
title

Contents

1	Einleitung	1
2	Theorie	1
2.1	Röntgenstrahlung	1
2.2	Röntgenröhre	1
3	Aufbau mit Americium	1
3.1	Aufbau	1
3.2	Auswertung	2
3.2.1	Kalibration	2
3.2.2	Analyse von Edelstahl	2
3.2.3	Energieauflösung	4
4	Aufbau mit Röntgenröhre	5
4.1	Aufbau	5
4.2	Auswertung	5
4.2.1	Kalibration	5
4.2.2	Analyse anderer Materialien	6
4.2.3	Energieauflösung	7
4.2.4	PUR und Variation der Spannung	8
5	Fazit	9
6	Anhang	9

List of Figures

1	linearer Kalibrationsfit	2
2	Rohdaten für die Edelstahlprobe	3
3	Daten für die Edelstahlprobe nach Abzug der Leermessung und Kalibration	3
4	Energieauflösung aufgetragen über die Energie	4
5	Energieauflösung aufgetragen über die Energie	5
6	Messdaten für unbekannte Materialien	7
7	Auflösung über Energie	8
8	von links nach rechts und von oben nach unten: Messdaten für: PUR an bei 50kV; PUR aus bei 50kV; PUR an bei 20kV; PUR an bei 35kV.	9

List of Tables

1	Ergebnisse der Analyse von Edelstahl.	4
---	---	---

1 Einleitung

Ziel dieses Versuchs ist die Aufnahme der Röntgenspektren verschiedener Materialien und die Bestimmung der enthaltenen Materialien. Dazu werden wir zwei unterschiedliche Aufbauten verwenden. Als erstes nutzen wir eine Americiumquelle (Am) um das untersuchte Material mit Alphastrahlung zu beschießen und Röntgenstrahlen zu erzeugen. Später nutzen wir eine Röntgenröhre um das Material anzustrahlen.

2 Theorie

2.1 Röntgenstrahlung

Es gibt zwei Arten von Röntgenstrahlung: Bremsstrahlung, ein kontinuierliches Spektrum und charakteristische Strahlung, ein diskretes Spektrum. In diesem Versuch beschäftigen wir uns fast ausschließlich mit charakteristischer Röntgenstrahlung. Diese entsteht wenn ein Teilchen mit der kinetischen Energie E_{kin} auf ein Material trifft und ein Elektron mit der Bindungsenergie E_B bei $E_{kin} > E_B$ herausschlägt. In der entsprechenden Schale entsteht eine Lücke die von einem Elektron aus einer höheren Schale aufgefüllt wird. Dabei wird ein Photon ausgesandt mit einer Energie die der Energiedifferenz der beiden beteiligten Schalen entspricht. Am wahrscheinlichsten sind Übergänge von der L- zur K-Schale. Diesen Übergang nennt man K_α . Die Energie der K-Serie lässt sich nach dem Moseleyschen Gesetz bestimmen:

$$E_K = R \cdot h \cdot c (Z - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (1)$$

mit $n = 2, 3, 4, \dots$ für $K_\alpha, K_\beta, K_\gamma, \dots$ und $R \cdot h \cdot c = 13,6 \text{ eV}$.

2.2 Röntgenröhre

In einer Röntgenröhre werden Elektronen von einer Kathode gelöst und durch ein starkes elektrische Feld zu einer Anode beschleunigt. Dort wechselwirken die Elektronen mit dem Anodenmaterial und es entsteht Röntgenstrahlung. Die Bremsstrahlung hängt dann ausschließlich von der angelegten Spannung ab und die charakteristische Strahlung hängt ausschließlich vom Anodenmaterial ab.

3 Aufbau mit Americium

3.1 Aufbau

Zur Kalibration des Multikanalanalysators (MCA) nutzen wir ein Gerät in welches das Americium bereits eingebaut ist, sowie sechs Materialproben zwischen denen man mittels Drehscheibe wechseln kann. Wir platzieren die Öffnung durch die die Strahlung tritt unmittelbar vor dem Detektor. Bei den Proben die hierbei untersucht werden handelt es sich um Silber (Ag), Barium (Ba), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Rubidium (Rb) und Terbium (Tb).

Nach der Kalibration wollen wir ein Stück Edelstahl untersuchen. Dazu nutzen wir ein Metallkästchen in das wir die Probe zusammen mit einer Americiumquelle so befestigen, dass wieder in der Probe Röntgenstrahlung entsteht und durch eine kleine Öffnung entweicht, vor die wir den Detektor setzen. Hier führen wir außerdem eine Leermessung mit Pappe statt Edelstahl durch, die wir anschließend von der richtigen Messung abziehen können.

3.2 Auswertung

3.2.1 Kalibration

Nach Auslesen und Plotten der aufgenommenen Spektren von den Kalibrationsproben, identifizieren wir jeweils den K_α -Peak und ermitteln durch Anpassung einer Gaußkurve dessen Mittelwert. Falls schon die Feinstrukturaufspaltung zu erkennen ist, nehmen wir den K_{α_1} -Peak. Anschließend tragen wir die bekannten Energien dieser Peaks über die ermittelten Mittelwerte auf und passen auf diese Daten eine Gerade an, so dass sich unsere Kalibrationsfunktion

$$E = a * \text{Kanal} + b \quad (2)$$

ergibt. Die Fehler auf a und b pflanzen sich bei allen weiteren Rechnungen als systematische Fehler fort.

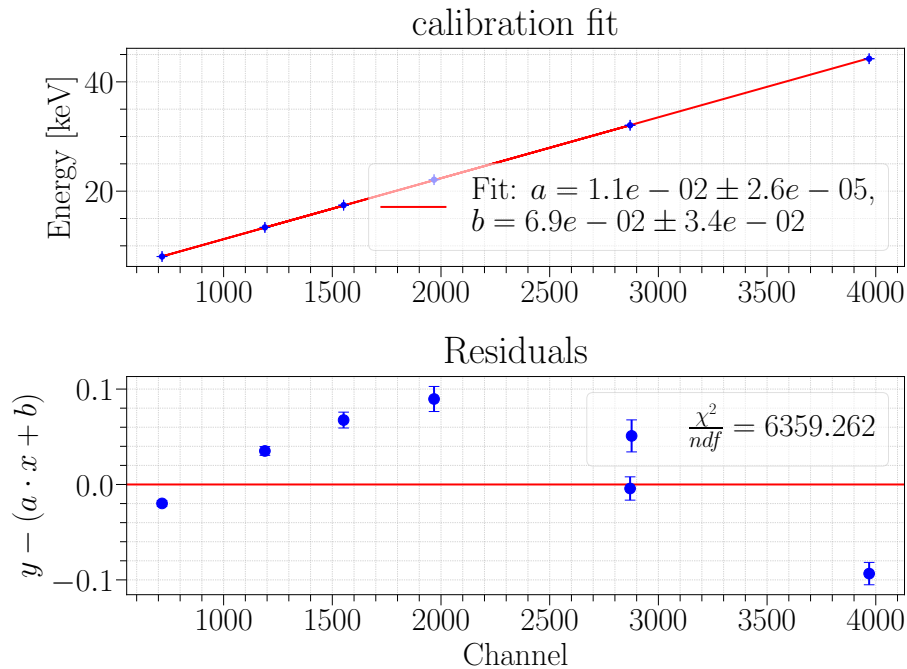


Figure 1: linearer Kalibrationsfit

Im Angesichts des Wertes für $\frac{\chi^2}{ndf}$ und der Residuen, muss die Hypothese des linearen Zusammenhangs ernsthaft in Zweifel gezogen werden. Allerdings konnten wir keine wesentlich plausiblere Hypothese aufstellen und mussten vorerst mit dieser Kalibrationsfunktion weiterrechnen.

3.2.2 Analyse von Edelstahl

Als erstes ziehen wir die Leermessung von der Messung mit Edelstahl ab und wandeln die Kanalnummern mithilfe der Kalibrationsfunktion in eine Energieskala um.

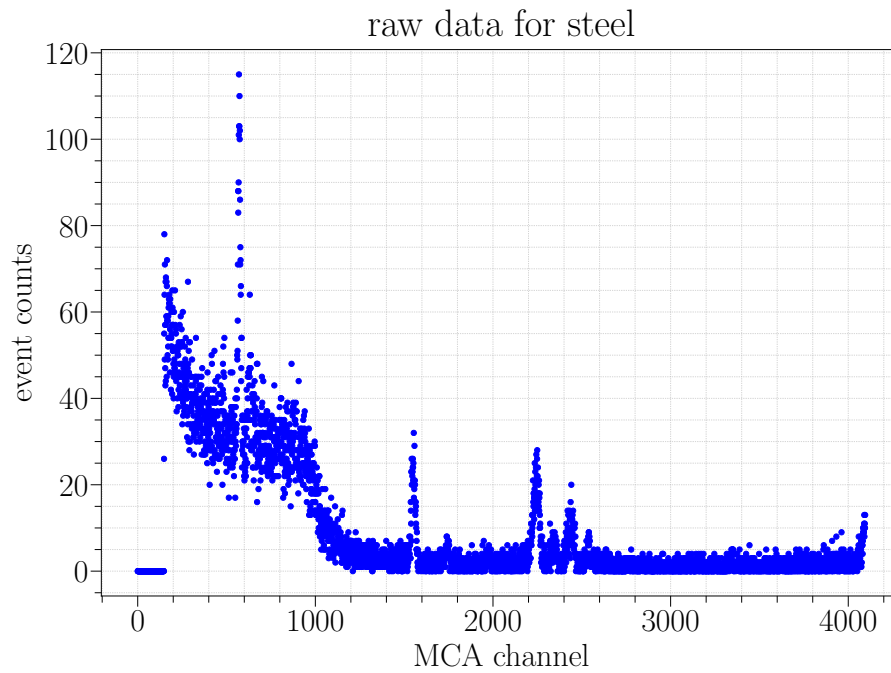


Figure 2: Rohdaten für die Edelstahlprobe

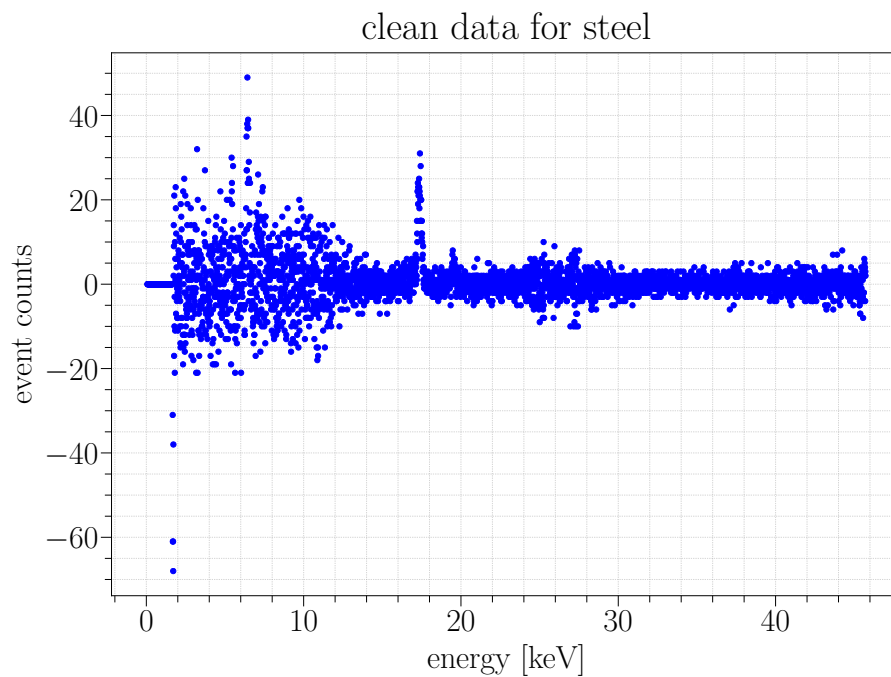


Figure 3: Daten für die Edelstahlprobe nach Abzug der Leermessung und Kalibration

Trotz des starken Rauschens für geringe Energien, ist ein Peak sichtbar der heraussticht bei etwa 6 keV, von dem wir vermuten es könnte sich um die K_{α} -Linie handeln. Außerdem fällt deutlich ein weiterer Peak bei etwa 17 keV auf. Wir ermitteln jeweils den Mittelwert und dessen Fehler beider Peaks, wieder durch Anpassung einer Gaußkurve.

Vermutete Linie	erwarteter Wert	gemessener Wert (\pm stat \pm sys)	Abweichung
K_α	6.403 keV	$(6.442 \pm 0.003 \pm 0.037)\text{keV}$	$1,051\sigma$
		$(17.368 \pm 0.006 \pm 0.053)\text{keV}$	

Table 1: Ergebnisse der Analyse von Edelstahl.

Die Ergebnisse legen Nahe, dass das Edelstahlplättchen tatsächlich hauptsächlich aus Eisen besteht.

3.2.3 Energieauflösung

Hier wollen wir die Energieauflösung des Detektors betrachten. Dafür schauen wir uns die Peaks an die wir bereits bei der Kalibration genutzt hatten. Diesmal brauchen wir deren Halbwertsbreiten ΔE die sich mit

$$\Delta E = 2\sqrt{2 \log 2} \cdot \sigma \quad (3)$$

aus den Standardabweichungen σ ergeben. Letztere bekommen wir aus den entsprechenden Gauß-fits.

Trägt man die Auflösung $\frac{\Delta E}{E}$ über die Energie auf, erkennt man wie erwartet einen stetigen Abfall (etwa $\frac{1}{E}$).

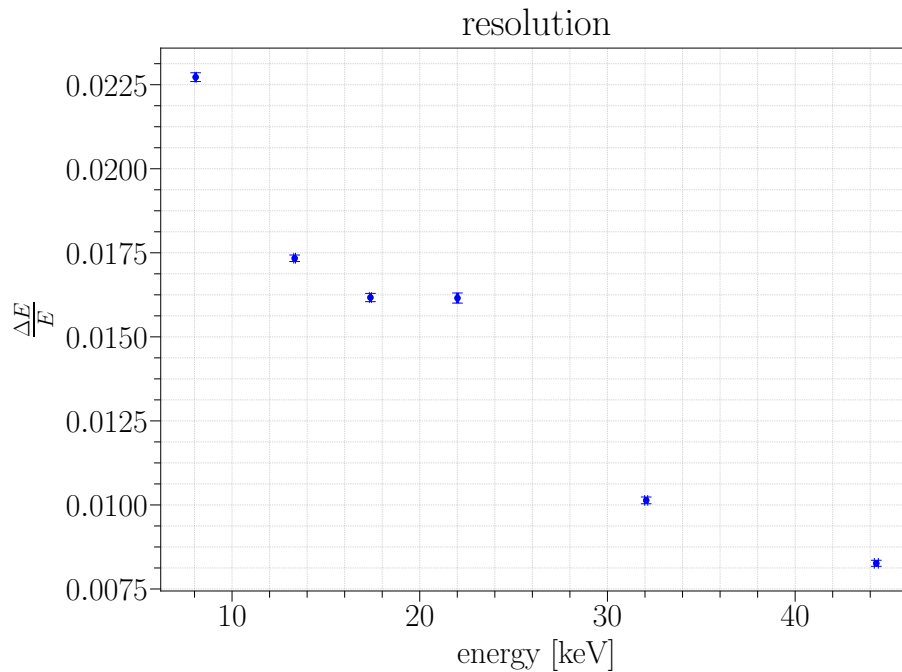


Figure 4: Energieauflösung aufgetragen über die Energie

4 Aufbau mit Röntgenröhre

4.1 Aufbau

In diesem Aufbau nutzen wir eine Röntgenröhre. Die Probe wird in eine abgeschirmte Kammer gelegt, sodass sie von schräg unten von der Röntgenröhre beschossen wird und die Röntgenstrahlung die in der Probe entsteht möglichst direkt in den ebenfalls darunter liegendem Detektor fällt. Die Kalibration wird hier durchgeführt mit Molybdän-, Kupfer- und Silberproben.

Anschließend analysieren wir ein Stein, ein Schneckengehäuse, ein Computerchip, eine Tablette, ein Bleiblock, eine 10-cent-Münze, und eine Batterie.

4.2 Auswertung

4.2.1 Kalibration

Die Kalibration des Detektors läuft analog zum vorherigen Aufbau. Erst ziehen wir die Leermessung jeweils vom Mo-, Cu- und Ag-Spektrum ab und identifizieren dann die K_α -Linien. An denen fitten wir wieder Gaußkurven um den Mittelwert inklusive Fehler zu erhalten und diesen über die Kanalnummern aufzutragen. Wir legen eine Gerade an die Punkte und erhalten unsere Kalibrationsfunktion

$$E = a * \text{Kanal} + b. \quad (4)$$

Die Fehler auf a und b pflanzen sich bei allen weiteren Rechnungen als systematische Fehler fort.

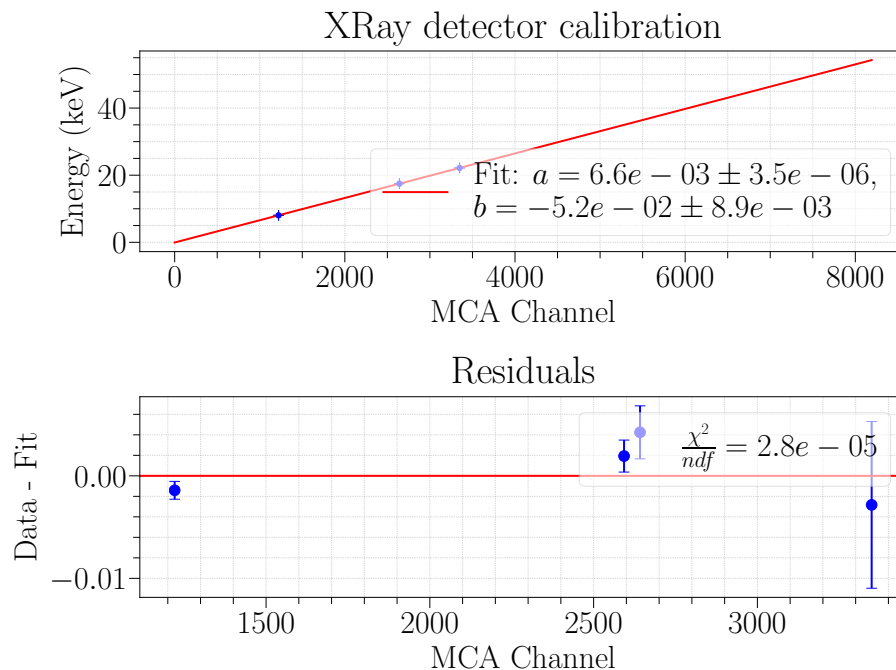


Figure 5: Energieauflösung aufgetragen über die Energie

Diese Anpassung ist mit Vorsicht zu genießen, nicht nur weil das $\frac{\chi^2}{ndf}$ sehr klein ist, sondern eine Anpassung mit nur drei Punkten immer eine beschränkte Aussagekraft hat. Leider waren für diesen Aufbau nicht mehr Proben zur Kalibration gegeben. Wir werden diese Kalibration dennoch weiter

benutzen, da wir guten Grund haben anzunehmen, dass der Zusammenhang zwischen Energie und Kanalnummer tatsächlich linear ist.

4.2.2 Analyse anderer Materialien

Jetzt wollen wir andere Materialien anhand ihres Röntgenspektrums analysieren und herausfinden aus welchen Elementen sie bestehen. Dafür müssen wir von den entsprechenden Rohdaten erstmal die Leermessung abziehen und dann die Kanalnummern mit Hilfe der Kalibrationsfunktion in eine Energieskala umrechnen. Dann lassen wir einen peakfinder über die Daten laufen um die prominentesten Peaks ausfindig zu machen.

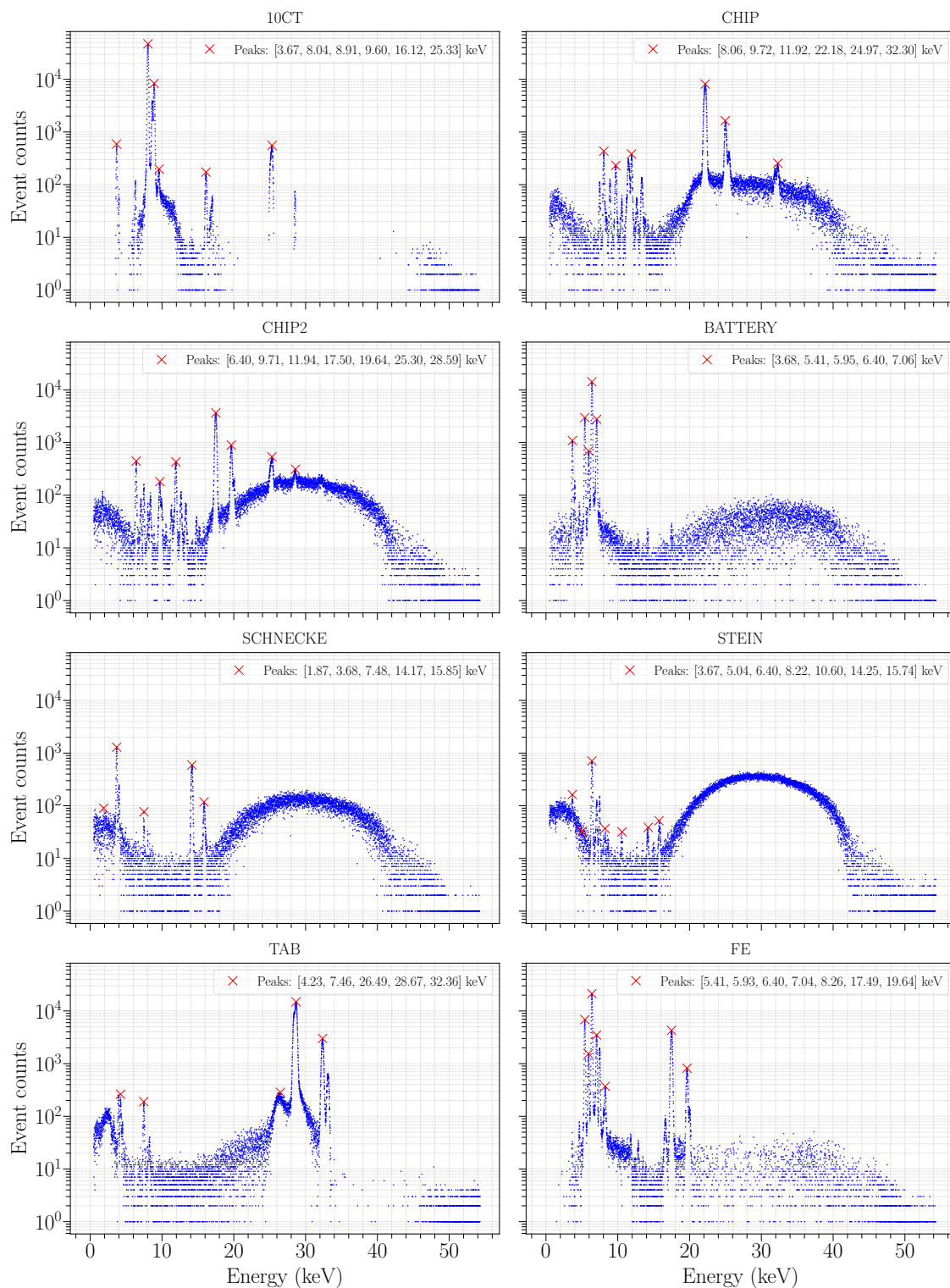


Figure 6: Messdaten für unbekannte Materialien

4.2.3 Energieauflösung

Komplett analog zum Vorversuch betrachten wir auch hier die Energieauflösung. Wieder erhalten wir die Halbwertsbreiten aus der Umrechnung der Standardabweichungen der Gaußfits aus der Kalibration. Die Auflösung scheint erwartungsgemäß mit steigender Energie einem Abwärtstrend

zu folgen, allerdings lassen sich bei nur drei Messpunkten nur eingeschränkt Aussagen über das genaue Verhalten treffen.

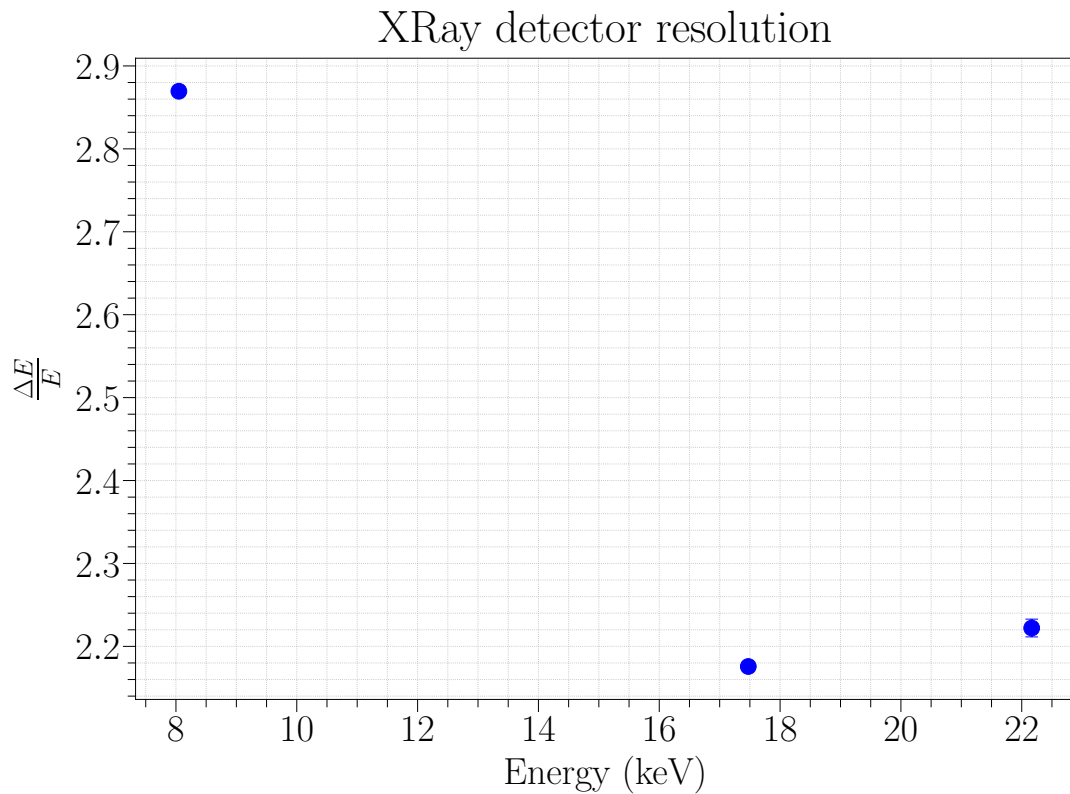


Figure 7: Auflösung über Energie

4.2.4 PUR und Variation der Spannung

Als letztes wollen wir uns anschauen was passiert wenn wir ein paar Einstellungen im Aufbau ändert. Insgesamt entsprechen die Beobachtungen hier den Erwartungen.

Wenn man die Pile-Up Rejection (PUR) ausschaltet erkennt man, dass die Peaks zu höheren Energien hin langsamer abfallen und sich dadurch mehr überlappen. Am besten sieht man den Effekt beim Bremsspektrum, das deutlich höhere Energien zu erreichen scheint als mit PUR.

Wenn man die angelegte Spannung in der Röntgenröhre schrittweise reduziert, sieht man einerseits, dass natürlich weniger hohe Energien erreicht werden. Man erkennt aber auch, dass sich das diskrete Spektrum nicht merklich verändert, wohingegen das Bremsspektrum stark abnimmt. Das liegt daran, dass das diskrete Spektrum ausschließlich materialabhängig ist, wohingegen das Bremsspektrum nur von der angelegten Spannung abhängt. Wenn U die angelegte Spannung ist, ist die maximale Energie des Bremsspektrums gegeben durch $E_{max} = eU$.

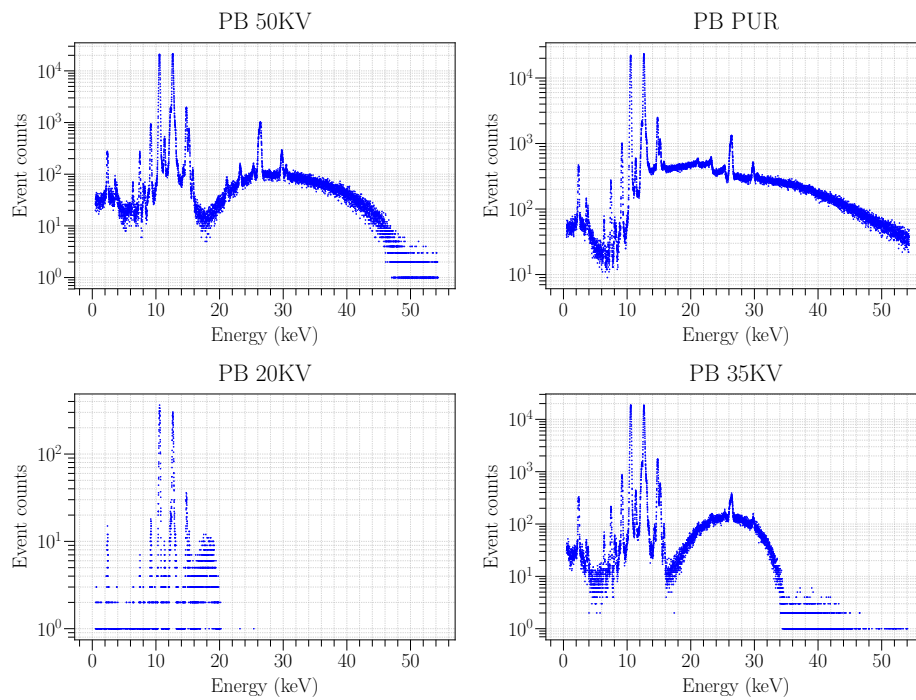


Figure 8: von links nach rechts und von oben nach unten: Messdaten für: PUR an bei 50kV; PUR aus bei 50kV; PUR an bei 20kV; PUR an bei 35kV.

5 Fazit

Dieser Versuch ist in sofern gelungen, dass das Versuchziel, Elemente in verschiedenen Materialien zu indentifizieren gelungen ist. Zwar waren die linearen Anpassungen bei den Kalibrationen nicht zufriedenstellend, dennoch weichen die die erzielten Ergebnisse nur geringfügig von den erwarteten Werten ab.

6 Anhang