

Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Wintersemester 2019/2020

Versuch 83: Braggsche Reflexion von Röntgenstrahlung

Gruppe

(durchgeführt am bei)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	4
1 Ziel des Versuchs	5
2 Benutzte Gleichungen	5
3 Aufbau und Durchführung	6
3.1 Aufbau	6
3.1.1 Röntgenröhre	6
3.2 Durchführung	7
4 Messung	8
4.1 Zählrohrcharakteristik	8
4.2 Röntgenemissionsspektrum	8
5 Auswertung	11
5.1 Zählrohrcharakteristik	11
5.2 Röntgenemissionsspektrum	13
5.3 Wellenlänge der CuK_α -Strahlung	17
6 Diskussion	18
6.1 Zählrohrcharakteristik	18
6.2 Röntgenemissionsspektrum	18
6.3 Gitterkonstante LiF-Kristall	18
6.4 K_α - und K_β -Linie	19
6.5 Diskussion des Planckschen Wirkungsquantum	20
7 Anhang	22
Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau	6
2	Zählrohrcharakteristik	11
3	Zählrohrcharakteristik für Spannungen über 340 V	12
4	Röntgenemissionsspektrum	13
5	Röntgenemissionsspektrum im Bereich der K_α -Linie	14
6	Röntgenemissionsspektrum im Bereich der K_β -Linie	15
7	Röntgenemissionsspektrum in Bereich des Einsatzes des Kontinuums	16
8	Laborheftseite1	22
9	Laborheftseite2	23
10	Laborheftseite3	24

Tabellenverzeichnis

1	Zählrohrcharakteristik	8
2	Messwerte Röntgenemissionsspektrum	9
3	Messwerte um die K_α -Linie	9
4	Messwerte um die K_β -Linie	10
5	Messwerte um den Bremsstrahlungseinsatz	10

1 Ziel des Versuchs

Ziel des Versuchs ist es zunächst die Charakteristik eines Zählrohrs aufzunehmen. Anschließend sind das Bremsstrahlungsspektrum und das Linienspektrum für die Beugung an einem LiF-Kristall zu messen. Daraus werden die Lagen und Wellenlängen der charakteristischen Linien und die Gitterkonstante des LiF-Kristalls bestimmt. Zusätzlich wird das Plancksche Wirkungsquantum berechnet.

2 Benutzte Gleichungen

Minimale Wellenlänge $\lambda_{\min}$ des Bremsspektrums:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU_A} \quad (1)$$

Mit Planckschem Wirkungsquantum h , Lichtgeschwindigkeit c , Elementarladung e und Anodendspannung U_A .

Gesetz von Moseley:

$$\nu(K_\alpha) = \frac{c}{\lambda(K_\alpha)} = \frac{3}{4}(Z-1)^2 R_y \quad (2)$$

Mit R_y = Rydbergfrequenz
und Z = Kernladung des Gegenkathodenmaterials.

Braggsche Reflexionsbedingung:

$$2d \sin \alpha = n\lambda \quad (3)$$

Mit optischer Gitterkonstante d , Bragg-Winkel α , Ordnung n und Wellenlänge λ .

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

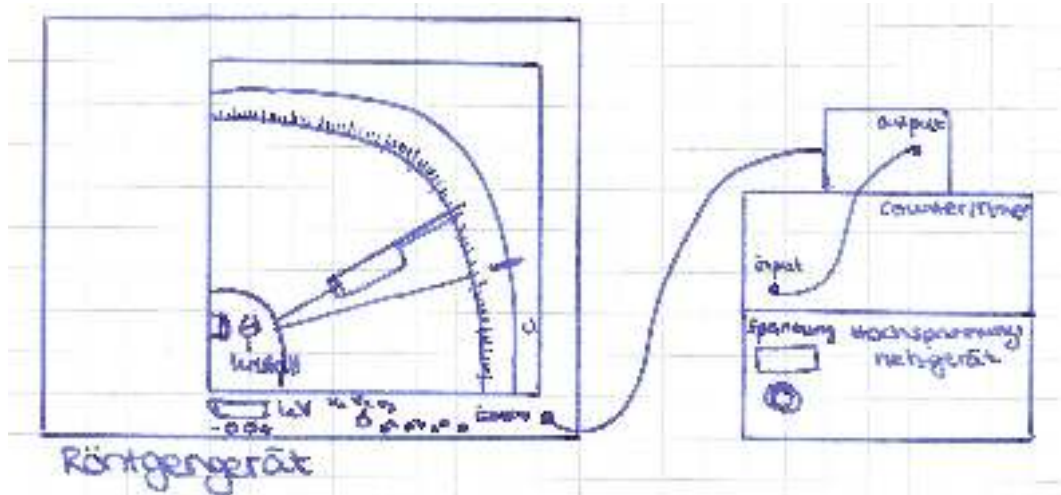


Abbildung 1: Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau (siehe [Abbildung 1](#)) besteht aus einer Röntgenröhre, deren Aufbau in [Unterunterabschnitt 3.1.1](#) genauer beschrieben wird. Die Röntgenstrahlung tritt aus einer kleinen Öffnung aus der Röntgenröhre aus und fällt auf einen LiF-Kristall, an dem sie gebeugt wird. Hinter dem Kristall befindet sich ein Zählrohr, das die Anzahl der gemessenen Impulse zählt. Das Zählrohr ist an einem Hochspannungsnetzgerät angeschlossen, mit dem die Spannung im Zählrohr reguliert werden kann. Außerdem ist ein Counter mit dem Zählrohr verbunden, an dem eine Messzeit eingestellt werden kann. Der Kristall und das Zählrohr sind jeweils an einem beweglichen Rad befestigt und können durch kleine Knöpfe in beide Richtungen bewegt werden. Sie sind dabei so miteinander gekoppelt, dass sich das Zählrohr immer um den doppelten Winkel dreht, wie der Kristall. Dahinter ist eine Gradskala angebracht, an dem die Winkeleinstellung der beiden Arme von Zählrohr und Kristall abgelesen werden können. Hierbei wird 0° als die Einstellung definiert, in der Zählrohr und Kristall beide auf der gleichen Höhe sind und der Röntgenstrahl in einer Ebene mit der Kristalloberfläche liegt.

3.1.1 Röntgenröhre

Die Röntgenröhre besteht aus einer Kathode, einer Antikathode und einem Wehneltzylinder, die sich in einer Abschirmung befinden. Die Kathode wird durch die Heizspannung U_F aufgeheizt, so dass Elektronen austreten, welche durch die Beschleunigungsspannung U_A zur Antikathode beschleunigt werden. Durch einen Wehneltzylinder wird der entstandene Elektronenstrahl gebündelt. Treffen die Elektronen hoher

Energie nun auf die Antikathode (aus Metall einer hohen Kernladungszahl) so wechselwirken sie mit der Materie und es entsteht Röntgenstrahlung. Diese gelangt nun durch ein Fenster und eine dahinterliegende Austrittsöffnung aus der Röntgenröhre, wo sie noch durch eine Lochblende gebündelt wird.

3.2 Durchführung

Zu Beginn der Messung werden das Röntgengerät und das Zählrohr in Betrieb genommen. Nach etwa 30 Sekunden kann die Anodenspannung der Röntgenröhre auf 20,0 kV eingestellt werden.

Zum Messen der Zählrohrcharakteristik wird nun der Winkel über die Knöpfe am Röntgengerät so justiert, dass sich der Kristall bei einem Winkel von $12,0^\circ$ das Zählrohr also bei einem Winkel von $24,0^\circ$ befindet. An der Winkelskala werden im Folgenden nur die Winkel des Kristalls abgelesen. Anschließend stellt man das Zeitintervall Δt in dem die Impulse gemessen werden auf 30 s. Nun wird in etwa 25 V Schritten die Zählrohrspannung von 300 V bis 650 V aufgedreht und die Anzahl der Impulse gemessen. Bei starker Veränderung der gemessenen Impulse wird in kleineren Schritten (etwa 1 – 5 V) gemessen.

Anschließend wird der Winkel α auf 5° und die Zählrohrspannung auf 600 V gestellt, da dieser Wert laut der ersten Messung im Plateaubereich der Zählrohrcharakteristik liegt. Die Messung wird nun durchgeführt, indem zunächst ein Zeitintervall gesucht wird, indem mindestens 2000 Pulse registriert werden (in unserem Fall bei 20 s). Danach wird der Winkel immer in $0,4^\circ$ beziehungsweise $0,6^\circ$ Schritten verändert und jeweils die Anzahl der Impulse in Abhängigkeit des Winkels gemessen. Dies wird bis zu einem Winkel von 30° wiederholt.

An den dabei gemessenen Peaks und am Einsatz des Spektrums wird eine weitere Messung mit kleineren Winkelabständen (etwa $0,2^\circ$) durchgeführt.

4 Messung

Für den gemessenen Winkel wir folgende Unsicherheit angenommen:

$$s_\alpha = 0,1^\circ \quad (4)$$

4.1 Zählrohrcharakteristik

Da die Zählrohrspannung U_Z in der letzten Stelle leicht geschwankt hat, wird folgende Unsicherheit angenommen:

$$s_{U_Z} = 1 \text{ V} \quad (5)$$

Bei einer Winkeleinstellung von $\alpha = 12,0^\circ$, einem Messintervall von $\Delta t = 30,00 \text{ s}$ und einer Anodenspannung von $U_A = 20,0 \text{ kV}$ wurden folgende Werte gemessen:

$U_Z[\text{V}]$	Anzahl N	$U_Z[\text{V}]$	Anzahl N	$U_Z[\text{V}]$	Anzahl N
300	0	360	2313	490	2420
325	0	375	2305	495	2546
330	0	400	2362	500	2626
331	343	425	2352	505	2540
332	1941	450	2369	510	2397
333	2257	460	2442	525	2582
334	2307	465	2436	550	2509
335	2272	470	2553	575	2564
340	2185	475	2528	600	2590
345	2273	480	2522	625	2586
350	2203	485	2407	650	2635
355	2375				

Tabelle 1: Zählrohrcharakteristik

4.2 Röntgenemissionsspektrum

Die Ausmessungen des Röntgenemissionsspektrums wurden bei einer Anodenspannung von $U_A = 22,0 \text{ kV}$, einem Zeitintervall von $\Delta t = 20,00 \text{ s}$ und einer Zählrohrspannung von $U_Z = 600 \text{ V}$ durchgeführt. Im Bereich für $\alpha = 5,0^\circ - 30,0^\circ$ wurde abwechselnd in einem Winkelintervall von $\Delta\alpha = 0,4^\circ$ und $\Delta\alpha = 0,6^\circ$ gemessen. Die gemessenen Werte sind den folgenden Tabellen aufgeführt:

$\alpha[^\circ]$	Anzahl N	$\alpha[^\circ]$	Anzahl N	$\alpha[^\circ]$	Anzahl N
5.0	1305	14.0	2641	22.4	23178
5.4	826	14.4	2743	23.0	2402
6.0	475	15.0	2714	23.4	2053
6.4	449	15.4	2915	24.0	1969
7.0	419	16.0	2733	24.4	1718
7.4	477	16.4	2753	25.0	1635
8.0	772	17.0	2743	25.4	1574
8.4	970	17.4	2572	26.0	1554
9.0	1331	18.0	2804	26.4	1481
9.4	1347	18.4	2900	27.0	1265
10.0	1780	19.0	2831	27.4	1183
10.4	2010	19.4	4439	28.0	1048
11.0	2382	20.0	11028	28.4	1058
11.4	2758	20.4	3214	29.0	948
12.0	2782	21.0	2904	29.4	926
12.4	2992	21.4	2816	30.0	847
13.0	3071	22.0	53093	30.4	922
13.4	2576				

Tabelle 2: Messwerte Röntgenemissionsspektrum

Um den Einsatz des Kontinuums sowie die beiden charakteristischen Linien K_α und K_β genauer bestimmen zu können wurden in drei Bereichen für ein Winkelintervall von $\Delta\alpha = 0,2^\circ$ nochmals Messwerte aufgenommen, die in den folgenden drei Tabellen aufgeführt sind.

$\alpha[^\circ]$	Anzahl N
21.6	4504
21.8	21945
22.0	53878
22.2	46482
22.4	23464
22.6	5937
22.8	2681

Tabelle 3: Messwerte um die K_α -Linie

$\alpha[^\circ]$	Anzahl N
19.6	13401
19.8	17446
20.0	11516
20.2	5218

Tabelle 4: Messwerte um die K_β -Linie

$\alpha[^\circ]$	Anzahl N
6.6	445
6.8	419
7.0	458
7.2	468

Tabelle 5: Messwerte um den Bremsstrahlungseinsatz

5 Auswertung

5.1 Zählrohrcharakteristik

Die Zählrohrcharakteristik aus den gemessenen Werten für die Anzahl der Counts bei unterschiedlichen Zählrohrspannungen (vgl. [Tabelle 1](#)) sind in folgendem Schaubild dargestellt:

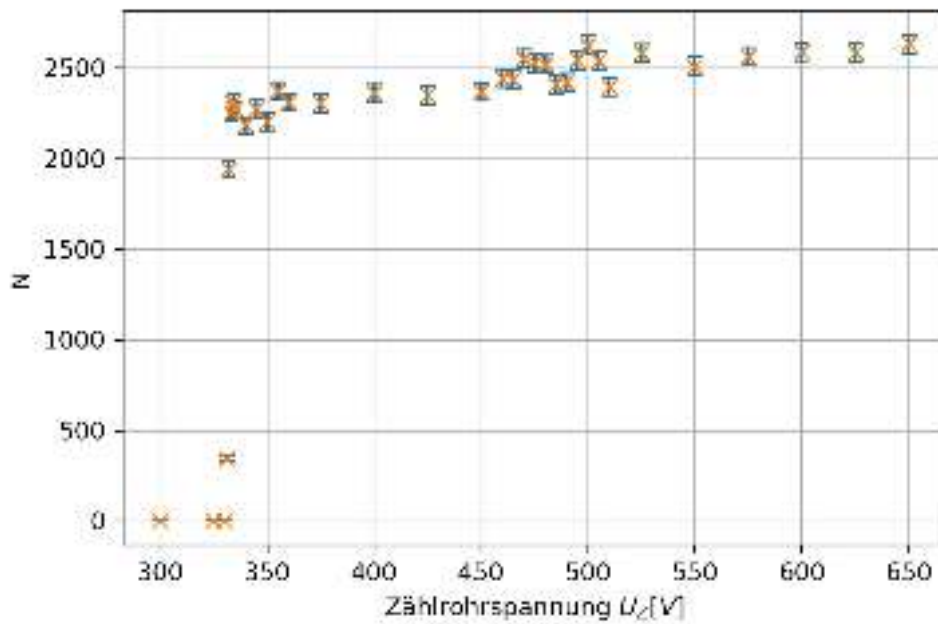


Abbildung 2: Zählrohrcharakteristik

Da die gemessene Anzahl N jeweils nur ein statistischer Wert einer zu Grunde liegenden Poissonverteilung ist und N jeweils relativ groß ist, wird der Fehler wie folgt berechnet:

$$s_N = \sqrt{N} \quad (6)$$

Um den Verlauf ab einer Zählrohrspannung von circa 340 V genauer betrachten zu können sind im folgenden Schaubild nur die Messwerte für Spannungen über 340 V aufgetragen.

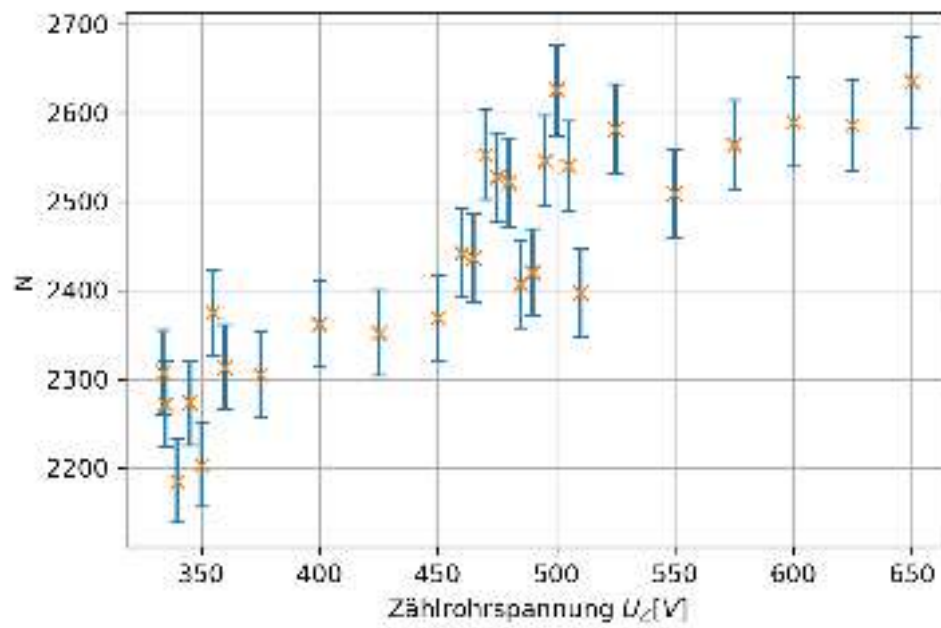


Abbildung 3: Zählrohrcharakteristik für Spannungen über 340 V

5.2 Röntgenemissionsspektrum

Um das im gesamten Winkelbereich gemessene Spektrum zu erhalten, wird im folgenden Schaubild für alle Messwerte aus [Tabelle 2](#), [Tabelle 3](#), [Tabelle 4](#) und [Tabelle 5](#) die gemessene Anzahl N auf einer logarithmischen Skala gegen $\sin \alpha$ aufgetragen:

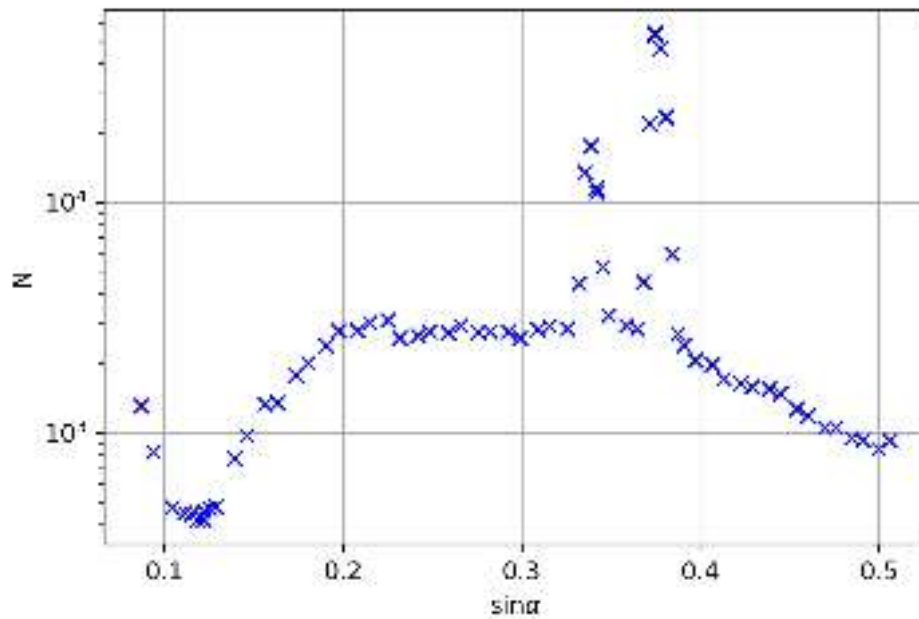


Abbildung 4: Röntgenemissionsspektrum

Um die Lage der K_α -Linie genauer zu bestimmen betrachten wir im folgenden Schaubild nur einen engen Bereich um das Maximum (in [Abbildung 4](#) höherer Peak). Für die Approximation ihrer Linienform wird hier eine Gauß-Kurve berechnet, die zusätzlich zur daraus gewonnenen Lage des Maximums eingezeichnet ist.

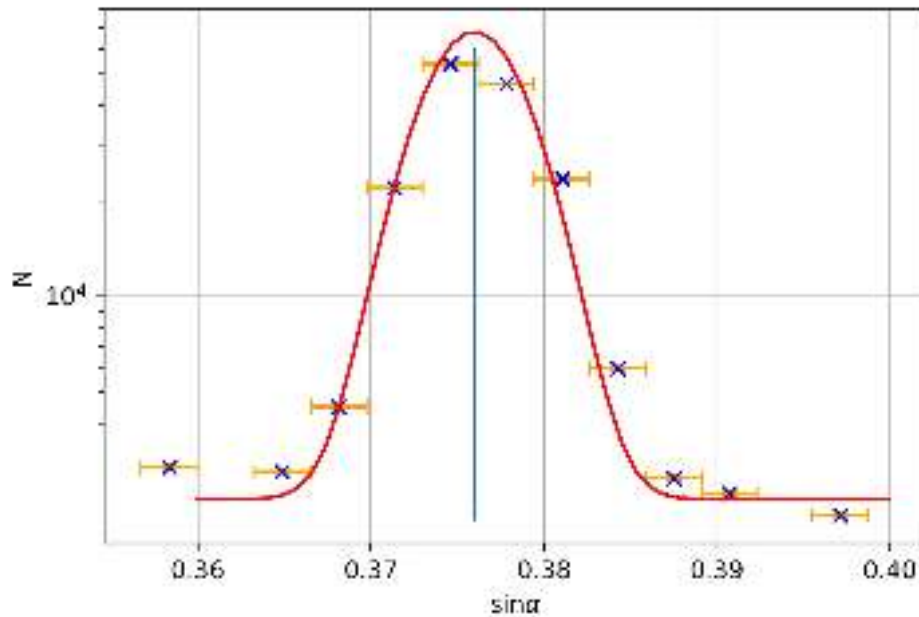


Abbildung 5: Röntgenemissionsspektrum im Bereich der K_α -Linie

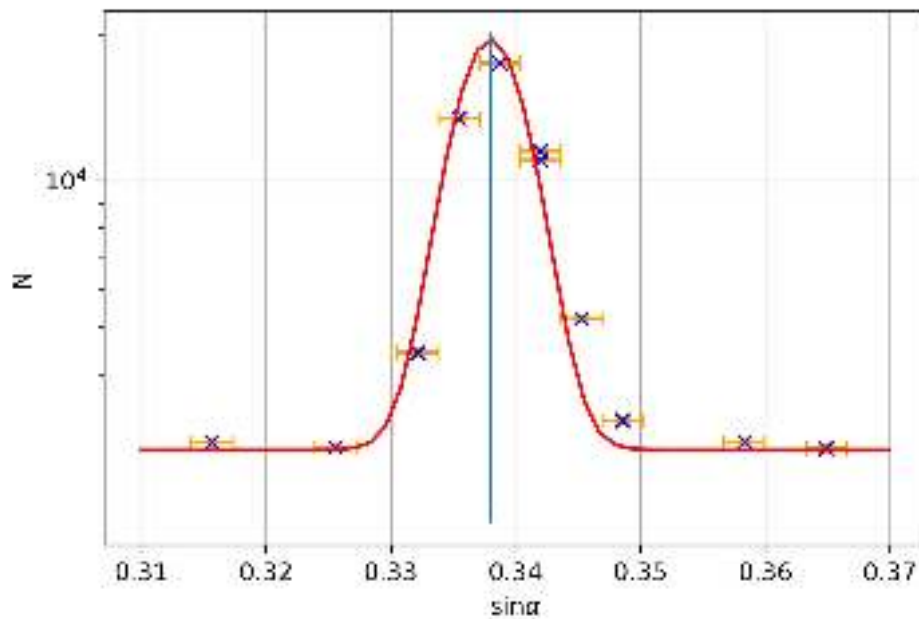
Daraus erhält man für die Lage der K_α -Linie:

$$(\sin \alpha)_{K_\alpha} = 0,376 \pm 0,003 \quad (7)$$

Wobei als Unsicherheit die, aus der Gauß-Kurve gewonnene, Streuung genutzt wird. Daraus lassen sich nach [Gleichung 3](#) die optische Gitterkonstante d und daraus mit $a = \frac{1}{2}d$ die Einheitszellengröße eines LiF-Kristalls berechnen, wobei für die Ordnung $n = 1$ gilt.

$$\begin{aligned} d &= (205,1 \pm 0,5) \text{ pm} \\ a &= (410,1 \pm 1,1) \text{ pm} \end{aligned} \quad (8)$$

Für Bestimmung der Lage der K_β -Linie wird wieder im Bereich des Maximums eine Linienform durch eine Gauß-Kurve approximiert und die Lage des Maximums eingezeichnet.

Abbildung 6: Röntgenemissionsspektrum im Bereich der K_β -Linie

Daraus erhält man für die Lage der K_β -Linie:

$$(\sin \alpha)_{K_\beta} = 0,338 \pm 0,003 \quad (9)$$

Die Wellenlänge der K_β -Linie lässt sich unter der Nutzung der in [Gleichung 8](#) berechneten Gitterkonstante d nach [Gleichung 3](#) berechnen und ergibt:

$$\lambda_{K_\beta} = (138,6 \pm 1,7) \text{ pm} \quad (10)$$

Die Unsicherheit wurde dabei nach Gaußscher Fehlerfortpflanzung wie folgt berechnet:

$$s_{\lambda_{K,\beta}} = 2\sqrt{((\sin \alpha)_{K_\beta} s d)^2 + (d \cdot s_{(\sin \alpha)_{K,\beta}})^2} \quad (11)$$

In der folgenden Abbildung ist der Einsatz des Kontinuums des Bremsstrahlungsspektrums dargestellt. Um den Einsatzwinkel $\alpha_{\min}$ besser extrapolieren zu können wurde eine lineare Regression durchgeführt.

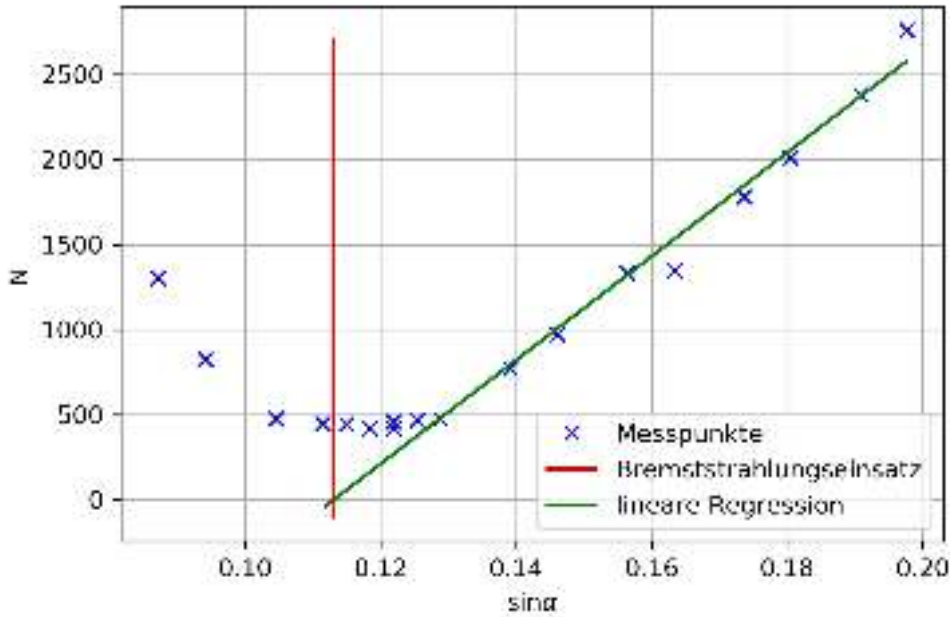


Abbildung 7: Röntgenemissionsspektrum in Bereich des Einsatzes des Kontinuums

Aus der linearen Regression ergeben sich folgende Werte für den y-Achsenabschnitt a und die Steigung b :

$$a = -3446 \pm 230 \quad (12)$$

$$b = 30476 \pm 1421 \quad (13)$$

Aus Steigung und y-Achsenabschnitt berechnet sich der Schnittpunkt zwischen x-Achse und Ausgleichsgerade, also $\sin \alpha_{min}$ und der zugehörige Fehler folgendermaßen:

$$\sin \alpha_{min} = -\frac{b}{a} = 0,113 \quad (14)$$

$$s_{\sin \alpha_{min}} = \sqrt{\left(\frac{-1}{a} s_b\right)^2 + \left(\frac{b}{a^2} s_a\right)^2} = 0,005 \quad (15)$$

Daraus berechnet sich die minimale Wellenlänge der Röntgenstrahlung λ_{min} nach [Gleichung 3](#) folgendermaßen:

$$\lambda_{min} = 2d \sin \alpha_{min} = (46 \pm 2) \text{ pm} \quad (16)$$

Wobei sich der Fehler durch Gaußsche Fehlerfortpflanzung berechnet:

$$s_{\lambda_{min}} = 2\sqrt{(\sin \alpha_{min} s_d)^2 + (s_{\sin \alpha_{min}})^2} \quad (17)$$

Aus der minimalen Wellenlängen lässt sich das Plancksche Wirkungsquantum h aus [Gleichung 1](#) berechnen:

$$h = \frac{eU_A\lambda_{\min}}{c} = (5,4 \pm 0,2)10^{-34}\text{Js} \quad (18)$$

Hierbei gilt nach Quelle [\[3\]](#) und Quelle [\[4\]](#):

$$e = 1,602176634 \cdot 10^{-19}\text{C} \quad (19)$$

$$c = 299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (20)$$

Die Unsicherheit wurde hierbei mit Gaußscher Fehlerfortpflanzung folgendermaßen berechnet:

$$s_h = \frac{e}{c} \sqrt{(U_A s_{\lambda_{\min}})^2 + (\lambda_{\min} s_{U_A})^2} \quad (21)$$

5.3 Wellenlänge der CuK_α -Strahlung

Aus dem Gesetz von Moseley, lässt sich die Wellenlänge der CuK_α -Strahlung (vgl. [Gleichung 2](#)) berechnen. Hierbei ergibt sich mit einer Kernladungszahl von $Z=28$ und der Rydbergkonstante (aus Quelle [\[2\]](#)) ein Wert von:

$$\lambda_{K_\alpha} = 155 \text{ pm} \quad (22)$$

6 Diskussion

6.1 Zählrohrcharakteristik

In [Abbildung 2](#) ist ein grober Verlauf der Zählrohrcharakteristik zu erkennen. Hierbei sind vor allem die recht steile Rekombinationsphase und ein oder zwei Plateaus deutlich zu erkennen. Um den genaueren Verlauf nach der Rekombinationsphase zu untersuchen, sollte [Abbildung 3](#) betrachtet werden. Hier erkennt man, dass es sich um zwei Plateaus mit ungefähr 2350 (Ionisationskammer) und 2550 (Plateaubereich) Impulsen pro Zeiteinheit handelt. Der Verlauf zwischen den Plateaus (der Proportionalbereich) ist von sehr vielen Schwankungen geprägt und deshalb nicht so gut zu erkennen. Auch die Plateaus sind etwas von Schwankungen geprägt, was daran liegen könnte, dass das Röntgengerät zum Zeitpunkt der Messung nur in etwa 5 Minuten in Betrieb war und die Röntgenröhre deshalb eventuell noch nicht stabil gearbeitet hat. Diese Vermutung spiegelt sich auch an der höheren Zählrate bei dem folgenden Versuchsteil wieder. Für eine Zählrohrspannung von 600 V und einen Winkel von $12,0^\circ$ wurden in den beiden Versuchsteilen folgende Zählraten gemessen:

$$\dot{x}_1 = \frac{2590}{30,00 \text{ s}} = 86,3 \text{ Hz} \quad (23)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{2782}{20,00 \text{ s}} = 139,1 \text{ Hz} \quad (24)$$

Der Unterschied der Zählraten ist zu groß um nur von der Erhöhung der Anodenspannung um 2,0 kV zu kommen und bestätigt somit unsere Vermutung, dass das Röntgengerät noch nicht lange genug in Betrieb war, um stabil zu arbeiten.

6.2 Röntgenemissionsspektrum

Betrachtet man das gemessene Röntgenemissionsspektrum in [Abbildung 4](#), so ist der erwartete Verlauf gut zu erkennen. Man erkennt das Spektrum mit den beiden charakteristischen Peaks, der K_α - und der K_β -Linie. Der Einsatz des Emissionsspektrums ist nicht klar zu erkennen, da für Winkel kleiner als $6,8^\circ$ die Anzahl der Counts pro Zeiteinheit wieder zugenommen hat. Dies liegt daran, dass bei kleineren Winkeln ein Teil der Röntgenstrahlung den Kristall nicht getroffen hat, und somit direkt in das Zählrohr gelangt ist. So wurde auch für Winkel bei welchen keine Pulse vermutet wurden eine große Anzahl an Pulsen gemessen.

6.3 Gitterkonstante LiF-Kristall

Für die optische Gitterkonstante und für die Einheitszellengröße des LiF-Kristalls wurden folgende Werte berechnet:

$$\begin{aligned} d &= (205,1 \pm 0,5) \text{ pm} \\ a &= (410,1 \pm 1,1) \text{ pm} \end{aligned} \quad (25)$$

Nach Quelle [5] gilt für die Einheitszellengröße eines LiF-Kristalls:

$$a_{\text{lit}} = 4,026 \text{ \AA} = 402,6 \text{ pm} \quad (26)$$

Vergleicht man die beiden Werte in Einheiten der Standardunsicherheit, so ergibt sich:

$$t_1 = \frac{|a_{\text{lit}} - a|}{s_a} = 7 \quad (27)$$

Die Ergebnisse sind also nicht miteinander verträglich. Eine mögliche Ursache dafür könnte in der Approximation der Linienform liegt, wobei nach dem optischen Eindruck das Maximum auf jeden Fall im angegebenen Bereich liegt.

6.4 K_α - und K_β -Linie

Für die K_β -Linie wurde folgende Wellenlänge berechnet:

$$\lambda_{K_\beta} = (138,6 \pm 1,7) \text{ pm} \quad (28)$$

Vergleicht man diesen mit dem Literaturwert (Quelle [1])

$$\lambda_{K_\beta, \text{lit}} = (139,223\,40 \pm 0,000\,60) \text{ pm} \quad (29)$$

und vergleicht die Abweichung in Einheiten der kombinierten Standardunsicherheit:

$$t_2 = \frac{|\lambda_{K_\beta, \text{lit}} - \lambda_{K_\beta}|}{\sqrt{s_{\lambda_{K_\beta, \text{lit}}}^2 + s_{\lambda_{K_\beta}}^2}} = 0,4 \quad (30)$$

Die Ergebnisse sind also gut miteinander verträglich und weichen nur wenig in Einheiten der kombinierten Standardabweichung ab. Der Versuch ist also gut geeignet um die Wellenlänge der K_β -Linie zu bestimmen. Betrachtet man allerdings nochmals die große Abweichung der Einheitszellengröße a , so ist die Genauigkeit des Ergebnisses für die Wellenlänge der K_β -Linie überraschend gut. Dies lässt sich durch das gleiche Vorgehen beim bestimmen der Lagen der Linien erklären, da ein möglicher systematischer Fehler sich in der Berechnung der K_β -Linie relativieren kann. Ein systematischer Fehler kann in diesem Versuch demnach trotz der guten Übereinstimmung einiger Werte nicht ausgeschlossen werden.

Außerdem wurde aus dem Gesetz von Moseley folgende Wellenlänge für die K_α -Linie berechnet:

$$\lambda_{K_\alpha} = 155 \text{ pm} \quad (31)$$

Nach Quelle [2] lautet der Literaturwert:

$$\lambda_{K_\alpha, \text{lit}} = 154,2 \text{ pm} \quad (32)$$

Die relative Abweichung dieser Werte beträgt:

$$1 - \frac{a}{a_{\text{lit}}} = 0,5\% \quad (33)$$

Da diese sehr gering ist, kann das Gesetz von Moseley als gute Näherung zur Berechnung der Wellenlänge bestätigt werden.

6.5 Diskussion des Planckschen Wirkungsquantum

Für das Plancksche Wirkungsquantum wurde folgender Wert berechnet:

$$h = \frac{eU_A \lambda_{\min}}{c} = (5,4 \pm 0,2) 10^{-34} \text{ Js} \quad (34)$$

Nach Quelle [2] (Versuch 81) ist der Literaturwert für das Plancksche Wirkungsquantum:

$$h_{\text{lit}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js} \quad (35)$$

Vergleicht man die beiden Werte ein Einheiten der Standardunsicherheit, so ergibt sich eine Abweichung von:

$$t_3 = \frac{|h_{\text{lit}} - h|}{s_h} = 6 \quad (36)$$

Die Ergebnisse sind also nicht miteinander verträglich. Zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantum wurde die minimale Wellenlänge benutzt, welche aus den gemessenen Daten berechnet wurde. Da der Versuchsaufbau es nicht ermöglicht hat, den genauen Winkel $\alpha_{\min}$ zu berechnen, für den das Röntgenemissionsspektrum einsetzt, musste dieser aus den Daten extrapoliert werden. Es wird vermutet, dass dadurch eine größere Unsicherheit entstanden ist, als durch die lineare Regression berechnet.

Außerdem werden systematische Fehler der Winkeleinstellung ausgeschlossen, da jeweils nach einer Winkeländerung von 1° verglichen wurde, ob die Schritte noch mit der Skala übereinstimmen.

7 Anhang

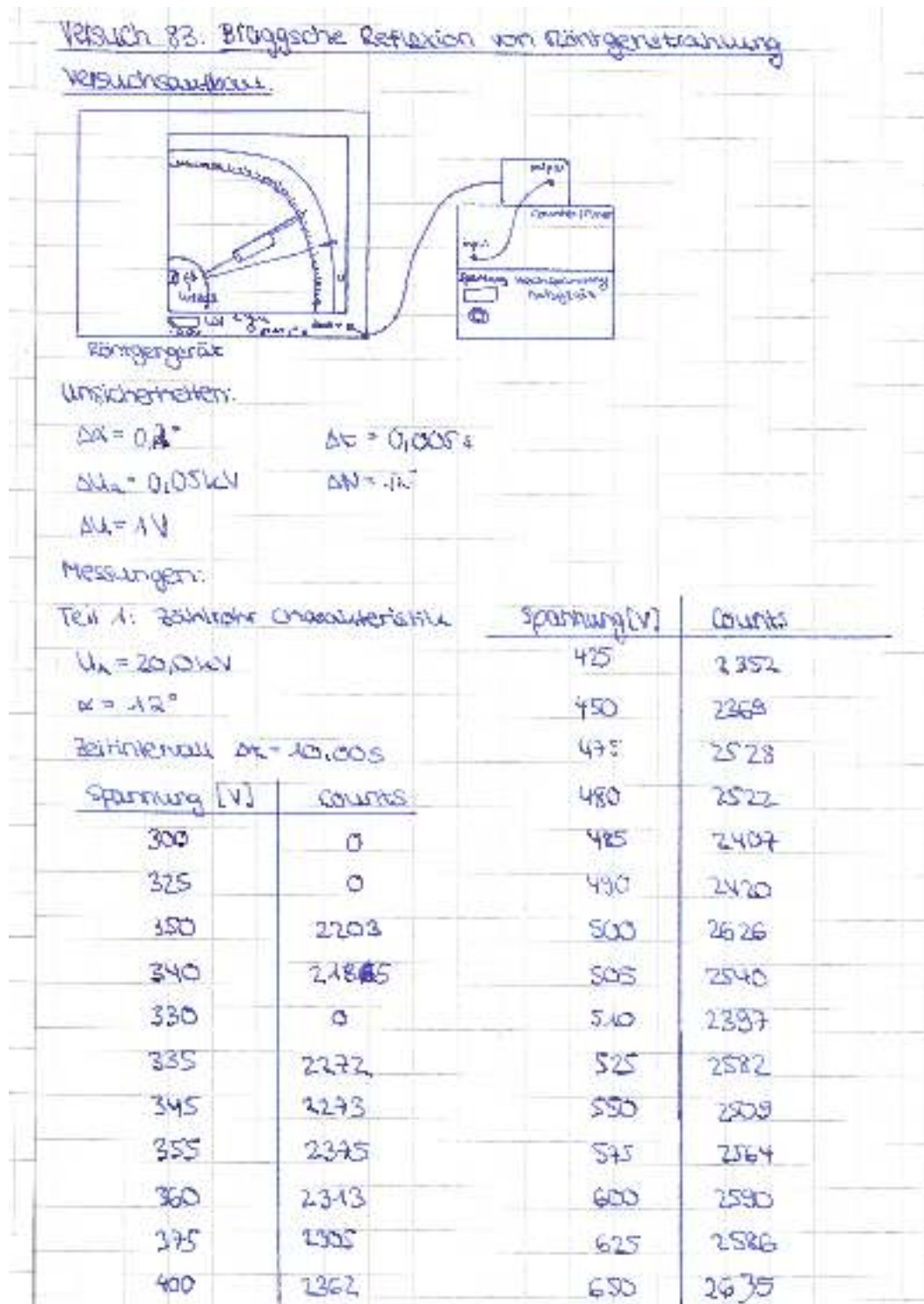


Abbildung 8: Laborheftseite1

Spannung [V]	counts
332	1941
333	2257
334	2307
331	343
470	2553
465	2436
460	2442
485	2546

Teil 2: Röntgenemissionsspektrum

$U_a = 220/230/240\text{V}$

$U = 600\text{V}$

$\Delta t = 29,00\text{s}$

(1) Röntg. Winkel $\alpha [^\circ]$	counts	$\alpha [^\circ]$	counts	$\alpha [^\circ]$	counts
5,0	1305	11,0	2332	17,0	2743
5,4	826	11,4	2758	17,4	2572
6,0	475	12,0	2782	18,0	2804
6,4	449	12,4	2892	18,4	2900
7,0	419	13,0	3351	19,0	2821
7,4	477	13,4	2576	19,4	4435
8,0	772	14,0	2641	20,0	11075
8,4	970	14,4	2723	20,4	3214
9,0	1331	15,0	2714	21,0	2904
9,4	1347	15,4	2815	21,4	2816
10,0	1780	16,0	2723	22,0	53093
10,4	2010	16,4	2753	22,4	23178

Abbildung 9: Laborheftseite2

$\alpha [^\circ]$	counts	$\alpha [^\circ]$	counts
23,0	2402	27,0	1285
23,4	2053	27,4	1183
24,0	1969	28,0	1048
24,4	1718	28,4	1058
25,0	1635	29,0	948
25,4	1574	29,4	924
26,0	1554	30,0	847
26,4	1481	30,4	922

(2) charakteristische Linien

$\alpha [^\circ]$	counts	$\alpha [^\circ]$	counts
19,6	13401	21,6	4504
19,8	17446	21,8	21845
20,0	11316	22,0	53878
20,2	5218	22,2	46482
		22,4	23464
		22,6	5937
		22,8	2681

(3) Einsatz kontinuierl.

$\alpha [^\circ]$	counts	$\alpha [^\circ]$	counts
4,8	1313	6,6	445
4,6	1685	6,8	419
4,4	2158	7,0	455
4,2	2722	7,2	488
4,0	3333	7,4	
3,8	4603		
3,6	7104		
3,4			

11.03.23
F. K.

Abbildung 10: Laborheftseite3

Literaturverzeichnis

- [1] NIST PHYSICAL MEASUREMENT LABORATORY: *X-Ray Transition Energies*. <https://physics.nist.gov/cgi-bin/XrayTrans/search.pl?element=Cu&trans=KM3&lower=&upper=&units=A>, 08.06.2009. – [Online; aufgerufen am 8.3.2020]
- [2] O.V.: *Versuchsanleitungen zum Physiklabor für Anfänger*innen, Teil 2*. 2019
- [3] WIKIPEDIA, DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE: *Elementarladung*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Elementarladung>, . – [Online; aufgerufen am 9.3.2020]
- [4] WIKIPEDIA, DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE: *Lichtgeschwindigkeit*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtgeschwindigkeit>, . – [Online; aufgerufen am 9.3.2020]
- [5] WIKIPEDIA, DIE FREIE ENZYKLOPÄDIE: *Lithiumfluorid*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Lithiumfluorid>, . – [Online; aufgerufen am 9.3.2020]