

Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler an der Universität Tübingen

27.02.2019

[AS] Atomstruktur

Thomas Biergans und Florian Hetzel

Versuchsbetreuer: Lukas Wolz

Gruppe: 21

1.Abgabe: 02.03.19

2.Abgabe: 08.03.19

[AS] Atomstruktur

Der Praktikumsversuch „Atomstruktur“ ist ein Versuch zu Aufbau und Struktur von Atomen. Es wurden zwei Versuche durchgeführt, um unsere Vorstellung des Atommodells durch Experimente zu vertiefen und zu festigen. Der erste Versuch war der „Franck-Hertz-Versuch“. Anschließend wurde der Versuch „Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie“ durchgeführt.

Franck-Hertz-Versuch:

Dieser Versuch basiert auf dem 1911 von J. Franck und G. Hertz durchgeführten Experimente, bei dem sie die Ablösearbeit von Elektronen für Gase bestimmen wollten. Dazu wird ein mit Quecksilber gefüllter Glaskolben erhitzt, so dass Quecksilberdampf entsteht. Anschließend werden Elektronen, die von einer Glühkatode emittiert werden, durch diesen Quecksilberdampf beschleunigt. Besitzen die Elektronen durch Erhöhen der Beschleunigungsspannung genug Energie, so kann kurz vor der Anode ein Hüllenelektron eines Quecksilberatoms vom Grundzustand in einen angeregten Zustand angehoben werden. Hinter der Anode wird ein Gegenfeld erzeugt und es wird der Strom der ankommenden Elektronen gemessen und aufgezeichnet. So kann bestimmt werden, wie viel Energie die Elektronen brauchen, um ein Quecksilberatom vom Grundzustand in einen angeregten Zustand zu bringen.

Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie:

Bei diesem Versuch wird die Energie der Photonen analysiert, die bei Übergängen zwischen kernnahen Schalen entsteht. Dazu werden verschiedene Proben mit energiereicher Röntgenstrahlung beschossen. Dadurch werden die Atome des Materials ionisiert, es wird ein Hüllenelektron ausgeschlagen. Die entstandene Lücke wird durch ein anderes Hüllenelektron aufgefüllt. Beim Übergang in eine niedrigere Schale gibt dieses Elektron Energie in Form von Strahlung ab. Diese wird auch charakteristische Strahlung genannt, da sie für jedes Element charakteristisch ist. Detektiert man diese Strahlung, kann man feststellen, um welche Stoffe es sich bei der Probe handelt.

Auswertung Franck-Hertz-Versuch:

1. Darstellung der abgespeicherte Franck-Hertz-Kurve in einem Diagramm (1V Gegenspannung):

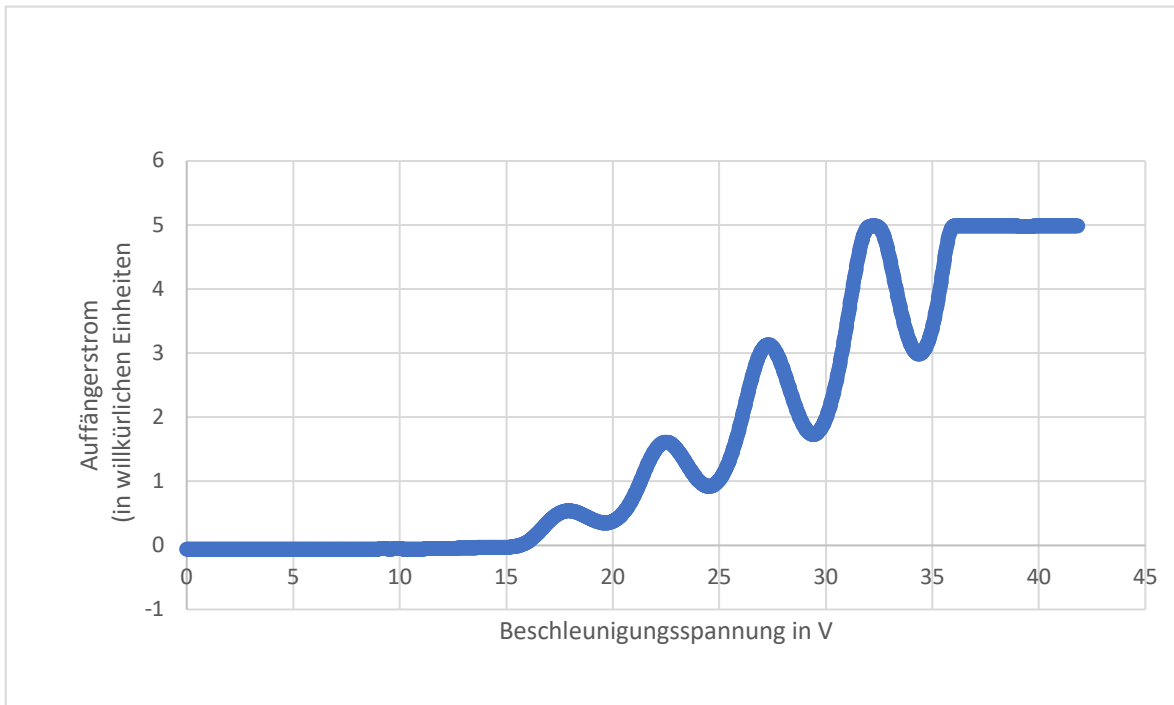


Diagramm 1: Stromstärke in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung bei Gegenspannung 1V

2. Bestimmung der Anregungsenergie A:

Tabelle 1: Messwerte der Stromstärke Maxima und Minima, sowie die verwendete Beschleunigungsspannung und die errechnete Anregungsenergie, für Gegenspannung 1V

Art	t[s]	I [willkürliche Einheit]	U_{besch} [V]	Mittelwert U_i aus HP und TP [V]	Differenz aufeinanderfolgen- der Werte $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ [V]
Hochpunkt 1	44,95	1,611	22,475	23,4875	
Tiefpunkt 1	49	0,92	24,5		4,8625
Hochpunkt 2	54,6	3,13	27,3	28,35	
Tiefpunkt 2	58,8	1,731	29,4		4,925
Hochpunkt 3	64,35	4,984	32,175	33,275	
Tiefpunkt 3	68,75	2,985	34,375		

Die Anregungsenergie A lässt sich berechnen mit: $A = e \cdot \Delta U$ (aus Aufgabenstellung)

$$A_1 = 4,8625 \text{ eV}$$

$$A_2 = 4,925 \text{ eV}$$

1. Darstellung der abgespeicherten Franck-Hertz-Kurve in einem Diagramm (1,5V Gegenspannung):

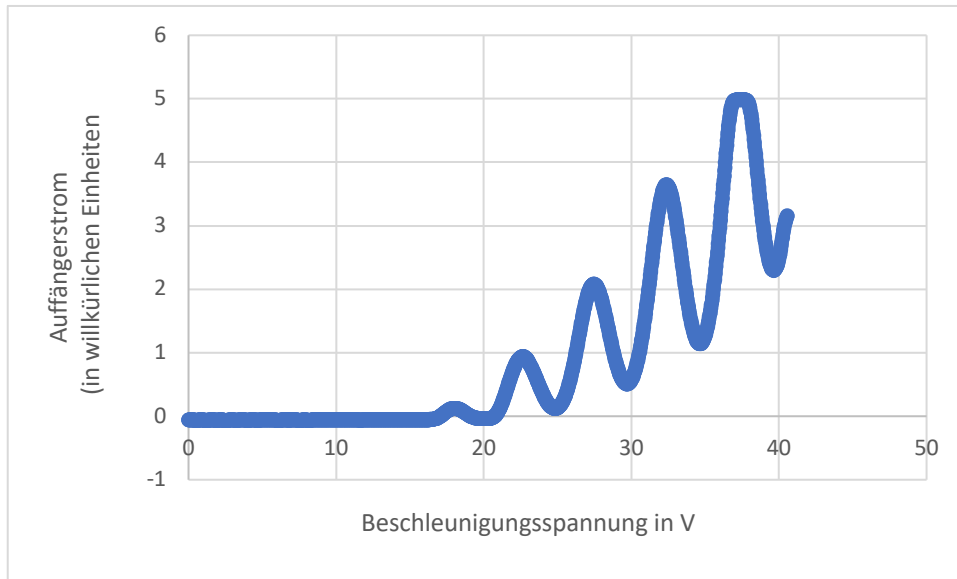


Diagramm 2: Stromstärke in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung bei Gegenspannung 1,5V

2. Bestimmung der Anregungsenergie A:

Tabelle 2: Messwerte der Stromstärke Maxima und Minima, sowie die verwendete Beschleunigungsspannung und die errechnete Anregungsenergie, für Gegenspannung 1,5V

Art	t[s]	I[willkürliche Einheit]	U _{besch} [V]	Mittelwert U _i aus HP und TP [V]	Differenz aufeinanderfolgender Werte $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ [V]
Hochpunkt	45,25	1,185	22,625	23,6875	
Tiefpunkt	49,5	0,409	24,75		4,8375
Hochpunkt	54,85	2,438	27,425	28,525	
Tiefpunkt	59,25	0,924	29,625		4,9125
Hochpunkt	64,65	4,194	32,325	33,4375	
Tiefpunkt	69,1	1,748	34,55		5,1875
Hochpunkt	75,45	4,986	37,725	38,625	
Tiefpunkt	79,05	3,124	39,525		

Die Anregungsenergie A lässt sich berechnen mit: $A = e \cdot \Delta U$

(aus Aufgabenstellung)

$$A_3 = 4,8375\text{eV}$$

$$A_4 = 4,9125\text{eV}$$

$$A_5 = 5,1875\text{eV}$$

1. Darstellung der abgespeicherte Franck-Hertz-Kurve in einem Diagramm (2V Gegenspannung):

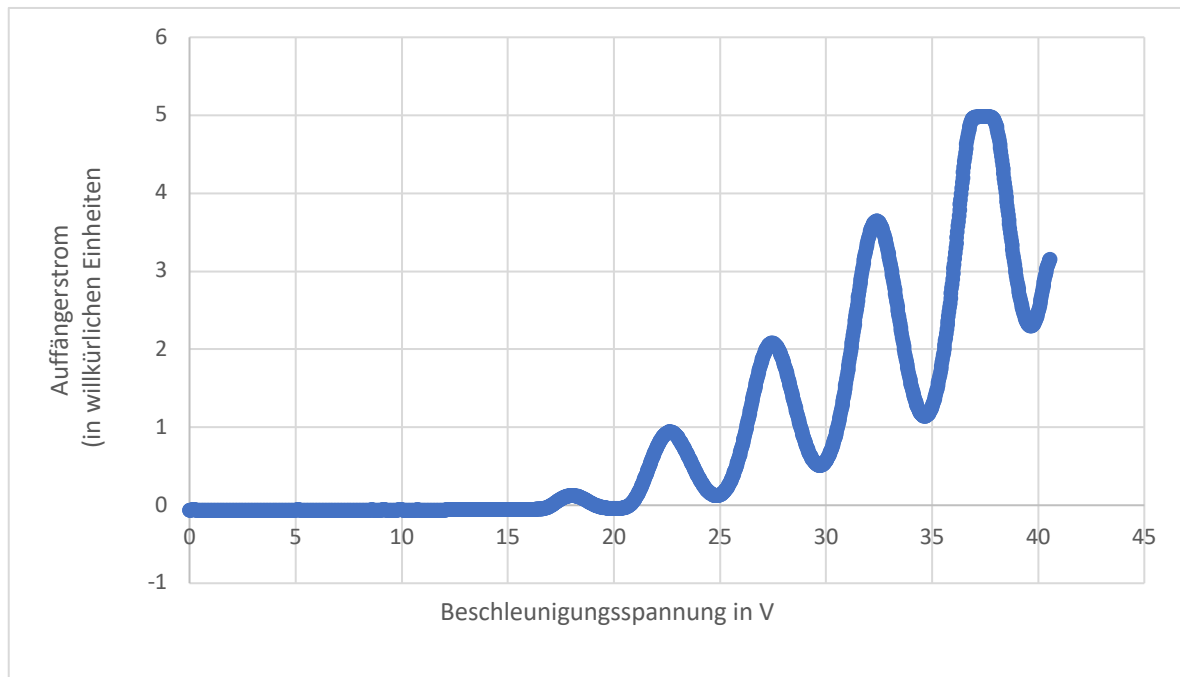


Diagramm 3: Stromstärke in Abhängigkeit der Beschleunigungsspannung bei Gegenspannung 2V

2. Bestimmung der Anregungsenergie A:

Tabelle 3: Messwerte der Stromstärke Maxima und Minima, sowie die verwendete Beschleunigungsspannung und die errechnete Anregungsenergie, für Gegenspannung 2V

Art	t[s]	U[V]	U _{besch} [V]	Mittelwert U _i aus HP und TP [V]	Differenz aufeinanderfolgender Werte $\Delta U = U_{i+1} - U_i$ [V]
Hochpunkt	45,25	0,946	22,625	23,7375	
Tiefpunkt	49,7	0,124	24,85		4,85
Hochpunkt	54,9	2,082	27,45	28,5875	
Tiefpunkt	59,45	0,513	29,725		4,95
Hochpunkt	64,85	3,647	32,425	33,5375	
Tiefpunkt	69,3	1,143	34,65		5,0125
Hochpunkt	74,9	4,985	37,45	38,55	
Tiefpunkt	79,3	2,299	39,65		

Die Anregungsenergie A lässt sich berechnen mit: $A = e \cdot \Delta U$

(aus Aufgabenstellung)

$$A_6 = 4,85\text{eV}$$

$$A_7 = 4,95\text{eV}$$

$$A_8 = 5,0125\text{eV}$$

Der Mittelwert aller Anregungsenergien ergibt sich zu:

$$\bar{A} = \frac{\sum A_i}{n} = 4,9421\text{eV} \quad (\text{GR.10})$$

Die Standardabweichung des Mittelwerts wird berechnet mit folgender Formel:

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,114746945\text{eV} \quad (\text{GR.11})$$

Für Messunsicherheit gilt folgende Formel:

$$\Delta u_A = 2 \frac{S_m}{\sqrt{n}} = 0,081138343\text{eV} \quad (\text{GR.16})$$

Die Anregungsenergie A beträgt: $A = 4,94 \text{ eV} \pm 0,09 \text{ eV}$

Oder in relativer Schreibweise: $A = 4,94 \text{ eV} \cdot (1 \pm 1,8\%)$

3. Energie eines Lichtquants eines Quecksilberatoms bei der Rückkehr in den Grundzustand:

Die Energie ist gegeben durch: $E = h \cdot f$ (Formel aus Anleitung AS Seite 2; dort aber nicht indiziert)

h ist dabei das Planck'sche Wirkungsquantum

Mit der Wellenlänge λ aus der Aufgabenstellung ($\lambda = 253,7nm$) kann man die Frequenz berechnen:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{299\,792\,458 \frac{m}{s}}{253,7 \cdot 10^{-9} m} = 1,18168 \cdot 10^{15} \frac{1}{s} \quad (SA.1)$$

$$E = 4,135\,667\,662 \cdot 10^{-15} eVs \cdot 1,18168 \cdot 10^{15} \frac{1}{s} = 4,887035763 eV$$

Das Lichtquant transportiert eine Energie von $E = 4,89 eV$.

Dieser Wert liegt sehr nahe am Wert der Anregungsenergie für Quecksilberatome. Das ist nicht verwunderlich. Beim Franck-Hertz-Versuch wurde die Energie ermittelt, die aufgebracht werden muss, um ein Hüllenelektron des Quecksilberatoms in eine höhere Schale zu bringen. Hier wurde praktisch umgekehrt berechnet, wie viel Energie frei wird, wenn ein benachbartes Hüllenelektron eben jene freigewordene Lücke besetzt. Die Energie muss also gleich groß sein.

Dieser Übergang ($\lambda = 253,7nm$) liegt im Bereich der Ultraviolettstrahlung. Im Vergleich dazu reicht der Bereich des für Menschen sichtbaren Lichts von ca. 380nm bis ca. 750nm. Die Lichtquanten des hier beschriebenen Übergangs liegen also knapp darunter, haben also eine kürzere Wellenlänge. Die Energie des sichtbaren Lichts reicht von ca. 1,66eV bis ca. 3,26eV. Sichtbares Licht hat also weniger Energie als das Lichtquant aus der Aufgabenstellung.

4. Einfluss des Startzeitpunktes der Messung auf ΔU :

Bei ΔU handelt es sich um die Differenz zwischen zwei Mittelwerten. Diese Differenz ist unabhängig davon, wann die Messung gestartet wird. Wird die Messung gestartet aber die Beschleunigungsspannung nicht noch nicht erhöht, so verändern sich die Messwerte nicht, sondern sie bleiben konstant bei null. Wenn man dann die Beschleunigungsspannung konstant erhöht bilden sich die Hoch- und Tiefpunkte aus, aus denen dann die besagten Mittelwerte errechnet werden. Je länger man wartet bis die Spannung erhöht wird, desto größer werden die Werte der Zeit t für die Mittelwerte. Der zeitliche Abstand zwischen ihnen verändert sich nicht. Dadurch, dass man am Ende die Differenz der Mittelwerte errechnet, spielt der Beginn der Messung keine Rolle.

5. Zustandekommen der Franck-Hertz-Kurve:

Beim Franck-Hertz-Versuch werden Quecksilberatome mit Elektronen beschossen. Dafür werden Elektronen, die von einer Glühkatode emittiert werden, beschleunigt. Die Beschleunigungsspannung wird konstant erhöht. Nach einer gewissen Zeit besitzen die Elektronen genug Energie und können kurz vor der Anode ein Hüllenelektron eines Quecksilberatoms vom Grundzustand in einen angeregten Zustand heben. Nach dem 2. Bohr'schem Postulat ist diese Energie ein diskreter und kein willkürlicher Wert. Dieser Versuch beweist diese Annahme. Man erkennt dies daran, dass die Differenz zwischen den Extrema gleich groß ist. Die Extrema sind in regelmäßigen Abständen verteilt und wiederholen sich so lange die Beschleunigungsspannung erhöht wird. Diese Eigenschaft der Kurve ist durch die diskreten Bahnen der Elektronen bedingt.

Hinter der Anode wird ein Gegenfeld angelegt. Dieses erzeugt ein elektrisches Feld, das die Elektronen abbremst. Nur Elektronen, die nach dem inelastischen Stoß mit dem Hüllenelektron noch genug Energie haben, können zur Katode gelangen. Die Elektronen, die an der Katode ankommen, erzeugen einen Strom, der gemessen und aufgezeichnet wird.

Zu Beginn der Franck-Hertz-Kurve ist zu erkennen, dass der Strom kontinuierlich steigt. Das liegt daran, dass durch die erhöhte Beschleunigungsspannung immer mehr Elektronen genug Energie haben, um das Gegenfeld zu überwinden. Da die Elektronen ungeordnet in alle Richtungen aus der Glühkatode austreten, ist die Beschleunigungsspannung für alle Elektronen minimal unterschiedlich, ab der die Energie ausreicht, um zur Kathode durchzudringen. Anschließend ist zu sehen, dass die Kurve auf ein Minimum abfällt. Die meisten Elektronen haben nun genug Energie, um Quecksilberatome anzuregen. Dabei geben sie einen Teil ihrer Bewegungsenergie ab. Nach dem 2. Bohr'schem Postulat wird beim Übergang eines Elektrons von einer Bahn zur anderen Energie freigesetzt oder aufgenommen. In diesem Fall wird, wie zu beobachten ist, Energie aufgenommen, um ein Elektron in eine andere Bahn zu heben. Die restliche Bewegungsenergie reicht bei den meisten Elektronen nicht mehr aus, um das Gegenfeld zu überwinden. Der Strom nimmt also ab. Dass er nicht auf null sinkt, liegt daran, dass manche Elektronen aufgrund von Wahrscheinlichkeiten kein Quecksilberatom treffen. Sie gelangen ohne Abgabe ihrer Bewegungsenergie bis zur Anode und haben noch genügend Energie, um zur Katode vorzudringen. Außerdem trägt der bereits beschriebene Effekt an der Glühkatode ebenfalls zu dem Reststrom am Minimum bei. Elektronen, die in die entgegengesetzte Richtung des Beschleunigungsfeldes entlassen werden, müssen erst abgebremst und dann in umgekehrte Richtung beschleunigt werden. Es kann vorkommen, dass sie entweder zu wenig Energie haben, um ein Quecksilberatom anzuregen und deshalb zum Strom beitragen oder, dass sie so viel Energie haben, um ein Quecksilberatom anzuregen und anschließend noch genug Energie haben, um zur Katode zu gelangen.

Nach dem ersten Minimum steigt der Strom wieder an, weil immer mehr Elektronen genug Energie haben, um sowohl ein Quecksilberatom anzuregen, als auch das Gegenfeld zu überwinden. Das zweite Minimum tritt auf, wenn die Elektronen so stark beschleunigt werden, dass sie schon nach relativ kurzer Entfernung ein Quecksilberatom anregen können. Anschließend haben sie noch genug Weg vor sich, um noch einmal so stark beschleunigt zu werden, dass sie nochmal ein Quecksilberatom anregen können. Danach reicht die Beschleunigung allerdings nicht mehr aus, um genug kinetische Energie zu erzeugen, um das elektrische Feld, das sie abbremst, zu überwinden. Der Strom fällt nicht auf null ab, aus denselben Gründen wie beim ersten Minimum.

Anschließend steigt der Strom wieder bis er wieder ein lokales Maximum und anschließend ein lokales Minimum erreicht. Die Kurve wird diesen Verlauf immer weiter beschreiben, solange die Beschleunigungsspannung konstant erhöht wird.

Sobald man aufhört die Beschleunigungsspannung zu erhöhen und sie konstant lässt wird auch die Franck-Hertz-Kurve bis zum Ende der Messung konstant verlaufen.

Auswertung Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie:

1. Berechnung der Energiewerte für die $K\alpha$ -Linien für Cr, Fe, Ni, Cu und Zn. Diagramm dieser Werte als Funktion von Z.

Tabelle 4: Kernladungszahl und Energie des $K\alpha$ -Übergangs für Chrom, Eisen, Nickel, Kupfer und Zink

	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn
Kernladungszahl Z	24	26	28	29	30
$E_{K\alpha}$ in eV	5430	6410	7490	8050	8670
$\sqrt{\frac{E_{K\alpha}}{13.6\text{eV}}}$	19,981609	21,709986	23,4677501	24,3292368	25,2487623
$(Z-1)\sqrt{\frac{3}{4}}$	19,918584	21,650635	23,3826859	24,2487113	25,1147367

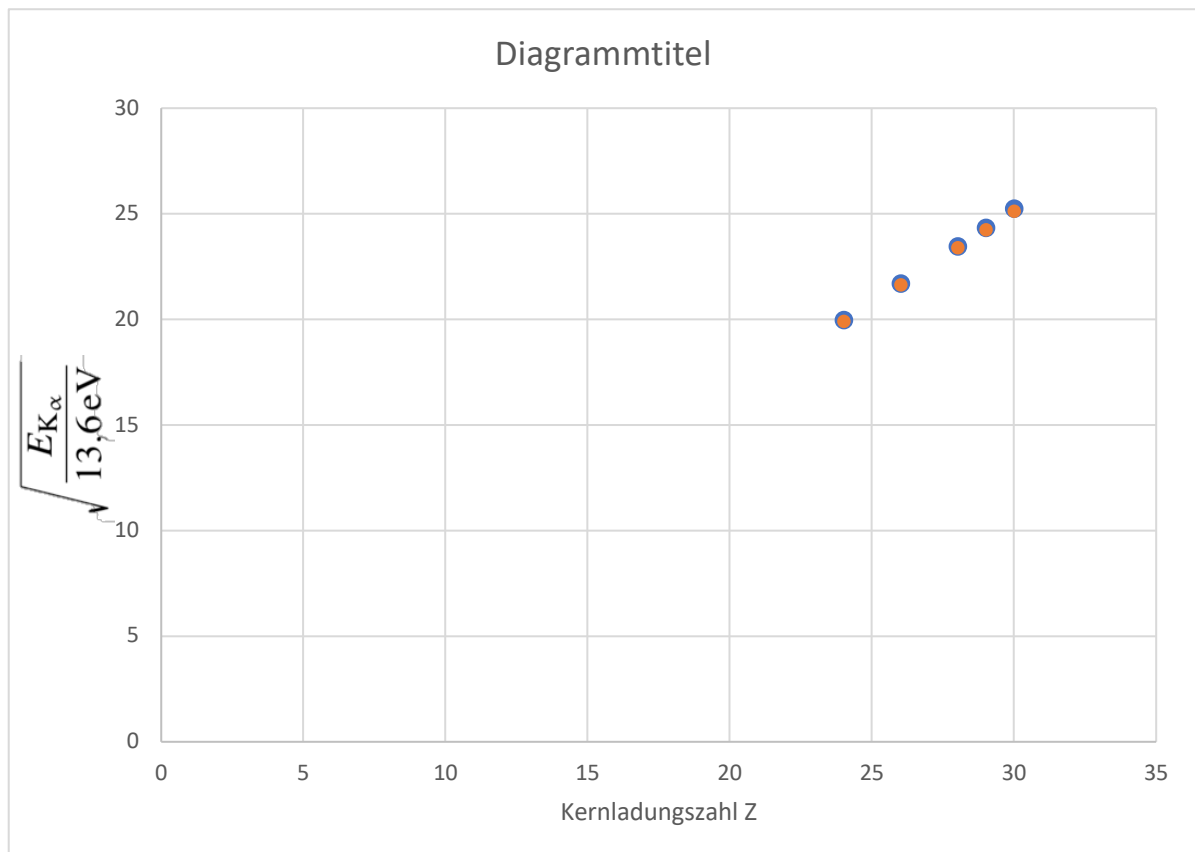


Diagramm 4: $K\alpha$ -Linien als Funktion von Z (blau) mit Datenpunkten der Gerade: $(Z-1)\sqrt{\frac{3}{4}}$ (orange)

Die errechneten Werte stimmen sehr gut mit der Moseley-Geraden überein. Kleine Abweichungen sind durch zu geringe Messdauer erklärbar. Je länger die Messung vorgenommen wird, desto genauer wird der Peak. Außerdem kann es bei der Eichung des Gerätes zu Ungenauigkeiten kommen, die einen systematischen Messfehler erzeugen.

2. Messung unbekannter Proben.

Tabelle 5: charakteristischer Röntgenenergie unbekannter Proben

Probe	$E_{K\alpha}$ in keV	(möglicherweise) 2. $E_{K\alpha}$ in keV	(möglicherweise) 2. $E_{K\alpha}$ in keV
Schlüssel	6,4	7,43	8,29
5ct-Münze	8,06	8,92	

1. Schlüssel:

Tabelle AS.1 zufolge handelt es sich bei dem untersuchten Schlüssel um Eisen, Nickel. Beim Wert 8,29 keV handelt es sich um den $E_{K\beta}$ –Übergang von Nickel.

Eisen und Nickel sind Standardwerkstoffe zur Herstellung. Beide Stoffe eignen sich besonders durch Eigenschaften wie Härte (**Mohs-Härte 3,8**), Schmiedbarkeit und Polierbarkeit. Sowohl Nickel als auch Eisen sind ferromagnetisch.

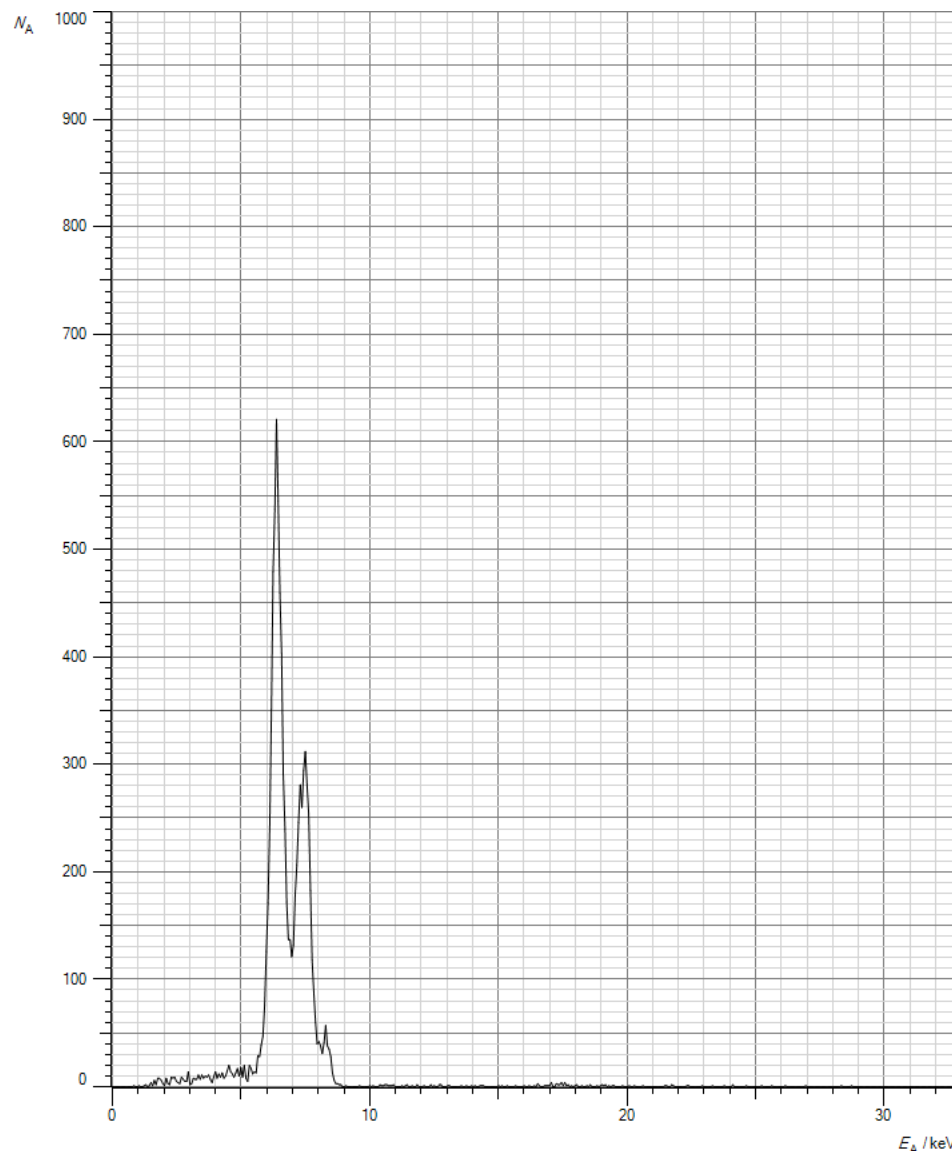


Schaubild 1: Schaubild der Messdaten für die Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie eines Schlüssels

2. 5ct-Münze:

Aus Tabelle AS.1 kann man ablesen, dass das untersuchte 5ct-Stück aus Kupfer besteht. Bei unserer Messung haben wir dabei einmal den $E_{K\alpha}$ –Übergang, als auch den $E_{K\beta}$ –Übergang von Kupfer festgestellt. Einer Internetrecherche zufolge, besteht eine 5ct-Münze durchaus aus Kupfer. Allerdings ist sie nur mit Kupfer ummantelt und besteht zum Großteil aus Eisen. Dass wir keinen Peak für Eisen messen konnten, liegt vermutlich daran, dass die Röntgenstrahlen nicht tief genug in die 5ct-Münze eindringen konnten.

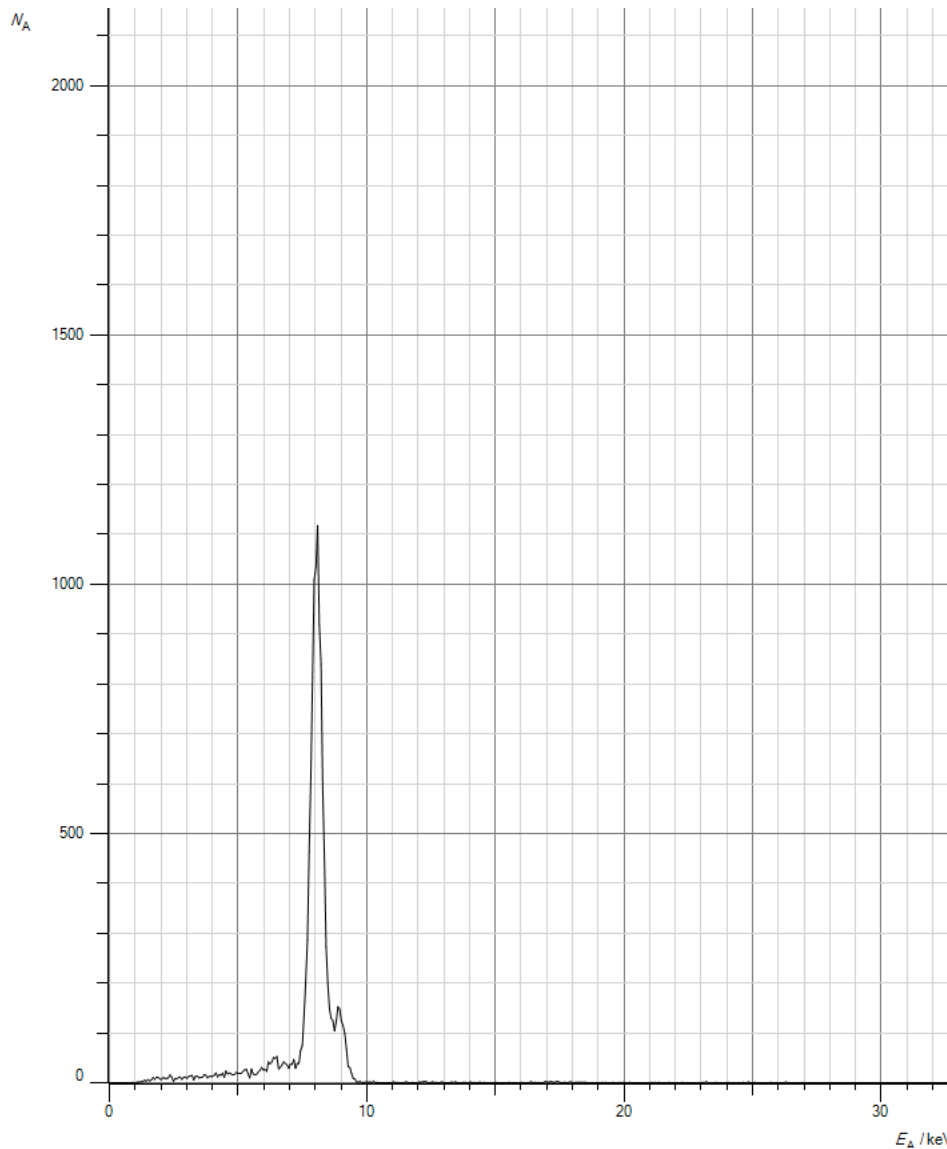


Schaubild 2: Schaubild der Messdaten für die Röntgenfluoreszenz-Spektroskopie einer 5ct-Münze