

# Versuch 256 Röntgenfluoreszenz

Leonardo Karl Reiter

March 21, 2024

# Contents

<b>1</b>	<b>Ziel des Versuchs</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1	Spektrum der sieben Proben . . . . .	5
3.2	Energiekalibrierung . . . . .	5
3.3	Bestimmen der Bestandteile verschiedener Legierungen . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1	Spektrum der Sieben Proben . . . . .	6
4.2	Energiekalibrierung . . . . .	6
4.3	Überprüfung des Moseley'schen Gesetzes . . . . .	6
4.3.1	Pythonmodule . . . . .	7
4.3.2	Analyse der $K_\alpha$ -Strahlung . . . . .	7
4.3.3	Analyse der $K_\beta$ -Strahlung . . . . .	10
4.4	Zusammensetzung verschiedener Legierungen . . . . .	12
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>14</b>
5.1	Bestimmung der $K_\beta$ -Peaks . . . . .	14
5.2	Moseley'sches Gesetz und Rydbergenergie $E_R$ . . . . .	14
5.3	Spektralanalyse von Legierungen . . . . .	15
5.4	Fazit . . . . .	15

# 1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll zunächst ein Röntgendetektor kalibriert werden. Später soll das Moseley'sche Gesetz über die Energie der  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Linie verschiedener Elemente überprüft und die Zusammensetzung verschiedenen Legierung untersucht werden.

# 2 Grundlagen

Röntgenstrahlung kann Elektronen aus Atomen herauslösen. Werden diese aus einer inneren Schalen herausgelöst, so springen Elektronen höherer Schalen in die freigewordenen innere, da dies der energetisch günstigere Zustand ist. Hierbei werden sekundäre Röntgenphotonen emittiert, die sogenannte Röntgenfluoreszenz. Die Energie und damit die Wellenlänge dieser Fluoreszenzstrahlung, ist dabei charakteristisch für die verwendete Probe und berechnet sich aus:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = c h R_\infty \left( \frac{(Z - \delta_{n_1})^2}{(n_1)^2} - \frac{(Z - \delta_{n_2})^2}{(n_2)^2} \right) \quad (1)$$

Wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $h$  das planck'sche Wirkungsquantum und  $R_\infty$  die Rydbergkonstante sind.  $\delta$  ist die Abschirmkonstante,  $Z$  die Kernladungszahl und  $n$  die Ordnungszahl.

Die Abschirmkonstante  $\delta$  berücksichtigt das weitere elektronen den Kern abschirmen. man kann  $\delta_{n_1} / \delta_{n_2}$  durch die mittlere Abschirmkonstante  $\delta_{12}$  nähern und unter Berücksichtigung der Rydbergenergie  $E_R$ :

$$E_R = h c R_\infty = 13.6 \text{ [eV]} \quad (2)$$

$$\sqrt{\frac{E}{E_R}} = (Z - \delta_{12}) \sqrt{\frac{1}{(n_1)^2} - \frac{1}{(n_2)^2}} \quad (3)$$

Für nicht allzu schwere Kerne ( $Z \leq 30$ ), kann  $\delta_{12}$  bei  $K_\alpha$ -Strahlung mit ( $\delta_{12} = 1$ ) genähert werden.

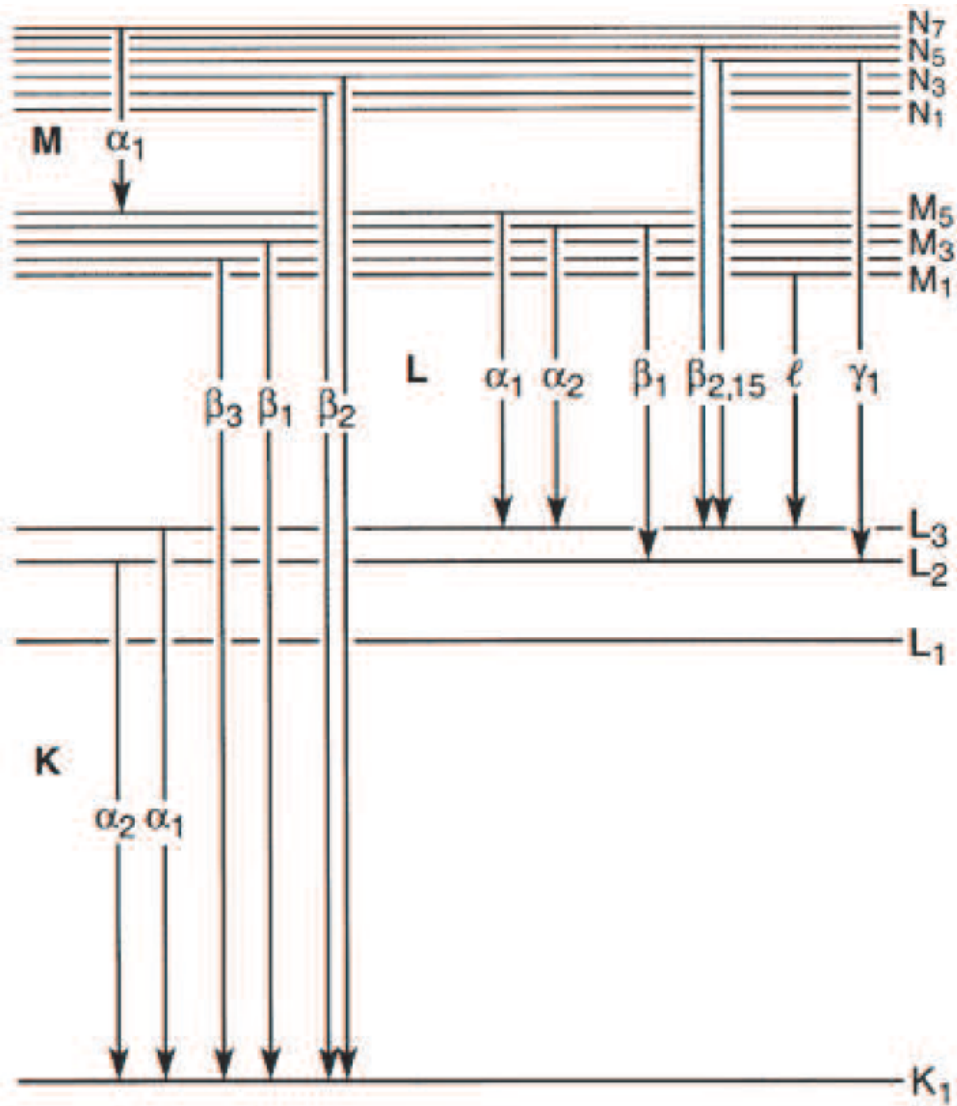


Figure 1: Elektronische Übergänge in einem Atom.

Bei dem Versuch wird ein Halbleiterdetektor verwendet, dabei handelt es sich um einen in Sperrrichtung betriebenen pn-Übergang, eine Diode. Es existieren n- und p-dotierte Halbleiter. n-Halbleiter besitzen eine Überzahl von freien negativen Ladungen (deshalb n-Halbleiter), p-Halbleitern hingegen fehlen genau diese freien Ladungen, man spricht auch von sogenannten Ladungslücken welche auch als positive Ladungen interpretiert werden können.

Bringt man nun beide Halbleiter in Kontakt, so kommt es zu einem Ladungsausgleich mittels Diffusion, in der Mitte entsteht ein Bereich ohne Ladungslücken welche von den freien Ladungen des n-Halbleiters gefüllt werden. Diesen Bereich nennt man auch Verarmungszone. In dieser Verarmungszone bewegen sich Ladungsträger vom n-Halbleiter in Richtung des p-Halbleiters, diese Diffusion verursacht wiederum ein elektrisches Feld welches der Bewegung der Ladungen entgegenwirkt und diese ausbremst. Dadurch kann die Verarmungszone nicht beliebig groß werden, wenn man nun aber eine Spannung von außen anlegt kann man die Ausdehnung der Verarmungszone beeinflussen.

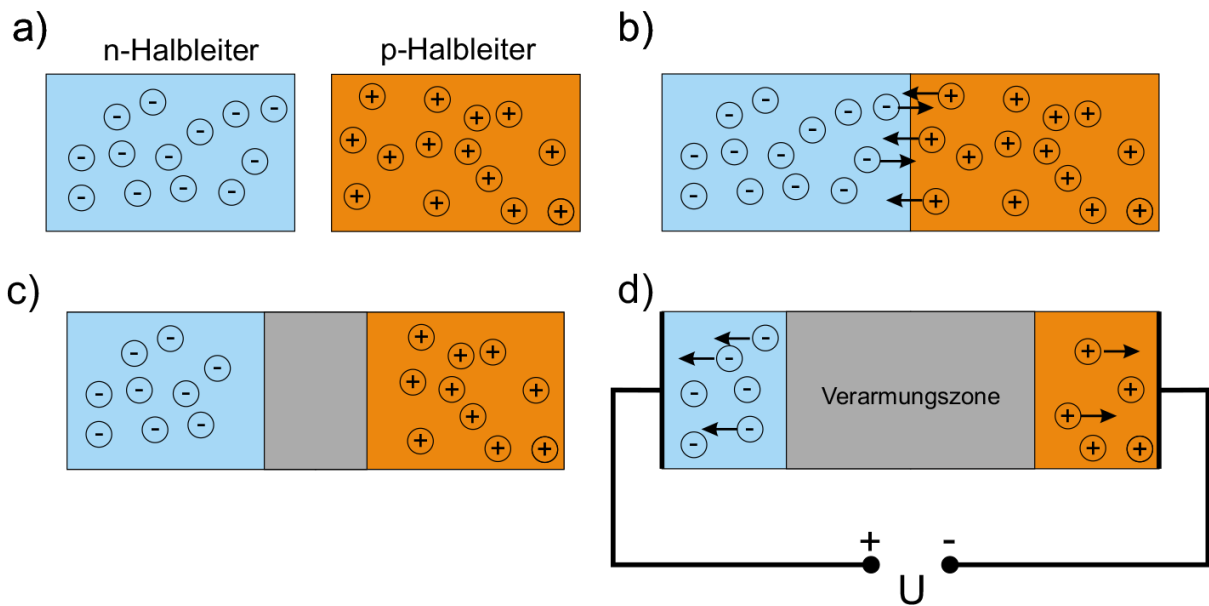


Figure 2: a) p- und n-Halbleiter. b) pn-Übergang. Elektronen diffundieren vom n-Halbleiter in den p-Halbleiter und Löcher vom p-Halbleiter in den n-Halbleiter. c) im Bereich der Grenzschicht rekombinieren Elektronen und Löcher. In diesem Bereich gibt es keine freien Ladungsträger. d) In Sperrrichtung betriebener pn-Übergang. Die Verarmungszone wird durch die anliegende Spannung verbreitert.

Fällt ein Röntgenphoton auf diese Verarmungszone, so wird es durch den Photoeffekt unter aussenden eines Photoelektrons absorbiert. Dieses Photoelektron verliert seine Energie durch Stöße mit den Halbleiteratomen, es entstehen Elektron-Loch-Paare. Die so entstehende Ladung ist proportional zur Energie des einfallenden Photons und wird durch die außen angelegte Spannung abgeleitet und von einem Verstärker (Integrator) gemessen.

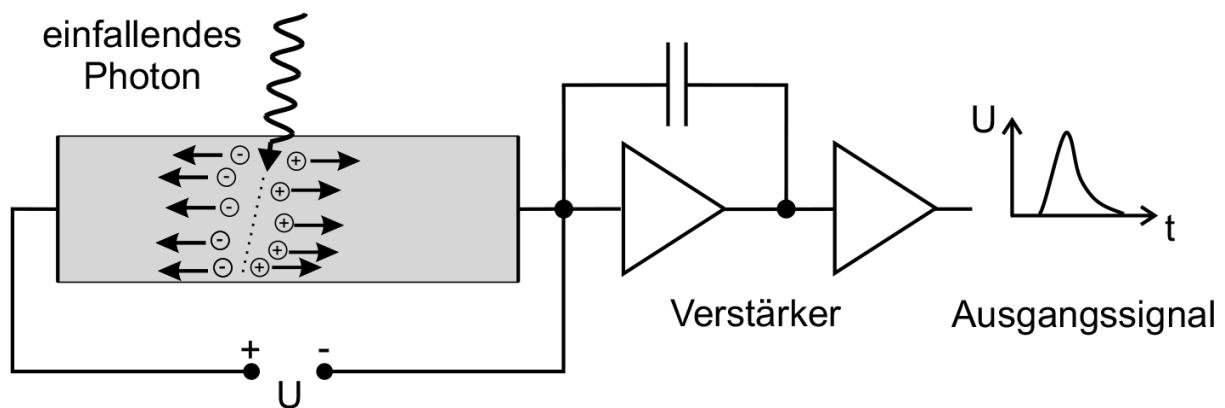


Figure 3: Funktionsprinzip des Röntgenenergiedetektors.

Diese Impulse werden in einem Vielkanalanalysator ausgewertet, dieser stellt die Verteilung der Impulshöhen dar und gibt die Anzahl der Pulse einer bestimmten Energie aus.

Für die Energiekalibrierung wird ein Energiepektrum eines bekannten Elements verwendet. In unserem Fall das von Eisen (Fe) und Molybdän (M).

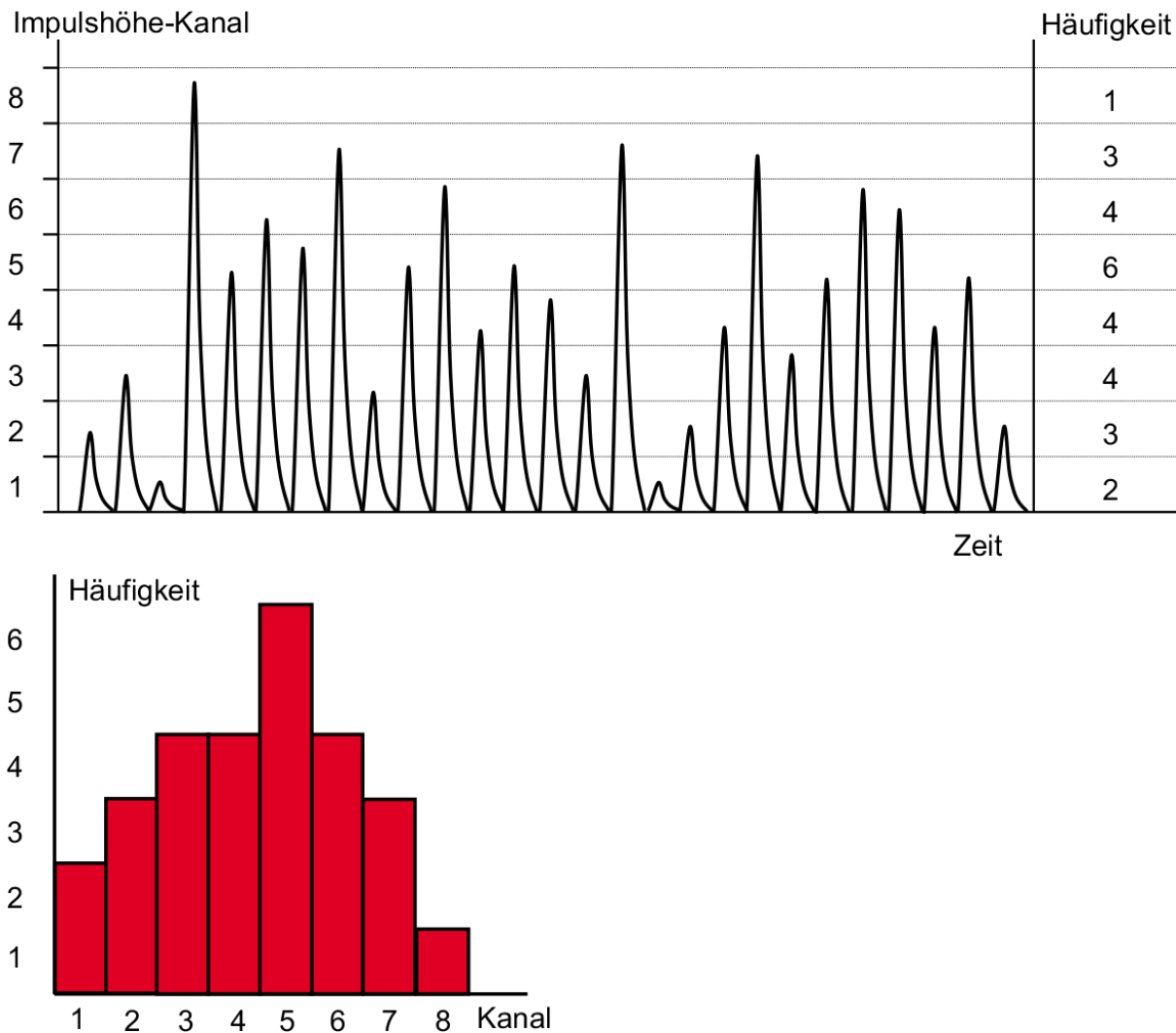


Figure 4: Funktionsprinzip des Vielkanaldetektors.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Spektrum der sieben Proben

Die unterschiedlichen Metallplättchen werden der Reihe nach im  $45^\circ$  Winkel und unter den richtigen Einstellungen der Röntgenröhre ( $U_B = 35$  [kV] und  $I = 1$  [mA]) auf dem PVC halter des Röntgengeräts positioniert. Es wird die Zählrate über einen Zeitraum  $\Delta t = 180$  [sec] gemessen. Diese Messung wird für alle Metallproben, im selben Diagramm aufgetragen.

#### 3.2 Energiekalibrierung

Mithilfe der Spektren von Eisen (Fe) und Molybdän (Mo) wird nun die Energiekalibrierung durchgeführt. Anschließend soll für die verschiedenen Elemente auf Basis dieser Energiekalibrierung die Energie der  $K_\alpha$ -peaks bestimmt werden. Dazu werden die Peaks mit einem Gaußfit versehen und es wird der Peaksschwerpunkt sowie dessen Breite notiert.

#### 3.3 Bestimmen der Bestandteile verschiedener Legierungen

Zuletzt sollen drei unbekannte Proben, sowie ein Magent und eine Münze untersucht werden und deren Spektren mit gegebenen Referenzenergien der  $K_\alpha$ -Linien verglichen werden, um qualitative über die Zusammensetzung der Legierungen aus denen die Proben bestehen Aussagen, zu treffen. Es wurden 3 unbekannte Proben, eine 2 CHF-Münze und ein Permanentmagnet untersucht.

## 4 Auswertung

### 4.1 Spektrum der Sieben Proben

Es wurde das Fluoreszenzspektrum der 7 Metallproben aufgenommen. Und einmal zur Veranschaulichung mit Verschiedenen Farben auf das selbe Diagramm aufgetragen. Dabei ist die y-Achse nicht maßstabsgetreu sondern lediglich die Zählraten vom Eisen (Fe) welches als erstes gemessen wurde. Außerdem sind im Diagramm folgende Metalle Aufgetragen: Titan (Ti), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Molybdän (Mo) und schließlich Silber (Ag).

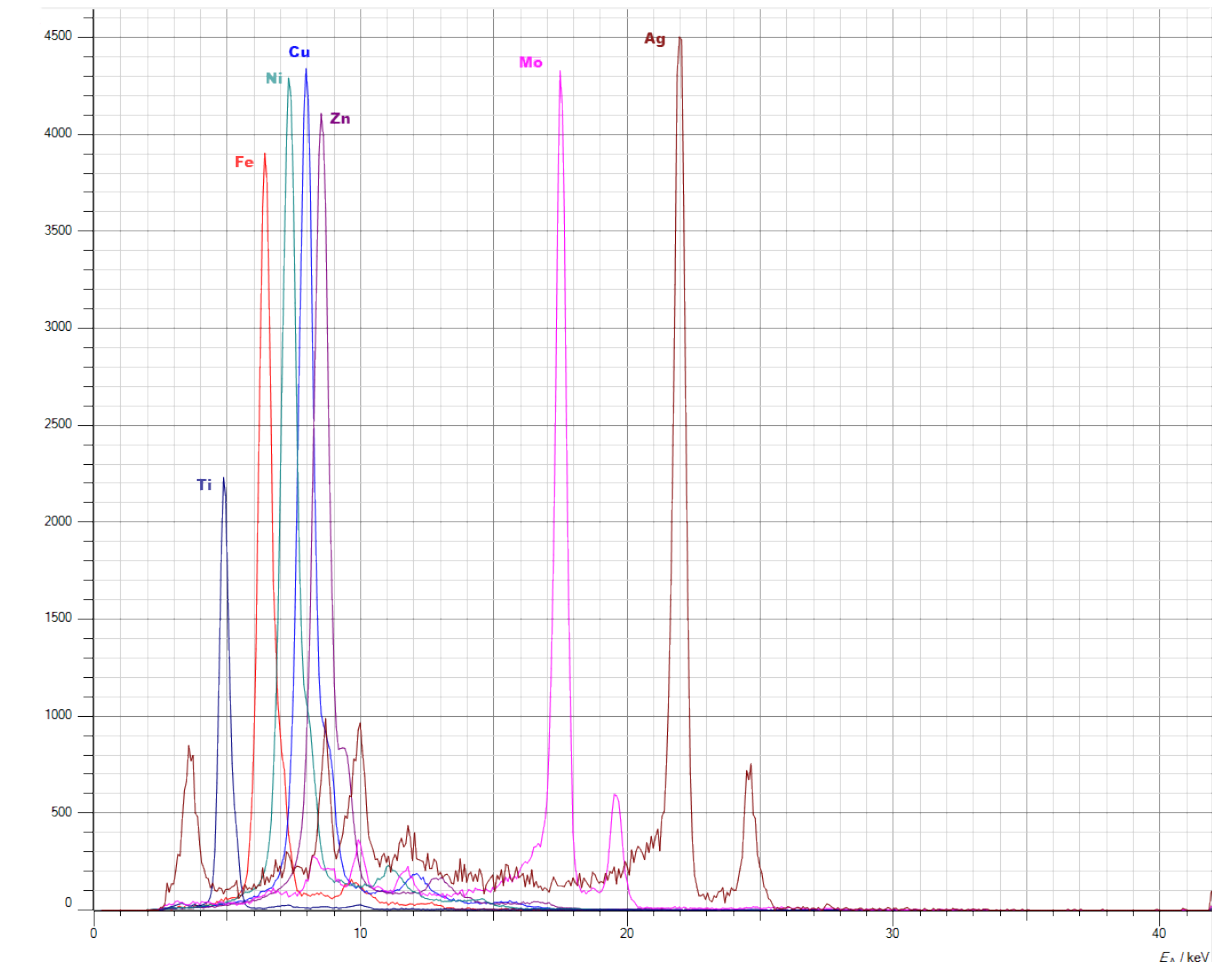


Figure 5: Fluoreszenzspektren der verschiedenen Metallproben die uns beschriftet gegeben wurden.

### 4.2 Energiekalibrierung

Die Spektren der jeweiligen Metallproben wurden im einzelnen nochmal untersucht, dazu wurden zuerst die Energiewerte(x-Achse), mithilfe des  $K_{\alpha}$ -Peaks von Eisen (Fe) und Molybdän (Mo), neu kalibriert und basierend darauf die der anderen Proben gefittet und abgelesen. Die Ergebnisse der Fitparameter wurden in folgender Tabelle (1) aufgetragen.

Wie man der Tabelle entnehmen kann, waren die  $K_{\beta}$ -Peaks bei der Durchführung unseres Versuchs nicht immer gut zu erkennen. Besonders die bei niedrigeren Energien. Dafür kann es verschiedene Gründe geben, einer der wahrscheinlicheren ist, dass der Röntgenapparat mit dem gearbeitet wurde, evtl. mit dem, für unsere Bedürfnisse, falschen Kollimator ausgestattet wurde. (siehe Teil 5.1)

### 4.3 Überprüfung des Moseley'schen Gesetzes

In diesem Teil sollen mithilfe der  $K_{\alpha}$ - und  $K_{\beta}$ -Peaks die Rydbergenergie  $E_R$  und die gemittelte Abschirmkonstante  $\delta_{12}$  bestimmt werden. Außerdem soll das Moseley'sche Gesetz mithilfe eines Größ-

Peakschwerpunkte $\mu$ mit Breite $\sigma$		
Element	Energie $K_\alpha$ [keV]	Energie $K_\beta$ [keV]
Ti	$\mu = 4.89, \sigma = 0.18$	(nicht erkennbar)
Fe	$\mu = 6.40$ (gegeben)	(nicht erkennbar)
Ni	$\mu = 7.33, \sigma = 0.28$	(nicht erkennbar)
Cu	$\mu = 7.96, \sigma = 0.27$	(nicht erkennbar)
Zn	$\mu = 8.53, \sigma = 0.28$	$\mu = 9.29$ (geschätzt)
Mo	$\mu = 17.51, \sigma = 0.19$	$\mu = 19.58, \sigma = 0.21$
Ag	$\mu = 21.97, \sigma = 0.20$	$\mu = 24.59, \sigma = 0.19$

Table 1: Fitparameter der Energiekalibrierung.

tenteils bereitgestelltem Jupyternotebooks überprüft werden. Dies ermöglicht es uns auch die Berechnungen der Rydbergenergie  $E_R$  und der Abschirmkonstante  $\delta_{12}$  einfacher zu bestimmen.

### 4.3.1 Pythonmodule

```
[1]: #Importieren von allen benötigten Modulen

%matplotlib inline
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
import io
import matplotlib
matplotlib.rcParams.update({'font.size': 20})
plt.rcParams["figure.figsize"] = 16, 9
```

### 4.3.2 Analyse der $K_\alpha$ -Strahlung

#### Eingabe der Messdaten

```
[2]: #Kernladungszahl
Z1=np.array([22,26,28,29,30,42,47])

#K_alpha in der Reihenfolge (Ti,Fe,Ni,Cu,Zn,Mo,Ag) in keV
K_alpha=np.array([4.89,6.40,7.33,7.96,8.53,17.51,21.97])

#Peakbreite
K_alpha_err=np.array([0.18,0.01,0.28,0.27,0.28,0.19,0.20])

#Wurzel aus K_alpha
sqrt_K_alpha=np.sqrt(K_alpha)
sqrt_K_alpha_err=1/(2*np.sqrt(K_alpha))*K_alpha_err
```

#### Fit der Messdaten

```
[3]: #Fitfunktion und optimale Parameter

n1=1
n2=2

def fit_function(x, sqrt_Er, sig12):
    return sqrt_Er*(x-sig12)*np.sqrt(1/n1**2-1/n2**2)

popt1,pcov1=curve_fit(fit_function, Z1, sqrt_K_alpha, sigma=sqrt_K_alpha_err )
```



### Plot der Messdaten

```
[4]: plt.errorbar(Z1, sqrt_K_alpha, yerr=sqrt_K_alpha_err,
    ↳marker='o',markerfacecolor='blue',
    ↳linewidth=0.8,linestyle='',capsize=3,color='black',label='Messwerte,
    ↳mit Fehler')
plt.plot(np.linspace(21,49,100),fit_function(np.linspace(21,49,100),*popt1),
    ↳linewidth=1,linestyle='--',color='darkred',label='linearer Fit der,
    ↳Messwerte')
plt.xlabel(r'Kernladungszahl $ Z$')
plt.ylabel(r'$\sqrt{E_\alpha}$ $ [$ \sqrt{keV}$]')
plt.title(r'$\sqrt{E_\alpha}$ als Funktion der Kernladungszahl mit Fitkurve')
plt.grid(True)
plt.legend(loc='best')
plt.show()
```

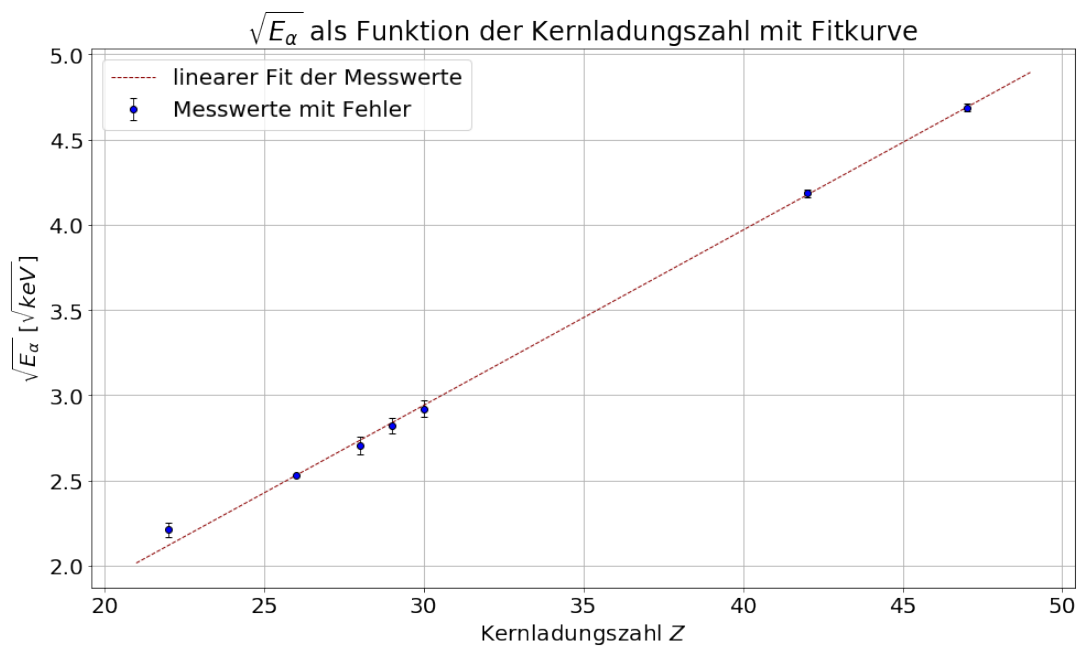


Diagramm 1: Wurzel der Energie der  $K_\alpha$ -Peaks als Funktion der Kernladungszahl Z der untersuchten Metalle.

### Güte des Fits

```
[5]: chi_squared1=np.sum((fit_function(Z1,*popt1)-sqrt_K_alpha)**2/sqrt_K_alpha_err**2)

#Freiheitsgrade
dof1=len(Z1)-2

chi_squared1_red=chi_squared1/dof1

print('Wir erhalten die nachfolgenden Werte für die Güte des Fits:')
print('chi_squared= ' + str(chi_squared1))
print('chi_squared_red= ' + str(chi_squared1_red))
print()

#Fitwahrscheinlichkeit
prob1=round(1-chi2.cdf(chi_squared1,dof1),2)*100
```

```
print('Die Fitwahrscheinlichkeit beträgt: ' + str(prob1) + ' %')
```

Wir erhalten die nachfolgenden Werte für die Güte des Fits:

chi\_squared= 5.9703343292397975

chi\_squared\_red= 1.1940668658479594

Die Fitwahrscheinlichkeit beträgt: 31.0 %

### Ausgabe der Fitparameter

```
[6]: print('Aus dem Fit der Messwerte erhalten wir:')
      print('sqrt_E = ' + str(popt1[0]) + ' ± ' + str(pcov1[0,0]**0.5) + ' [sqrt(keV)]')
      print('delta12 = (' + str(popt1[1]) + ' ± ' + str(pcov1[1,1]**0.5))
```

Aus dem Fit der Messwerte erhalten wir:

sqrt\_E = 0.11864451770737822 ± 0.0010428120855072247 [sqrt(keV)]

delta12 = (1.3768288692788462 ± 0.22004139135930037

$$\sqrt{E} = 0.119 \pm 0.001 [\text{keV}^{\frac{1}{2}}]$$

$$\delta_{12} = 1.377 \pm 0.220$$

### Bestimmung der Rydbergenergie $E_R$

```
[7]: E_R_alpha=popt1[0]**2*1e3
      E_R_alpha_err=2*popt1[0]*pcov1[0,0]**0.5*1e3

      print('Wir erhalten für die Rydberg-Energie in eV:')
      print('E_R = ' + str(E_R_alpha) + ' ± ' + str(E_R_alpha_err) + ' [eV]')
```

Wir erhalten für die Rydberg-Energie in eV:

E\_R = 14.076521582016383 ± 0.24744787388885986 [eV]

$$E_R = 14.077 \pm 0.248 [\text{keV}]$$

### Vergleich mit Literaturwerten

```
[8]: #Aus Wikipedia:
      sigma12_lit1=1.0

      #Rydberg-Konstante
      E_R_lit=13.605693005 #eV
      E_R_lit_err=0.000000084 #eV

      diff_signal=np.abs(sigma12_lit1-popt1[1])

      diff_E_R1=np.abs(E_R_lit-E_R_alpha)
      diff_E_R1_err=np.sqrt((E_R_lit_err)**2+E_R_alpha_err**2)

      print('Der Vergleich mit den Literaturwerten liefert:')
      print('delta12_1 = ' + str(diff_signal) + ' ± ' + str(pcov1[1,1]**0.5) +
            '\nsigma = ' + str(diff_signal/pcov1[1,1]**0.5))
      print('E_R1 = ' + str(diff_E_R1) + ' ± ' + str(diff_E_R1_err) +
            '[eV] \nsigma = ' + str(diff_E_R1/diff_E_R1_err))
```

Der Vergleich mit den Literaturwerten liefert:

delta12\_1 = 0.3768288692788462 ± 0.22004139135930037

sigma = 1.712536295789601

E\_R1 = 0.47082857701638403 ± 0.24744787388887413 [eV]

sigma = 1.9027384217001901

$$\delta_{12} = 1.377 \pm 0.220$$

$$\delta_{12}^{lit} = 1.8$$

$$\Rightarrow 1.71\sigma \text{ Abweichung}$$

$$E_R = 14.077 \pm 0.248 \text{ [keV]}$$

$$E_R^{lit} = 13.605693(84) \text{ [keV]}$$

$$\Rightarrow 1.90\sigma \text{ Abweichung}$$

### 4.3.3 Analyse der $K_\beta$ -Strahlung

```
[9]: #K_beta in der Reihenfolge (Ti,Fe,Ni,Cu,Zn,Mo,Ag) in keV
Z2=np.array([30,42,47])
K_beta=np.array([9.29,19.58,24.59])
#Peakbreite
K_beta_err=np.array([0.5,0.21,0.19])

#Wurzel aus K_alpha
sqrt_K_beta=np.sqrt(K_beta)
sqrt_K_beta_err=1/(2*np.sqrt(K_beta))*K_beta_err
```

### Plot und Fit der Messdaten

```
[10]: #Fit der Daten
n2=3
popt2,pcov2=curve_fit(fit_function, Z2, sqrt_K_beta, sigma=sqrt_K_beta_err)

plt.errorbar(Z2, sqrt_K_beta, yerr=sqrt_K_beta_err,
    ↳marker='o',markerfacecolor='blue',
    ↳linewidth=0.8,linestyle='',capsize=3,color='black',label='Messwerte',
    ↳mit Fehler')
plt.plot(np.linspace(21,49,100),fit_function(np.linspace(21,49,100),*popt2),
    ↳linewidth=1,linestyle='--',color='darkred',label='Fit der Messwerte')
plt.xlabel(r'Kernladungszahl $ Z$')
plt.ylabel(r'$\sqrt{E\_beta}$ [$\sqrt{keV}$]')
plt.title(r'$\sqrt{E\_beta}$ als Funktion der Kernladungszahl mit Fitkurve')
plt.grid(True)
plt.legend(loc='best')
plt.show()
```

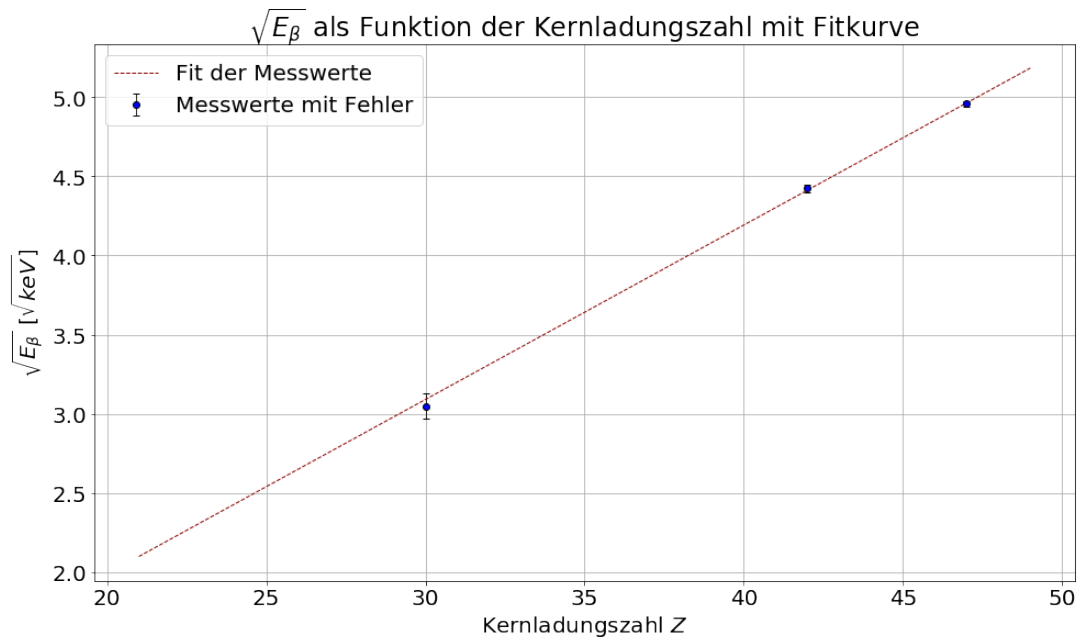


Diagramm 2: Wurzel der Energie der  $K_{\beta}$ -Peaks als Funktion der Kernladungszahl Z der untersuchten Metalle.

### Güte des Fits

```
[11]: chi_squared2=np.sum((fit_function(Z2,*popt2)-sqrt_K_beta)**2/sqrt_K_beta_err**2)

#Freiheitsgrade
dof2=len(Z2)-2

chi_squared2_red=chi_squared2/dof2

print('Wir erhalten die nachfolgenden Werte für die Güte des Fits:')
print('chi_squared= ' + str(chi_squared2))
print('chi_squared_red= ' + str(chi_squared2_red))
print()

#Fitwahrscheinlichkeit
prob2=round(1-chi2.cdf(chi_squared2,dof2),2)*100

print('Die Fitwahrscheinlichkeit beträgt: ' + str(prob2) + ' %')
```

Wir erhalten die nachfolgenden Werte für die Güte des Fits:

chi\_squared= 0.595571600648207

chi\_squared\_red= 0.595571600648207

Die Fitwahrscheinlichkeit beträgt: 44.0 %

### Ausgabe der Fitparameter

```
[12]: print('Aus dem Fit der Messwerte erhalten wir:')
print('sqrt_E = ' + str(popt2[0]) + ' ± ' + str(pcov2[0,0]**0.5) + ' [sqrt(keV)]')
print('delta12 = ' + str(popt2[1]) + ' ± ' + str(pcov2[1,1]**0.5))
```

Aus dem Fit der Messwerte erhalten wir:

sqrt\_E = 0.11695101075774447 ± 0.0033593718012861406 [sqrt(keV)]

delta12 = 1.9772732048913264 ± 1.227086683784408

$$\sqrt{E} = 0.117 \pm 0.003 [\text{keV}^{\frac{1}{2}}]$$

$$\delta_{12} = 1.977 \pm 1.227$$

#### Bestimmung der Rydbergenergie $E_R$

```
[13]: E_R_beta=popt2[0]**2*1e3
      E_R_beta_err=2*popt2[0]*pcov2[0,0]**0.5*1e3

      print('Wir erhalten für die Rydberg-Energie in eV:')
      print('E_R = ' + str(E_R_beta) + ' ± ' + str(E_R_beta_err) + ' [eV] ' )
```

Wir erhalten für die Rydberg-Energie in eV:  
 $E_R = 13.677538917258063 \pm 0.7857638553429577 [\text{eV}]$

$$E_R = 13.678 \pm 0.786 [\text{keV}] \quad (4)$$

#### Vergleich mit Literaturwerten

```
[14]: #Aus Wikipedia:
      sigma12_lit2=1.8

      diff_sigma2=np.abs(sigma12_lit1-popt2[1])

      diff_E_R2=np.abs(E_R_lit-E_R_beta)
      diff_E_R2_err=np.sqrt((E_R_lit_err)**2+E_R_beta_err**2)

      print('Der Vergleich mit den Literaturwerten liefert:')
      print('delta12_2 = ' + str(diff_sigma2) + ' ± ' + str(pcov1[1,1]**0.5) +
            ' \nsigma = ' + str(diff_sigma2/pcov1[1,1]**0.5))
      print('E_R1 = ' + str(diff_E_R2) + ' ± ' + str(diff_E_R2_err) +
            ' [eV] \nsigma = ' + str(diff_E_R2/diff_E_R2_err))
```

Der Vergleich mit den Literaturwerten liefert:  
 $\text{delta12}_2 = 0.9772732048913264 \pm 0.22004139135930037$   
 $\text{sigma} = 4.441315330966801$   
 $E_{R1} = 0.07184591225806436 \pm 0.7857638553429622 [\text{eV}]$   
 $\text{sigma} = 0.09143448348957943$

$$\delta_{12} = 1.977 \pm 1.227$$

$$\delta_{12}^{\text{lit}} = 1.8$$

$$\Rightarrow 4.44\sigma \text{ Abweichung}$$

$$E_R = 13.678 \pm 0.786 [\text{keV}]$$

$$E_R^{\text{lit}} = 13.605693(84) [\text{keV}]$$

$$\Rightarrow 0.09\sigma \text{ Abweichung}$$

## 4.4 Zusammensetzung verschiedener Legierungen

Im letzten Teil der Auswertung sollten qualitative Aussagen der Zusammensetzung verschiedener unbekannter Metalllegierungen gemacht werden. Dabei ging es darum die Probe am Röntgenspektrometer zu untersuchen und ihr Fluoreszenzspektrum aufzunehmen und dieses dann mit den charakteristischen  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Peaks bekannter Elemente zu vergleichen. Treten die gleichen Peaks eines gewissen Metalls in der Legierung auf so kann man daraus schließen, dass dieses Metall Bestandteil der

Legierung ist.

Ein solches Spektrum das wir aufgenommen haben ist hier noch einmal ausgeführt zusammen mit sämtlichen charakteristischen  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Peaks die wir diesem Spektrum zuordnen konnten.

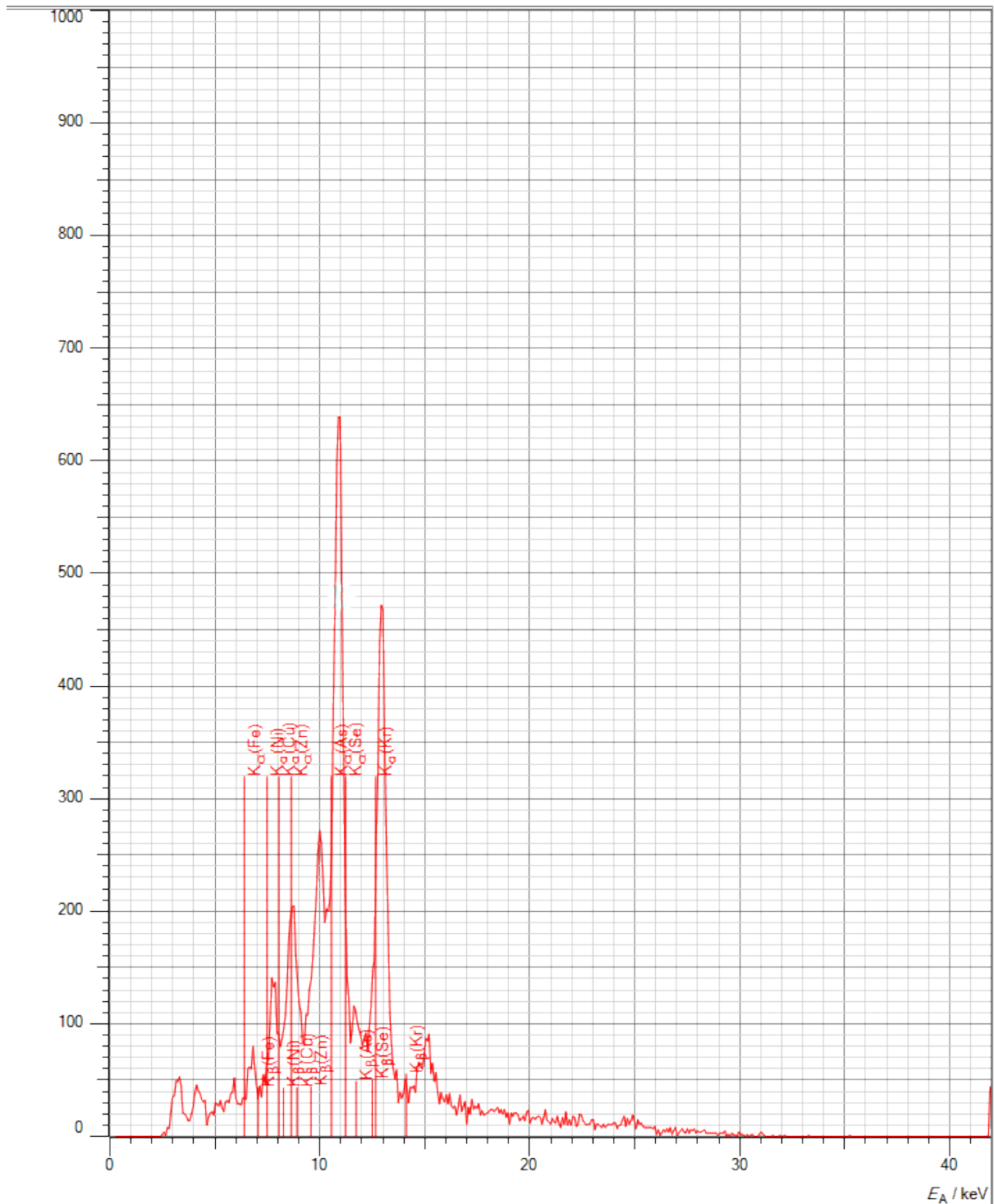


Figure 6: Fluoreszenzspektrum des Magneten mit vermuteten  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Peaks verschiedener Elemente.

Unsere qualitativen Vermutungen der Bestandteile der untersuchten Legierungen sind in folgender Tabelle zusammengetragen worden (Tabelle 2)

Zusammensetzung der untersuchten Proben		
Untersuchte Probe	Messungen	Vermutung
Legierung 1	Fe, Ni, Cr, Ge	Ni, Fe, Cr (Edelstahl)
Legierung 2	Cu, Zn, Ac	Cu, Zn (Messing)
Legierung 3	Cu, Zn, Ac	Cu, Zn (Messing)
Magnet	Fe, Ni, Cu, Zn, Kr, As, Se	Nd, Fe, B (Neodym-Magnet)
2 CHF Münze	Cu, Ni	Cu, Ni (Kupfernickel)

Table 2: Gemessene und Vermutete Bestandteile der Legierungen.

## 5 Diskussion

### 5.1 Bestimmung der $K_\beta$ -Peaks

In diesem Versuch wurde das Röntgenspektrum verschiedener Metalle untersucht. Den auffälligsten Peaks dieses Spektrums wurde eine Gaußkurve angepasst und deren Schwerpunkt und Breite bestimmt. Mit diesen Ergebnissen (Tabelle 1) konnten die Energien der  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Linien bestimmt werden. Leider konnten wir während der Durchführung des Versuchs die  $K_\beta$ -Peaks nur bedingt ausfindig machen. Ein Grund dafür wurde in der Auswertung schon angegeben und soll hier weiter erläutert werden. Unserer Vermutung nach wurde der falsche Kollimator bei der Aufnahme der Röntgenspektren verwendet. Wir wollen nun auf zwei Fälle eingehen. In einem, wollen wir annehmen der Kollimator habe einen zu großen Durchmesser gehabt (Fall 1), in dem anderen, einen zu geringen (Fall 2):

- Fall 1: Der Kollimatordurchmesser war zu groß. Dadurch kam zu viel Strahlung bei der Probe an was wiederum zur Folge hat dass, die Strahlung bis in tiefere Ebenen dringt und dort vlt. andere Strahlungseffekte auftreten die am Detektor ausschlagen.
- Fall 2: Der Kollimatordurchmesser war zu klein. Dadurch kam zu wenig Strahlung an der Probe an, welche nicht tief genug in die Probe eindringen konnte und eventuell Verunreinigungen an der Oberfläche der Probe stärker aufgenommen hat.

Um diese sowie andere mögliche Ursachen, unserer Messschwierigkeiten zu überprüfen sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig. Es würde sich zum Beispiel anbieten die Messungen der Ti, Cu, Fe, und Ni Proben noch einmal mit anderen Kollimatoren durchzuführen.

### 5.2 Mosley'sches Gesetz und Rydbergenergie $E_R$

Mit den Ergebnissen aus Tabelle (1) wurde anschließend in Teil 4.3 überprüft ob man mit unseren Messwerten, die Abschirmkonstante  $\delta_{12}$  und die Rydbergenergie  $E_R$  der  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Linien, über das Moseleysche Gesetz (1), akkurat bestimmen kann. Dafür wurden die Messwerte linear gefittet (Diagramm 4.3.2 und 4.3.3). Die Errechneten Fitwahrscheinlichkeiten der  $\chi^2$ -Methode, zur Bestimmung der Fitgüte der Geraden betragen:

Fitwahrscheinlichkeit für  $K_\alpha = 31.0\%$

Fitwahrscheinlichkeit für  $K_\beta = 44.0\%$

Dies deutet auf mittelmäßige Korrelation der Messwerte, mit den Vorhersagen des Mosleyschen Gesetzes (1). Dies ist durchaus zufriedenstellend da es sich bei dem Gesetz erstmalig nur um eine Näherung handelt, welche die Feinstruktur außer acht lässt und wir sowieso einen hohen systematischen Fehler unserer Messwerte aufgrund der schlechten Auflösung der  $K_\beta$ -Peaks, vermuten.

Aus der Analyse der  $K_\alpha$ - und  $K_\beta$ -Linien ergeben sich folgende Werte für die Rydbergenergie  $E_R$  und Abschirmkonstante  $\delta_{12}$ :

Peak	Errechneter Wert	Literaturwert	Abweichung
$K_\alpha$	$\delta_{12} = 1.377 \pm 0.220$	$\delta_{12} = 1.0$	$1.71\sigma$
	$E_R = 14.077 \pm 0.248 \text{ [keV]}$	$E_R^{lit} = 13.605693(84) \text{ [keV]}$	$1.90\sigma$
$K_\beta$	$\delta_{12} = 1.377 \pm 0.220$	$\delta_{12} = 1.8$	$4.44\sigma$
	$E_R = 13.678 \pm 0.786 \text{ [keV]}$	$E_R^{lit} = 13.605693(84) \text{ [keV]}$	$0.09\sigma$

Table 3: Ergebnisse der Rydberenergie und Abschirmkonstante aus den Messwerten.

Hierbei ist auffällig wie  $\delta_{12,\beta}$  mit seiner außergewöhnlich hohen, und  $E_{R,\beta}$  mit seiner außergewöhnlich niedrigen, Abweichung vom Literaturwert aus den Werten der  $K_\alpha$  heraussticht. Es muss also sicher irgend ein Messfehler gegeben haben bei der Bestimmung der  $K_\beta$ -Peaks auch wenn die erstaunliche Genauigkeit der Rydbergenergie in dem Fall doch überrascht. Die hohe Ungenauigkeit bei der Abschirmkonstante hingegen, ist wahrscheinlich einfach nur der geringen Menge an brauchbaren Messdaten zu verschulden. Hätten wir besser sichtbare Peaks bekommen dann würde die Genauigkeit, der der Werte aus den  $K_\alpha$ -Peaks ähneln.

### 5.3 Spektralanalyse von Legierungen

Aufgrund der recht hohen Unzuverlässigkeit was unsere  $K_\beta$ -Peaks angeht, haben wir unseren Fokus auf die  $K_\alpha$ -Linien gelegt, um die charakteristischen Peaks bei unbekannten Legierungen zu suchen. Wir konnten einige Legierungen relativ Problemlos identifizieren. Die Proben 1,2 und 3 waren leicht als Edelstahl, Messing und Messing zu identifizieren. Auch bei der Analyse der 2 CHF Münze waren recht eindeutig zwei Peaks zu sehen die jeweils Nickel und Kupfer zuzuordnen waren. Der Magnet erwies sich jedoch als unmöglich (Abbildung 6); Es waren viel zu viele Peaks die nicht wirklich sinnvoll erschienen. Wir konnten sowohl Edelgase wie Krypton nachweisen, sowie Selen und Arsen welche wir als zu selten, oder zu kompliziert zu realisieren einstufen. Eisen ist das einzige Element das wir sicher als Bestandteil des Permanentmagneten einordnen konnten. Vom Aussehen her haben wir uns gedacht, dass es sich bei dem Permanentmagneten evtl. um einen Neodym-Magneten handeln könnte, diese bestehen aus Nd, Fe und Bohr-Mischungen sind aber bekannt dafür, für ihre Größe besonders stark zu sein, was wir in unserem Fall nicht sicher ausschließen oder bestätigen konnten.

### 5.4 Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen das der Versuch auf jeden Fall interessant war. Man konnte sich sehr leicht erschließen wozu das Wissen und die Verwendete Technik verwendet werden würde. Der letzte Teil hat einen gewissen "Aha"-Moment, mit sich gebracht in dem man Verstanden hat wozu das Gelernte eigentlich gut ist. Aber das ist meistens von subjektiver Relevanz für einen. Die Ursache für die schlechte Auflösung der  $K_\beta$ -Peaks, konnten wir leider anhand unserer Messdaten, nicht ausfindig machen. Es sind wohl weitere Untersuchungen nötig. Abgesehen davon ist der doch noch als Erfolg einzustufen da, wir im Endeffekt alle simpleren Legierungen korrekt identifizieren konnten und unsere Errechneten Werte für Rydbergenergie  $E_R$  und Abschirmungskonstante  $\delta_{12}$  sich zumindest für die  $K_\alpha$ -Berechnungen im 1 bis  $2\sigma$ -Bereich befinden und damit auf jeden Fall nicht signifikant vom Literaturwert abweichen