



KARL-FRANZENS-UNIVERSITÄT GRAZ
INSTITUT FÜR PHYSIK

23S PHY.L02UB FORTGESCHRITTENENPRAKTIKUM 2
678 Bachelorstudium Physik, UG2002/2021W

I. Compton Effekt & Röntgenfluoreszenzanalyse

Wachmann Elias Zach Andreas
12004232 12004790
Gruppe 12

Betreut von
Thomas Georg BONÉ, BSc MSc

17.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Grundlagen	3
2.1	Compton-Effekt	3
2.2	Röntgenfluoreszenzanalyse	5
2.3	Unsicherheitsanalyse	6
3	Geräteliste	6
4	Versuchsaufbau	7
4.1	Compton-Effekt	8
4.2	Röntgenfluoreszenzanalyse	8
5	Versuchsdurchführung	8
5.1	Compton-Effekt	8
5.2	Röntgenfluoreszenzanalyse	9
6	Auswertung	11
6.1	Compton-Effekt	11
6.2	Röntgenfluoreszenzanalyse	13
6.3	Unbekannte Proben	16
7	Diskussion	17
7.1	Compton-Streuung	17
7.2	Röntgenfluoreszenzanalyse	17
7.3	Unbekannte Proben	17
8	Zusammenfassung	18

1 Aufgabenstellung [1, 2]

Die vorliegende Laboreinheit teilt sich in zwei Teilversuche:

- **Compton-Effekt**

- Aufnahme des Primärspektrums und Energiekalibrierung des Detektors
- Bestimmung der Energie als Funktion des Streuwinkels

- **Röntgenfluoreszenzanalyse**

- Aufnahme und Kalibrierung eines Röntgenenergiespektrums
- Zeigen der Gültigkeit des Moseley'schen Gesetzes Ermitteln der jeweiligen Abschirmkonstanten der K-Linien
- Analyse der Zusammensetzung mehrerer unbekannter Proben

2 Grundlagen

2.1 Compton-Effekt [1]

Der Compton-Effekt beschreibt die Streuung von Photonen an freien Elektronen und ist ein wichtiger Prozess in der Wechselwirkung von Licht und Materie. Er wurde erstmals von Arthur Compton im Jahr 1923 entdeckt. Bestrahlt man beliebiges Material mit Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ_0 , so findet man in der Streustrahlung außer der erwarteten Wellenlänge λ_0 (aufgrund elastischer Streuung) auch Anteile mit größerer Wellenlänge $\lambda_S > \lambda_0$ (aufgrund elastischer Stöße). Dies lässt sich wie folgt erklären (siehe auch Abbildung 2.1):

Wenn ein Photon auf ein Elektron trifft, kann es idealisiert gesehen elastisch gestreut oder gestoßen werden. Im Falle des Stoßprozesses gibt es einen Teil seiner Energie und Impuls an das Elektron ab. Durch diesen Impulstransfer ändert sich die Richtung und kinetische Energie des Photons. Aufgrund des Zusammenhangs der Energie E eines quantenmechanischen Teilchens mit seiner Frequenz ν (bzw. Wellenlänge λ)

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

über das Planck'sche Wirkungsquantum h wird ersichtlich, dass sich beim Verlust von Energie auch die Frequenz verringern bzw. die Wellenlänge des Teilchens erhöhen muss. Der Impuls des Photons genügt folgenden Zusammenhängen:

$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k} \quad (2)$$

$$||\mathbf{p}|| = \frac{h}{\lambda} \quad (3)$$

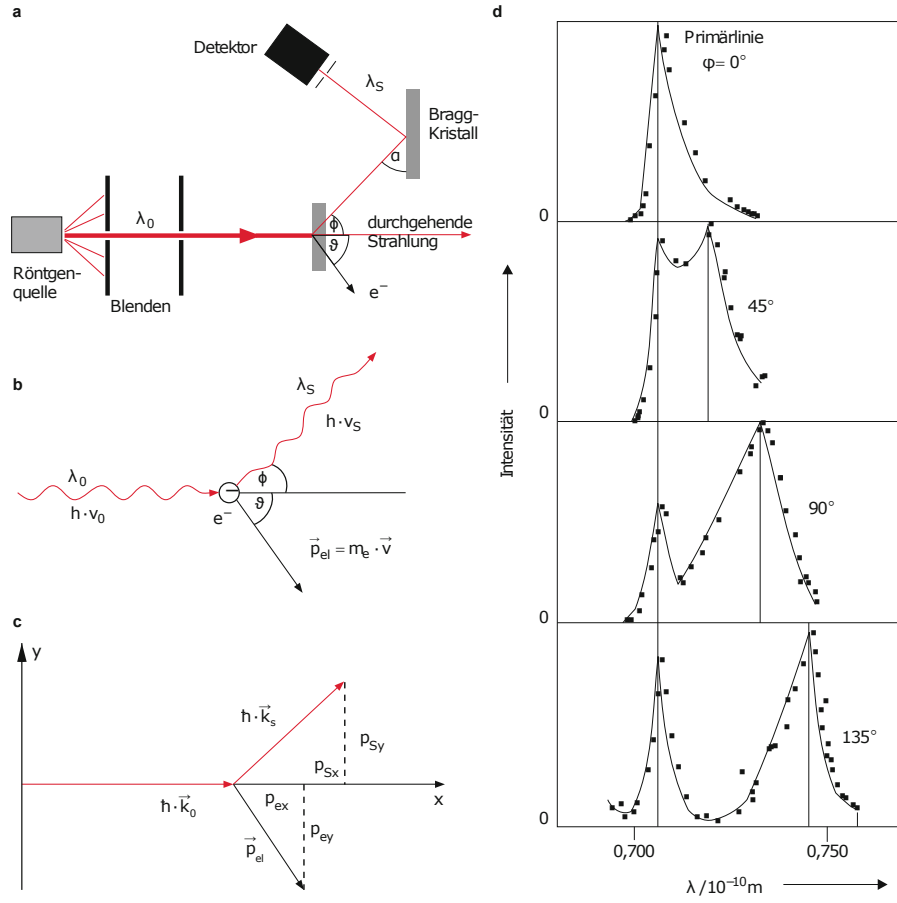


Abbildung 2.1: Comptoneffekt: (a) Experiment; (b) Schema; (c) Vektordiagramm; (d) Wellenlängen λ_S als Funktion des Streuwinkels für die Streuung der K_α -Strahlung von Mo in Graphit gemessen 1923 von *Compton*. Quelle: [3]

wobei \mathbf{k} der Wellenvektor des Photons ist und \hbar das reduzierte Planck'sche Wirkungsquantum. In relativistischer Betrachtung lautet der Energiesatz somit:

$$E_{\text{kin}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2 \quad (4)$$

Für den Impuls folgt:

$$\hbar \mathbf{k}_0 = \hbar \mathbf{k}_S + \frac{m_0 \mathbf{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

Daraus folgt:

$$\Delta \nu = \nu_0 - \nu_S = \frac{h}{m_0 c^2} \nu_0 \nu_S (1 - \cos(\varphi)) \quad (6)$$

Und die Compton-Streuformel:

$$\lambda_S - \lambda_0 = 2 \underbrace{\frac{h}{m_0 c}}_{\text{Compton-Wellenlänge}} \sin^2 \left(\frac{\varphi}{2} \right) \quad (7)$$

Führt man diese Formeln zusammen, erhält man die Energie der gestreuten Strahlung E_S

$$E_S = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos(\varphi))} \quad (8)$$

Die Wellenlängenänderung des Photons hängt also vom Streuwinkel und der Energie des Photons ab. Je größer der Streuwinkel, desto größer ist die Wellenlängenverschiebung des Photons. Die Energie des Photons ist proportional zur Frequenz und umgekehrt proportional zur Wellenlänge. Daher führt der Compton-Effekt zu einer Abnahme der Energie des Photons und einer Zunahme seiner Wellenlänge.

2.2 Röntgenfluoreszenzanalyse [2]

Werden Atome mit hochenergetischer Röntgenstrahlung bestrahlt, so können durch die zugeführte Energie Elektronen aus den inneren Schalen herausgeschlagen werden. Die Lücken in den inneren Schalen füllen sich dann durch Elektronen aus äußeren Schalen auf. Dabei verlieren diese Elektronen Energie, die wiederum in Form von Röntgenstrahlung emittiert wird. Dieses Phänomen wird als *Röntgenfluoreszenz* bezeichnet. Werden Elektronen aus der innersten Schale (K-Schale) herausgeschlagen, so entsteht das sogenannte K-Spektrum (die K-Spektralserie). Der griechische Buchstabe einer Übergangslinie codiert aus einer wie viel energetisch höheren Schale das auffüllende Elektron stammt. Springt das Elektron nur eine Schale nach unten (also in diesem Fall von L nach K), so schreibt man ein α . Bei einem Sprung von der zweithöheren Schale (M nach K) schreibt man ein β usw. Analog entsteht das L-Spektrum, wenn Elektronen auf die 2. Schale (L-Schale) zurückfallen. Die Energie der emittierten Strahlung einer Schale ist abhängig von der Kernladungszahl (Moseley'sches Gesetz).

$$\sqrt{\frac{E}{R_y}} = (Z - \sigma_{2,1}) \sqrt{n_1^{-2} - n_2^{-2}} \quad (9)$$

Dabei beschreiben n_1 und n_2 die Hauptquantenzahlen der Schalen beim Übergang von n_2 nach n_1 , $\sigma_{2,1}$ die mittlere Abschirmkonstante bei diesem Übergang, Z die Kernladungszahl, $R_y = 13,6 \text{ eV}$ die angepasste Rydberg-Frequenz und E die Energie der Röntgenstrahlung. Für die K_α -Linien leichterer Elemente ($Z < 30$) ist die Abschirmkonstante $\sigma_{2,1} = 1$ und somit

$$\sqrt{\frac{E}{R_y}} = (Z - 1) \sqrt{\frac{3}{4}} \quad (10)$$

Dies ermöglicht die eindeutige Bestimmung der Kernladungszahl eines Elements und war historisch ein wichtiger Bestandteil für die Vervollständigung des Periodensystems. Jedes Element (mit jeweils einer anderen Kernladungszahl) emittiert Röntgenstrahlung mit einer

charakteristischen Energie. Die Energie ist dabei praktisch unabhängig von der Bindungsform des Elements, weil die inneren Elektronen nicht zur chemischen Bindung beitragen. So kann durch Röntgenfluoreszenzanalyse die Zusammensetzung von Materialien bestimmt werden, auch wenn diese in chemisch verschiedenen Formen vorliegen. Das Röntgenfluoreszenzspektrum einer homogenen Probe mit mehreren Komponenten ist in erster Näherung eine Addition der Einzelspektren. Deshalb kann mit dieser Methode die Zusammensetzung von beliebigen Proben qualitativ bestimmt werden. Dafür werden zunächst alle im Fluoreszenzspektrum vorhandenen Signale den Elementen zugeordnet. Dies geschieht mithilfe von Tabellenwerten für die Energien der charakteristischen Linien. Für die Zuordnung wird auch das Muster jeder Spektralseerie berücksichtigt: Zu jeder K_α -Linie gehört eine K_β -Linie mit ca. fünf- bis zehnfach geringerer Intensität.

2.3 Unsicherheitsanalyse

Die Fehlerfortpflanzung der berechneten Werte basiert auf der Größtunsicherheitsmethode nach Gauß. Um diese Berechnungen zeiteffizient durchführen zu können, wird für jeden Unterpunkt der Laborübung ein Skript in `Python` implementiert. Kernstück dessen ist das package `uncertainties` [4], das intern die Fehlerfortpflanzung berechnet. Gerundet wird nach den Angaben des Skriptums der Lehrveranstaltung „Einführung in die physikalischen Messmethoden“ [5].

3 Geräteliste

Für den praktischen Aufbau und die Messungen der geforderten Größen wurden die in Tabelle 3.1 aufgelisteten Geräte und Hilfsmittel verwendet.

Tabelle 3.1: Verwendete Geräte und wichtige Materialien

Gerät	Hersteller	Modell	Inventar-Nr.
Röntgengerät	Leybold	554 800	310082130000
Messwerterfassungsmodul	Leybold	(Sensor-CASSY 2) 524 013	-
Proben	-	-	-
Messwerterfassungssoftware	Leybold	CASSY Lab 2	-

Anmerkung zu den Unsicherheiten: Zur Unsicherheitsangabe werden die jeweiligen Unsicherheitsmaße der Geräte, welche aus den Datenblättern (sofern vorhanden) entnommen werden, verwendet. Für die analogen Messgeräte wird eine kombinierte Ables- und Messunsicherheit von ± 1 Skalenstrich verwendet.

Alle Teilversuche wurden bei einer Umgebungstemperatur von $(24 \pm 1)^\circ\text{C}$ einem Luftdruck von (1000 ± 10) hPa und einer relativen Luftfeuchtigkeit von $(33 \pm 1)\%$ durchgeführt.

4 Versuchsaufbau

Beide Teilversuche benötigen beinahe den identen Aufbau aus Röntgengerät, Messwerterfassungsmodul (Sensor-CASSY) und PC. Die minimalen Unterschiede werden in den nachfolgenden Unterabschnitten erläutert. Ansonsten folgen beide Aufbauten der folgenden Beschreibung:

Das Röntgengerät ist an seinem SIGNAL-OUT-Ausgang mittels eines Koaxialkabels mit dem INPUT-Eingang des Messwerterfassungsmoduls verbunden. Das Messwerterfassungsmodul ist mit einem USB-B-Kabel mit dem PC verbunden, welcher über die Software CASSY Lab das Modul steuert. Das Röntgengerät selbst weist zwei Räume auf, die jeweils mit einer Bleiglasscheibe verschlossen sind: den Röntgenraum und den Experimentierraum. Diese Räume sind durch eine kreisrunde Öffnung miteinander verbunden. In diese Öffnung ist ein kreisrunder Kollimator eingeführt. Im Experimentierraum befindet sich ein Röntgenenergiedetektor. Die Position dessen ist manuell so gewählt, dass der Sensor bei einer Drehung um 150° zur Nullstellung nicht mit dem Röntgenstrahl – geschweige denn mit dem Kollimatorrohr – kollidiert.

Relevante Parameter für den Messvorgang sind folgendermaßen eingestellt: Die Potentialdifferenz zwischen Glühkathode und Anode ist auf 30 kV eingestellt, die Emissionsstromstärke beträgt generell 1 mA. In der PC-Software CASSY Lab ist der Parameter *Vielkanalmessung* auf 512 Kanäle eingestellt und negative Pulse sind aktiviert, gemessen wird mit einer Torzeit von 300 s, sofern nicht anders erwähnt.

Das verwendete Röntgengerät ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

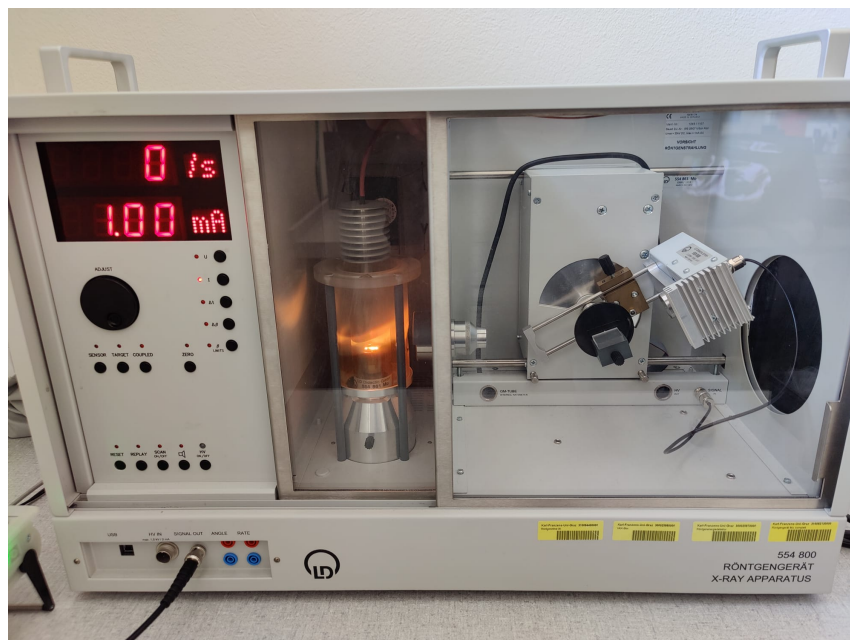


Abbildung 4.1: Aufbau des Röntgengeräts mit Röntgenraum (links) und Experimentierraum (rechts). Eine Plexiglasprobe ist im Experimentierraum platziert.

4.1 Compton-Effekt

Für den Teilversuch zum Compton-Effekt ist in der Software CASSY Lab der Verstärkungsfaktor auf -4 gestellt. Zusätzlich ist auf das zum Röntgenraum zeigende Ende des Kollimators ein Zr-Filter gesteckt.

4.2 Röntgenfluoreszenzanalyse

Für den Teilversuch zur Röntgenfluoreszenzanalyse ist in der Software CASSY Lab der Verstärkungsfaktor auf -2,5 gestellt.

5 Versuchsdurchführung

5.1 Compton-Effekt

Der Aufbau zum Teilversuch Compton-Effekt wird ordnungsgemäß, wie in Abschnitt 4 beschrieben, hergestellt.

Primärspektrum und Energiekalibrierung Zuallererst muss der Röntgenenergiedetektor mithilfe eines bereits bekannten Spektrums kalibriert werden. Dazu wird auf das zum Experimentierraum zeigende Ende des Kollimators zusätzlich eine Abschwächblende gesteckt. Für die Energiekalibrierung wird darüberhinaus die Stromstärke von 1 mA auf (vorläufig) 0,05 mA reduziert. Der Sensorarm soll in Nullstellung gebracht werden, der Motor des Arms ist jedoch nicht präzise auf einen tatsächlichen Winkel von 0° zur Röntgenstrahlaustrittsöffnung kalibriert, daher muss der tatsächliche Nullpunkt manuell gefunden werden. Bei direkter Einstrahlung (Winkel von 0°) muss der Sensor die höchste Aktivität detektieren, deswegen wird in $0,1^\circ$ Schritten vom voreingestellten (tatsächlich jedoch verschobenen) Nullpunkt weg mit einer Torzeit von 10 s nach der höchsten Zerfallsanzahl gesucht. Die Messwerte lassen auf einen Offset von $-1,6^\circ$ schließen, eine erneute Messreihe mit einer erhöhten Torzeit auf 60 s um diese Sensorstellung herum bestätigt die Vermutung. Somit ist die tatsächlich ermittelte Nullstellung

$$\varphi_0 = -1,6^\circ.$$

Nun wird mit einer verringerten Torzeit von 10 s eine passende Emissionsstromstärke gewählt, sodass die Zerfallsrate etwas über 200 s^{-1} liegt. Dies ist bei einer Stromstärke von

$$I_0 = 0,14 \text{ mA}$$

der Fall.

Nachdem nun die Ausgangsstellung mit $\varphi_0 = -1,6^\circ$ und $I_0 = 0,14 \text{ mA}$ ermittelt worden ist, wird das Primärspektrum der Röntgenröhre aufgenommen. Gemessen wird mit der ursprünglich beschriebenen Torzeit von 300 s. Nachdem das Spektrum von der Software

erfasst worden ist, dienen die L_α -Linie von Au (bei 9,71 keV) und die K_α -Linie von Mo (bei 17,44 keV) als Referenz zur Kalibrierung der Energieskala. Dabei werden die Positionen der Peakschwerpunkte des Primärspektrums diesen Energien zugeordnet.

Streuspektren Nach das Messgerät nun kalibriert worden ist, wird die Abhängigkeit des Streuspektrums vom Winkel untersucht. Hierfür wird die Abschwächblende wieder vom Kollimator genommen und der Targethalter samt Targettsich am Goniometer im Experimentierraum montiert. Als Target kommt eine Plexiglas-Probe zum Einsatz. Der Emissionsstrom wird nun wieder, wie ursprünglich angegeben, auf 1 mA erhöht. Der Winkel des Targethalters (Targetwinkel) wird auf 20° gestellt, während der Sensorwinkel im Zuge des Experiments laufend verstellt wird. Begonnen wird mit $28,4^\circ$ ($30^\circ - 1,6^\circ$), das emittierte Spektrum wird aufgenommen. Dieser Vorgang wird für die folgenden Winkel wiederholt:

- $43,4^\circ$
- $58,4^\circ$
- $73,4^\circ$
- $88,4^\circ$
- $103,4^\circ$
- $118,4^\circ$
- $133,4^\circ$
- $148,4^\circ$

Jede Messreihe wird als .csv-Datei abgespeichert.

5.2 Röntgenfluoreszenzanalyse

Kalibrierung Zuerst wird das Gerät wieder kalibriert. Dazu werden zuerst manuell im Experimentierraum die Abstände zwischen Spaltblende des Kollimators und Drehachse sowie zwischen Drehachse und Eintrittsöffnung des Röntgenenergiedetektors jeweils auf 5 cm bis 6 cm eingestellt. Zur Kalibrierung sollte ein verzinktes Eisenblech verwendet werden, dieses ist jedoch nicht auffindbar gewesen. Stattdessen haben sich jedoch Elementarproben von Fe und Zn im Probenvorrat befunden, sodass diese nacheinander anstelle des verzinkten Eisenblechs verwendet worden sind. Der Sensorwinkel wird auf $88,4^\circ$ (auf Grund des Offsets) gestellt, der Targetwinkel auf 45° . In der Software CASSY Lab gelten nun die Parameter aus Unterabschnitt 4.2.

Nachdem beide Spektren gemessen worden sind, wird die Energieskala diesmal mithilfe der K_α -Linien von Fe (6,40 keV) und Zn (8.64 keV) kalibriert.

Moseley'sches Gesetz Zur anschließenden Verifizierung des Moseley'schen Gesetzes werden nun die Spektren folgender Elementarproben aufgenommen und anschließend als .csv-Datei abgespeichert:

- Titan (Ti)
- Eisen (Fe)
- Nickel (Ni)
- Kupfer (Cu)
- Zink (Zn)
- Zirkonium (Zr)
- Molybdän (Mo)
- Silber (Ag)

Unbekannte Proben Abschließend werden drei unbekannte Proben (siehe Abbildung 5.1) am Targethalter platziert. Deren Spektren werden wieder aufgenommen, für die unbekannte Probe 1 (eine goldgelbe Platte mit Beschriftung „3“) nach wie vor mit einer Messzeit von 300s, für die unbekannte Probe 2 (eine schwarze unbeschriebene Platte) wird mit 600s Torzeit gemessen und die unbekannte Probe 3 (ein gold-silberner Ring eines Experimentierenden) wird die Messzeit auf die ursprünglich 300s reduziert. Die Spektren werden als .csv-Datei abgespeichert. Die dritte Probe gestaltet sich schwieriger korrekt zu platzieren, da der Ring keine plane Oberfläche aufweist, von welcher im richtigen Winkel zum Sensor reflektiert würde. Deswegen wird, um möglichst dem Setting der Probenplatten gleichzukommen, der Targetwinkel auf $15,3^\circ$ gestellt.

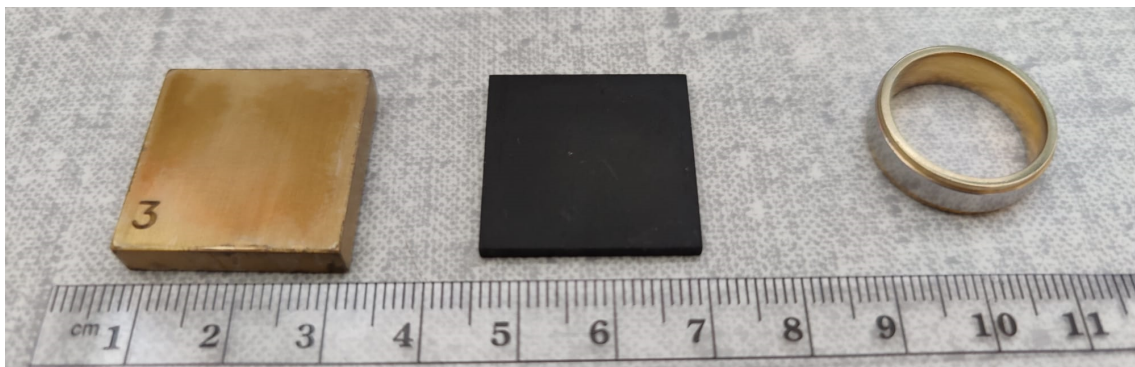


Abbildung 5.1: Unbekannte Proben verwendet zur Röntgenfluoreszenzanalyse.

6 Auswertung

6.1 Compton-Effekt

Die gegeben der Beschreibung in 5.1 erhaltenen Messwerte in `.csv`-Form werden nun für die jeweiligen Stellungen des Messarms in Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 dargestellt.

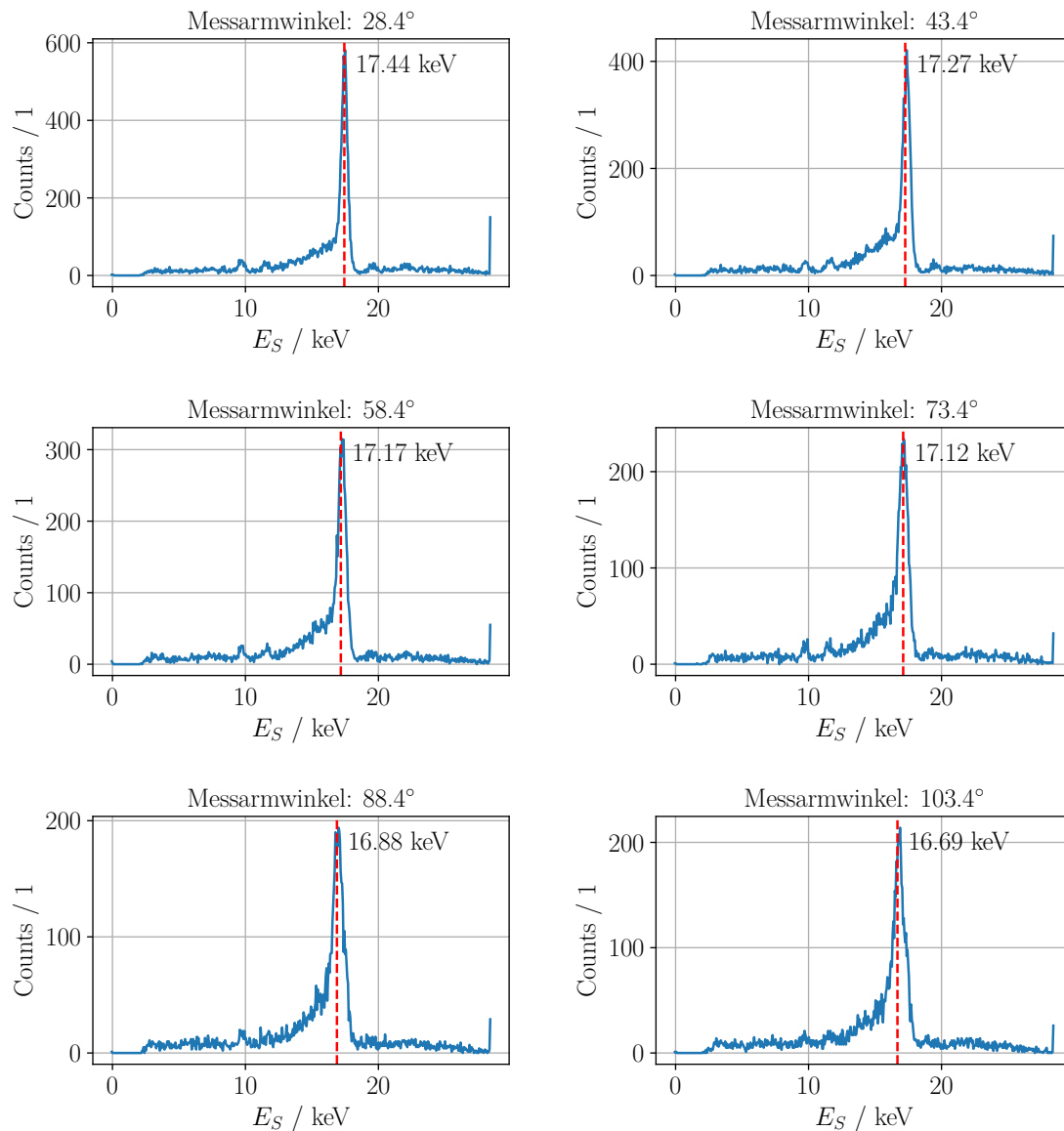


Abbildung 6.1: Messwerte bei gegebenem Winkel des Messarms (1)

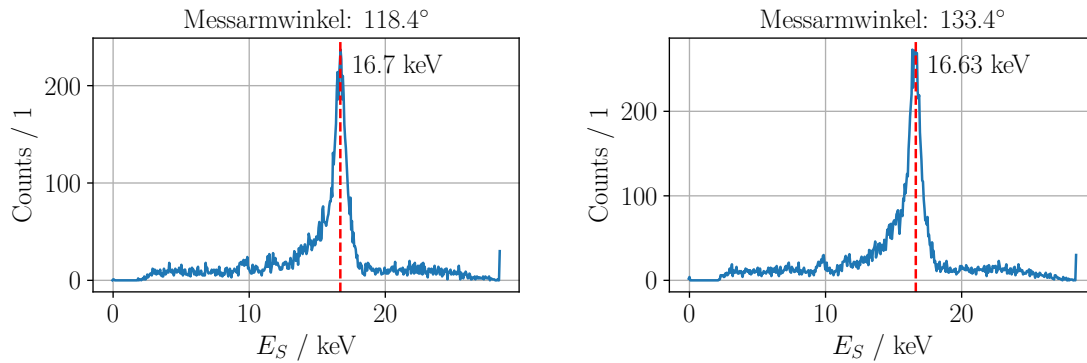


Abbildung 6.2: Messwerte bei gegebenem Winkel des Messarms (2)

Anschließend werden die jeweiligen Maxima in den Daten ausgewertet, diese ergeben sich zu den nachfolgenden Werten in Tabelle 6.1.

Tabelle 6.1: Energie E_S der Countmaxima der Compton-Streuung (mit $\Delta E_S = 0,2 \text{ keV}$) für verschiedene Winkel φ (mit $\Delta\varphi = 0,1^\circ$) des Messarms. Zudem ist der Winkel zur Probenoberfläche ϑ (mit $\Delta\vartheta = 0,1^\circ$) angegeben. Der Winkel des Probenstisches mit Ψ wird bei $(20,0 \pm 0,1)^\circ$ konstant gehalten.

$\varphi / ^\circ$	E_S / keV	$\vartheta / ^\circ$
28,4	17,4	6,8
43,4	17,3	21,8
58,4	17,2	36,8
73,4	17,1	51,8
88,4	16,9	66,8
103,4	16,7	81,8
118,4	16,7	96,8
133,4	16,6	111,8
148,4	16,4	126,8

Die so erhaltenen Daten werden nun mittels Gleichung 8 in Abbildung 6.3 gefittet um auf diesem Wege die Elektronenmasse zu bestimmen. So ergibt sich im vorliegenden Versuch die Elektronenmasse zu

$$m_e = (1,07 \pm 0,11) \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

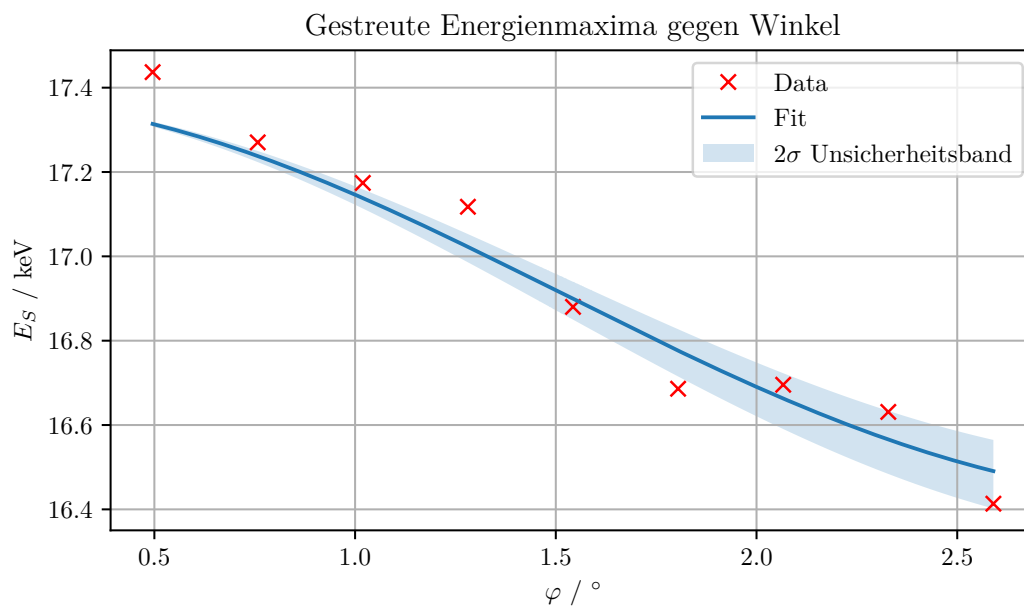


Abbildung 6.3: Gestreute Energie E_S aus Tabelle 6.1 aufgetragen gegen den Winkel φ des Messarms. Fitkurve mit 2σ -Unsicherheitsband.

6.2 Röntgenfluoreszenzanalyse

Auch für den zweiten Teilversuch liegen die Daten in `.csv`-Form vor. Diese werden nun in Abbildung 6.4 und Abbildung 6.5 für die zu untersuchenden Materialien dargestellt. Zusätzlich sind die Energien der bestimmten K_α - und K_β -Linien ebenfalls in den beiden Abbildungen angeführt.

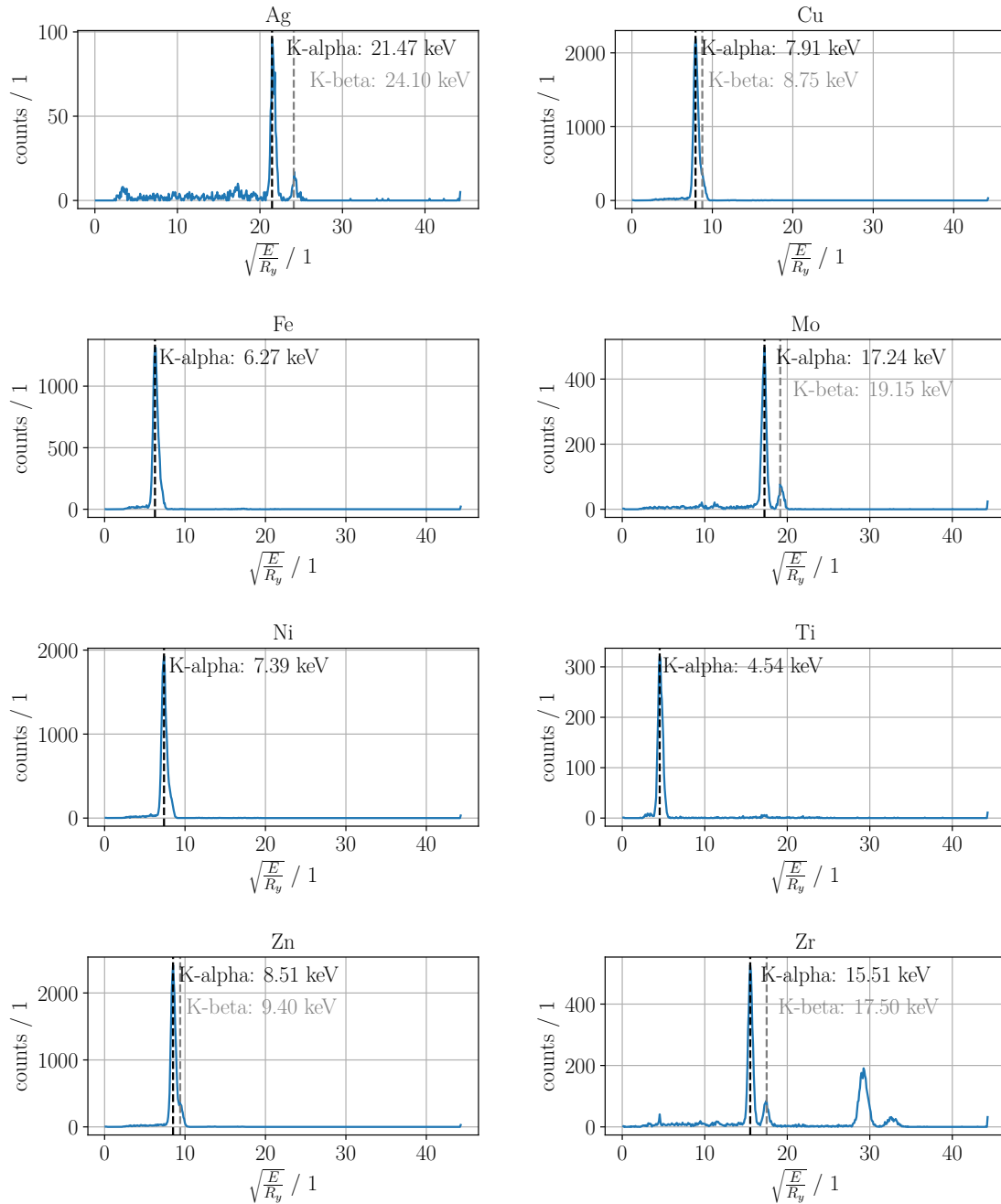


Abbildung 6.4: Messwerte und K_α - und K_β -Linien für die zu untersuchenden bekannten und unbekannten Materialien. (1)

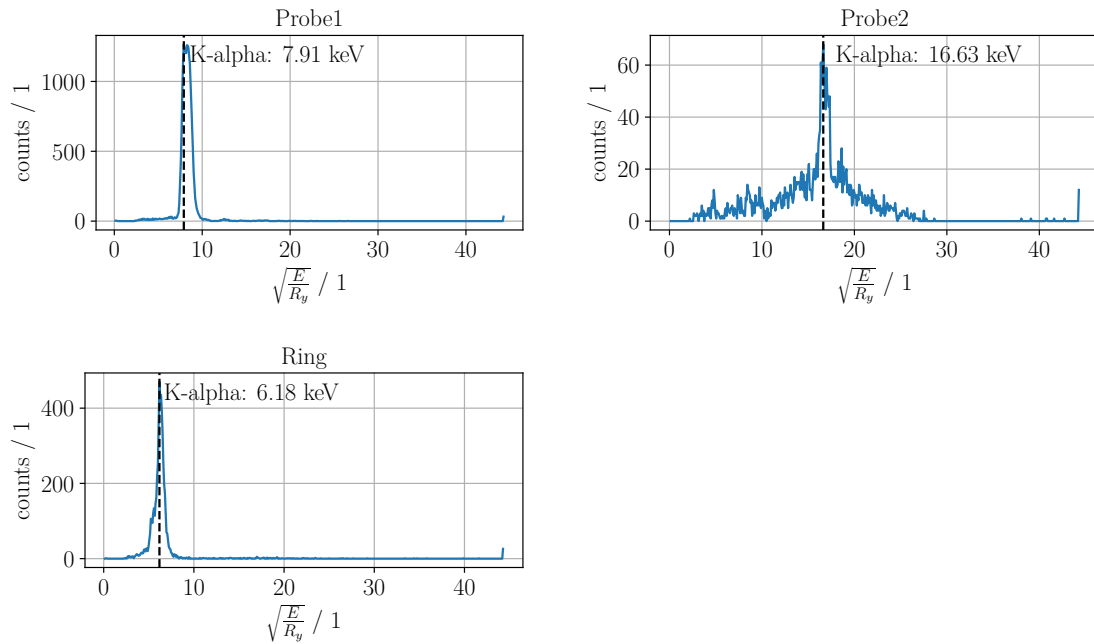


Abbildung 6.5: Messwerte und K_{α} - und K_{β} -Linien für die zu untersuchenden bekannten und unbekannten Materialien. (2)

Die ermittelten Werte für die K_{α} - und K_{β} -Linien werden in Tabelle 6.2 nochmals angeführt.

Tabelle 6.2: Bestimmte K_{α} - und K_{β} -Linien aus Abbildung 6.4 und Abbildung 6.5. Die Unsicherheit der bestimmten Energien ist in beiden Fällen $\Delta E = 0,1 \text{ keV}$.

Ordnungszahl	Elementformel	$E_{K_{\alpha}} / \text{keV}$	$E_{K_{\beta}} / \text{keV}$
47	Ag	21,5	24,1
29	Cu	7,9	8,8
26	Fe	6,3	-
42	Mo	17,2	19,2
28	Ni	7,4	-
22	Ti	4,5	-
30	Zn	8,5	9,4
40	Zr	15,5	17,5
-	Probe1	7,9	-
-	Probe2	16,6	-
-	Ring	6,2	-

Trägt man nun die charakteristischen Übergangsenergien aus Tabelle 6.2 – leicht modifiziert als $\sqrt{E/R_y}$ – gegen die Ordnungszahl Z auf, so kann über die Steigung eines linearen Fits die Abschirmkonstante ermittelt werden. In Abbildung 6.6 ist dieser Fit für die K_α -Linien und K_β -Linien dargestellt. Die Abschirmkonstanten für die K_α -Linien und K_β -Linien wurden somit zu

$$\sigma_{2,1,\text{exp}} = 1,06 \pm 0,09$$

$$\sigma_{3,1,\text{exp}} = 2,14 \pm 0,10$$

bestimmt.

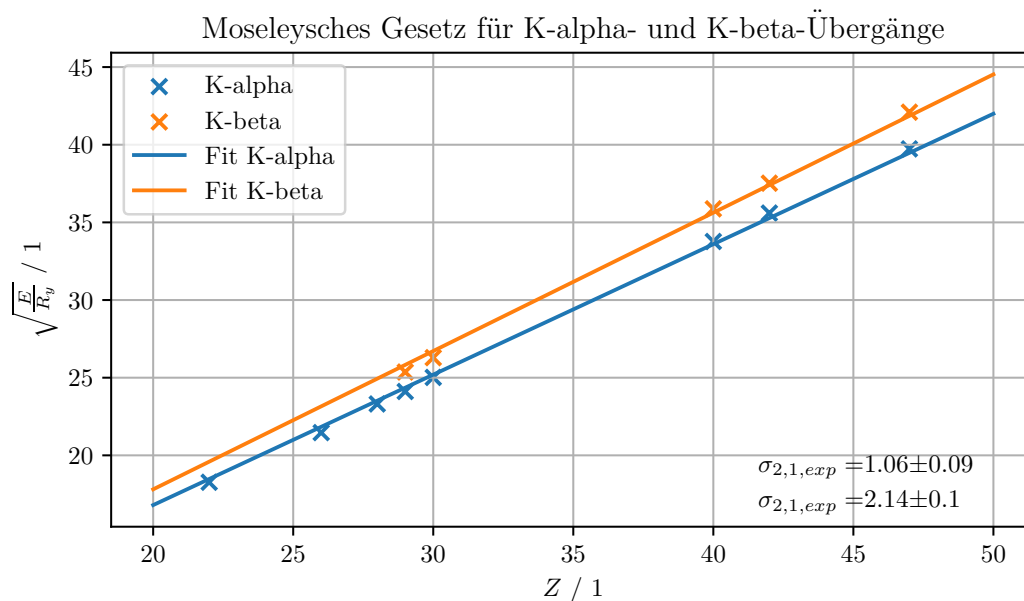


Abbildung 6.6: Moseley-Gesetz für die K_α - und K_β -Linien. $\sqrt{E/R_y}$ gegen die Ordnungszahl Z aufgetragen. Die Abschirmkonstante wird aus der Steigung der beiden Fits ermittelt.

6.3 Unbekannte Proben

Nun werden die drei verbleibenden unbekannten Proben untersucht. Die Messungen werden wie in Unterabschnitt 5.1 durchgeführt und die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 6.5 abgebildet.

Es ergeben sich für die Proben folgenden Werte für die potentiellen K_α^* -Linien in Tabelle 6.3

Tabelle 6.3: Bestimmte K_{α}^* -Linien der unbekannten Proben aus Abbildung 6.5. Die Unsicherheit der bestimmten Energien ist in beiden Fällen $\Delta E = 0,1 \text{ keV}$.

Probenname	$E_{K_{\alpha}^*} / \text{keV}$	Potentiell Element	$E_{K_{\alpha}} / \text{keV}$
Probe1	7,9	Cu	7,9
Probe2	16,6	Mo ¹	17,2
Ring	6,2	Fe	6,3

7 Diskussion

7.1 Compton-Streuung

Die Ergebnisse des Compton-Streuungs-Teilversuchs zeigen, dass die gemessenen Energien der gestreuten Photonen in Tabelle 6.1 in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Erwartungen des Compton-Effekts stehen. Die Abhängigkeit der gestreuten Energie von dem Winkel des Messarms wurde in Abbildung 6.3 dargestellt, und es zeigt sich eine klare Tendenz, die dem Compton-Effekt entspricht.

7.2 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse zeigen, dass die gemessenen Energien der K_{α} - und K_{β} -Linien in guter Übereinstimmung mit den theoretischen Erwartungen stehen. Bei genauer Betrachtung der Abbildung 6.6 erkennt man, dass ein Fit der ersten paar Punkte – mit Kernladungszahlen < 35 – zu einer Gerade mit höherer Steigung führen würde als einer, welcher lediglich durch die Elemente höherer Ordnungszahlen gegeben wäre. Hier spielt der Einfluss der äußeren Elektronen, welche sich mit steigender Schalenanzahl immer weiter von dem Kern entfernen, eine Rolle. Die Abschirmkonstante für die K_{α} -Linien und K_{β} -Linien ist eben nur eine Näherung, wie jedoch auch aus der Abbildung ersichtlich wird, für viele Fälle, eine gute.

7.3 Unbekannte Proben

Probe 1 zeigt eine K_{α}^* -Linie bei 7,9 keV, was auf Kupfer (Cu) als potenzielles Element hindeutet, da die Energie der K_{α} -Linie von Kupfer ebenfalls 7,9 keV beträgt.

Probe 2 hat eine K_{α}^* -Linie bei 16,6 keV, was auf Molybdän (Mo) als mögliches Element hindeutet. Die Energie der K_{α} -Linie von Molybdän ist dagegen mit 17,2 keV etwas höher. Jedoch ist diese Messung eher weniger aussagekräftig, da die Probe über das ganze

¹Molybdän ist zwar von der Energie her das passendste Element für den Peak, jedoch ist es fraglich, ob es sich bei der Probe tatsächlich um Molybdän handelt.

Energiespektrum weniger Energie streut. Die vorliegende Methode ist somit eher schlechter für die Bestimmung der Zusammensetzung der 2. Probe geeignet. Zudem kann auch mit viel Fantasie kein grau metallisches – eben für Molybdän typisches – Aussehen der Probe festgestellt werden. Daher ist es eher unwahrscheinlich, dass es sich bei der Probe um Molybdän handelt.

Der Ring weist eine K_{α}^* -Linie bei 6,2 keV auf, was auf Eisen (Fe) als potenzielles Element hindeutet. Die Energie der K_{α} -Linie von Eisen beträgt 6,3 keV, was nahe genug an der gemessenen Energie liegt, um Eisen als mögliches Element zu bestätigen. Nun ist zwar mit doch hoher Sicherheit nachgewiesen worden, dass es sich bei dem Ring nicht, wie vom Hersteller deklariert, um einen 24-karatigen Goldring handelt, sondern um einen Eisenring. Leider kann über unsere Analysen jedoch nicht nachgewiesen werden, weshalb der Hersteller den Ring als Goldring deklariert hat. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Hersteller den Ring als Goldring deklariert hat, da er sich damit einen höheren Preis erzielen wollte. Dies ist jedoch nur eine Vermutung, die nicht bewiesen werden kann.

8 Zusammenfassung

Im ersten Teilversuch, der Compton-Streuung, wurden die Energien der Compton-Streuung für verschiedene Winkel gemessen. Die Messwerte sind in Tabelle 6.1 dargestellt. Aus den Messwerten wurde mittels einer Fitkurve in Abbildung 6.3 die Elektronenmasse bestimmt: $m_e = (1,07 \pm 0,11) \cdot 10^{-30}$ kg. Der Literaturwert der Elektronenmasse beträgt etwa $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, was zeigt, dass der ermittelte Wert in der richtigen Größenordnung liegt.

Im zweiten Teilversuch, der Röntgenfluoreszenzanalyse, wurden die K_{α} - und K_{β} -Linien für verschiedene Elemente und Proben untersucht. Die Messwerte und bestimmten Energien sind in Tabelle 6.2 aufgeführt. Durch Auftragen von $\sqrt{E/R_y}$ gegen die Ordnungszahl und Anpassung einer linearen Fitkurve in Abbildung 6.6 wurden die experimentellen Abschirmkonstanten für die K_{α} -Linien und K_{β} -Linien ermittelt: $\sigma_{2,1,\text{exp}} = 1,06 \pm 0,09$ und $\sigma_{3,1,\text{exp}} = 2,14 \pm 0,10$. Die ermittelten Abschirmkonstanten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den bekannten Literaturwerten, die in der Regel nahe bei 1 und 2 liegen.

Für die drei unbekannten Proben konnten die Bestandteile der ersten (Kupfer) und dritten (Eisen) Probe zugeordnet werden. Die zweite Probe konnte nicht eindeutig zugeordnet werden, da die Messung für diese Art von Probe nicht gut geeignet ist. Offen bleibt die Frage, weshalb der Hersteller den Ring (3. Probe) als Goldring deklariert hat, obwohl er sich nicht wie ein Goldring anfühlt und auch nicht wie ein Goldring aussieht.

Literaturverzeichnis

- [1] G. Koller. „Compton-Effekt: Messung der Energie der gestreuten Photonen in Abhängigkeit vom Streuwinkel“. In: o.D.
- [2] G. Koller. „Röntgenfluoreszenzanalyse und Moseley’sches Gesetz“. In: o.D.
- [3] W. Demtröder. Experimentalphysik 3 - Atome, Moleküle und Festkörper. Springer, 2016.
- [4] E. O. Lebigot. Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties. Website. o. D. URL: <https://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] R. Dämon u. a. Einführung in die physikalischen Messmethoden. 2021.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Compton-Effekt	4
4.1	Aufbau des Röntgengeräts	7
5.1	Unbekannte Proben	10
6.1	Messwerte bei gegebenem Winkel des Messarms (1)	11
6.2	Messwerte bei gegebenem Winkel des Messarms (2)	12
6.3	Gestreute Energie E_S gegen Winkel φ	13
6.4	Messwerte unbekannter Proben (1)	14
6.5	Messwerte unbekannter Proben (2)	15
6.6	Mosley-Gesetz für die K_α - und K_β -Linien.	16

Tabellenverzeichnis

3.1	Geräteliste	6
6.1	Messwerte Compton-Energiemaxima	12
6.2	Bestimmte K_α - und K_β -Linien	15
6.3	Bestimmte K_α^* -Linien unbekannte Proben	17