

T6: Röntgenfluoreszenzspektroskopie

Jonas Colve, Matrikelnr. 377593
Anna Stollenwerk, Matrikelnr. 381103
Gruppe 43

13.03.2020

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
2 Methode zum Finden der Peaks	3
3 Bestimmung der Übergänge	4
4 Röntgenröhre	4
4.1 Leermessung	5
4.2 Kalibrierung	6
4.3 Bestimmung der unbekannten Proben	10
4.3.1 Iodtablette	10
4.3.2 Magnet	11
4.3.3 Computerchip	12
4.3.4 Tigerauge	13
4.3.5 Alufolie	14
4.4 Auswirkungen der Aufnahmeeinstellungen	15
4.4.1 Einfluss der Spannung	15
4.4.2 Pileup Rejection	17
4.5 Energieauflösung	19
5 Americium als Quelle	20
5.1 Leermessung	21
5.2 Kalibrierung	22
5.3 Energieauflösung	25
6 Vergleich der beiden Aufbauten	26
7 Anhang	28
7.1 Quelle der Literatur-Energiewerte der Übergänge	28
7.2 Quellen für Zusammensetzung der Proben	28

1 Einleitung

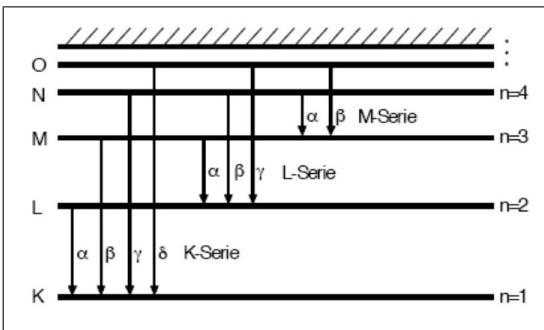


Abb. 1: Schema zur Bezeichnung der char. Übergänge¹

dieses frei gewordene Niveau energetisch günstiger als die darüber liegenden ist, wird es von einem Elektron aus den höher liegenden Schalen besetzt. Wegen der überschüssigen Energie sendet es dabei ein Photon aus. Über dessen Frequenz kann dann der Energieunterschied der einzelnen Niveaus bestimmt werden, der für jedes Element charakteristisch ist.

Da dieser Übergang nicht nur zwischen zwei Niveaus, sondern zwischen allen erlaubt ist, werden die Übergänge nach den Schalen, also den Energieniveaus benannt, zwischen denen sie stattfinden. Das Schema zur Bezeichnung ist in Abb.(1) zu sehen. So bezeichnet man z.B. einen Übergang von der M- zur K-Schale als K_{β} . Bekommt man eine Aufspaltung der Energieniveaus durch zum Beispiel Magnetfelder, bekommen die griechischen Buchstaben nochmal Zahlen als Indizes.

Dabei ist α am niederenergetischsten und die K-Serie am energiereichsten. Dabei sind Übergänge zwischen den innersten Schalen am wahrscheinlichsten, da der Impuls erhalten werden muss, der durch das Herausschlagen des Elektrons entsteht. Da dieser nur vom Kern absorbiert werden kann, ist die Reaktion wahrscheinlicher für Elektronen die ihm nahe sind. Außerdem sind Übergänge mit niedriger Energiedifferenz wahrscheinlicher. Bei zu leichten Elementen ist kein charakteristisches Spektrum zu sehen, da das ausgesandte Photon von den anderen Atomen des Materials reabsorbiert wird. Die Energie eines Übergangsphotons lässt sich mit

$$E_{\gamma} = 13,6 \text{ eV} \cdot (Z - S)^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

berechnen, wobei Z die Kernladungszahl des Elements, S die effektive Kernladungsabschirmung, m der Index der Ziel- und n der Index der Startschale ist.

2 Methode zum Finden der Peaks

Um ein Röntgenspektrum auszuwerten, müssen den zu sehenden Peaks Energien zugeordnet und mit dem richtigen Übergang identifiziert werden. Um die Peakposition aus dem Histogramm zu extrahieren, wird zunächst das globale Maximum bestimmt. Danach werden die Werte links und rechts des Maximums untersucht. Dabei wird immer eine bestimmten Anzahl an Werten gemittelt, bis diese Mittelwerte nicht mehr weiter abfallen. Diese Werte links und rechts bilden dann den Bereich des höchsten Peaks, welcher dann als abgearbeitet gilt. Diese Schritte werden wiederholt, bis das übrig gebliebene globale Maximum einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet.

An die so gefundenen Peaks werden dann Gaußfunktionen mit konstantem Offset gefüttet. Grenzen allerdings zwei Peakbereiche direkt aneinander, werden die Gaußfunktionen der

In diesem Versuch sollen unbekannte Elemente über ihr charakteristisches Röntgenspektrum identifiziert werden. Als Strahlungsquellen werden eine Röntgenröhre und eine Americium-Quelle benutzt.

Dieses charakteristische Spektrum entsteht durch die quantisierten Energieniveaus der an ein Atom gebundenen Elektronen. Wird ein Material bestrahlt, können Elektronen aus niedrigen Energieniveaus aus ihren Energieniveaus herausgeschlagen werden, da alle höheren Niveaus wegen des Pauli-Prinzips verboten sind auf die das Elektron angeregt werden könnte. Da die-

¹Quelle: https://institut2a.physik.rwth-aachen.de/de/teaching/praktikum/Anleitungen/T06_20190213.pdf

beiden addiert angepasst, da es sich dann wahrscheinlich um einen Doppelpeak handelt. Als Fehler auf die so erhaltene Peakposition wird der Fehler des Fits verwendet. Um die Übergänge Elementen und deren Linien zuzuordnen, wird die 'NIST Database' verwendet, die auch im Anhang unter 'Quelle der Literatur-Energiewerte der Übergänge' verlinkt ist.

3 Bestimmung der Übergänge

Wenn man eine ungefähre Kalibrierung der Histogramme erreicht hat, kann man mithilfe von Bayesian Inference ein Wahrscheinlichkeitsmaß aufstellen, zu welchem Übergang ein gefundener Peak gehört:

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Peak um $\bar{E} \pm \sigma_E$ zu einem Übergang mit $E_{lit} \pm \sigma_{E_{lit}}$ gehört ergibt nach Bayes:

$$P(E_{lit}|\bar{E}) \propto P(\bar{E}|E_{lit}) \cdot P(E_{lit})$$

mit

$$P(\bar{E}|E_{lit}) \propto \frac{1}{\sqrt{\sigma_{E_{lit}}^2 + \sigma_E^2}} e^{-\frac{(\bar{E}-E_{lit})^2}{2(\sigma_{E_{lit}}^2 + \sigma_E^2)}}$$

$$P(E_{lit}) \propto \frac{1}{|\{E_{lit}\}|}$$

Um die Anzahl der zu vergleichenden Übergänge zu reduzieren, kann man meist anhand von Position und Höhe des Peaks feststellen zu welcher Linie, oder welchem Element er gehört. Dies lässt sich auch mehrfach anwenden, sodass sich aus einer Reihe von Peaks eine Wahrscheinlichkeit für ein Element in der Probe ergibt.

4 Röntgenröhre



Abb. 2: Aufbau des Versuchs mit Röntgenröhre, links mit geschlossener, rechts mit offener Abschirmung

Bei diesem Versuchsteil wird als Strahlungsquelle die Röntgenröhre 'Mini-X' und den 'X-123SDD' Detektor von Amptek² verwendet. Diese sind wie in Abb.(2) zu sehen angeordnet. Gemessen wurden immer 5 Minuten bei einem Gain von 23.800. An die Röntgenröhre wird eine Spannung von 50kV und ein strom von 50 μ A angelegt. Der Detektor ist ein Multichannel analyzer, sodass die Anzahl an Ereignissen nicht über die Energie, sondern über die Kanalzahl angegeben wird. Diese Umrechnung wird durch die Kalibrierung bestimmt. Da

bei einer Messung das Spektrum des Aufbaus selbst auch mitgemessen wird, wird eine Leermessung durchgeführt, die von allen späteren Messungen abgezogen wird.

Um eine Messung durchzuführen, wird eine Probe auf das in Abb.(2) Fadenkreuz gelegt und die Abdeckung wird vorsichtig zugeschoben und der Pin an der linken Seite wird runtergedrückt. Erst dann lässt sich die Hochspannung an machen. Nachdem dies getan und die Stromstärke sich stabilisiert hat, wird mit Hilfe des Messprogramms ADMCA die Messung gestartet.

4.1 Leermessung

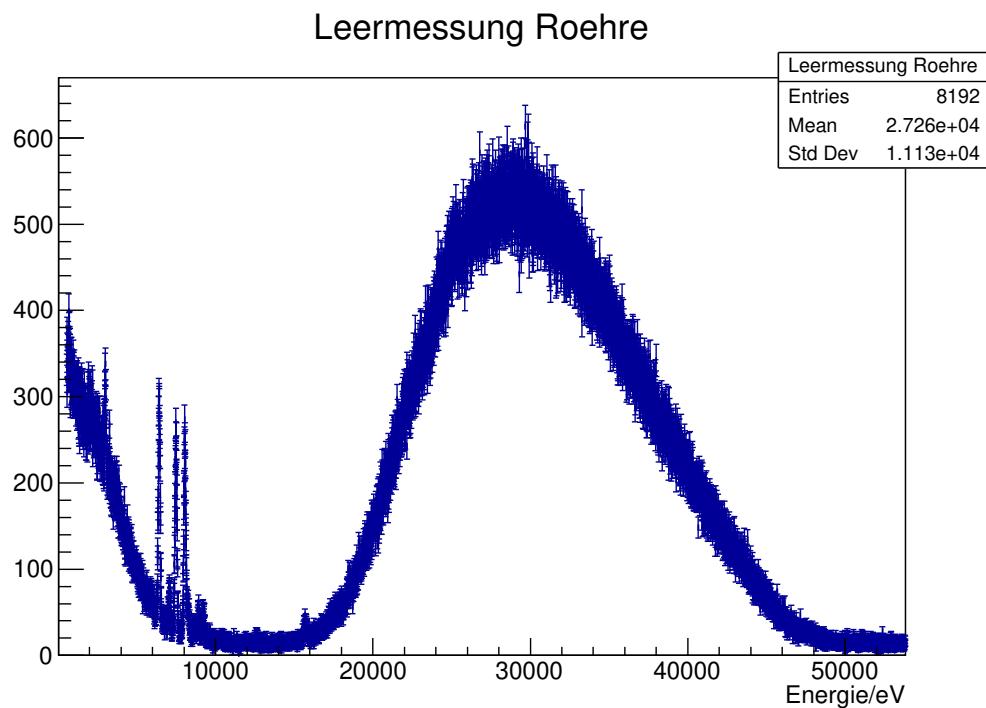
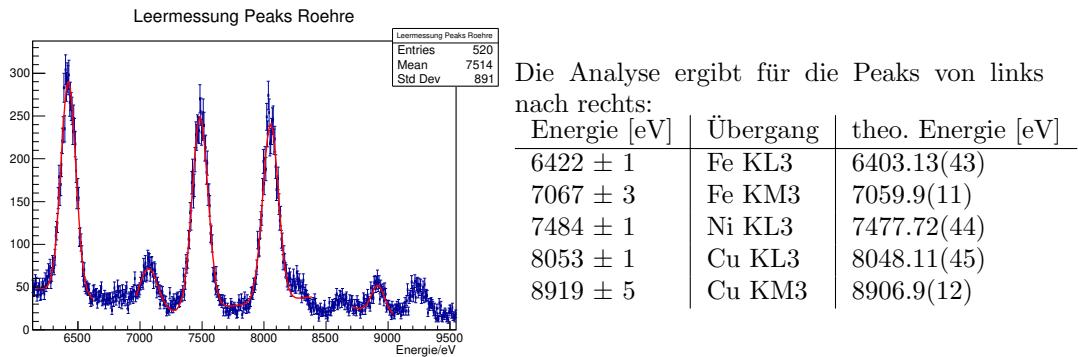


Abb. 3: Spektrum der Leermessung. Die Kanalnummern wurden schon auf die Energie kalibriert (siehe nächster Abschnitt)

In Abb.(3) ist das Spektrum des leeren Röntgenröhrenaufbaus zu sehen. Die Fehler auf die Messwerte stammen aus der Kalibrierung, die im nächsten Abschnitt beschrieben wird. Die hohen Werte bei niedrigen Energien kommen wahrscheinlich von allgemeiner Strahlung, die durch den Aufbau entsteht. Der große Anstieg zwischen ca. 20-45 keV ist das kontinuierliche Spektrum der Bremsstrahlung, welches vor 50 keV endet, da dies die Beschleunigungsspannung der Elektronen ist.

Um die Peaks zu bestimmen, wird an den Energiebereich zwischen 6000 und 9500 eV rangezoomt. Die Peaks werden wie oben beschrieben bestimmt.

²Produktseite: <https://www.amptek.com/products/complete-xrf-experimenters-kit>



Die gemessenen Werte stimmen zwar nicht perfekt mit den theoretischen Werten überein, allerdings sind dies die Wahrscheinlichsten Übergänge, wenn die Höhe und die Elemente mit berücksichtigt werden. Diese Peaks kommen also von der Abdeckung, die zum Teil aus Eisen, Nickel und Kupfer besteht.

4.2 Kalibrierung



Abb. 4: Kalibrationsproben: Stahl, Silber, Molybdän, Kupfer

Für die Umrechnung von Binnummer auf Energie, werden zunächst die Spektren bekannter Proben untersucht. Verwendet wird Stahl, Silber und Kupfer. Wobei Stahl³ hauptsächlich aus Eisen, Molybdän und Nickel besteht. Die gefundenen Peaks werden dann aufgrund ihrer Höhe und relativen Positionen zueinander zu ihren Energiewerten zugeordnet. Damit ergeben sich folgende Werte:

Element	Binnummer	Peakhöhe	zugeordneter Übergang	zugeordnete Energie [eV]
Kupfer	1221.458 ± 0.007	85860 ± 70	KL3	8048.11(45)
	1351.705 ± 0.020	12690 ± 30	KM3	8906.9(12)
Silber	453.74 ± 0.09	1437 ± 18	L3M5	2 984.340(32)
	480.83 ± 0.21	868 ± 10	L2M4	3 150.974(36)
	3346.75 ± 0.01	71650 ± 50	KL2	21990.67(72)
	3774.63 ± 0.03	11649 ± 20	KM2	24912.8(15)
	3851.65 ± 0.12	2042 ± 14	KN2	25455.6(29)

Graph

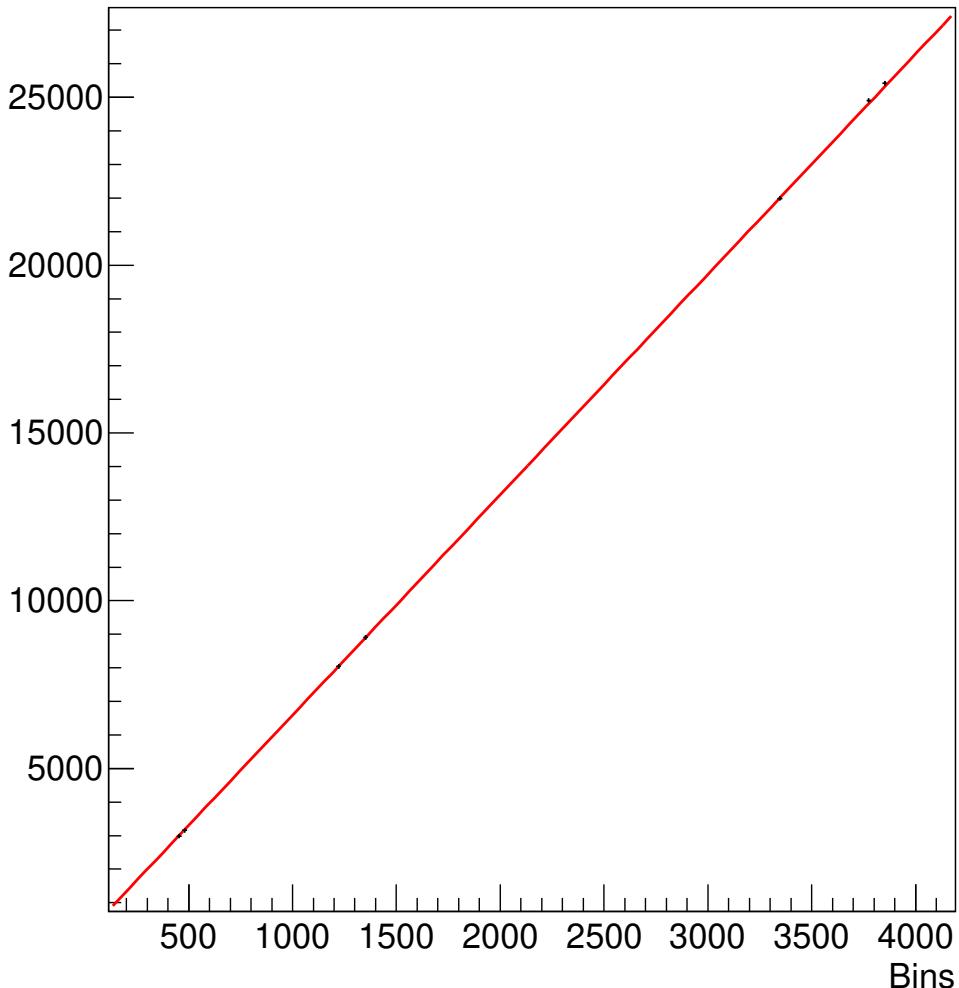


Abb. 5: Erste Kalibrierung Roentgenröhre

Damit ergibt sich für einen linearen Zusammenhang zwischen Binning und Energie:

$$E(n) = C + A \cdot n$$

mit

$$C = 25.8888 \pm 0.0945 \text{ eV}$$

$$A = 6.5673 \pm 0.0001 \text{ eV}$$

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 17722$$

allerdings sind die Fehler der Parameter stark unterschätzt, da auch die Fehler auf die Peakpositionen stark unterschätzt sind, da die Peaks selten symmetrische Gausdistributionen sind, sondern oft einen Skew enthalten, der die durch hohes N kleinen Fehlern auf die Fitparameter erheblich vergrößern sollten. Außerdem kann oft nicht der genau Übergang mitsamt Feinstruktur festgestellt werden, was reale Fehler nochmal erhöht. Die unterschätzten Fehler

erkennt man auch an dem großen $\frac{\chi^2}{N_{DF}}$.

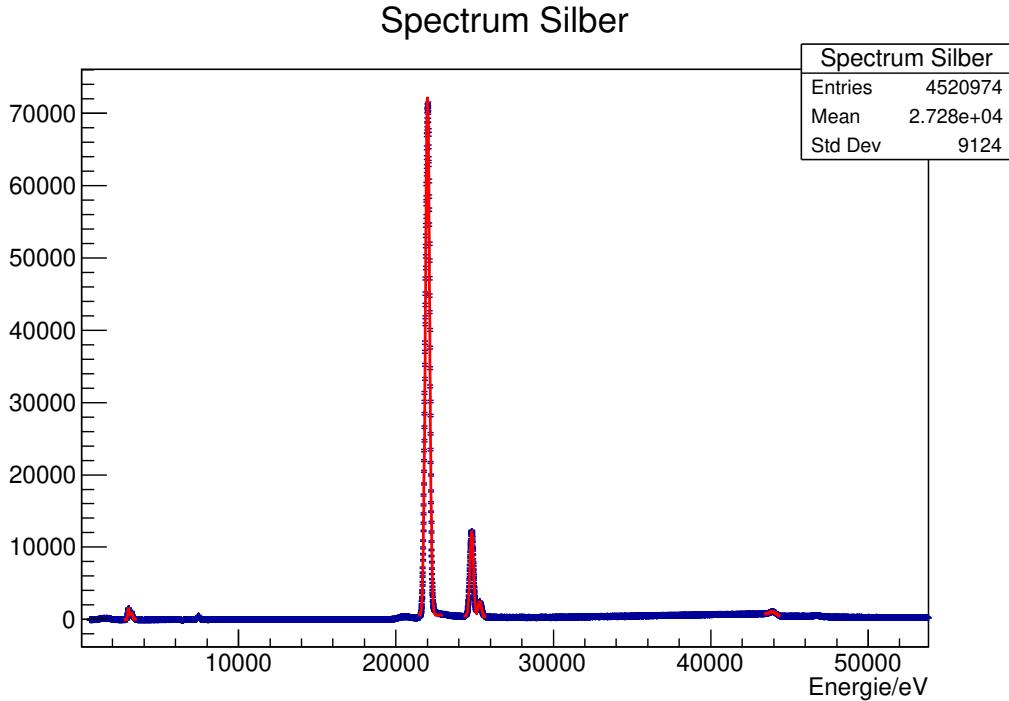


Abb. 6: Silber Spektrum nach erster Kalibrierung

Aus diesem Grund wird nun eine Zweitkalibrierung mithilfe von Bayesian Inference durchgeführt. Dafür wird wie oben beschrieben die Wahrscheinlichkeiten errechnet, dass der Peak zu einem bestimmten Übergang gehört. Danach wird gewichtet über die zugehörigen Literaturwerte gemittelt, sodass:

$$\bar{E}_{neu} = \sum_i P(E_i) E_i$$

$$\sigma_{Eneu} = \sum_i P(E_i) (E_i - \bar{E})^2$$

Dies ergibt die neuen zugeordneten Energien für die Peaks:

Element	Peakenergie	Peakhöhe	zugeordnete Energie [keV]
Kupfer	1221.458 ± 0.007	85860 ± 70	8.04 ± 0.02
	1351.705 ± 0.020	12690 ± 30	8.92 ± 0.05
Silber	453.74 ± 0.09	1437 ± 18	2.98 ± 0.03
	480.83 ± 0.21	868 ± 10	3.21 ± 0.08
	3346.75 ± 0.01	71650 ± 50	22.03 ± 0.11
	3774.63 ± 0.03	11649 ± 20	24.87 ± 0.07
	3851.65 ± 0.12	2042 ± 14	25.39 ± 0.14
	453.74 ± 0.09	1437 ± 18	2.98 ± 0.03
Stahl			

Graph

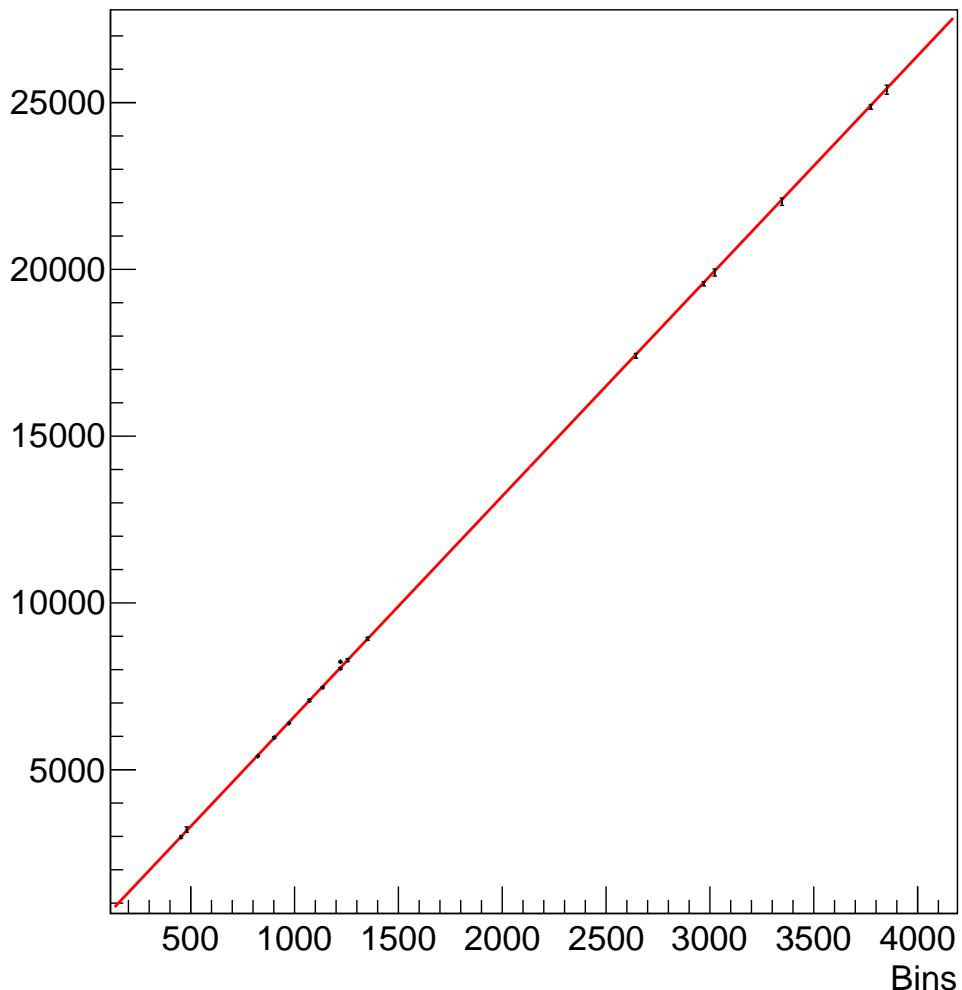


Abb. 7: Zweitkalibrierung Roentgenröhre

Damit ergibt sich eine neue Kalibrierung:

$$C = -1 \pm 17eV$$

$$A = 6.601 \pm 0.014eV$$

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 4.7$$

Es ist ersichtlich, dass diese Kalibrierung sich wesentlich besser eignet.

³<https://www.alloywire.de/products/stainless-steel-316/>

4.3 Bestimmung der unbekannten Proben

4.3.1 Iodtablette

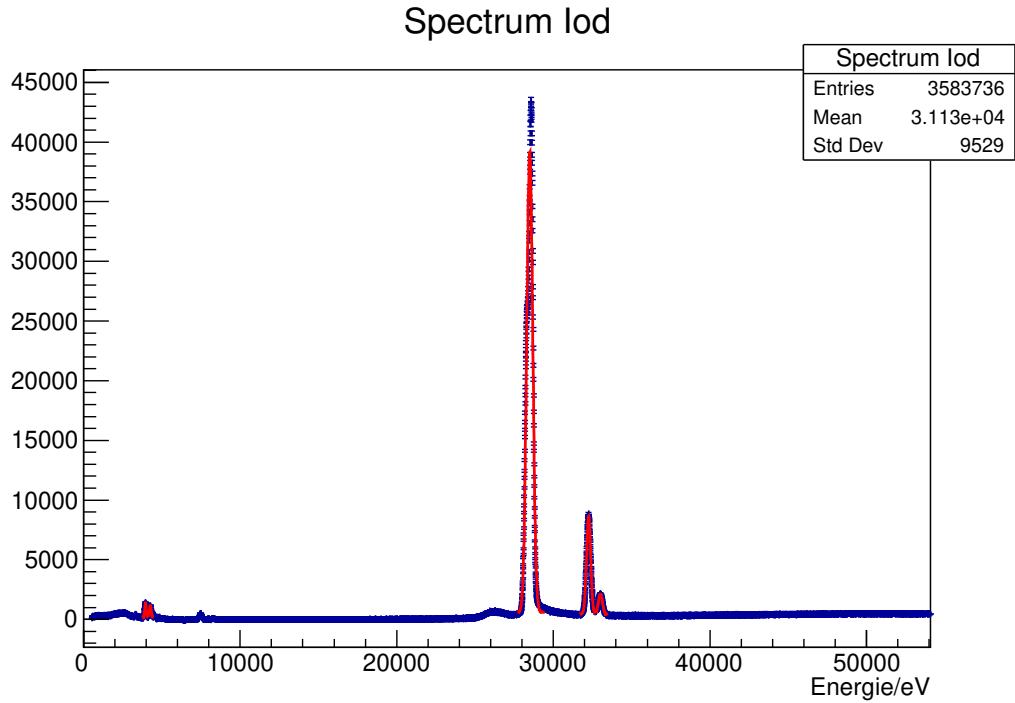


Abb. 8: Spektrum von einer Iodtablette, ohne Leermessung und kalibriert

In folgendem wird das Spektrum einer Iodtablette (Bild links) analysiert, welche in Aachen präventiv verteilt wurde, für den Fall das es zu einem Atomunfall kommt. Die Analyse ergibt folgende Übergänge:

Energie [keV]	Übergang	theo. Energie [eV]
3.954 ± 0.044	I L3M4	3926.9(11)
4.264 ± 0.060	I L1M2	4256.9(21)
28.498 ± 0.162	I KL3	28611.94(79)
32.236 ± 0.095	I KM2	32239.2(16)
33.047 ± 0.065	I KN1	32984.4(40)

Es werden also wahrscheinlich nur charakteristische Linien von Iod detektiert. Dies stimmt sehr gut mit der Erwartung überein. Andere Bestandteile der Tablette, wie beispielsweise Kalium, sind wahrscheinlich zu leicht um gemessen zu werden. Die Zusammensetzung kann in der im Anhang angegebenen Quelle leider teilweise nachgeschaut werden, da das entsprechende Pharmaunternehmen die genauen Bestandteile nicht Preis gibt.

4.3.2 Magnet

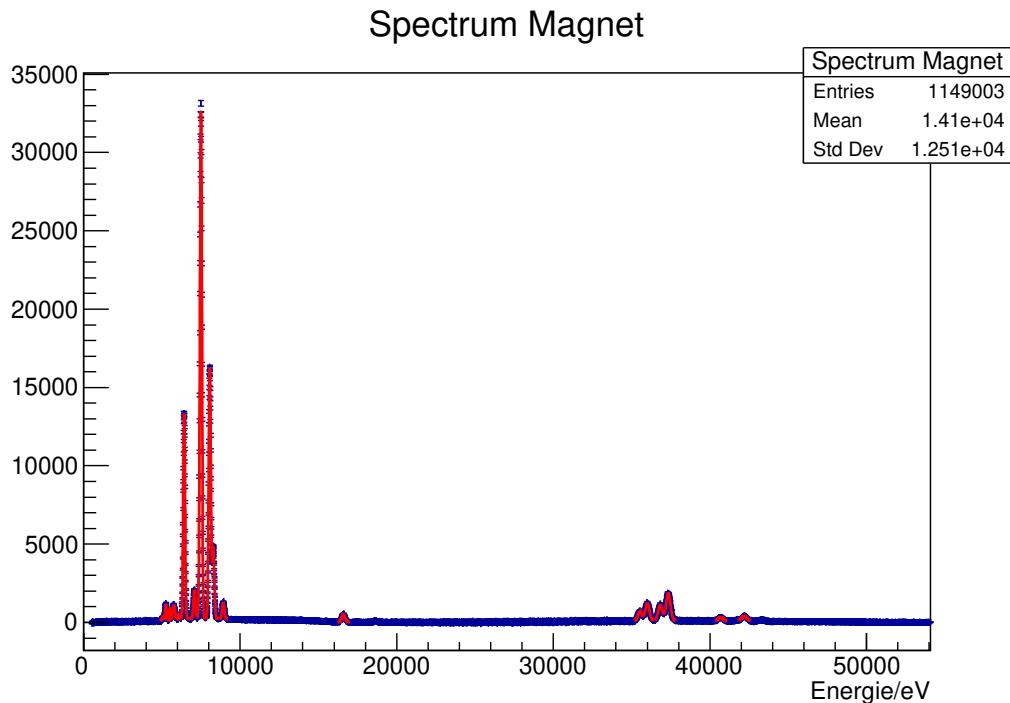


Abb. 9: Spektrum von einem Magneten, ohne Leermessung und kalibriert

Nun wurde ein kleiner kubischer Magnet untersucht. Seine Analyse ergab:

Energie [keV]	Übergang	theo. Energie [eV]
4.963 ± 0.010	Ti KN1	4971.09(18)
5.298 ± 0.023	Cr KL1	5293.35(50)
5.829 ± 0.071	Mn KL1	5769.18(54)
6.008 ± 0.072	Cr KM5	5986.97(26)
6.446 ± 0.051	Mn KM1	6455.7(15)
7.078 ± 0.040	Fe KM3	7059.9(11)
7.489 ± 0.057	Ni KL3	7477.72(44)
8.043 ± 0.040	Cu KL3	8048.11(45)
8.292 ± 0.044	Ni KM3	8267.6(11)
8.935 ± 0.048	Cu KM3	8906.9(12)
16.628 ± 0.078	Nb KL3	16615.65(56)
35.568 ± 0.160	Pr KL2	35550.5(11)
35.954 ± 0.127	Pr KL3	36026.27(98)
36.765 ± 0.121	Nd KL2	36848.2(11)
37.318 ± 0.085	Ba KN4	37347.7(52)
40.666 ± 0.163	Pr KN2	41754(16)

Also enthält der Magnet wahrscheinlich Mangan, Chrom, Nickel, Praseodym, Kupfer und Neodym, was typische Bestandteile eines Magneten sind.

4.3.3 Computerchip

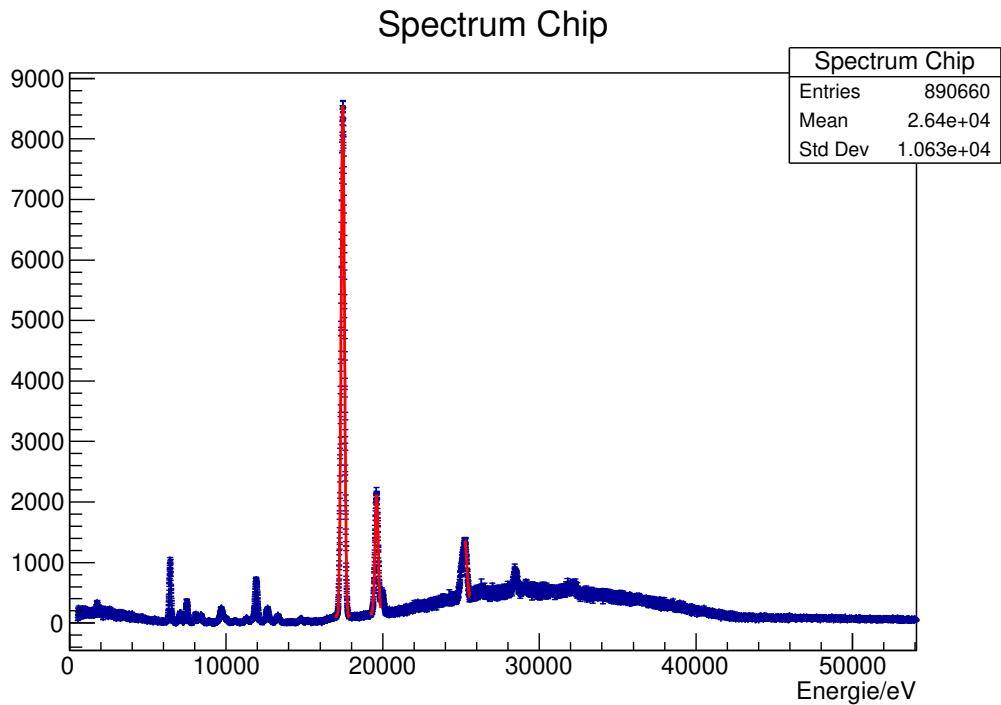


Abb. 10: Spektrum von einem Chips, ohne Leermessung und kalibriert, für die Peaks links wird ein weiterer Ausschnitt erstellt

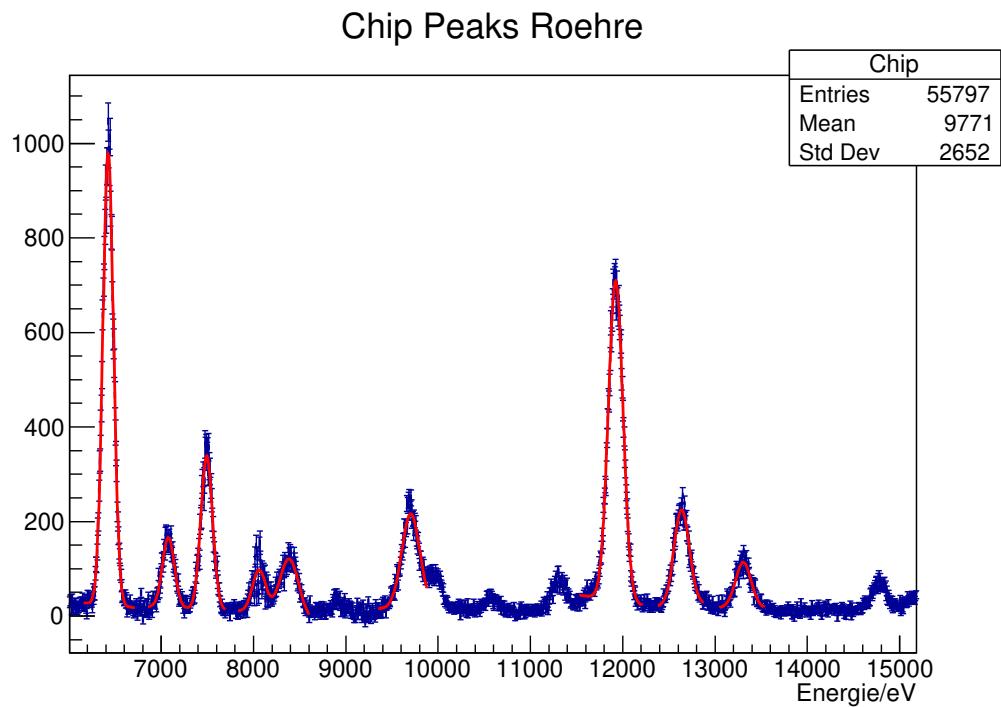


Abb. 11: Bereich des Spektrums von 6 keV bis ca 15 keV

Hier wird ein Handychip von Motorola analysiert. Über seine Zusammensetzung kann leider nicht viel gefunden werden. In der Tabelle werden zuerst die Peaks aus dem gesamten Spektrum und dann die aus dem Ausschnitt bestimmt:

Energie [keV]	Übergang	theo. Energie [eV]
17.484 ± 0.096	Mo KL3	17479.10(55)
19.619 ± 0.093	Mo KM3	19607.1(12)
25.252 ± 0.144	Sn KL3	25271.34(72)
6.447 ± 0.051	Fe KL3	6403.13(43)
7.077 ± 0.042	Fe KM3	7059.9(11)
7.488 ± 0.057	Ni KL3	7477.72(44)
8.028 ± 0.000	Cu KL2	8028.38(48)
8.047 ± 0.057	Cu KL3	8048.11(45)
8.341 ± 0.084	Ni KN1	8338.94(22)
9.661 ± 0.066	Ge KL1	9692.08(84)
11.868 ± 0.038	Br KL3	11924.02(48)
12.620 ± 0.045	Se KN1	12645.7(11)
13.332 ± 0.076	Br KM3	13292.1(12)

Der Chip enthält also mit hoher Wahrscheinlichkeit Molybdän, Eisen, Kupfer, Nickel, Brom und mit geringer Zinn, Germanium und Selenium.

4.3.4 Tigerauge

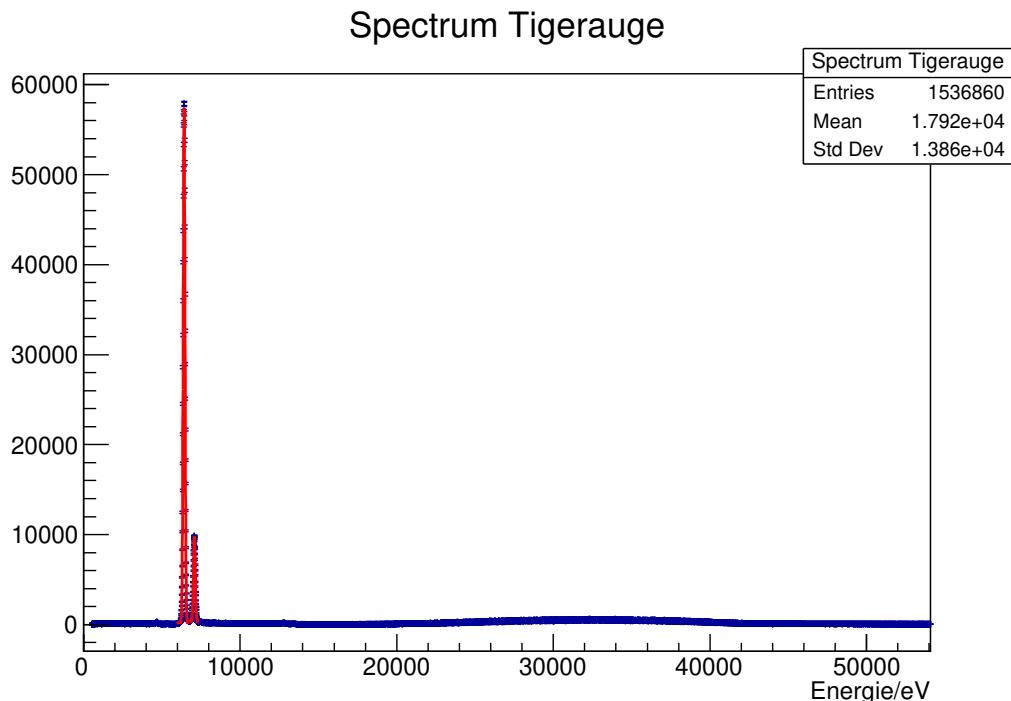


Abb. 12: Spektrum von einem Tigerauge, einem Quarz mit hohem Eisenanteil

Nun wurde ein Tigerauge untersucht, wobei Eisenpeaks erwartet werden.

Energie [keV]	Übergang	theo. Energie [eV]
6.445 ± 0.052	Fe KL3	6403.13(43)
7.076 ± 0.041	Fe KM3	7059.9(11)

Der Quarz enthält also tatsächlich Eisen. Andere Bestandteile sind wahrscheinlich zu leicht um detektiert zu werden.

4.3.5 Alufolie

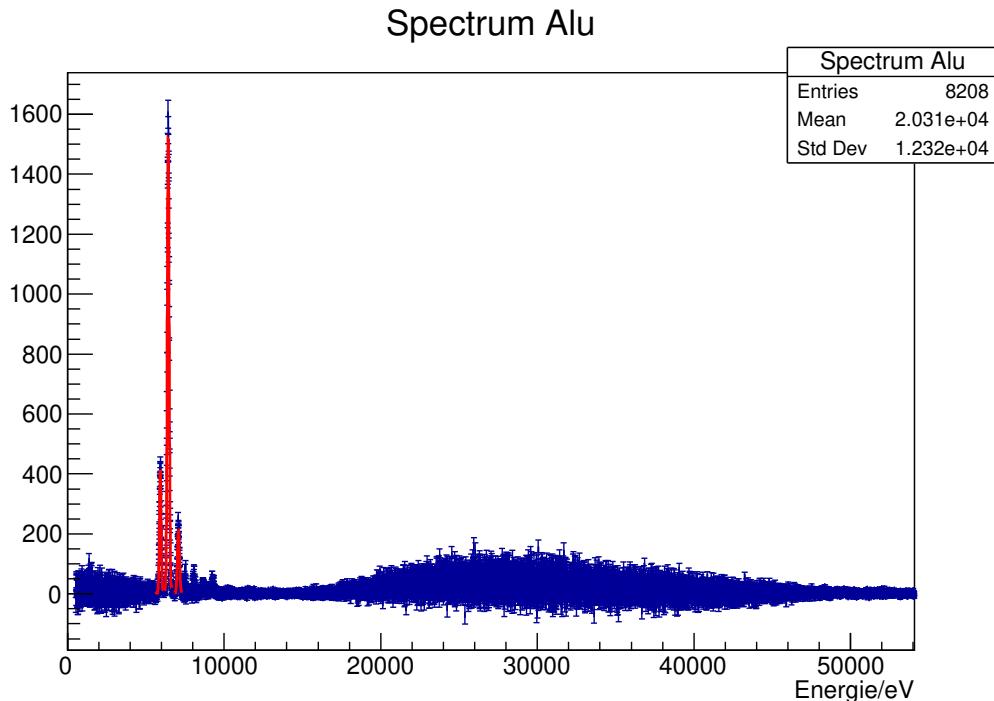


Abb. 13: Spektrum von einem Stück Alufolie

Energie [keV]	Übergang	theo. Energie [eV]
5.934 ± 0.038	Cr KM1	5914.2(15)
6.451 ± 0.052	Fe KL3	6403.13(43)
7.078 ± 0.041	Fe KM3	7059.9(11)

Die Folie enthält also viel Eisen und Chrom. Der Aluminiumanteil ist nicht messbar, da Aluminium zu leicht ist.

4.4 Auswirkungen der Aufnahmeeinstellungen

4.4.1 Einfluss der Spannung

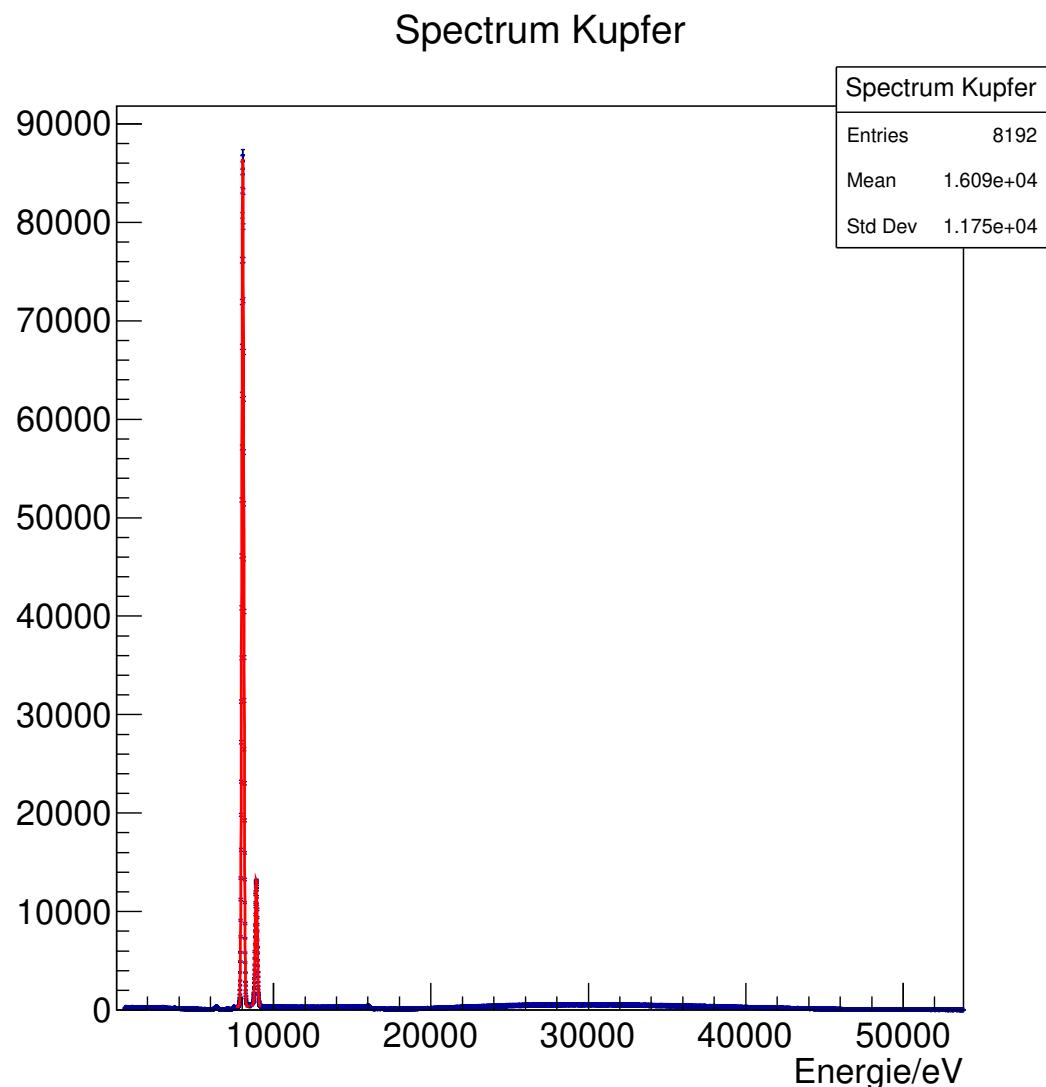


Abb. 14: Spektrum von Kupfer bei 50 kV

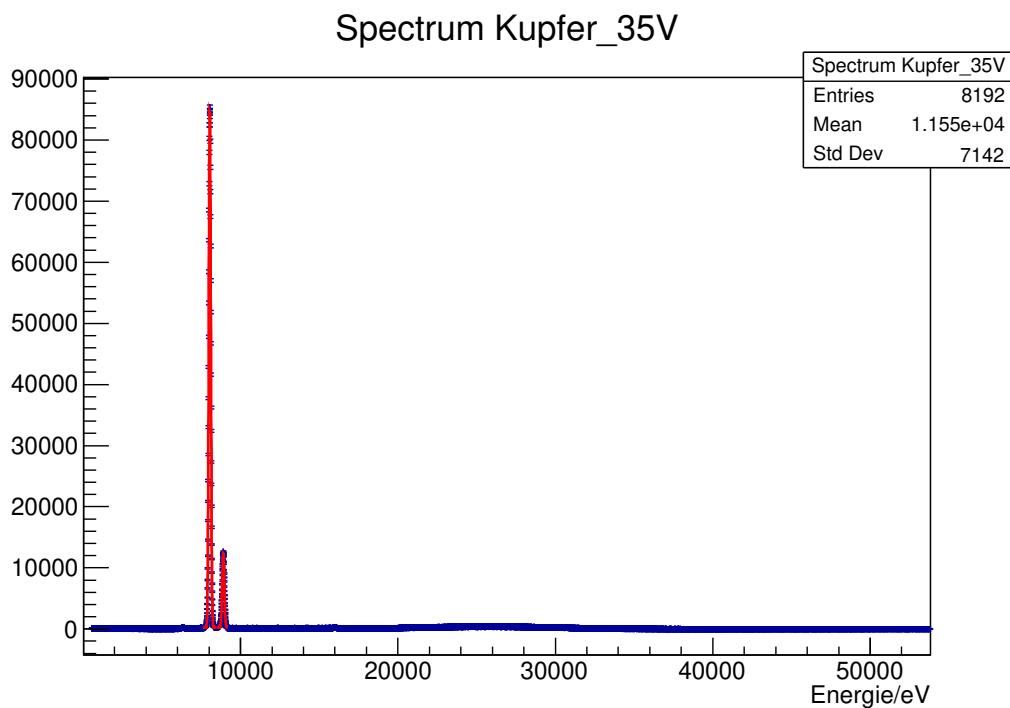


Abb. 15: Spektrum von Kupfer bei 35 kV

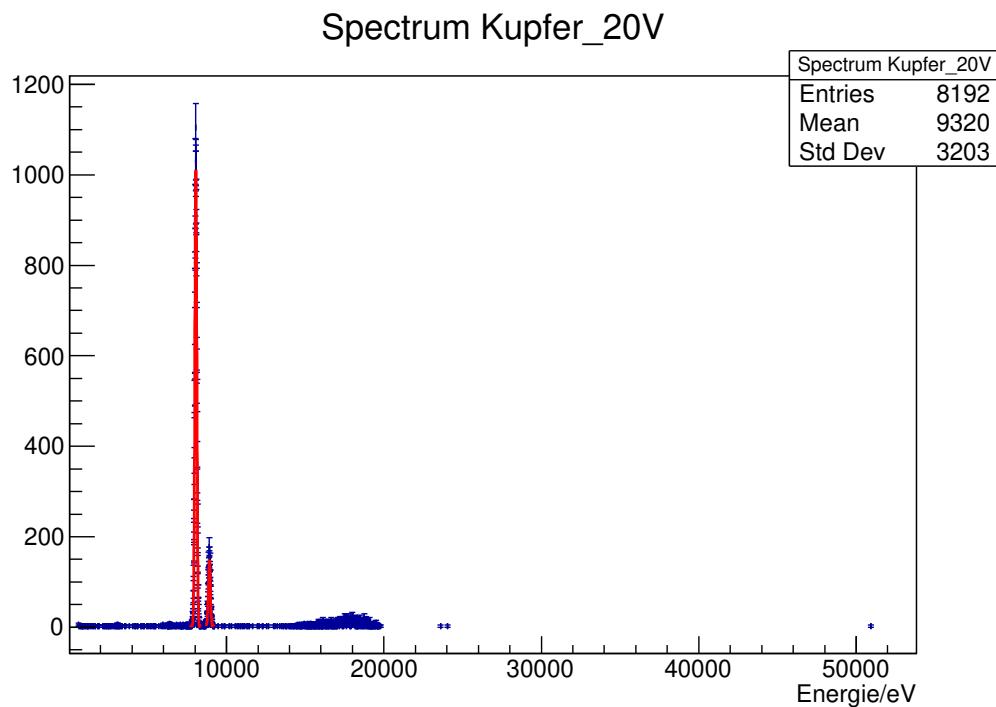


Abb. 16: Spektrum von Kupfer bei 20 kV

Um die Spektren vergleichen zu können, wurde das 35 kV Spektrum mit $\frac{50}{35}$, das 20 kV Spektrum mit $\frac{50}{20}$ skaliert. Es ist sofort auffällig, dass im Bereich zwischen 35 kV und 50 kV, die Rate offenbar annähernd proportional zur Spannung ist, da abgesehen von der Verschie-

bung des Ende des kontinuirlichen Bremsspektrums auf 35 kV die beiden Spektren beinahe identisch sind. 20 kV fällt offensichtlich aus diesem Proportionalitätsbereich, da die aufgezeichneten Raten, auch nach Skalierung, Größenordnungen unter denen der beiden anderen Spektren liegen.

4.4.2 Pileup Rejection

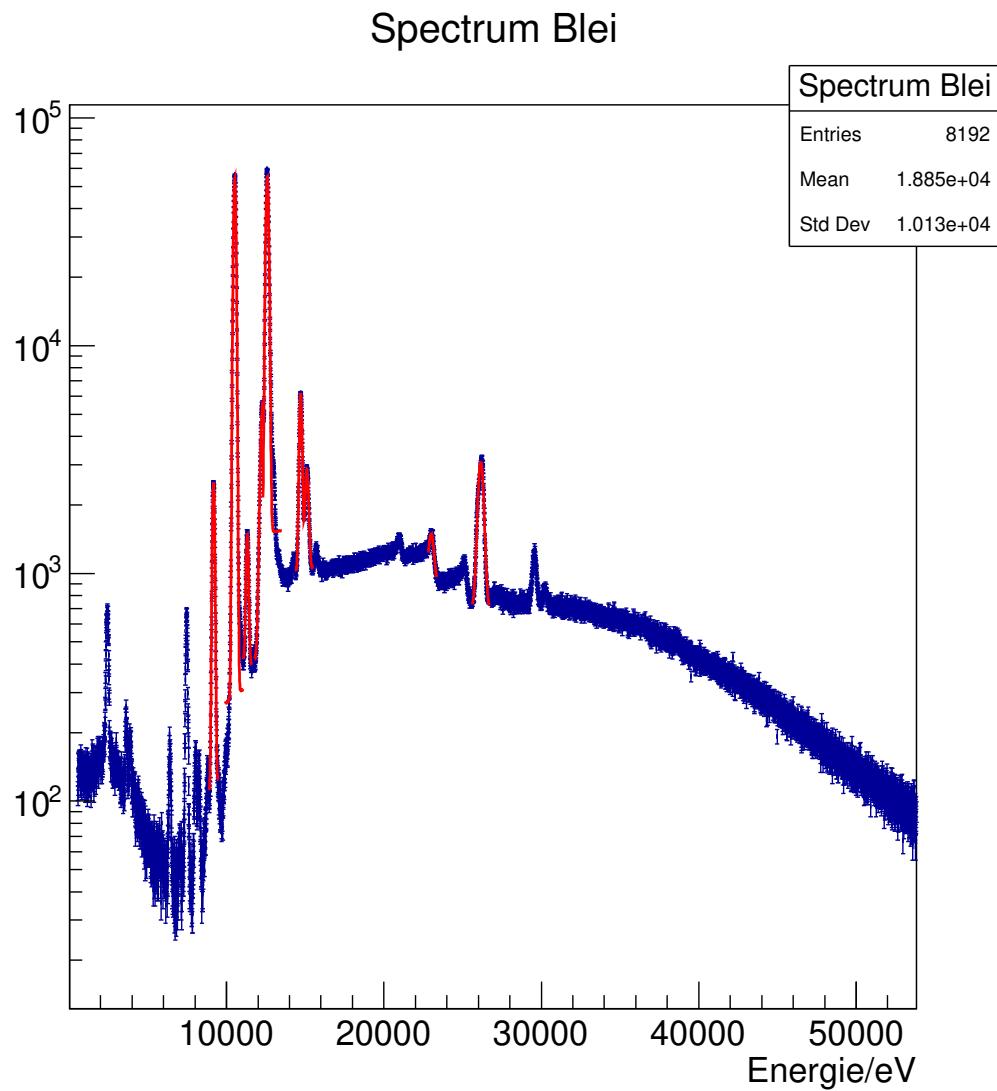


Abb. 17: Spektrum von Blei ohne Pileup Rejection

Spectrum Pickup_rejection

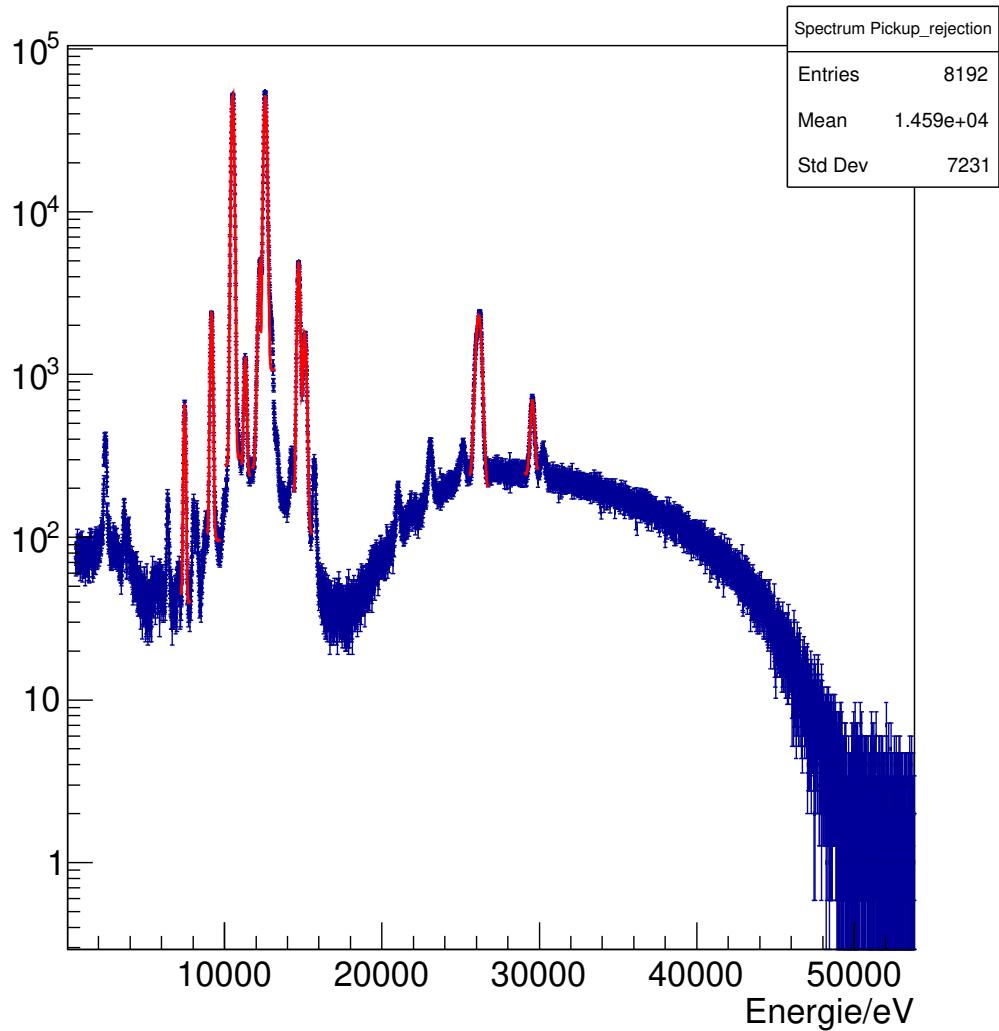


Abb. 18: Spektrum von Blei mit Pileup Rejection

Pileup Rejection sortiert alle Ereignisse aus, bei denen zwei oder mehr Photonen gleichzeitig detektiert werden. Bei Blei sinken damit die Ereignissraten drastisch und die klassische Form des Bremsspektrums ist besser zu sehen. Dadurch werden die charakteristischen Röntgenpeaks signifikant. Insgesamt hilft diese Funktion also dabei, die Röntgenlinien gegen den Untergrund besser zu erkennen.

4.5 Energieauflösung

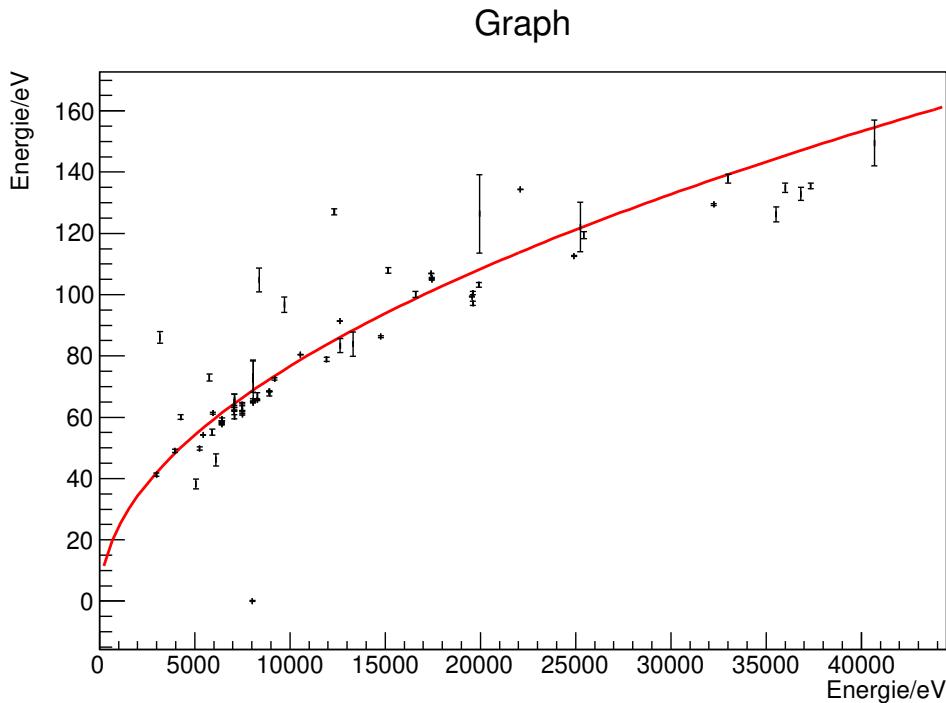


Abb. 19: Energieauflösung der Röntgenröhre, auf der x-Achse ist die Energie und auf der y-Achse die Breite des Peaks aufgetragen

Für die Bestimmung der Energieauflösung wurde die Breite der angepassten Gaußkurven über die ermittelte Peakposition aufgetragen und es wurde eine Wurzelfunktion an diese Werte gefittet. Der Fit hat eine Güte von 5328.86. Da hier aber nur der ungefähre Verlauf der Daten von Interesse ist, kann man trotz der schlechten Güte sagen, dass die absolute Energieauflösung einer Wurzelfunktion folgt. Die schlechte Güte ist wahrscheinlich wie bei der Kalibrierung ein Resultat, der zu kleinen Fehler auf Mittelwert und Standardabweichungen der Gaussdistributions.

5 Americium als Quelle

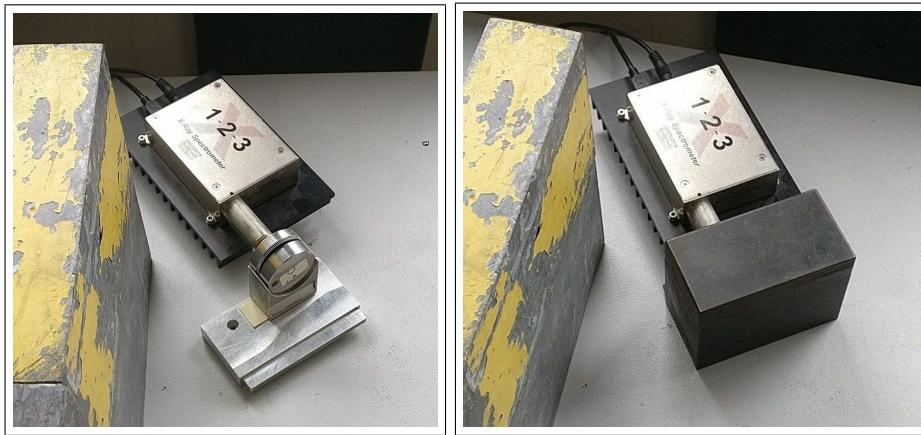


Abb. 20: Detektor und Americium-Quelle, links für die Kalibrierung, rechts für die Messung mit dem Stahlplättchen bei geschlossener Abschirmung

Bei diesem Versuchsteil wird als Strahlungsquelle 241-Americum verwendet. Diese emittiert zu 85.2 % α -Teilchen mit $E_\alpha = 5.484$ MeV und 12.5% mit $E_\alpha = 5.442$ MeV. Außerdem werden γ -Strahlen ausgesandt, die zu 35.3% Energien von $E_\gamma = 59.5$ keV haben und Röntgenstrahlung mit E_γ zwischen 12-22 keV. Als Detektor wird das 'X-123 X-Ray Spectrometer⁴' von AMETEK verwendet. Um die Spektren optimal auflösen zu können, wird ein passendes Gain eingestellt, indem der Gain-Wert so eingestellt wird, dass die höchstenergetische Linie am oberen Rand des Messbereiches liegt. Der so ermittelte Gain liegt bei $21 \times 0.9500 = 19.95$.

Für die Durchführung einer Messung wird für die Kalibrierung, also für den linken Aufbau, der in der Quelle eingebaute Probenteller auf das gewünschte Element gedreht. Zur Auswahl stehen Kupfer, Rubidium, Molybdän, Silber, Barium und Terbium. Dann wird wie im Bild zu sehen die Quelle bündig an den Detektor geschoben und die Messung wird über die ADMCA Software gestartet. Für die Messung von Stahl wird dieser und die Quelle in den im Bild linken Aufbau eingesetzt und die Abdeckung wird geschlossen. Der Detektor wird in die für ihn vorgesehene Öffnung des Bleiblocks geschoben. Für die Leermessung wird der Block ohne die Stahlprobe vermessen. Danach wird wieder einfach die Messung gestartet.

⁴<https://www.amptek.com/products/si-pin-x-ray-detectors-for-xrf/x-123-complete-x-ray-spectrometer-with-si-pin-detector>

5.1 Leermessung

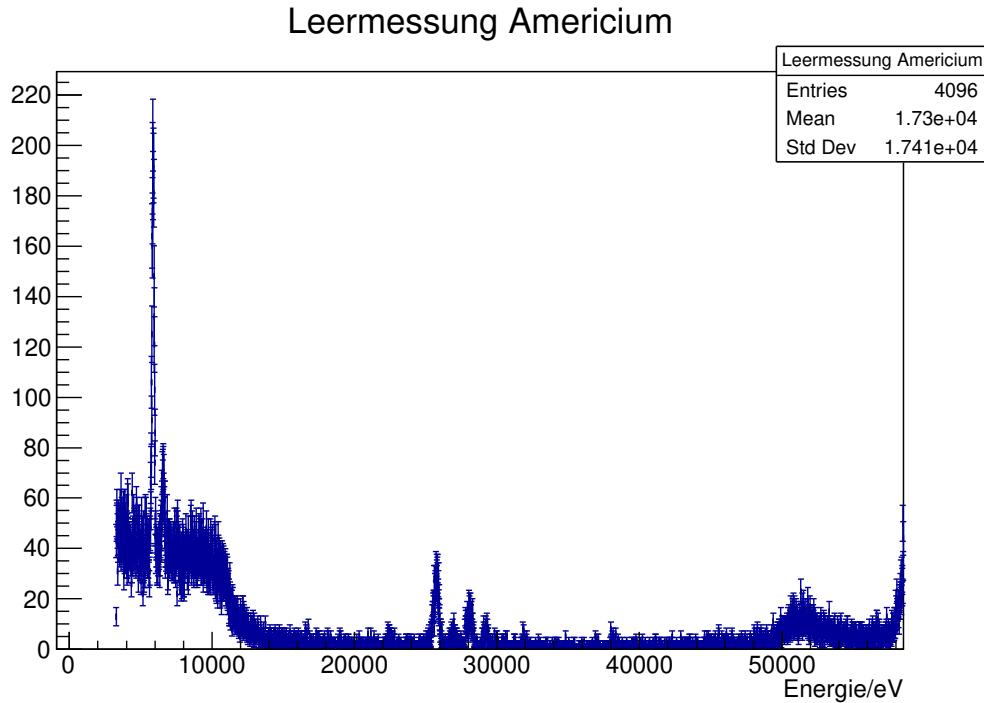
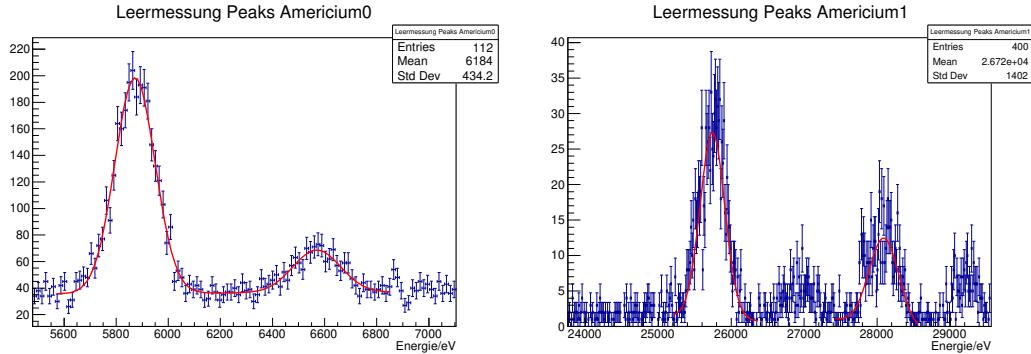


Abb. 21: Spektrum der Leermessung beim in Abb.(20) rechtem Aufbau. Die Kanalnummern wurden schon auf die Energie kalibriert

Bei diesem Aufbau ergibt sich das in Abb.(21) zu sehende Spektrum. Bei niedrigen Energien ist wieder allgemeine Hintergrundstrahlung zu sehen. Am rechten Rand des Histogramms sind die Gamma-Photonen mit $E_\gamma = 59.5$ keV zu sehen die das Americium ausstrahlt. Die Bestimmung der Peaks ergibt folgende Werte:



Energie [eV]	Übergang	theo. Energie [eV]
5872 ± 2	Mn KL2	5769.18(54)
6570 ± 9	Mn KN1	6544.46(20)
25744 ± 9	Sb KL1	25793.9(12)
28094 ± 15	Sn KL1	28316.1(12)

Demnach sind in der Abschirmung wahrscheinlich Mangan, Antimon und Zinn enthalten.

Wobei wieder die Höhen der Peaks und die Elemente berücksichtigt wurden. Allerdings ist es relativ unwahrscheinlich dass Antimon enthalten ist, da es relativ selten ist und keine Eigenschaften hat, die zur besseren Abschirmung von Strahlung beitragen.

5.2 Kalibrierung

Für die Kalibrierung werden die Elemente Kupfer, Rubidium, Molybdän, Silber, Barium und Terbium verwendet, deren Spektrum bekannt ist. Dann werden wie im vorherigen Versuchsteil die theoretischen Energien den Peaks zugeordnet. Die gefundenen Peaks und der lineare Fit sind im unten stehenden Graphen zu sehen.

Graph

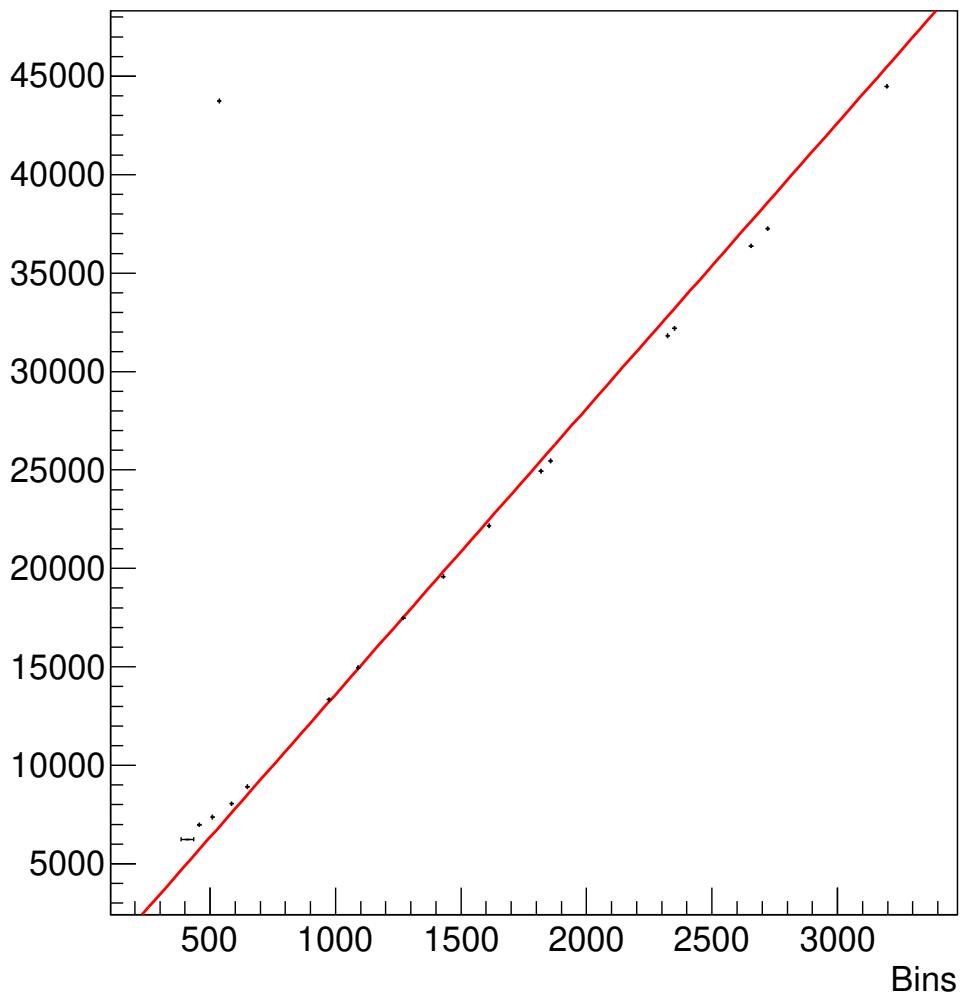


Abb. 22: Erste Kalibrierung Americium mit $E = A \cdot n + C$

Damit ergibt sich eine neue Kalibrierung:

$$C = -905.02 \pm 0.50\text{eV}$$

$$A = 14.5095 \pm 0.0004\text{eV}$$

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 7755246$$

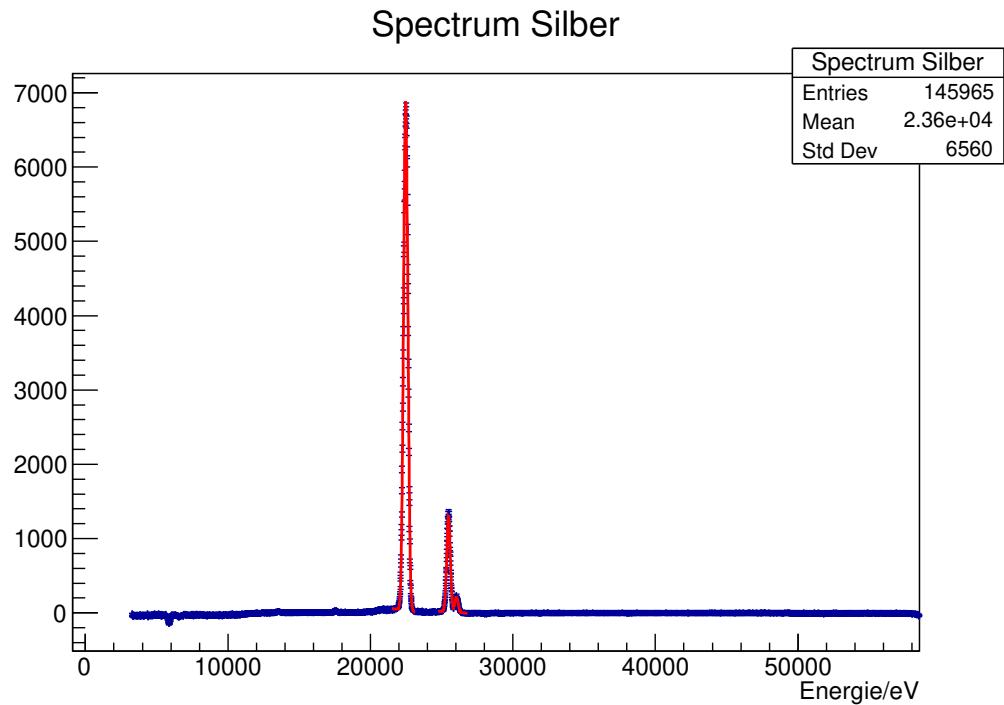


Abb. 23: Silber Spektrum nach erster Kalibrierung

Nach durch führen einer zweiten Kalibrierung wie oben beschrieben:

Graph

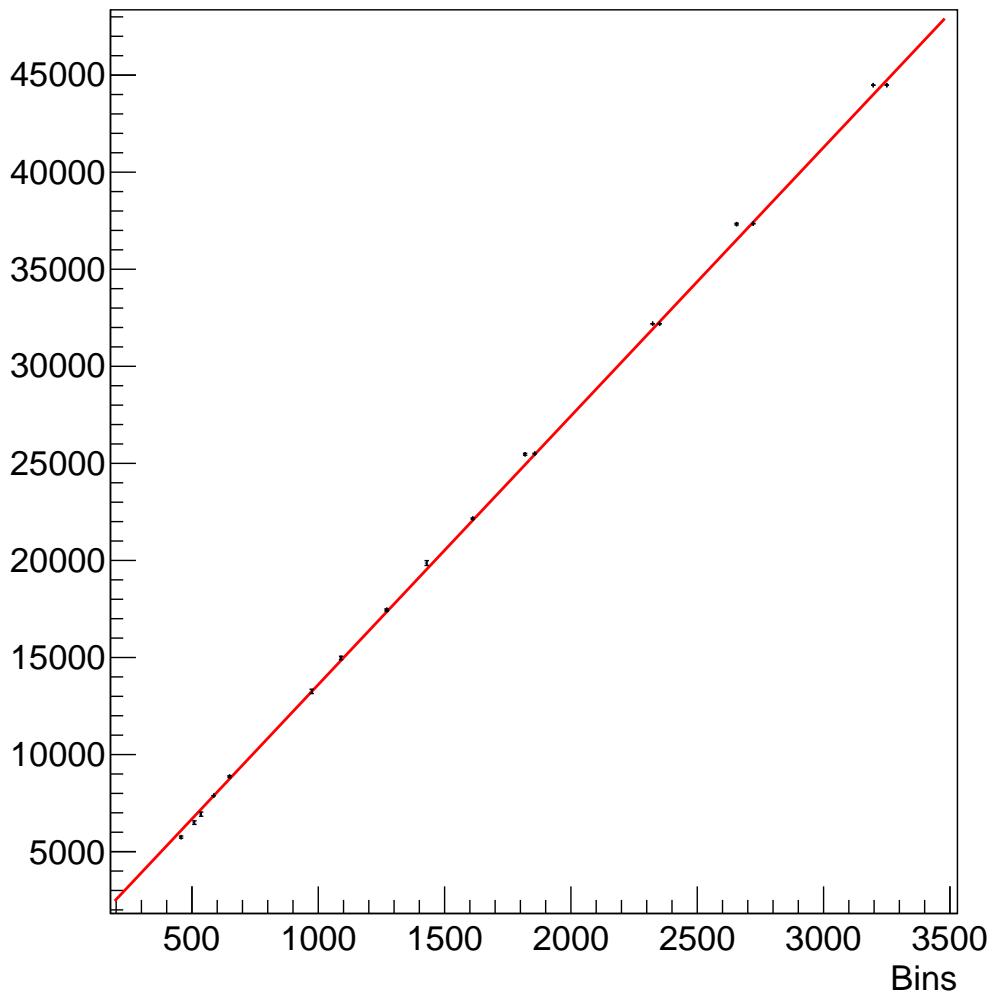


Abb. 24: Zweite Kalibrierung von Americium mit $E = A \cdot n + C$

Damit ergibt sich eine neue Kalibrierung:

$$C = -232 \pm 3eV$$

$$A = 13.836 \pm 0.001eV$$

$$\frac{\chi^2}{N_{DF}} = 15931$$

Hier ist die Methode offensichtlich nicht so erfolgreich, verbessert dennoch aber die Kalibrierung.

5.3 Energieauflösung

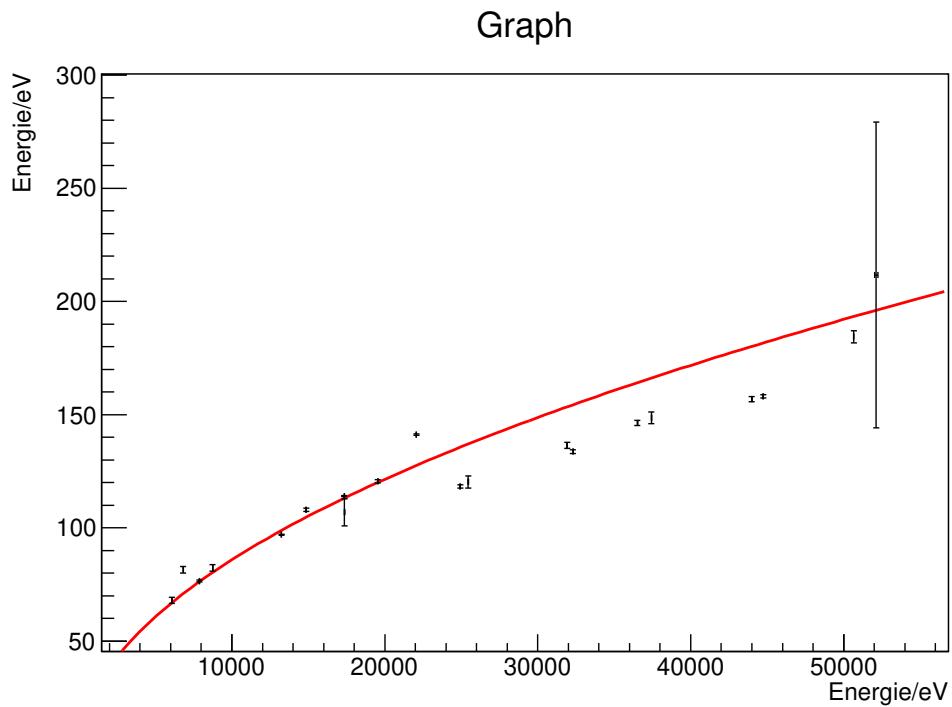


Abb. 25: Fit zur Energieauflösung vom Americiumaufbau, auf der x-Achse ist die Energie und auf der y-Achse die Breite des Peaks aufgetragen

Für die Bestimmung der Energieauflösung des Detektors wird die Breite der gefütteten Gaußkurven betrachtet. An die Daten wurde eine Wurzelfunktion gefüttet. Die Güte des Fits beträgt 317. Da dieser Fit aber eher qualitativ statt quantitativ sein soll, ist er trotzdem Aussagekräftig, da die Datenpunkte dem Verlauf der Wurzelfunktion näherungsweise folgen.

6 Vergleich der beiden Aufbauten

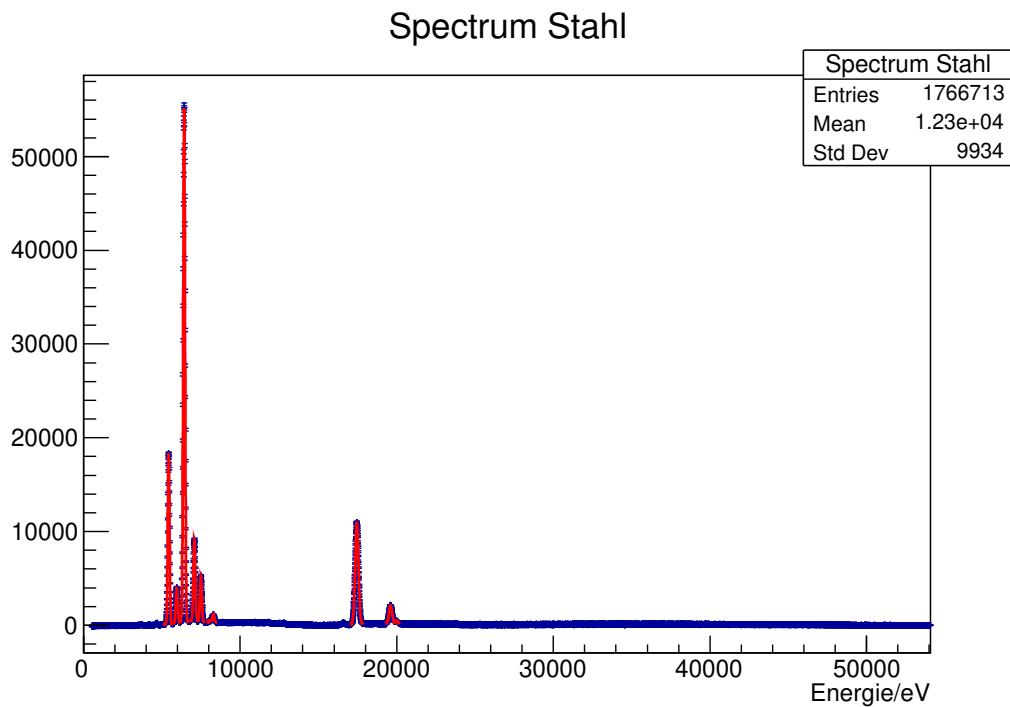


Abb. 26: Spektrum von Stahl bei Americium als Quelle

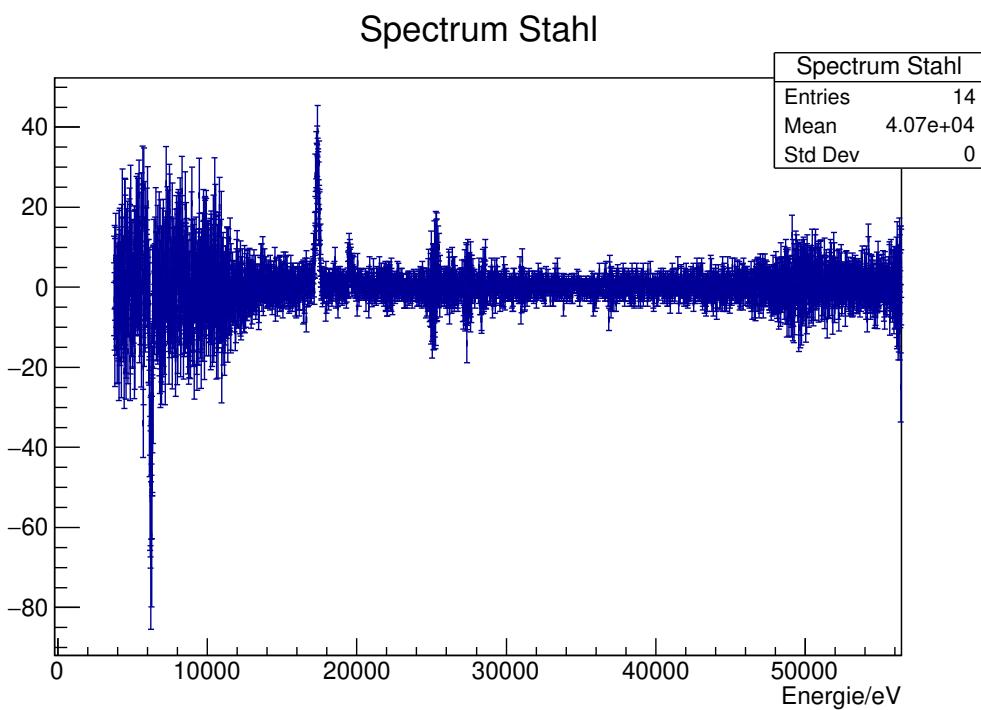


Abb. 27: Spektrum von Stahl mit der Röntgenröhre als Quelle

Stahl wurde in beiden Aufbauten untersucht um beide zu vergleichen. Allerdings ist bei Americium die Abschirmung sehr identisch zur Stahlprobe und deshalb bleibt nach Abzug der Leermessung nicht viel vom Spektrum übrig. Insgesamt spricht mehr für die Röntgenröhre, da sie leichter zu Bedienen ist und eine höhere Rate hat. Außerdem strahlt die Röntgenröhre nur wenn sie eingeschaltet ist und ist somit auch besser zu lagern.

7 Anhang

7.1 Quelle der Literatur-Energiewerte der Übergänge

<https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayTrans/Html/search.html>

7.2 Quellen für Zusammensetzung der Proben

1. Stahl: <https://www.alloywire.de/products/stainless-steel-316/>
2. Iod: <https://imedikament.de/kaliumiodid-lannacher-65-mg-tabletten/fachinformation>
3. Magnet: https://www.helpster.de/woraus-bestehet-ein-magnet_179127