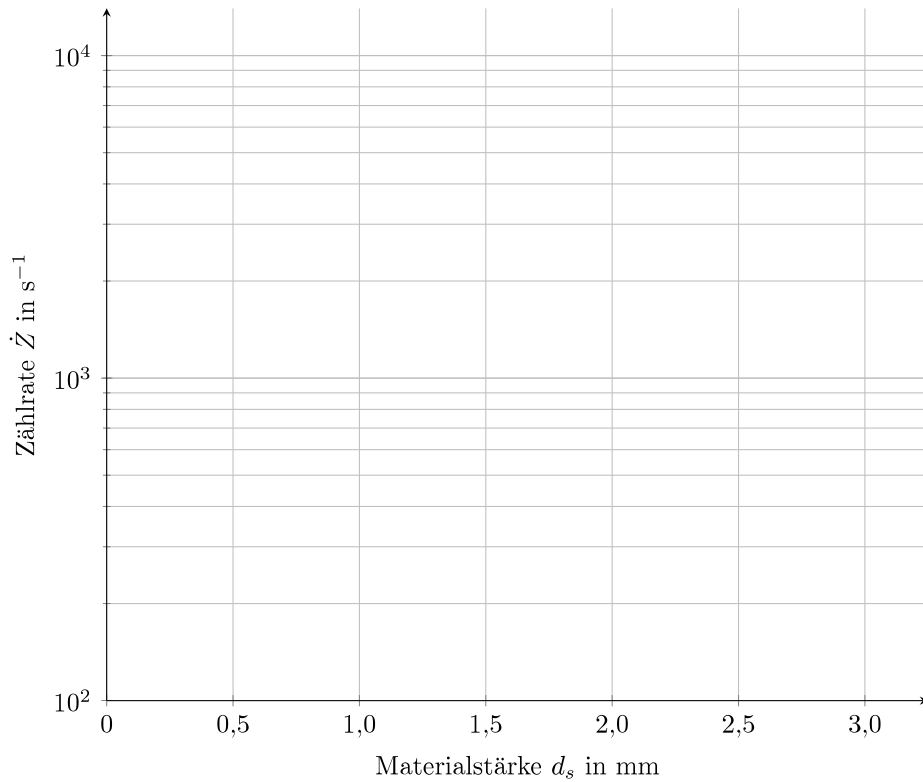
$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

1.1.5 Auswertung

Tragen Sie Ihre Messdaten in nachfolgendes Diagramm ein!



Ermitteln Sie aus dem erstellten Diagramm die ungefähre Halbwertsdicke $d_{1/2}$ und verifizieren Sie Ihr Ergebnis

rechnerisch!

1.2 Abschirmung mit verschiedenen Stoffen gleicher Dicke

1.2.1 Versuchsaufbau

Identisch zu 1.1.1 nur unter Verwendung des Absorbersatzes II

Tabelle 8: Bestückung des Absorbersatzes II

$\alpha/^\circ$	chem. Element	Ordnungs- zahl
10°	Kohlenstoff (C)	6
20°	Aluminium (Al)	13
30°	Eisen (Fe)	26
40°	Kupfer (Cu)	29
50°	Zirkonium (Zr)	40
60°	Silber (Ag)	47

1.2.2 Grundeinstellungen

Identisch zu 1.1.2

1.2.3 Versuchsablauf

Identisch zu 1.1.3. Für die Targetwinkel $\alpha = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ und 60° ist ein Röhrenstrom $I_R = 1,0$ mA einzustellen!

1.2.4 Messprotokoll

Tabelle 9: Abschirmung für Kohlenstoff

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 10: Abschirmung für Aluminium

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 11: Abschirmung für Eisen

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 12: Abschirmung für Kupfer

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 13: Abschirmung für Zirkonium

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \ddot{z})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\ddot{z} =$$

$$s_z^2 =$$

$$s_z =$$

$$\Delta \ddot{z} =$$

$$\ddot{z} \pm \Delta \ddot{z} =$$

Tabelle 14: Abschirmung für Silber

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \ddot{z})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\ddot{z} =$$

$$s_z^2 =$$

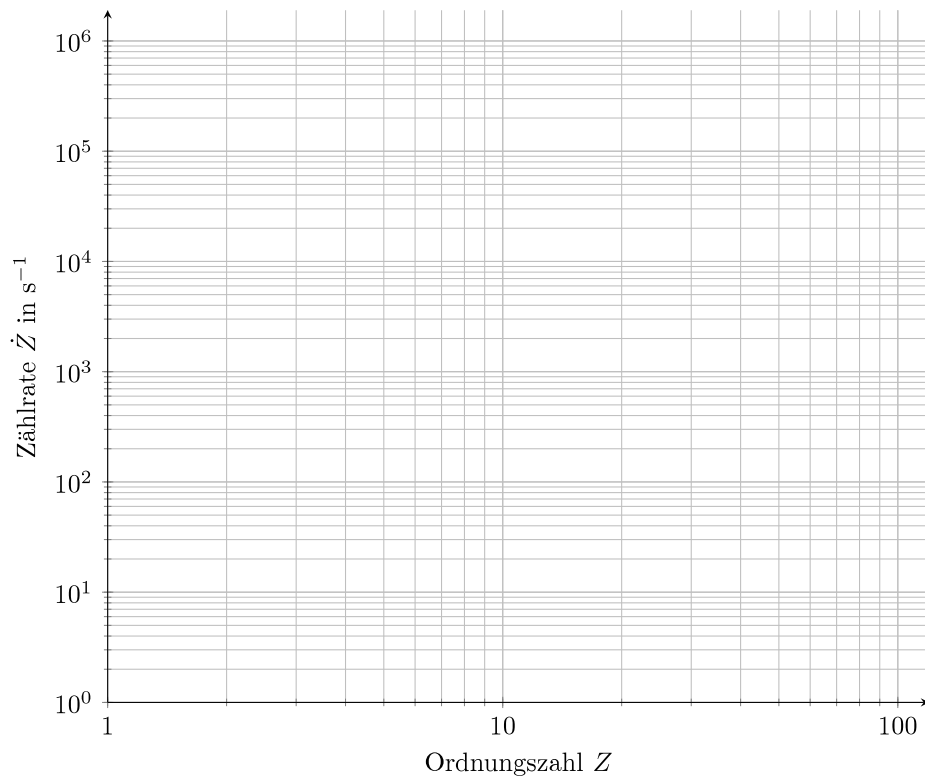
$$s_z =$$

$$\Delta \ddot{z} =$$

$$\ddot{z} \pm \Delta \ddot{z} =$$

1.2.5 Auswertung

Tragen Sie Ihre Messdaten in nachfolgendes Diagramm ein!



- Legen Sie eine Interpolationsgerade in das Diagramm (nur für die Werte ab Eisen).
- Ermitteln Sie die Steigung der Geraden (graphisch und rechnerisch).

1.3 Messung der Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohres

Wiederholen Sie die erste Messung mit dem Aluminiumabsorber, jedoch beginnend bei einer Taregetstellung $\alpha = 60^\circ$ und bei einem Röhrenstrom $I_R = 0,05 \text{ mA}$!

Tragen Sie die gemessenen Zählraten \dot{Z} in das Diagramm Zählrate als Funktion der Absorberdicke unter Berücksichtigung des Faktors f , der sich aus dem Verhältnis der Stromstärken ergibt, ein und bestimmen Sie für jeden Messpunkt das Verhältnis

$$R = \frac{f \cdot \dot{Z}(I_R = 0,01 \text{ mA})}{\dot{Z}(I_R = 0,05 \text{ mA})}$$

Den Faktor f bestimmen Sie aus der Annahme, dass die Totzeit τ bei einer Absorberdicke von $d_s = 3,0 \text{ mm}$ vernachlässigbar ist und daher $R = 1$ sein sollte.

Wenn in der ersten Messung die Totzeit vernachlässigt werden kann, so lässt sich die Totzeit aus der Beziehung zwischen „wahrer“ und beobachteter Zählrate (für nicht paralysierbare Instrumente)

$$\dot{Z}_{\text{wahr}} = \frac{\dot{Z}_{\text{mess}}}{1 - \dot{Z}_{\text{mess}} \cdot \tau}$$

bestimmen, denn es ist

$$R = \frac{f \cdot \dot{Z}(I_R = 0,01 \text{ mA})}{\dot{Z}(I_R = 0,05 \text{ mA})} = \frac{\dot{Z}_{\text{wahr}}}{\dot{Z}_{\text{mess}}} = \frac{1}{1 - \dot{Z}(I_R = 0,05 \text{ mA}) \cdot \tau}$$

Aufgelöst nach der Totzeit ergibt sich

$$\tau = \frac{1 - \frac{1}{R}}{\dot{Z}(I_R = 0,05 \text{ mA})}$$

1.3.1 Messprotokoll

Tabelle 15: Abschirmung für $d_s = 3,0 \text{ mm}$

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 16: Abschirmung für $d_s = 2,5$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 17: Abschirmung für $d_s = 2,0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 18: Abschirmung für $d_s = 1,5$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 19: Abschirmung für $d_s = 1,0$ mm

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 20: Abschirmung für $d_s = 0,5 \text{ mm}$

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

Tabelle 21: Abschirmung für $d_s = 0 \text{ mm}$

i	$\dot{z}_i / \text{s}^{-1}$	$(\dot{z}_i - \bar{\dot{z}})^2 / \text{s}^{-2}$
1		
2		
3		
4		
5		
Σ		

$$\bar{\dot{z}} =$$

$$s_{\dot{z}}^2 =$$

$$s_{\dot{z}} =$$

$$\Delta \bar{\dot{z}} =$$

$$\bar{\dot{z}} \pm \Delta \bar{\dot{z}} =$$

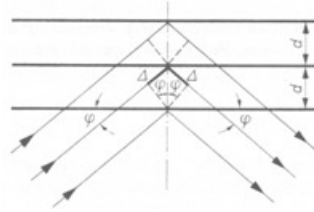
1.3.2 Auswertung

Tabelle 22: Berechnung der Totzeit τ

d_s / mm	R	τ / ms
0		
0,5		
1,0		
1,5		
2,0		
2,5		
3,0		

2 Bragg-Reflexion an einem NaCl-Einkristall

Der Effekt der kohärenten Streuung der Röntgenquanten an den Gitterebenen eines Kristalls kann unter Umständen zu erhöhter Dosisleistung an Position führen, die weit entfernt vom Nutzstrahl sind. Dies soll in dem Versuch demonstriert werden.



Trifft ein Röntgenstrahl auf einen orientierten Kristall auf, so erhält man Bragg Reflexion, wenn folgende Beziehung gilt (Braggbedingung):

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\rho) \quad (1)$$

Dies führt zu einer Verstärkung der Intensität des gestreuten Strahls unter diesem Winkel. Variiert man also den Einfallswinkel der Strahlung in Schrittweiten und gleichzeitig die Position des Detektors in Schrittweiten, so erhält man eine Intensitätsverteilung, die im wesentlichen durch die Photonen dominiert ist, die die Braggbedingung erfüllen. Besonders auffällig sind natürlich die charakteristischen Linien des Anodenmaterials. Da diese nicht nur in der ersten Ordnung ($n = 1$), sondern in höheren Ordnungen die Bedingung erfüllen, wird man die gleichen Linien mehrfach in dieser Verteilung beobachten können. Die zu einer bestimmten Wellenlänge gehörende Photonenenergie ergibt sich aus der Beziehung

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad (2)$$

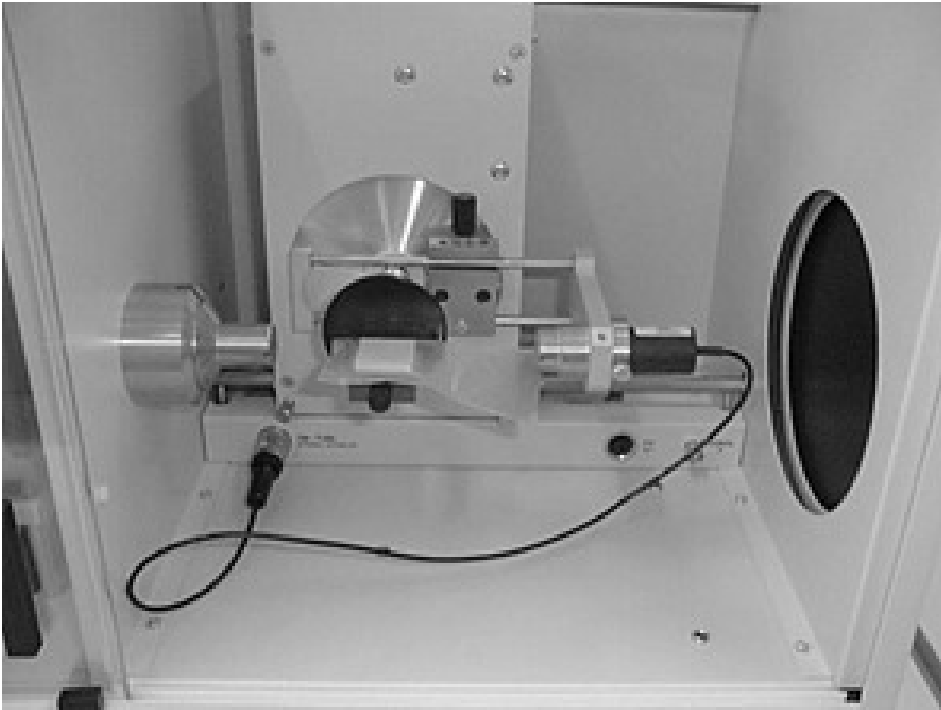
Die in diesem Praktikum verwendete Röntgenröhre besitzt eine Molybdän-Anode mit den charakteristischen Energien:

$$K_{\alpha} = 17,4 \text{ keV} (71,1 \text{ pm})$$

$$K_{\beta} = 19,6 \text{ keV} (63,1 \text{ pm})$$

2.1 Bestimmung des Gitterebenenabstandes

2.1.1 Versuchsaufbau



2.1.2 Grundeinstellungen

Bedeutung	Formelzeichen	Wert
Röhrenspannung	U_R	35,0 kV
Röhrenstrom	I_R	0,8 mA
Messzeit	Δt	2 s
min. Targetwinkel	β_{\min}	3°
max. Targetwinkel	β_{\max}	25°
Targetschrittweite	$\Delta\beta$	0,1°
Position		COUPLED

2.1.3 Versuchsablauf

Der NaCl-Kristall ist auf dem Probenhalter positioniert und das Gerät wird mit der Taste „RESET“ in die Grundeinstellung gebracht. Danach wird der PC gestartet (ggf. auch den Monitor einschalten, falls dieser sich nicht automatisch mit dem PC anschaltet) und das benötigte Programm „X-Ray“ durch Doppelklicken auf das gleichnamige Symbol auf dem Desktop gestartet. Nun können die oben angegebenen Grundeinstellungen eingestellt werden. Die Verfahrensweise zum Einstellen der einzelnen Werte können Sie dem beigefügten „Merkblatt zur Parametereinstellung“ entnehmen. Nachdem nun alle Versuchsvorbereitungen getroffen wurden und die Bleiglastüren geschlossen worden sind, kann die Messung beginnen.

Ziel dieses Versuches ist es, die Gitterkonstante des Einkristalls zu bestimmen. Dazu wird mittels Bragg-Reflexion an besagtem Einkristall mit bekannter Röntgenröhre die Zählrate in Abhängigkeit von Target- (und doppelt so großem) Sensorwinkel aufgenommen. Dies macht das Programm „X-Ray“ automatisch, nachdem der Messvorgang durch Druck auf die Taste „SCAN“ gestartet wurde. Während des Messvorgangs können Sie beobachten wie die Kurve auf dem Bildschirm entsteht. Durch Anklicken des Symbols mit dem roten Pfeil in der Symbolleiste (alternativ Druck auf die Taste „F7“) kann eine grafische Darstellung des aktuellen Messvorgangs eingeblendet werden. Für die Auswertung wichtiger jedoch ist die Statuszeile, welche sich am unteren Rand des Darstellungsfensters befindet. Nachdem man durch drücken der Tastenkombination „Alt + K“ (Alt-Taste drücken und gedrückt halten und zusätzlich die K-Taste drücken) die Koordinatenanzeige eingeschaltet hat, werden die zugehörigen Werte (Targetwinkel β und Zählrate \dot{Z}) des Messpunktes, welcher mit dem Fadenkreuz angewählt wird, in der Statusleiste angezeigt. Zur besseren Ablesbarkeit kann der Inhalt der Statuszeile durch betätigen der Taste „F6“ oder durch anklicken des Symbols links neben dem oben genannten roten Pfeil in einem separaten Fenster eingeblendet werden. Nachdem der gesamte Messvorgang beendet ist ($\beta = 25^\circ$) können Sie die benötigten Werte aus der vom Programm dargestellten Messkurve ablesen. Dazu bewegen Sie das Fadenkreuz mit Hilfe der Maus über jeden der Peaks, lesen den dazugehörigen Winkel β ab und tragen ihn in das Messprotokoll ein.

Die Reihenfolge der Peaks von links nach rechts lautet wie folgt: K_{α_1} , K_{β_1} , K_{α_2} , K_{β_2} , K_{α_3} , K_{β_3} . Sobald Sie die zugehörigen Winkel notiert haben, können Sie mit der Auswertung beginnen.

2.1.4 Messprotokoll

Peak	Winkel $\beta / ^\circ$	Zählrate \dot{Z} / s^{-1}
K_{α_1}		
K_{α_2}		
K_{α_3}		
K_{β_1}		
K_{β_2}		
K_{β_3}		

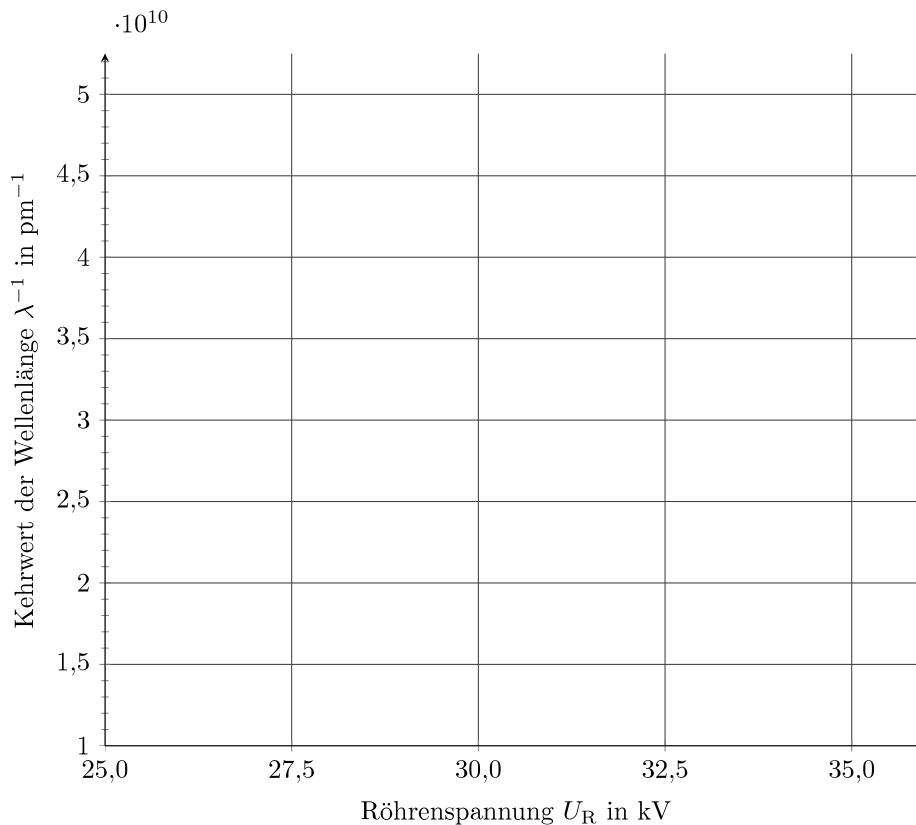
2.1.5 Auswertung

Bestimmen Sie aus diesen Messdaten den Ebenenabstand d_g des NaCl-Gitters!

2.2 Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums

Bestimmen Sie aus dem zuvor aufgenommenen Spektrum den Winkel β unter dem die Zählrate beginnt, deutlich über der Nullrate zu liegen. Dies ist der „Endpunkt“ des Energiespektrums der Röhre. Wiederholen Sie den Beginn der Messung bei $U_R = 32,5\text{ kV}$, $U_R = 30,0\text{ kV}$, $U_R = 27,5\text{ kV}$ und $U_R = 25,0\text{ kV}$ jeweils nur bis die charakteristischen Linien in erster Ordnung vermessen sind. Bestimmen Sie jeweils mit Hilfe der obigen Formeln die Wellenlänge des „Endpunktes“. Tragen Sie die Funktion $(\frac{1}{\lambda})$ als Funktion der Hochspannung U_R auf und bestimmen aus der Steigung das Planck'sche Wirkungsquantum (unter Verwendung der Werte für die Lichtgeschwindigkeit c und Elementarladung e)

U_R / kV	$\beta / ^\circ$	λ / pm
35,0		
32,5		
30,0		
27,5		
25,0		



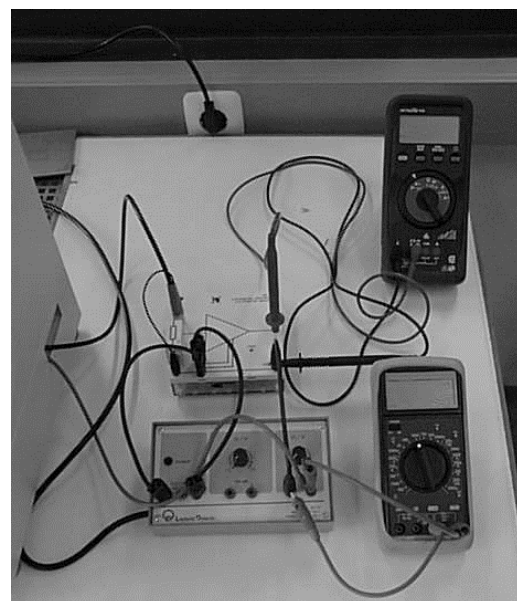
3 Demonstration einer Ionisationskammer

Im folgenden Versuch soll demonstriert werden, wie (zumindest im Prinzip) eine Ionisationskammer aufgebaut werden kann. Hierzu wird in den Untersuchungsraum ein Paar gegenseitig und zum Kammerboden hin isolierte Metallplatten gebracht. Gegen die Platten isoliert, jedoch geerdet befindet sich ein Kollimator, der sicherstellt, dass der Nutzstrahl die Kammerwände nicht erreicht.



Man beobachtet also nur Ionisation im Luftspalt zwischen den Platten. An die obere Platte wird positive Hochspannung gelegt. Die untere Platte wird mit einem abgeschirmten Kabel kontaktiert, dessen Abschirmung geerdet ist. Außerhalb der Kammer wird nun die „Seele“ des Signalkabels über einen sehr großen Widerstand ($1,0\text{ G}\Omega$) mit der Abschirmung verbunden. Das heißt man misst den Strom, der durch die auf der unteren Platte gesammelten Ladungen entsteht. Da im Experiment die Spannung, die an dem Widerstand abfällt gemessen wird, entspricht mit den Zahlenwert des Widerstands der Spannungsabfall von 1 V einer Stromstärke von einem 1 nA !

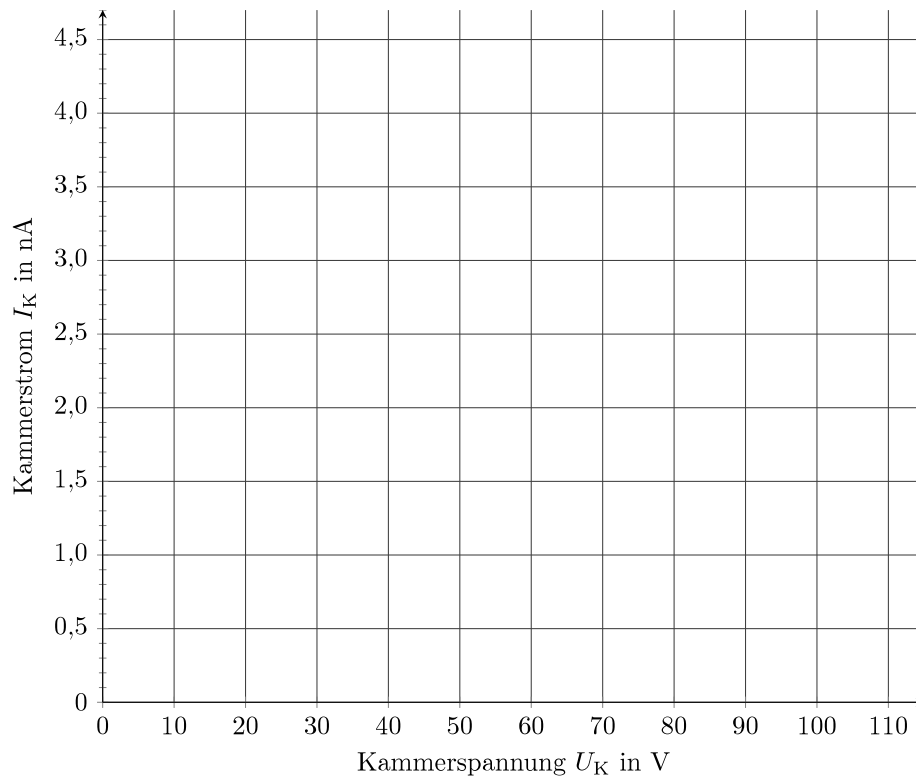
Die an die obere Platte angelegte Spannung wird an einem Drehpotentiometer (ganz rechts auf dem Netzgerät) eingestellt und mit einem Voltmeter angezeigt. Der Spannungsabfall am Widerstand wird durch einen Operationsverstärker 1:1 verstärkt und ebenfalls mit einem Spannungsmesser angezeigt.



Es werden nun drei Messreihen aufgenommen.

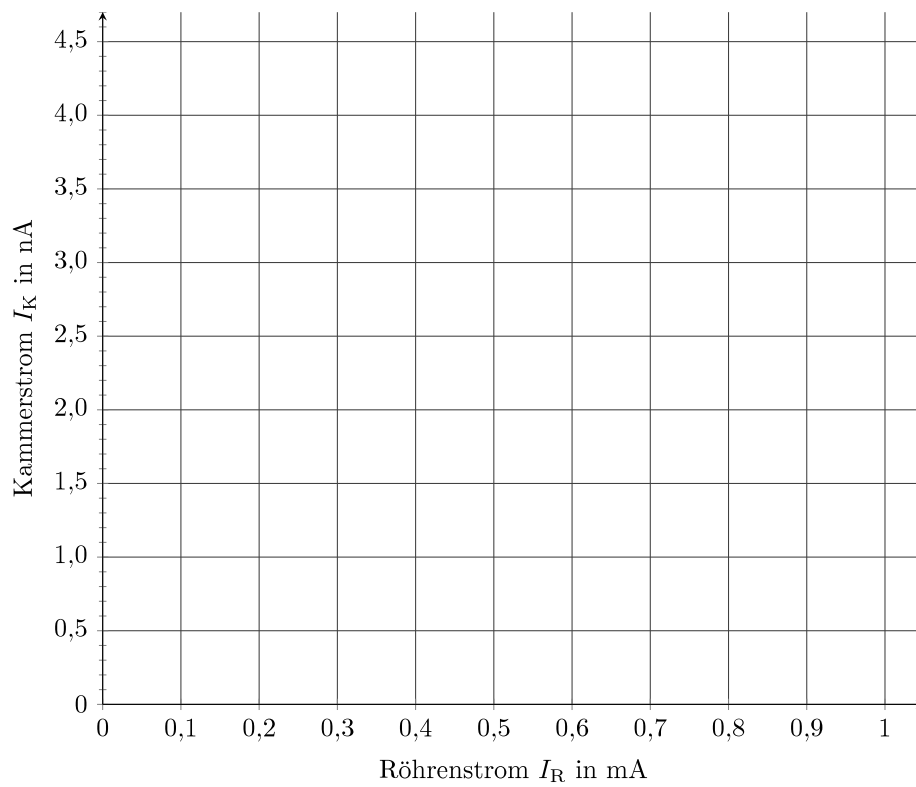
1. Bei maximaler Röhrenspannung $U_R = 35,0\text{ kV}$ und maximalem Röhrenstrom $I_R = 1,0\text{ mA}$ wird der Strom I_K an der Ionisationskammer als Funktion der an Kammeranspannung U_K gemessen. Schon bei etwas $U_K = 100\text{ V}$ sollte der Strom I_K bei etwa 4 nA in Sättigung gehen.

i	U_K / V	I_K / nA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



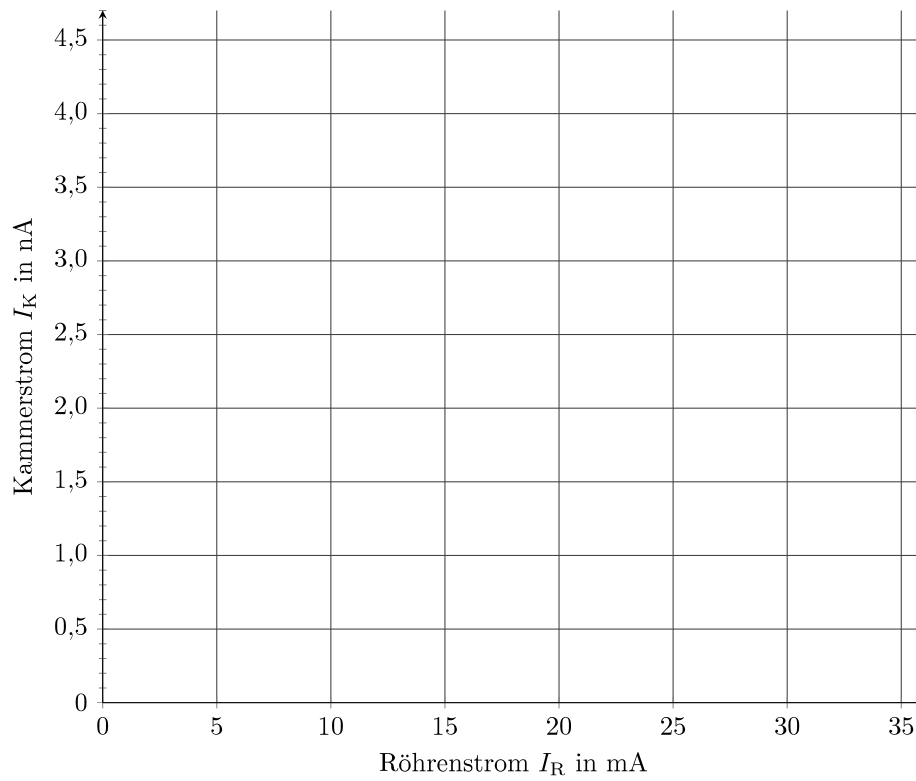
2. Dann wird bei einer Kammer Spannung von etwa 200 V (Sättigung) der Röhrenstrom I_R variiert, um zu demonstrieren, dass die Dosisleistung \dot{D} proportional zum Röhrenstrom ist.

i	I_R / mA	I_K / nA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		



3. In der letzten Messreihe wird der Röhrenstrom maximal gehalten und die Spannung an der Röhre in 5 kV Schritten variiert. Man stellt fest, dass die Dosisleistung \dot{D} (der Kammerstrom I_K) nicht linear, sondern quadratisch ansteigt.

i	U_R / kV	I_K / nA
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		



Als letztes Experiment wird ein elektronisches Dosimeter in den Strahl gebracht ($U_R = 35 \text{ kV}$ und $I_R = 1 \text{ mA}$) und für einen Zeitraum von $\Delta t = 10 \text{ s}$ gemessen. Das Dosimeter kann vor den Kollimator festgeklemmt werden. Das Warnsignal kann durch langes Drücken auf den Bedientopf gelöscht werden. Es sollte sich ein Wert von etwa $\dot{D} = 0,6 \text{ mSv s}^{-1}$ d.h. mehr als $2,0 \text{ Sv h}^{-1}$ Dosisleistung ergeben!

Man kann diesen Messwert auch zum Kammerstrom in Beziehung setzen. Für die Dosisleistung gilt:

$$\dot{D} = \frac{E_{\text{abs}}}{m \cdot t} = \frac{E_{\text{abs}}}{\rho \cdot V \cdot t}$$

andererseits ist die gebildete Ladung mit der absorbierten Energie durch die Beziehung

$$E = \frac{W}{e} \cdot Q \quad \text{mit} \quad \frac{W}{e} = 34 \text{ J C}^{-1} \text{ für Luft}$$

verknüpft. Es ist also

$$\dot{D} = \frac{E_{\text{abs}}}{\rho \cdot V \cdot t} = \frac{\frac{W}{e} \cdot Q}{\rho \cdot V \cdot t} = \frac{\frac{W}{e} \cdot I}{\rho \cdot V},$$

da ja Ladung pro Zeit die Stromstärke ist. Setzt man als ungefähre Zahlenwerte für das Kammervolumen und für die Dichte der Luft $\rho_L = 1,3 \text{ kg m}^{-3}$ ein, so erhält man eine Dosisleistung von etwa $\dot{D} = 6 \text{ Gy h}^{-1}$.

4 Bestimmung der Zusammensetzung von Präparaten mittels Röntgenfluoreszenz

Im ersten Teil des Versuchs soll das Auftreten charakteristischer Strahlung in der Streustrahlung demonstriert werden. Hierzu werden auf den Probenhalter unterschiedliche Proben gebracht und mit dem Röntgenstrahl des Schulgerätes bestrahlt. Die gestreute Strahlung wird unter relativ großem Winkel zum Nutzstrahl nachgewiesen. Bei dem Detektor handelt es sich um einen Si-Halbleiterdetektor, der nicht nur das Auftreten von Photonenstrahlung registriert, sondern auch die Energie der Strahlung nachweisen kann. Die Aufnahme zeigt den Aufbau im Experimentierraum des Röntgengerätes. Sortiert man mit Hilfe eines Rechners die Häufigkeit des Auftretens einer bestimmten Energie in ein sogenanntes Impulshöhenspektrum, so kann man im Anschluss an die Messung auswerten, welche Energien besonders häufig vorkommen. In der Abbildung ist ein als Beispiel das Spektrum gezeigt, das man bei der Bestrahlung eines Silberplättchens erhält. Man benötigt mindestens ein Spektrum mit bekanntem Material, um in der Lage zu sein, die Beziehung zwischen Position (Kanal) einer charakteristischen Linie und der zugehörigen Energie festzulegen. Aus der Intensität der Linie (das ist die Summe aller Ereignisse innerhalb des „peaks“) lässt sich zumindest im Prinzip die Stoffmenge des untersuchten Elementes bestimmen. Allerdings muss hierbei berücksichtigen, dass die Strahlung beim Durchqueren der Probe schon abgeschwächt wird und diese Abschwächung natürlich auch von der Zusammensetzung der Probe abhängt (Matrixeffekte). Auch ist die Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors energieabhängig und nicht ganz einfach zu bestimmen. Mit weniger Aufwand ist die Aufgabe verbunden, relative Häufigkeiten, insbesondere von Materialien, deren charakteristische Strahlung ähnliche Energien haben, also entweder sehr ähnliche Ordnungszahl haben (z.B. Nickel und Kupfer) oder aber deren K- und L-Linien benachbart sind (z.B. Kupfer und Tantal). Da es unmöglich ist, in der kurzen Zeit, die für das Praktikum zur Verfügung steht, die Bedienung des Messprogramms zu erlernen, muss sich die aktive Beteiligung der Teilnehmer auf die Identifizierung der untersuchten Proben beschränken. Gerne werden auch Proben der Teilnehmer untersucht. Um eine Zuordnung zu ermöglichen, sind die Energien der K- und L-Linien der stabilen Elemente angegeben. Man erkennt, dass für Elemente mit einer Ordnungszahl zwischen 11 und 94 der Energiebereich zwischen 1 keV und 30 keV ausreicht. Für die Intensitäten gilt, dass sich wie etwa 5:1 verhalten.

Tabelle 23: Probe 1

i	Energie E / keV	Emissions- linie	Element
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabelle 24: Probe 2

i	Energie E / keV	Emissions- linie	Element
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabelle 25: Probe 3

i	Energie E / keV	Emissions- linie	Element
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabelle 26: Probe 4

i	Energie E / keV	Emissions- linie	Element
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tabelle 27: Probe 5

i	Energie E / keV	Emissions- linie	Element
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

A Konstanten der Physik

e Elementarladung $e = 1,602\,176\,53(14) \cdot 10^{-19} \text{ C}$

c_0 Vakuumlichtgeschwindigkeit $c_0 = 2,997\,924\,58 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$

h Planck'sches Wirkungsquantum $h = 6,626\,069\,3(11) \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

B Hilfestellungen zur Auswertung

B.1 Lineare Regression

$$y = f(x) = a \cdot x + b$$

$$S = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 = \min$$

Steigung:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$
$$\Delta a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2}{N - 2}} \cdot \sqrt{\frac{N}{N \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}}$$

y-Achsenabschnitt:

$$b = \bar{y} - a \cdot \bar{x}$$
$$\Delta b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2}{N - 2}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N \cdot \left(\sum_{i=1}^N x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}}$$

B.2 Fehlerrechnung

B.2.1 Statistische Auswertung

arithmetischer Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardabweichung der Einzelmessung:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung des Mittelwertes:

$$\Delta \bar{x} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

B.2.2 Fehlerfortpflanzung

quadratische Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial a} \cdot \Delta \bar{a}\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial b} \cdot \Delta \bar{b}\right)^2 + \dots}$$

lineare Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta x = \left|\frac{\partial x}{\partial a}\right| \cdot \Delta a + \left|\frac{\partial x}{\partial b}\right| \cdot \Delta b + \dots$$