

Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

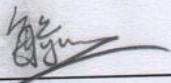
Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs P3B

Blockpraktikum vom 02. August bis 31. August 2021

Name:	<u>Yudong Sun</u>	Gruppe:	L8
-------	-------------------	---------	----

Datum	Versuch	Punkte	Testat
26.08.21	1/2 ROE – Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion & Röntgenfluoreszenzanalyse		
	3A ESR - Elektronenspinresonanz		
	3B NMR-A - Kernspinresonanz (Variante A)		
	3C NMR-B - Kernspinresonanz (Variante B)		
18.08.21	3E ZEE-B - Zeeman-Effekt (Variante B)	10/10	✓
20.08.21	4A/4B FHV - Franck-Hertz-Versuch	9,5/10	✓
	4C SPL - Spektrallinien		
	4E BAS - Balmer-Serie		
	5B PLP - Plasmaphysik		
	5C PLW - Plancksches Wirkungsquantum		
24.08.21	5D QAL - Quantum Analogs	9/10	✓
	5E MIL - Millikan-Versuch		

Unterschrift der/des
Studierenden:



Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

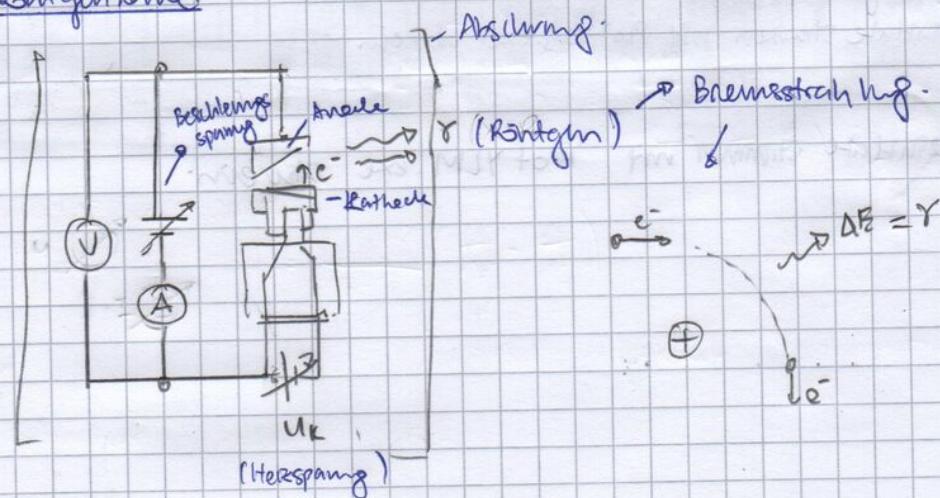
8 D

kariert
Doppelrand

RöE - Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion auf Röntgenfluoreszenzanalyse.

<Vorbericht> Name: Yuelig Sun
Datum: 25.08.21.

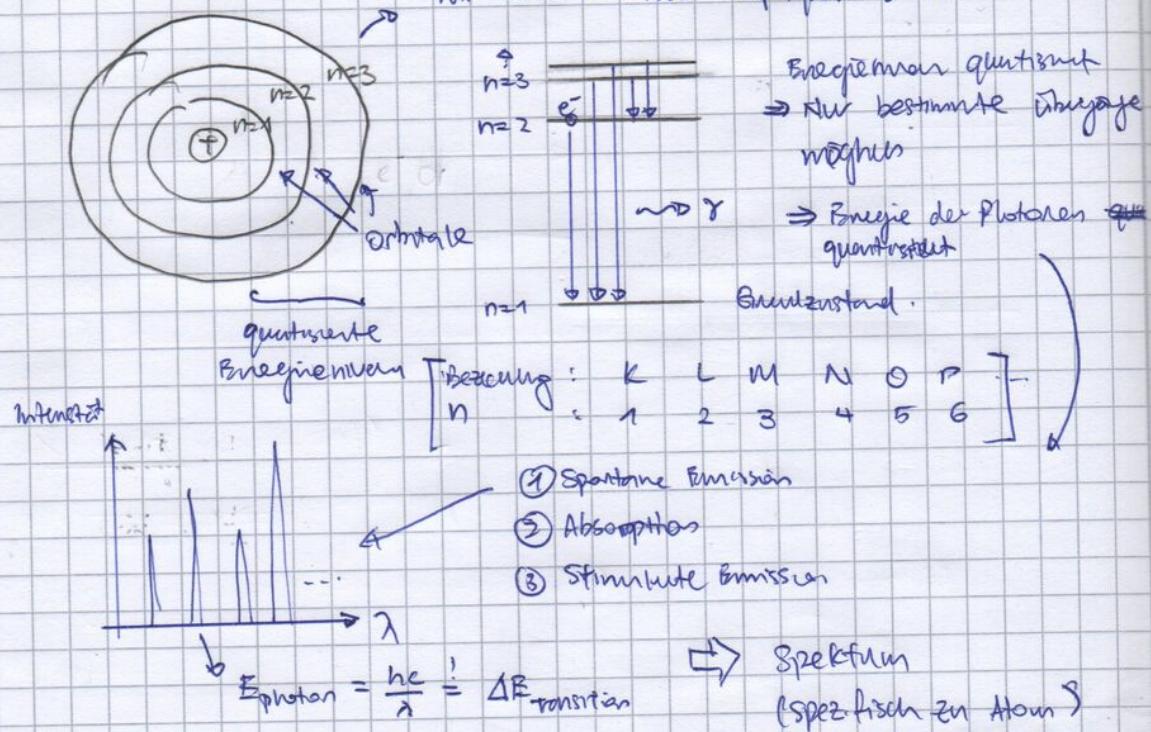
* Röntgenröhre:



$$e^- \xrightarrow{\text{+}} \Delta E = \gamma$$

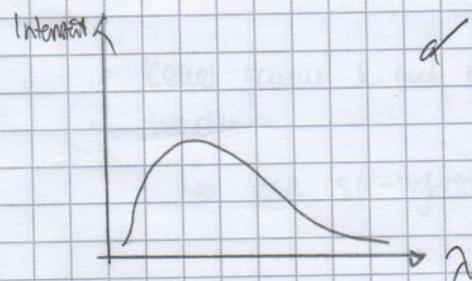
* Linienspektren eines großen, schalenmodell, noch ohne Übergänge

Wir betrachten nur Hauptquantenzahl.



* Röntgenstrahlung / Zustandekommen der Oberflächenlinus

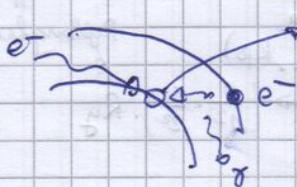
① Bremstrahlung: Breit: da Elektronen verschiedene Mengen von Energie verlieren ~~verlieren~~, wenn sie durch Wechselwirkung mit positiv geladene Atomkerne gebremst sind.



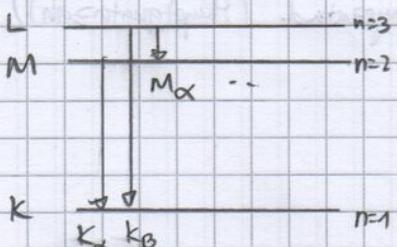
② Charakteristische Linien: Energie geben gleich Energieunterschied zwischen 2 Energieniveaus.

~~beschleunigen~~

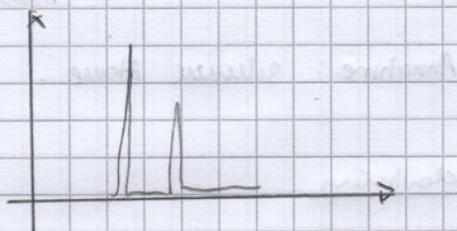
beschleunigte Elektronen entziehen Elektronen aus den inneren Schalen der Atome der Anodenmaterialien herauszuschlagen



- Elektronen von oberen Schichten zerfallen in niedrige Schichten
- Wegen ~~steile~~ Quantisierung. Schichte charakteristische Linien werden erzeugt.

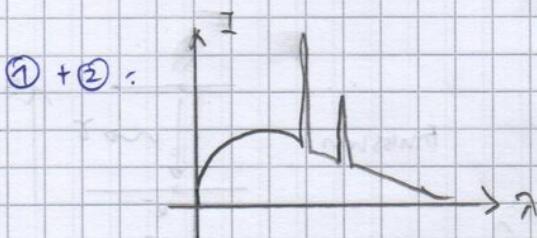


\Rightarrow

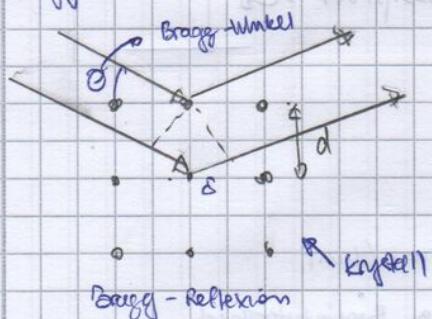


$$\text{Bragg} \quad \sqrt{\frac{E}{Ry}} = (z - \sigma_{2,1}) \sqrt{\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}}$$

$$\Leftrightarrow (z < 30) : \sqrt{\frac{E}{Ry}} = (z-1) \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$$



Bragg - Reflexion



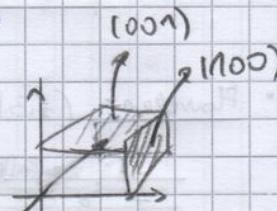
$$s = 2d \sin(\theta)$$

Punktunterschied

$$\Rightarrow \text{Interferenz} : n\lambda = 2ds \sin(\theta)$$

Miller Notation: (h k l)

\Leftrightarrow beschreibt welche Ebene und quale betrachtet



Dar eine Hintersche-Verschiebungsgesetz, Grenzwellenlänge

$$f_{\max} = \frac{eV}{h} \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{eV} \Rightarrow \text{Alle Energie in Strahlung (X-Ray) umgewandelt}$$

Energie durch Beschleunigung im E - Feld.

e: Elektron Ladung

V: Röhren - Hochspannung.

(Grenzwellenlänge)

\rightarrow Energieerhaltung.

"inverse Photoelektrischer Effekt"

Moseley'sches Gesetz (Ref: Wikipedia, 25.08.21)

- Herkunft: Henry Moseley hat Röntgen-Diffraktion verwendet, um Atome zu untersuchen.

Empirische Formel: $f = A(z - b)^2$

↑ ↑
konstante spezifisch
zu Linien (z.B. K_{α}, K_{β})

$c \cdot R_{\text{os}}$

"
Rydbergfrequenz
 ν

$$\hookrightarrow \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \cdot R_y$$

- Mit Bohr Modell:

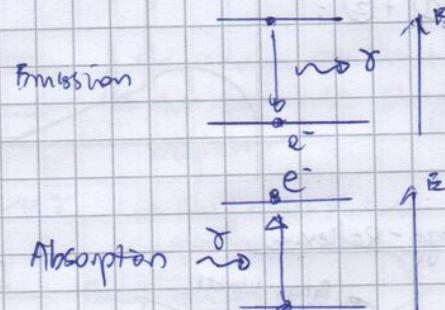
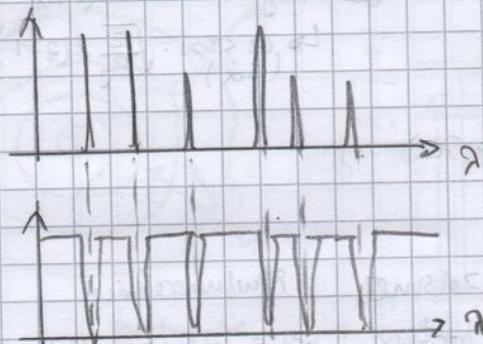
$$E = hf = \frac{me^2 q_1^2}{8\pi^2 \epsilon_0} \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

↓ ↓
Endzustand Anfangszustand (Hauptquantenzahl)

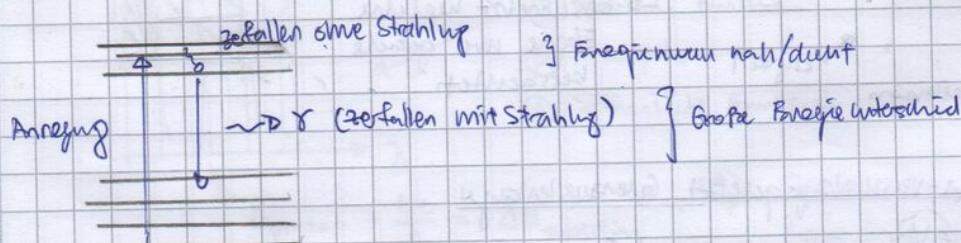
- Annahme: kleinere Atome.

Spektrallinien

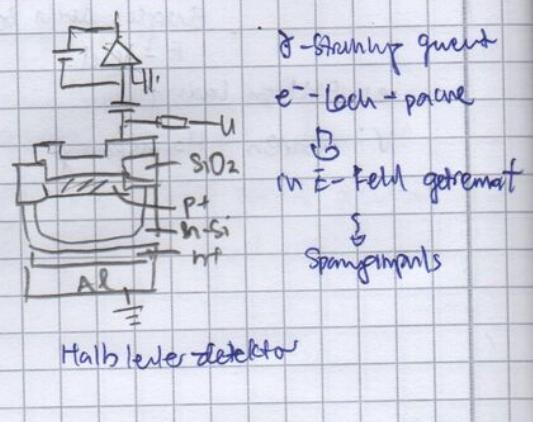
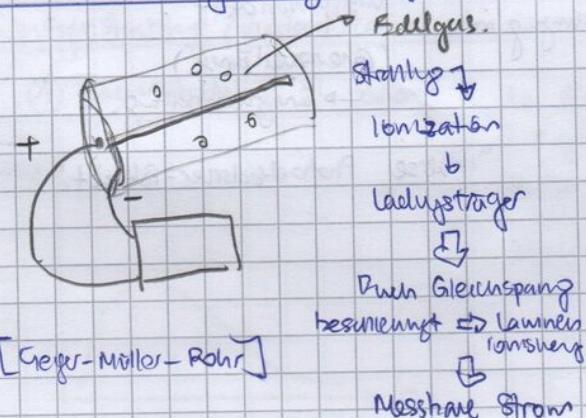
- Bohr: diskrete Energieniveaus



Fluoreszenz (z.B. Kristall)



Detektör von Röntgenstrahlung: Geiger-Müller-Rohr, Halbleiterdetektor (Ref: TU München)



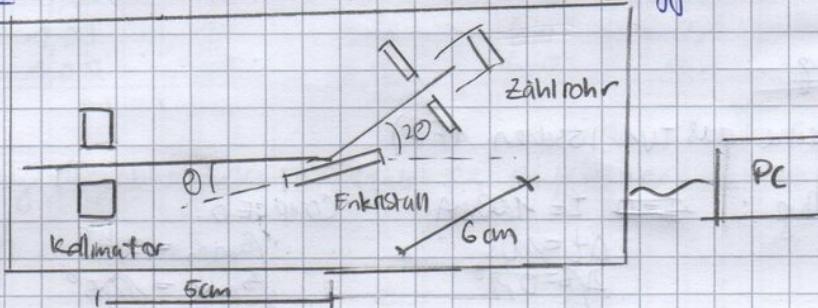
<Vorlesung> Name: Thilo Engels
Datum: 26.08.21

Teilversuch 1: Bragg-Reflexion von Röntgenstrahlung des Molybdän an einem NaCl-Einkristall

Versuchziel: Untersuchung der Winkelabhängigkeit der charakteristischen Röntgenstrahlung des Molybdän

Messmethode: Goniometer mit NaCl-Einkristall durch Bragg-Reflexion.

Stütze:



Durchführung

- ① Aufbau ~~des~~ anhand Abbildung 4, Seite 11 der Anleitung überprüfen.
- ② Programm "Röhren" starten und ggf. mit F4 Messmerke löschen.
- ③ Einstellung über F5:
Röntgen-Hochspannung: $U = 35,0 \text{ kV}$
Röhrenstrom: $I = 1,90 \text{ mA}$
Messzeit / Intervel: $\Delta t = 10 \text{ s}$.
Winkelschritt: $\Delta\beta = 0,1^\circ$.

(2θ-kopplg)
COUPLED : Grenzausw.
: ~~Grenzausw.~~
: $\beta_{\min} = 2,5^\circ$.
 $\beta_{\max} = 25,0^\circ$
- ④ Kastfall einmessen (2θ Kopplg genährtesten)
- ⑤ SCAN/F5 betätigen, um Messy zu starten.
- ⑥ Nach Beendigung (ca. 40 min) mit F2 ~~die~~ die Messwerte speichern.

Geplante Auswertung:

- ① Röntgen geot > Farbschwerpunkt bestimmen, gemäß Anleitung Seite 12 Schleppmikr filieren.

Frageanwesen:

- ② Wellenlänge durch ~~Wellenlängen~~ Bragg-Gesetz mit $d = 282,01 \mu\text{m}$ berechnen.
- ③ Mittelwert der einzelne Beugungswinkel bilden. Mit auf vergleichen:

$$\lambda_{K\alpha} = 71,08 \mu\text{m}, \lambda_{K\beta} = 63,09 \mu\text{m}$$

Teilversuch 2: Energiespektrum einer Röntgenröhre in Abhängigkeit der Spannung.

Versuchsziel: Energiespektren einer Röntgenröhre bei wachsender Spannung untersuchen

Messmethode: Siehe TM

Skizze: Siehe TM

Durchführung

① Messreihe aus TM1 löschen (F4)

② Einstellung: $I = 1,00 \text{ mA}$ $\Delta t = 10 \text{ s}$ $\Delta \beta = 0,1^\circ$

$$[U = 20,0 \text{ kV}]$$

Coupled:

$$\beta_{\min} = 2,5^\circ$$
$$\beta_{\max} = 12,5^\circ$$

(ca. 17 μm)

③ SCAN / \varnothing f_g, um Messung zu starten.

④ Einstellung: $I = 1,00 \text{ mA}$ $\Delta t = 10 \text{ s}$ $\Delta \beta = 0,1^\circ$

$$[U = 25,0 \text{ kV}]$$

Coupled:

$$\beta_{\min} = 2,5^\circ$$
$$\beta_{\max} = 18,0^\circ$$

(ca. 26 μm)

⑤ Messung aus TM1 ($U = 35,0 \text{ kV}$) im Program laden.

⑥ F5 Drehfenster, um ~~alles~~ alles in Abhängigkeit von ~~Welle~~ Wellenlänge darstellen. Gitterabstand des NaCl eintragen.

⑦ Messung/Messreihe abspeichern.

Geplante Auswertung

① Röntgengorbit > Peakschneipunkt berechnen

② Schneipunkt in Messabelle notieren und mit TM vergleichen
~~interpolieren~~ Messungen interpolieren.

Teilversuch 3: Duane-Hunsdorffsches Versetzungsgesetz

Versuchsziel:

- Quantitative Untersuchung der Amin in Abhängigkeit von Beschleunigungsspannung
- Duane-Hunsdorffsches Versetzungsgesetz nachweisen
- Photodetonator-Wirkungsquantum bestimmen.

Messmethode: Siehe TM

Durchführung

- ① Ablauf wie im TV 2, aber mit folgendem ~~weiteren~~ Einstellen.

U / kV	I / mA	t / s	$\alpha_{min} / ^\circ$	$\beta_{max} / ^\circ$	$\Delta \beta / ^\circ$
22,0	1,00	30	5,2	6,2	0,1
24,0	1,00	30	5,0	6,2	0,1
26,0	1,00	20	4,5	6,2	0,1
28,0	1,00	20	3,8	6,0	0,1
30,0	1,00	10	3,2	6,0	0,1
32,0	1,00	10	3,0	6,0	0,1
34,0	1,00	10	3,0	6,0	0,1
35,0	1,00	10	3,0	6,0	0,1

- ② Darstellung der Abhängigkeit mittels F5 Dufgenster.

- ③ Messung absperren

Geplante Anmerkung

bestimmen.

- ① Für jedes ~~die~~ aufgezeichnetes Spektrum die Anzahl ~~Protonen~~.

~~Protonen~~ Steigung A_{eff} und Planckstrahl Wellenzahlen h ~~aus~~ ablesen
~~abzählen~~
 Dabei

- ② Mit $h_{Lit} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ vergleichen.

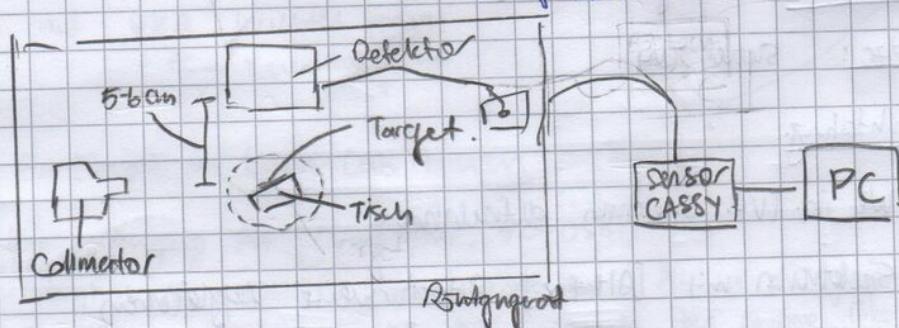
Teilversuch 4: Röntgenfluoreszenzanalyse

versuchsziel: Überprüfung des Moseley'schen Gesetzes

Berechnung der Abschirmkonstanten $k_{x\gamma}$ mit $k_{\beta\gamma}$.

Messmethode: ~~Siehe TV 1~~ → ~~CASSY Lab 2~~ Siehe TV 1 + CASSY Lab 2,
 Röntgenfluoreszenz

Skizze:



Durchführung

- ① Aufbau nach Seite 16 der Anleitung überprüfen

- ② Röntgengerät einschalten.

- ③ Taste "ZERO" drücken.

- ④ SENSOR: 90° , TARGET: 45° .

- ⑤ CASSY-Lab 2 einstellen:

Vielfachtmessung, 512 Kanäle, negative Au 1s-2.

Verstärk.: -215, Messdauer: 180s.

② Röntgengerät einstellen:

Hochspannung $U = 35 \text{ kV}$
Emissionsstrom $I = 1,00 \text{ mA}$

- ⑦ vom Targetsatz das Ti-Target nehmen und auf den Targetfisch im Röntgengerät
- ⑧ Schutzhandschuhe schließen und Messup starten. (Spektrum)
- ⑨ Spektrum ausdrucken und abspeichern
- ⑩ ~~Röntgen~~ Hochspannung abschalten und Ti-Target ersetzen.
- ⑪ Schritt ⑥ bis ⑩ mit den folgenden Targets durchführen:
Fe, Ni, Cu, Zn, Zr, Mo, Ag
- ⑫ Gemäß Seite 19 der Anleitung die Energie kalibrieren.

Geplante Auswertung:

- ① Gemäß Seite 19-21 die Abschirmkonstante berechnen.
- ② Welches Verhalten zeigen die Abschirmkonstanten?
Was war War dieses Verhalten zu erwarten? Folgerung?

Teilversuch 5: Identifikation einer unbekannte Probe mittels Röntgenfluoreszenz.

Versuchsziel: Komposition einer unbekannte Probe ~~TV4~~ bestimmen.

Messmethode: Röntgenfluoreszenz

Skizze: Siehe TV4

Durchführung:

- ① Wie in TV4 Spektrum aufnehmen
- ② Spektrum mit $[\text{Alt} + x]$ Literaturwerte vergleichen

Geplante Auswirkung:

- ① Komposition?

<Labortafelken>

Name: Yuelong Sun
Datum: 26.08.21

Teilvolumen 1

Einstellung erfolgt direkt auf dem Röntgengerät. X

$$U = 35 \text{ kV}, I = 1,00 \text{ mA}, \Delta t = 10 \text{ s}, \alpha\beta = 0,1^\circ, \beta_{\min} = 2,5^\circ, \beta_{\max} = 25,0^\circ$$

Einstellungen im Applikator auf PC über F5. \rightarrow

Einstellungen auf Gerät werden übernommen.

Im Einstellungsfenster auf "Kristall messen" klicken \rightarrow Suche starten.

\Rightarrow Röntgenröhre leuchtet. $\Rightarrow \sim 3500 / \text{s} \Rightarrow$ übernehmen.

\checkmark Man hört hohe Frequenz Geräusche vom Gerät (wie alte CRT)

SCAN dann warten. (HV wird hier auch gecheckt)

\hookrightarrow weiter mit TVF erst.

Teilvolumen 4

Abstände OK. (zws. 5-6 cm)

SIGNAL OUT \rightarrow INPUT A auf Cassy LAB verbinden.

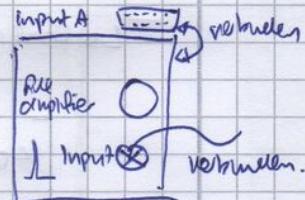
ZERO gedrückt \rightarrow Detektor dreht sich.

Wenn ADJUST Drehnehmstifter gedreht ist, dreht auch der Detektor, bzw. Target

\Leftrightarrow Detektor: $90,0^\circ \text{ S}$, Target: $45,0^\circ \text{ T}$

POWER auf VKA leuchtet grün.

\checkmark Tisch fertiggest.



darauf entsprechend
Bitset im Programm

Auf RA (Rötel) im Cassy-Lab klicken.

- Einstellung: Eingang A (VKA-Box, 524058)

\hookrightarrow Breitstrahl NA Kanal NA, Energie EA haben die gleiche Einstellungen, Abstufungen in ~~NA~~ wird in der Andone übernommen.
Eine

512 kanal. negativer Puls., Verstärkung -25, Messzeit = 180s.

Intervall: 1s.

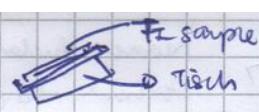
\downarrow
-2000 mV

Brüche Kanal, Ergebnisse

- Einstellung auf Röntgengerät.

$$U = 35,0 \text{ kV}, I = 1,00 \text{ mA}$$

- Ti - Sample auf Tisch gelegt



$\boxed{\text{Ti}}$ Seite mit oben.

- HV drücken \Rightarrow Hochspannung einschalten

Berachtung: Ein peak bildet sich \approx Kanal 10 oder so

Reinzoomen: Hartely > Standard > Na#2 \rightarrow x-Achse: E_x
y-Achse: Na#2 X

HV abschalten

?
nachher.

wir verwenden erst na (Kanalnummer), da nun kein Kalibrierung vorliegt..

Bild

- ~~Ti mit Fe ersetzen, Energiekalibierung~~

- Ti mit Fe ersetzen: Energiekalibierung.

Mo \rightsquigarrow (wur Später bemerkt: nicht flach auf Tisch)

\hookrightarrow Periodenschwierigkeit berechnen \rightarrow AT \rightarrow fill in

$$\begin{aligned} K_{\alpha}(\text{Fe}) &= 17,0 \quad \text{kanal} \quad \rightarrow 6.40 \text{ keV} \\ K_{\alpha}(\text{Mo}) &= 48,8 \quad \rightarrow 17,48 \text{ keV.} \end{aligned}$$

\hookrightarrow Energiekalibierung: (kanal) \rightarrow x-Achse: E_x

\hookrightarrow Markierungen sind jetzt weg \Rightarrow

x-Achse nur Energie

Na	Element	Farbe
2	Ti	Rot
3	Re	Blau
4	Mo	Lila
5	Ni	Turquoise
6	Cu	Pink
8	Zn	Pink
9	Zr	Braun
10	Ag	Schwarz

- Ni, Cu, Zn, Zr, Ag machen.

y-Achse: aus (um Datensatz auszutauschen)
blenden

[nicht gemessen]

Element	Z	K α -Linie			K β -Linie		
		E/keV	\sqrt{E}/Ry	$R_{2,1}$	E/keV	\sqrt{E}/Ry	$R_{3,1}$
Ti	22	5.03 ± 0.23	19.23	-0.21	—	nicht sichtbar	—
Fe	26	6.40 ± 0.00	21.69	0.95	7.10 ± 0.00	22.85	1.77
Ni	28	8.06 ± 0.74	24.34	(0.11)	—	nicht sichtbar	—
Cu	29	8.51 ± 0.26	25.01	(0.12)	—	nicht sichtbar	—
Zn	30	9.18 ± 0.40	25.98	0.00	—	nicht unterscheidbar	—
Zr	40	15.86 ± 0.32	34.14	0.57	17.73 ± 0.30	36.11	1.70
Mo	42	17.49 ± 0.30	35.86	0.59	19.65 ± 0.25	38.01	1.68
[Ag]	47	21.97 ± 0.30	40.19	0.59	24.75 ± 0.36	42.66	1.75

↑ man sieht auch
(sehr viele Geräusche) (reicher)
(nur brauchbar)

↑
(in LibreOffice Calc)
berechnet

Formel:
 $\hookrightarrow (x-1) \sqrt{\frac{3}{4}}$

↑ Im Vergleich zu Element
gibt es Abweichungen

$$R_y = R_{\text{calc}} = 2,18 \cdot 10^{-18} \quad \square$$

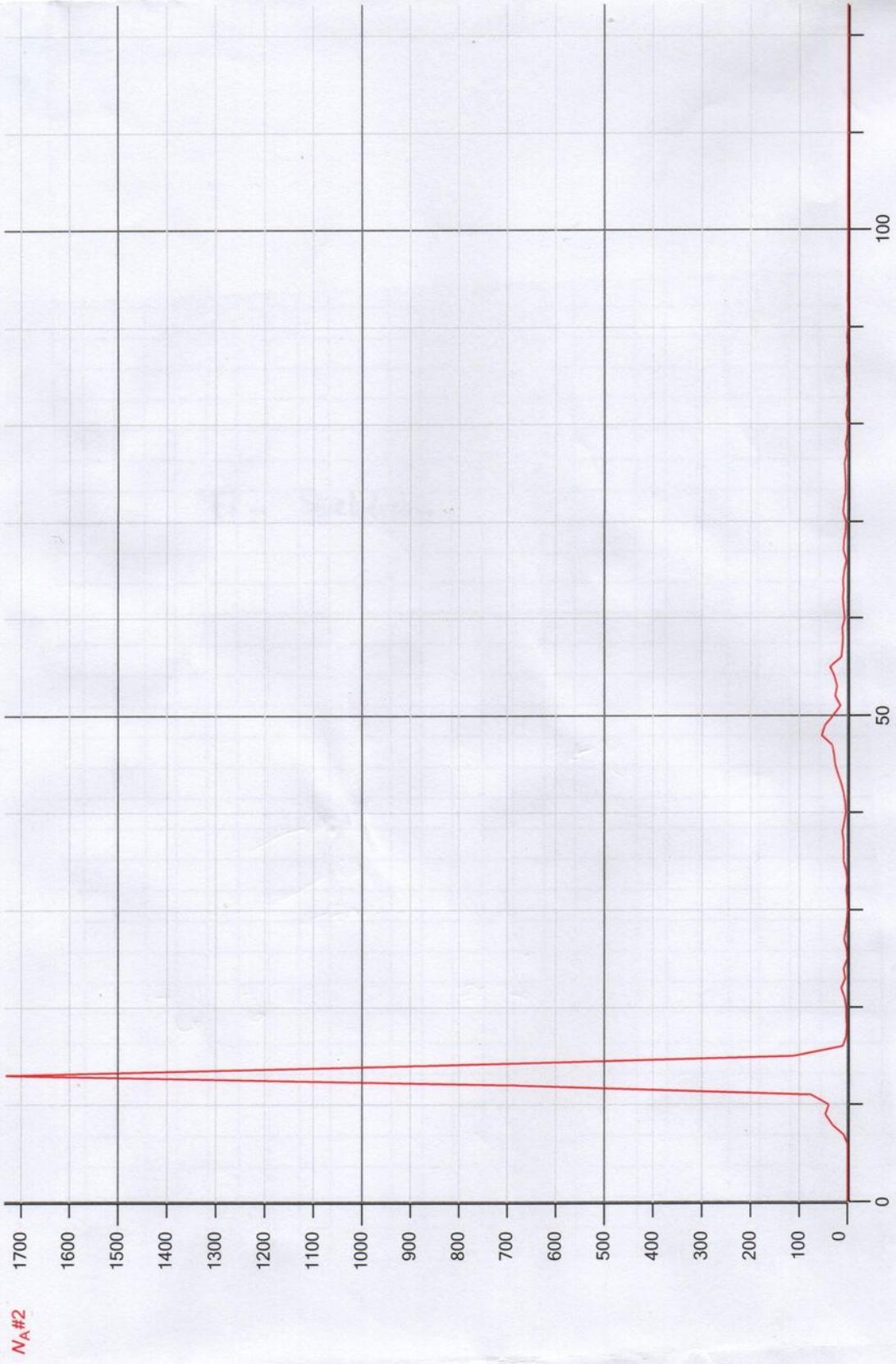
$$= 13,6 \text{ eV}$$

b
sqr

* nicht unterscheidbar: man sieht zwar, aber kann nicht bestimmt werden

Ti-Spektrum

Standard - Ti-Spektrum-na - CASSY Lab 2



n_A

$$\frac{f_{\text{TE}}}{f_{\text{Rg}}} = (z - \sigma_{z,1}) \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}} \Rightarrow \alpha = (z - \sigma_{z,1}) \beta$$

$$\Rightarrow \frac{\alpha}{\beta} = z - \sigma_{z,1}$$

$$\Rightarrow \sigma_{z,1} = z - \frac{\alpha}{\beta}$$

Bedauerlich! $z_n \rightarrow \sigma_{z,1} = 0 ??$

↳ Formel sehr empfindlich

$$\sigma_{z,1} \Rightarrow \beta_1 = \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{4}}$$

$$\sigma_{z,1} \Rightarrow \beta_1 = \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{4}}$$

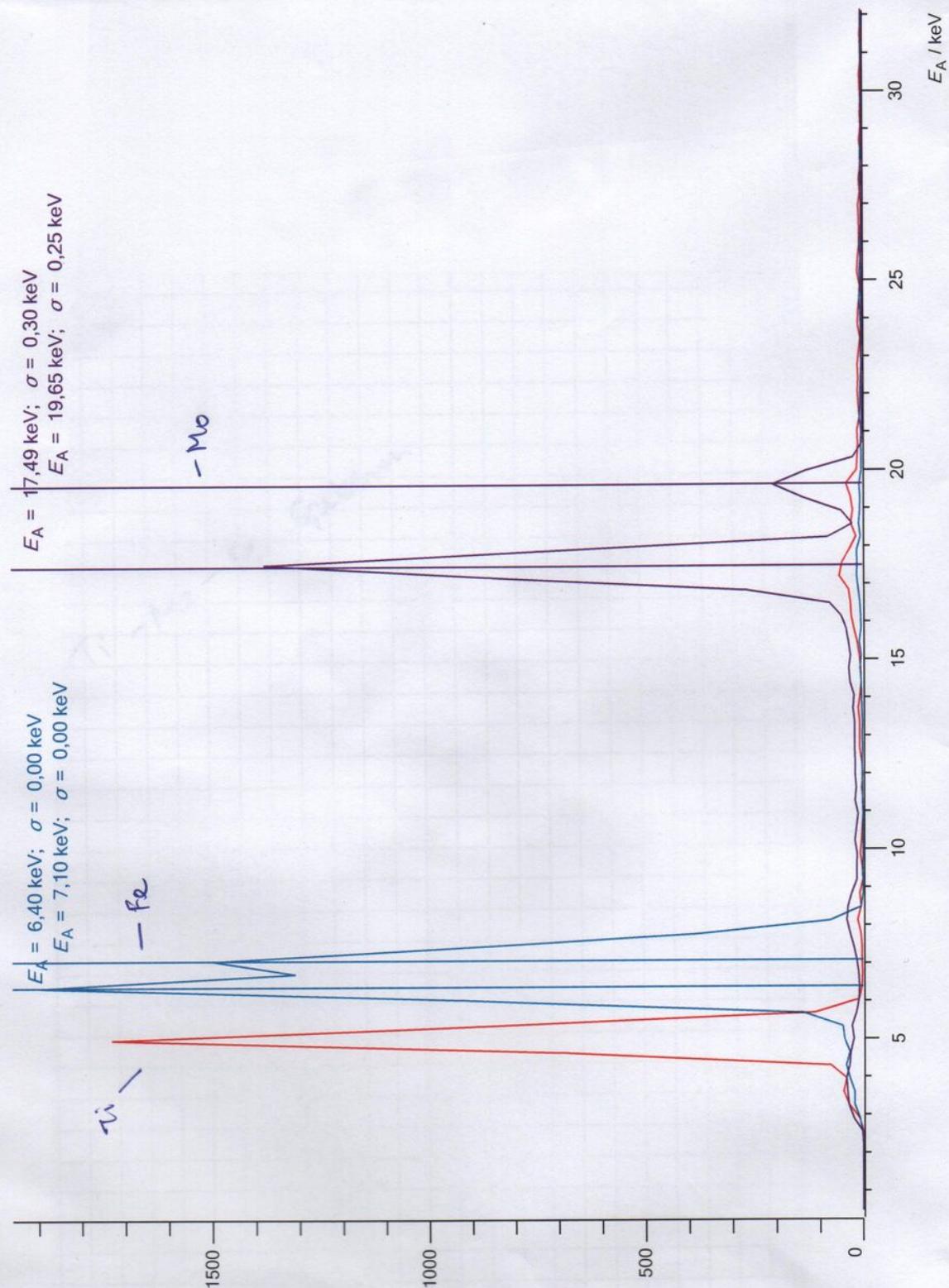
Plotten gemäß Anleitung Seite 20.

~~$$\text{Formel: } \frac{f_{\text{TE}}}{f_{\text{Rg}}} = (z - \sigma_{z,1}) \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}}$$~~

Standard - Mo-Spektrum - CASSY Lab 2

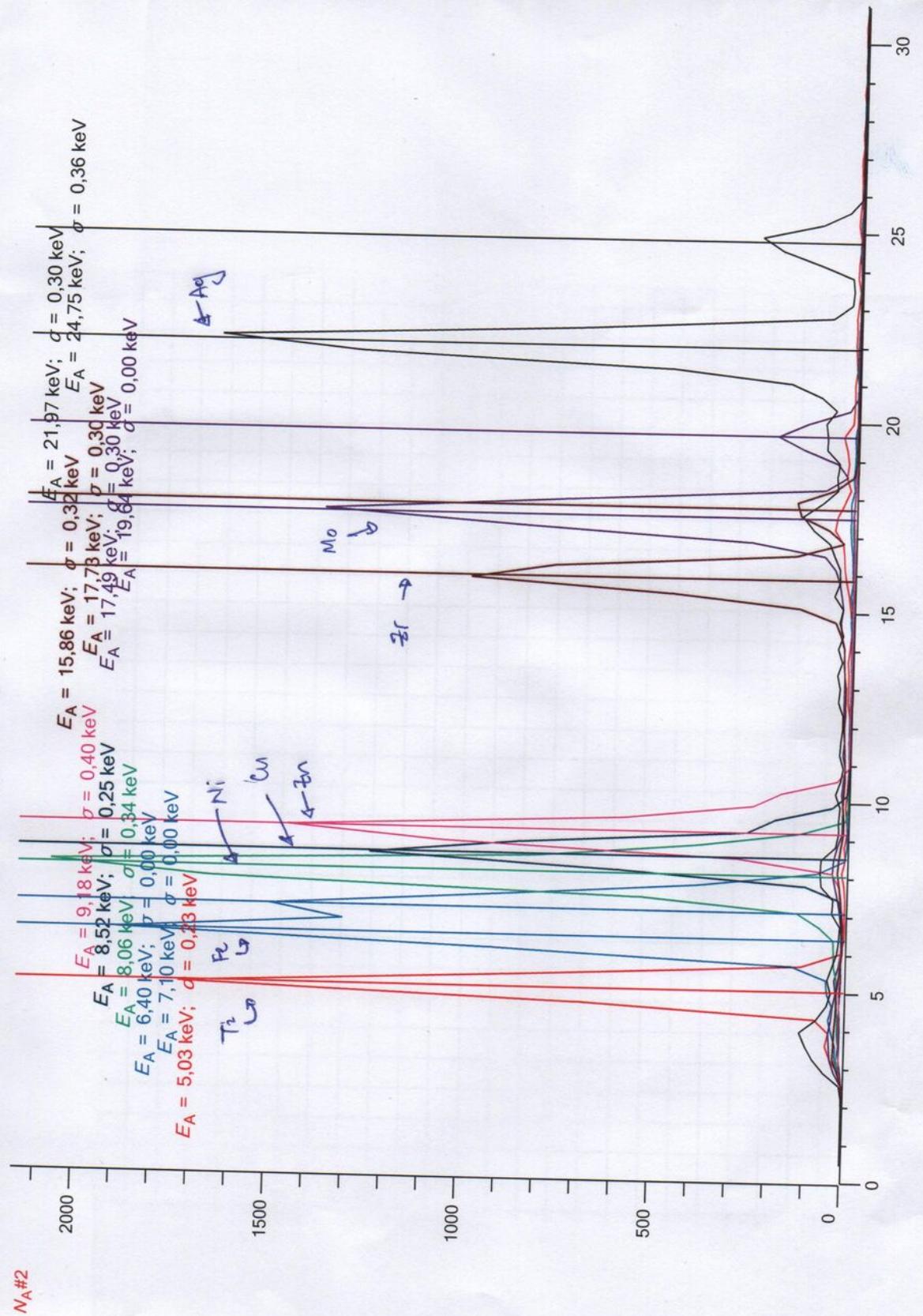
Ti, Fe und Mo Spektrum,

$N_A \# 2$



(Nach Kalibierung)

Standard - All-Spektrum-marked - CASSY Lab 2

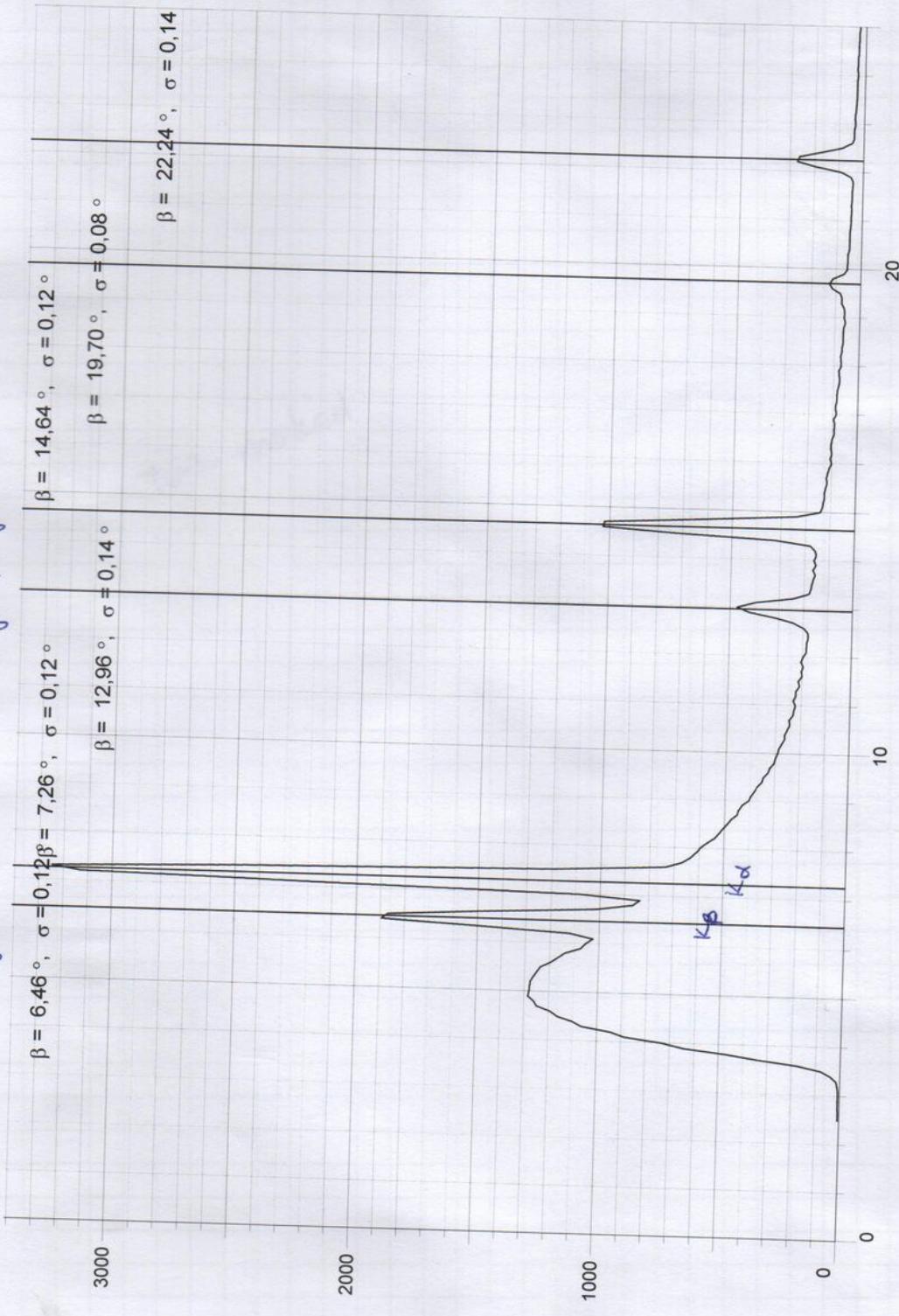


Teilversuch 1 (weiter)

Röntgengerät - tv1-marked
Röntgenspektrum bei 35kV Röntgenstrahlung.

Röntgengerät - tv1-marked

$\frac{R}{1s}$



$\beta / ^\circ$

Teilversuch 2

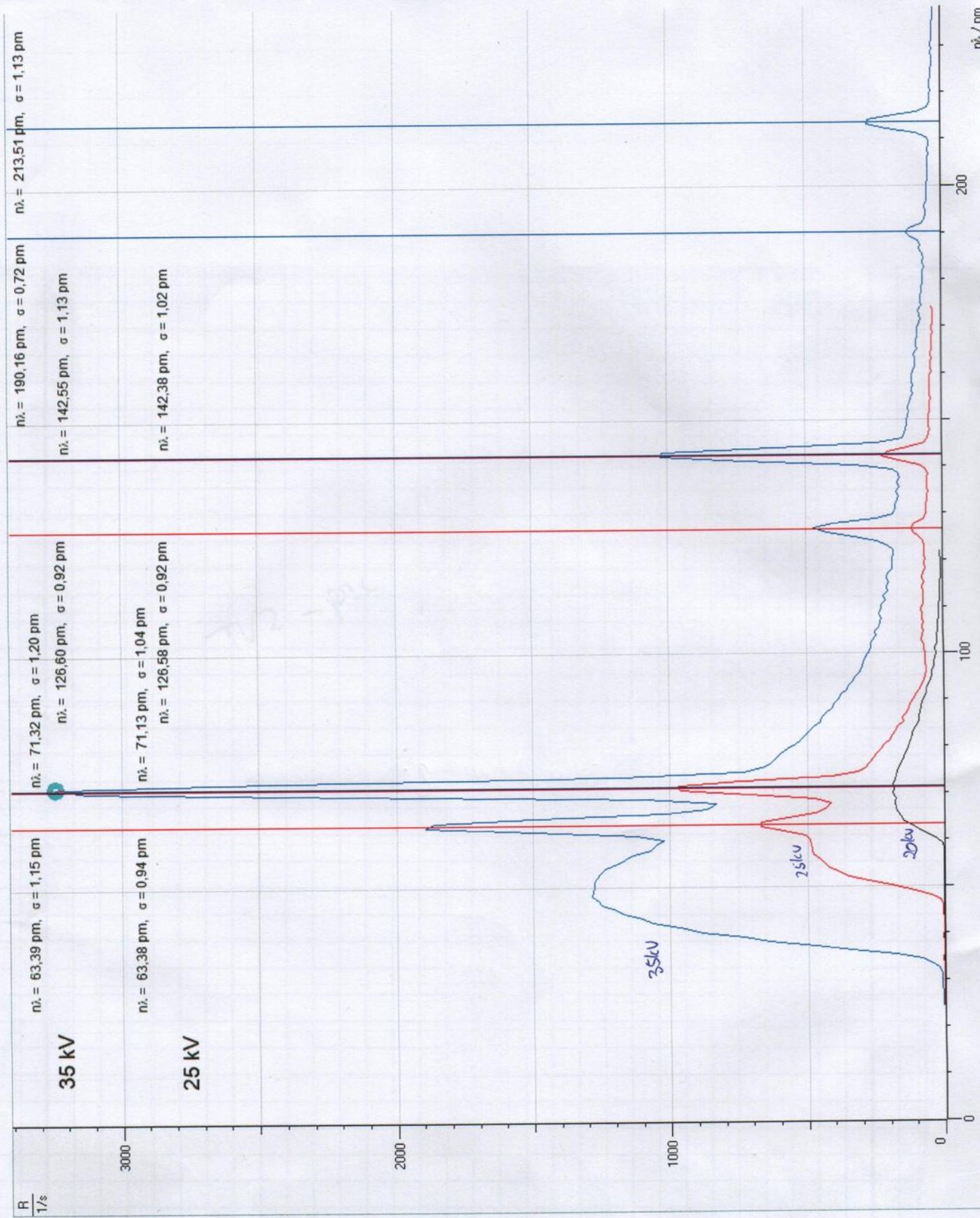
① Emission: $U = 20,0 \text{ kV}, \beta_{min} \approx 2,5^\circ \rightarrow \beta_{max} = 12,5^\circ$. \rightarrow kein Park gesehen

② $U = 25,0 \text{ kV}, \beta_{min} \approx 2,5^\circ \rightarrow \beta_{max} = 18,0^\circ$.

③ 35,0 kV Messwerte laden.

④ $F_5 > \text{kosten} > \text{NaCl}$ ($564,0 \text{ mV}$)

(TV2) Spektrum bei vorherreuer He^+ -Röhrenentladung.



Teilversuch 3

Messreihe	U / kV
R ₀	22,0
R ₁	24,0
R ₂	26,0
R ₃	28,0
R ₄	30,0
R ₅	32,0
R ₆	34,0
R ₇	35,0

Impf Programm

Einstellung siehe

Vorprotokoll zu TV3

Anleitung S. 14

• Es gibt am Anfang nach ein einzelner Teil

↓ linear

- Mit steigende U, mehr Punkte ~~im~~ ^{im} linear
Teil

Nach wählen

Teilversuch 4 (unten)

Moseley! Siehe nächste Seite

Nette Darstellung > klein Kugel.

Ld Abschung: keine Perioden \Rightarrow Schleife bestimte Linie, kugelförmig?
Empfindlinie Formel?

Teilversuch 5:

Probe: 1€ Münze

Messung ~~NGH11~~

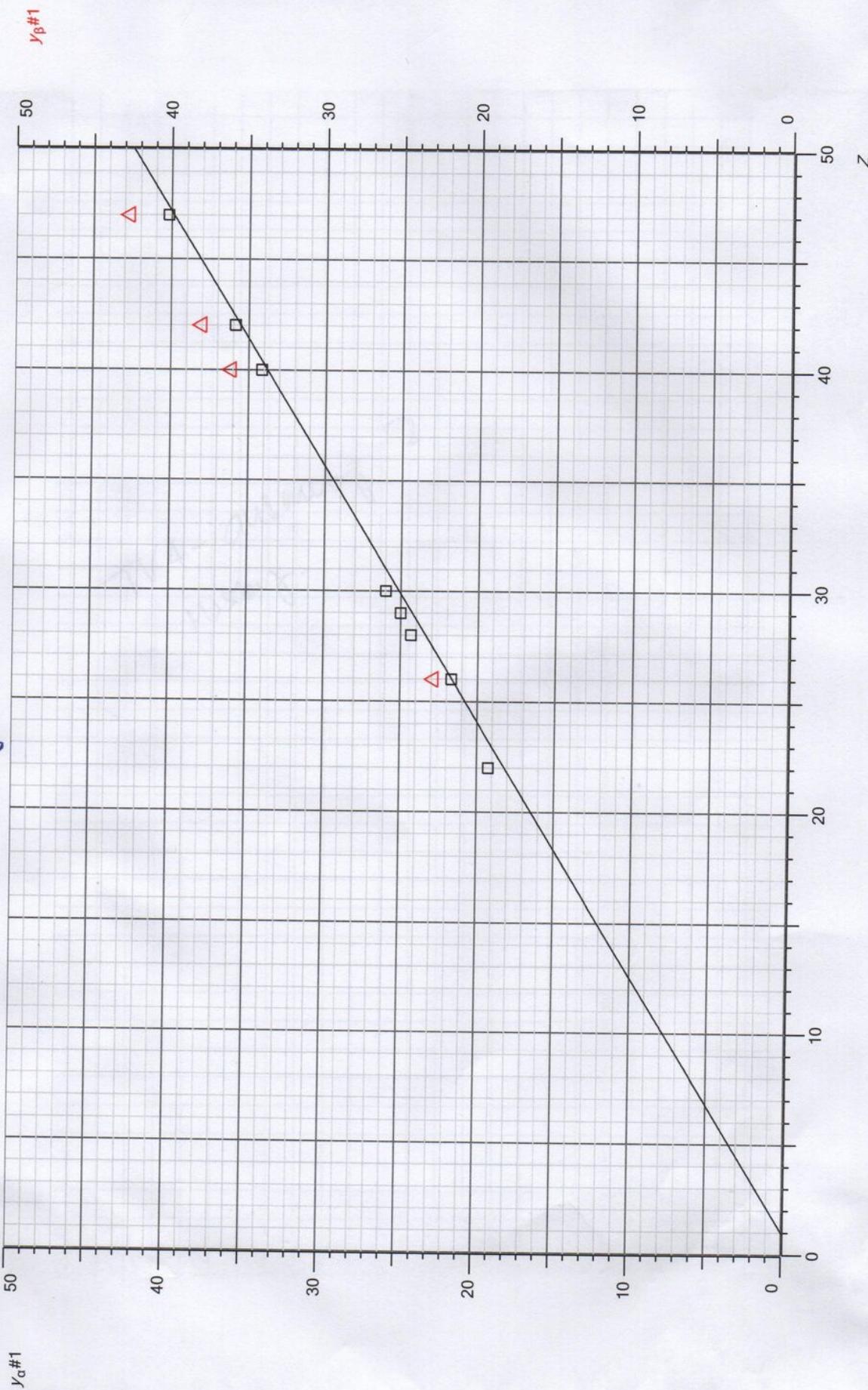
} Ergebnis: Reihe

Teilversuch 3

Messreihe (Plände) siehe Auswertung für die Messreihe

Moseley - tv4-auswertung-2 - CASSY Lab 2

Teilversuch 4 : Moseley's Gesetz.

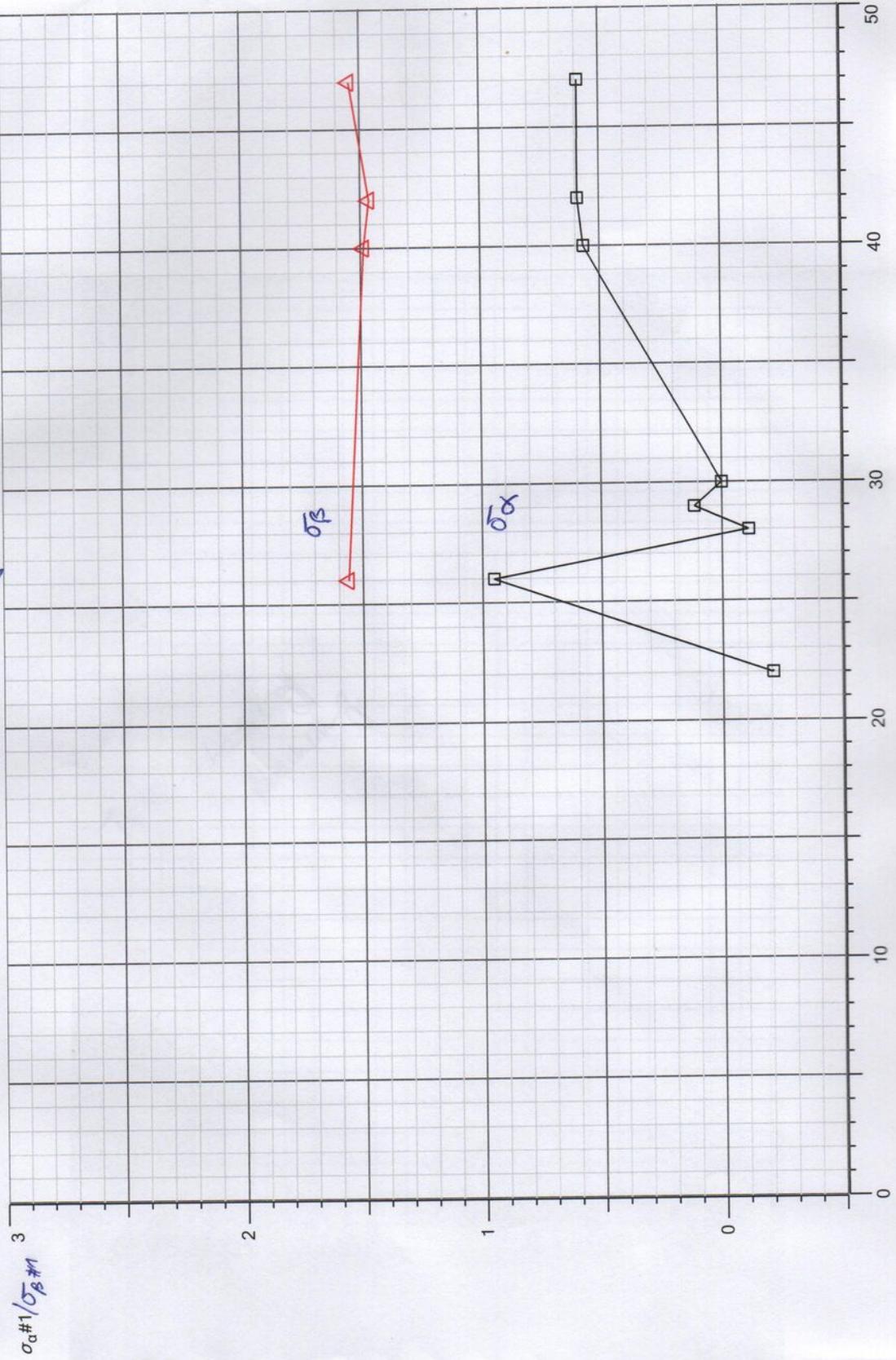


Teilversuch 4 (aveto)

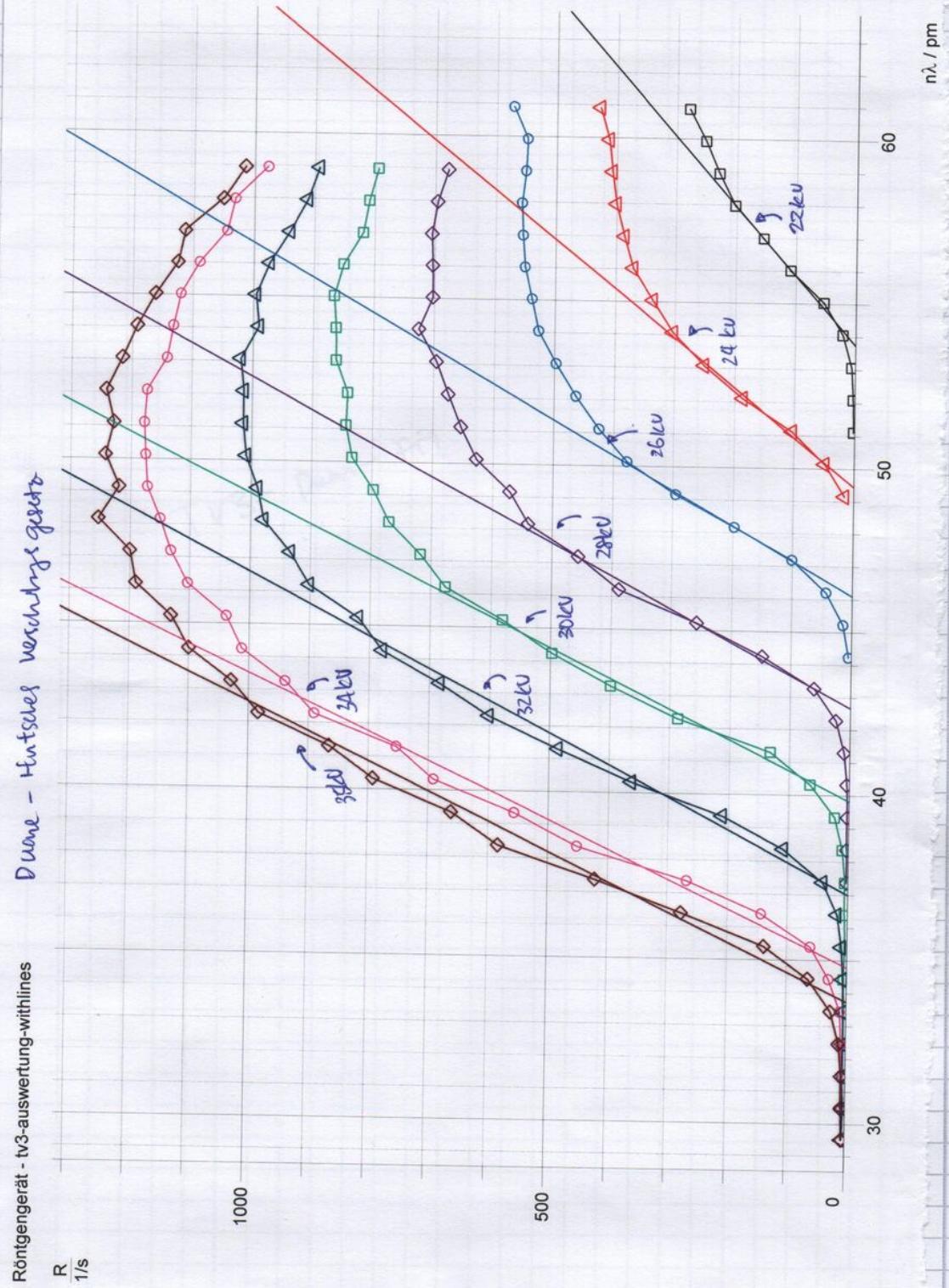
$\gamma_{\beta} \# 1$

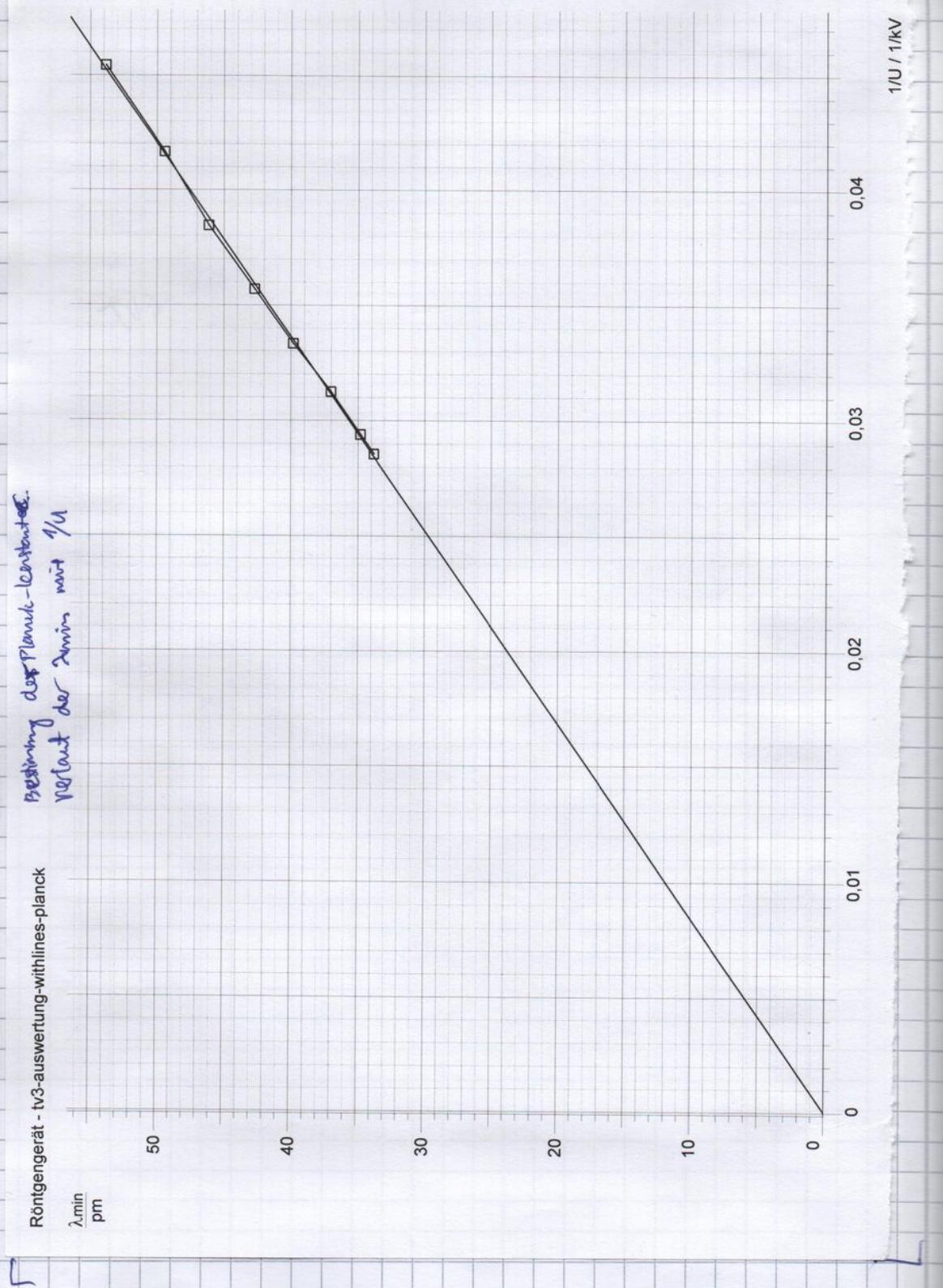
Abschirmungskonstante - tv4-auswertung-4 - CASSY Lab 2

Teilwesen & Abschirmkonstante



Teilversuch 3 (Calcifer)





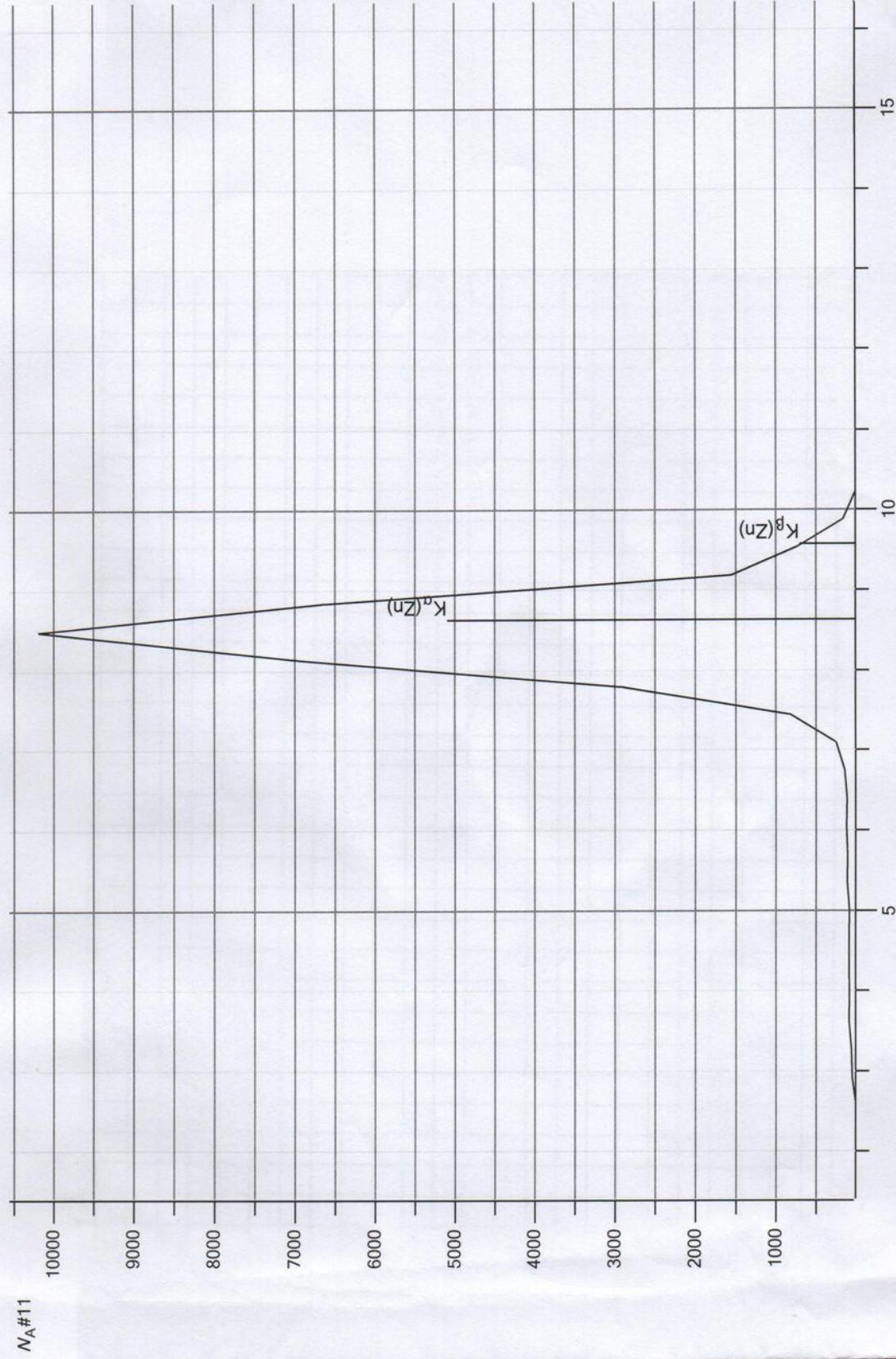
$$A = 1190 \text{ pm}^2 \text{kV}$$

$$B = -0,1 \text{ pm}$$

$$(h = 6,36 \cdot 10^{-34} \text{ Js})$$

1 Euro - tv5 - CASSY Lab 2

1 € Münze Spektrum



⇒ 1 € Münze (unten) ist Zink.

1 € Münze ↑
↓

LMU München
Physikalische Praktika

Versuch: ROE

Datum: 26.8.21

Betreuer: Edis Hrustanbegovic

ROE – Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion und Röntgenfluorezenzanalyse

Auswertung

Yudong Sun
Gruppe L8

27. August 2021

Teilversuch 1: Bragg Reflexion von Röntgenstrahlung des Molybdän an einem NaCl-Einkristall



Abbildung 1.1: Aufbau von Teilversuch 1

Wir berechnen zunächst aus unseren β -Winkeln die entsprechende Wellenlänge. Es gilt:

$$n\lambda = 2d \sin \beta$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{2d \sin \beta}{n} \quad (1.1)$$

$$\Delta\lambda = \sqrt{\left(\frac{\partial\lambda}{\partial\beta}\Delta\beta\right)^2} = \left| \frac{2d\Delta\beta}{n} \cos\beta \right| \quad (1.2)$$

wobei alle Winkel in Radian sind. Alle Rechnung erfolgen in LibreOffice Calc. Um den Mittelwert und

Fehler des Mittelwertes zu berechnen, verwenden wir die gerundeten Werten und die Funktion AVERAGE bzw. die Formel:

$$\Delta\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{(\Delta\lambda_1)^2 + (\Delta\lambda_2)^2 + (\Delta\lambda_3)^2}}{3} \quad (1.3)$$

wobei der Zähler mithilfe der Funktion SUMSQ in LibreOffice Calc gerechnet ist.

Da $n = 3$ noch ziemlich klein ist, ist es nicht sinnvoll die Formel für die Standardabweichung zu verwenden. Die Formel für die Standardabweichung geht von einer gaußschen Verteilung aus, was wir hier nicht gewährleisten können. Wir verwenden somit direkte Fehlerfortpflanzung.

Wir erhalten somit:

n	K_α		K_β	
	$\beta/^\circ$	λ/pm	$\beta/^\circ$	λ/pm
1	$7,26 \pm 0,12$	$71,3 \pm 1,2$	$6,46 \pm 0,12$	$63,5 \pm 1,2$
2	$14,64 \pm 0,12$	$71,3 \pm 0,6$	$12,96 \pm 0,14$	$63,2 \pm 0,7$
3	$22,24 \pm 0,14$	$71,2 \pm 0,5$	$19,7 \pm 0,8$	$63,38 \pm 0,25$
(Mittelwert)		$71,3 \pm 0,5$	(Mittelwert)	$63,4 \pm 0,5$
(λ_{Lit})		71,08	(λ_{Lit})	63,09

Die experimentelle Werten stimmen mit der Literaturwerten überein.

Teilversuch 2: Energiespektrum einer Röntgenröhre in Abhängigkeit der Spannung

Wir haben hier für jede Linie (K_α bzw. K_β) 5 Datenpunkten für $n\lambda$. Wir berechnen daraus die Wellenlänge λ und bilden die Mittelwerte. Die Fehlerfortpflanzung erfolgt wie Gleichung (1.3) aber zusätzlich mit λ_4 und λ_5 :

$$\Delta\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{(\Delta\lambda_1)^2 + (\Delta\lambda_2)^2 + (\Delta\lambda_3)^2 + (\Delta\lambda_4)^2 + (\Delta\lambda_5)^2}}{5} \quad (2.1)$$

Wir runden dabei alle Werten gemäß der allbekannten Rundungsregeln. Bei der $U = 20 \text{ kV}$ Messung haben wir keine Peaks erhalten.

U/kV	n	K_α		K_β	
		$n\lambda/\text{pm}$	λ/pm	$n\lambda/\text{pm}$	λ/pm
35,0	1	$71,3 \pm 1,2$	$71,3 \pm 1,2$	$63,4 \pm 1,2$	$63,4 \pm 1,2$
	2	$142,6 \pm 1,2$	$71,3 \pm 0,6$	$126,6 \pm 1,0$	$63,3 \pm 0,5$
	3	$213,5 \pm 1,2$	$71,2 \pm 0,4$	$190,2 \pm 0,8$	$63,40 \pm 0,27$
25,0	1	$71,1 \pm 1,1$	$71,1 \pm 1,1$	$63,4 \pm 1,0$	$63,4 \pm 1,0$
	2	$142,4 \pm 1,1$	$71,2 \pm 0,6$	$126,6 \pm 1,0$	$63,3 \pm 0,5$
	(Mittelwert)		$71,2 \pm 0,4$	(Mittelwert)	$63,4 \pm 0,4$
	(TV1)		$71,3 \pm 0,5$	(TV1)	$63,4 \pm 0,5$
(λ_{Lit})		71,08	(λ_{Lit})	63,09	

Die Werten vom Teilversuch 2 stimmen also mit der Werten von Teilversuch 1 und mit der Literaturwerten überein.

Man sieht im Spektrum drei deutliche Effekte:

1. Je höher die Spannung, desto größer die Anzahl der Ereignissen (vertikale Achse)

Wir erhalten den Strom während des Versuchs immer konstant. Das heißt, dass die Anzahl der Elektronen je Zeiteinheit, die vom Kathode zu Anode kommt, bleibt immer gleich. Wenn die Beschleunigungsspannung aber größer ist, haben die Elektronen im Mittel mehr Energie. Das führt dazu, dass es für jede Energie mehr Elektronen gibt. Daraus ergibt sich dann insgesamt mehr Röntgensstrahlung aus der Röhre, was wir hier als eine größere Anzahl an Ereignisse messen können.

2. Je höher die Spannung, desto kleiner der Grenzwellenlänge λ_{\min} . Die kontinuierliche Bremsstrahlung verschiebt sich auch nach links.

Die Grenzwellenlänge ergibt sich, wenn die gesamte kinetische Energie von einem beschleunigten Elektron in einem Röntgenphoton umgewandelt ist. Das ist eine Folge der Energieerhaltung. Da Energie eines Photons inversproportional zu Wellenlänge ist, bedeutet eine größere Energie eine kleinere Wellenlänge.

Mit größerer Spannungen, sind die Elektronen in einem stärkeren E-Feld beschleunigt. Sie haben somit mehr kinetische Energie, was in Röntgenstrahlung umgewandelt werden kann. Deswegen beobachten wir insgesamt eine links Verschiebung (kleinere Wellenlänge \Leftarrow größere Energie).

3. Bei $U = 20 \text{ kV}$ ist keine Peaks zu sehen.

Das liegt vermutlich daran, dass es einfach zu wenig Elektronen gibt, um Elektronen aus innere Schalen rauszustoßen. Die Elektronen sind vor dem Treffen eines Elektron im Atom schon durch die Bremsstrahlung gebremst und somit haben nicht genug Energie, um Löcher in inneren Schalen zu erzeugen. Somit ergibt sich auch kaum charakteristische Linien.

Die Theorie weißt ich leider nicht genau. Ich werde mich freuen

Teilversuch 3: Duane-Huntsches Verschiebungsgesetz

Auf der Kurveanpassungen erhalten wir die Messreihe:

U/kV	35	34	32	30	28	26	24	22
λ_{\min}/pm	33,8	34,8	37,0	39,8	42,7	46,1	49,4	53,8

Es ist kein Fehler im Programm angegeben. Es erfolgt also keine Fehlerrechnung.

Wir haben nach der Kurveanpassung im Programm die folgende Ergebnis bekommen:

Variable	Wert
A Steigung	1190 pm kV
h Plancksches Wirkungsquantum	$6,36 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$

Es gilt:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{e} \left(\frac{1}{U} \right) \quad \Rightarrow \quad A = \frac{hc}{e} \quad (3.1)$$

Somit können wir das Plancksche Wirkungsquantum aus der Steigung ermitteln, was das Programm uns schon gemacht hat. Das Ergebnis von $h_{\text{exp}} = 6,36 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ ist sehr nah an $h_{\text{Lit}} = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$. Da es keine Unsicherheit vorhanden ist, können wir keine Aussage darüber schließen, ob die zwei Werte miteinander verträglich sind. Da die Werte aber sehr nah an andere sind, stimmen das Duane-Huntsches Verschiebungsgesetz.

Eine mögliche Fehlerquelle ist die ungenaue Bestimmung des linearen Anteils der Kurve. Die Grenzwellenlänge λ_{\min} ist aber stark von der Kurveanpassung abhängig. Somit kann diese ungenaue Bestimmung zu Fehler in der Grenzwellenlänge führen.

Teilversuch 4: Röntgenfloureszenzanalyse

Aus der Auswertung sieht man eine etwa lineare Abhängigkeit zwischen $\sqrt{E/R_y}$ und die Ordnungszahl Z , was auch im Moseleys Gesetz vorhergesagt ist, also entspricht das Gesetz die Realität.

Bei der Abschirmungskonstante sehe ich leider keine eindeutige Trend. Obwohl die Abschirmungskonstante nur positiv sein sollte, habe ich auch einige negative Abschirmungskonstante erhalten. Die Werten sind also vermutlich nicht die zu erwarten sind.

Die Abschirmungskonstant hängt stark von der Kernladungszahl und elektronische Konfiguration ab. In unserem Datensatz haben wir alle Übergangsmetalle als Probe verwendet. Es geht also immer um die $3d$ - bzw. $4d$ -Elektronen. Nach Wikipedia¹ sollen weitere $3d$ Elektronen nicht zur Abschirmungskonstante beitragen, wenn die Übergang zwischen die Schalen $n = 1$ und $n = 2$ (K_{α}) betrachten. Es ist mir also nicht so klar, wie die erwartete Trend entsteht. Vielleicht habe ich was falsch verstanden, aber ich würde mich freuen, wenn wir das im Nachgespräch tiefer eingehen können.

¹[https://de.wikipedia.org/wiki/Abschirmung_\(Atomphysik\)#Slater-Regeln](https://de.wikipedia.org/wiki/Abschirmung_(Atomphysik)#Slater-Regeln)

Die mögliche Fehlerquellen sind:

1. Schlecht bestimmte Linien

Die Auflösung des Detektors ist nicht besonders hoch im Vergleich zu der Linienbreite der einzelnen Linien. Somit könnte es sein, dass die echten Peaks nicht richtig bestimmt worden, zum Beispiel, wenn sie zwischen zwei Detektorkanäle liegen. Wenn die Kalibrierung falsch waren, dann werden die Messungen für die anderen Linien auch entsprechend falsch sein. Das kann man überprüfen, indem mehr Linien zur Kalibrierung verwendet.

2. Formel ist sehr empfindlich und reagiert stark auf die bestimmte Linienenergien.

Die Formel für die Abschirmungskonstante ist gegeben durch:

$$\sigma_{j,i} = Z - \sqrt{\frac{E/R_y}{1/n_i^2 - 1/n_j^2}} = Z - \sqrt{E} \sqrt{\frac{1}{R_y (1/n_i^2 - 1/n_j^2)}} \quad (4.1)$$

Da die Abschirmungskonstante ungefähr im Bereich 0-3 liegen soll, sind Z und der zweite Faktor numerisch sehr nah aneinander. Ein kleiner Fehler bei der Bestimmung der Energie kann dann zu stark abweichende Abschirmungskonstante führen.

Deswegen hatten wir die erwartete Beziehung aus unserem Experiment nicht erhalten.

Teilversuch 5: Identifikation einer unbekannten Probe mittels Röntgenfluoreszenz

Im Versuch haben wir eine 1€-Münze verwendet und das Spektrum hat zu dem von Zn gepasst.

Aus Wikipedia² besteht die Münze aus folgenden Materialien:

- Ring: Nickel-Messing (75 % Cu, 20 % Zn, 5 % Ni)
- Kern: Kupfernickel, Nickel, Kupfernickel geschichtet (Magnimat)

Es scheint also, dass Zn eigentlich kein größerer Anteil ist, was ziemlich interessant ist. Vielleicht war die Münze von Zn beschichtet und somit erhalten wir ein starke Zn Signal.

²<https://de.wikipedia.org/wiki/Eurom%C3%BCnze>