

Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

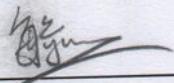
Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs P3B

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.

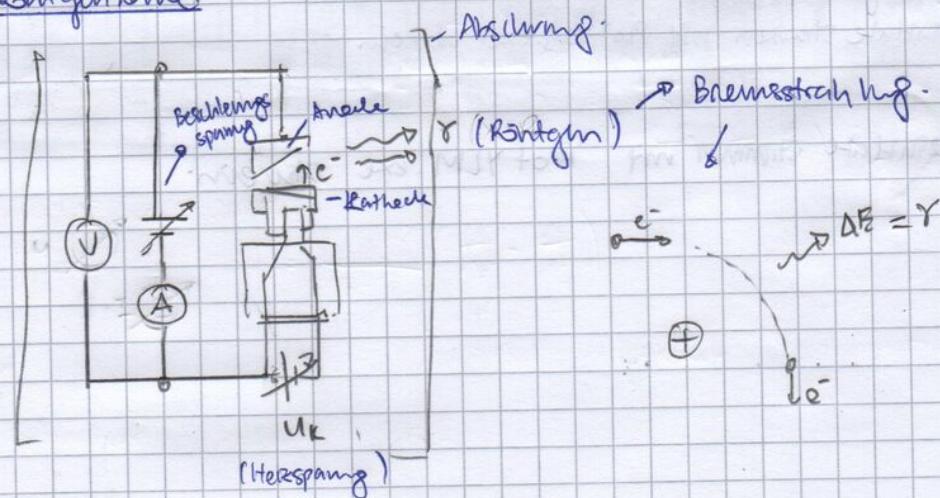
8 D

kariert
Doppelrand

RöE - Röntgenstrahlung: Bragg-Reflexion auf Röntgenfluoreszenzanalyse.

<Vorbericht> Name: Yuelig Sun
Datum: 25.08.21.

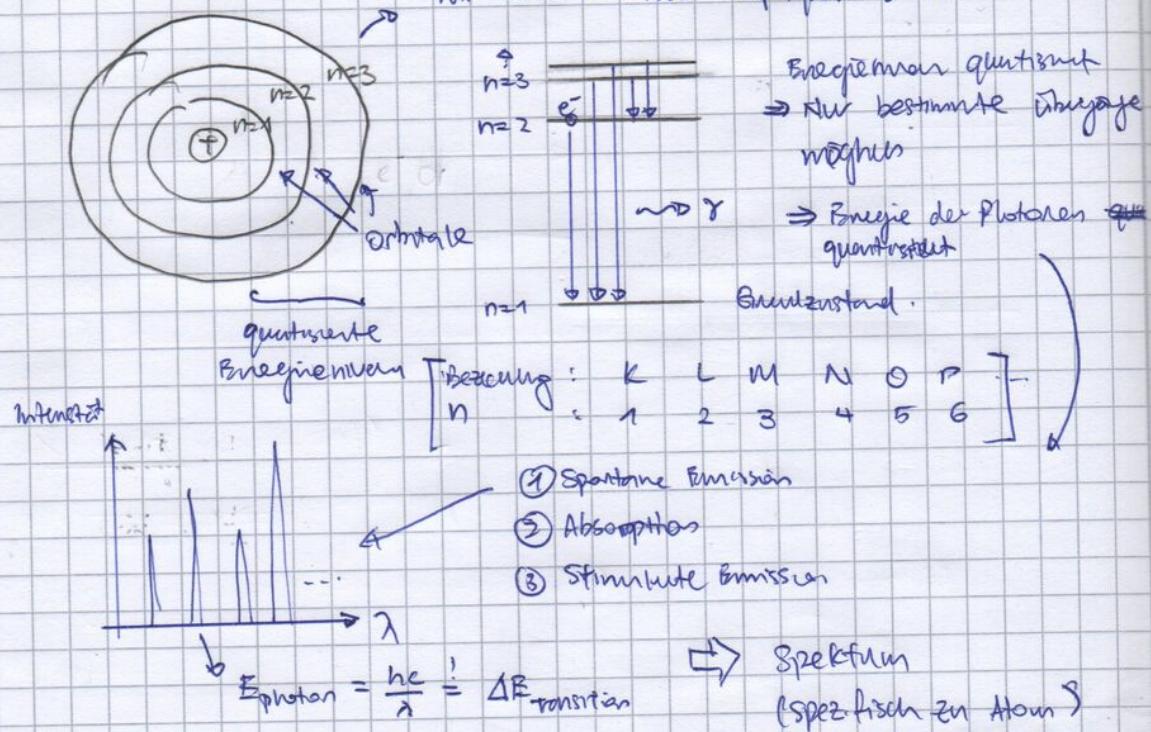
* Röntgenröhre:



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

* Linienspektren eines großen, schalenmodell, nachste Übergänge

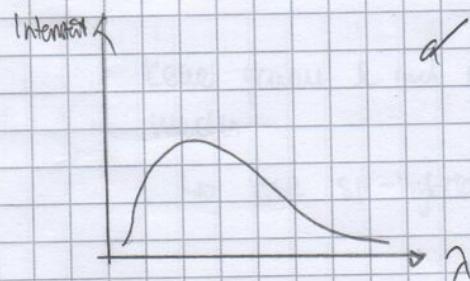
Wir betrachten nur Hauptquantenzahl.



Energie wird quantisiert
⇒ nur bestimmte Übergänge möglich
⇒ Energie der Photonen quantifiziert

* Röntgenstrahlung / Zustandekommen der Oberflächenlinus

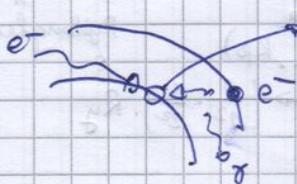
① Bremstrahlung: Breit: da Elektronen verschwende Menge von Energie verlieren ~~verlieren~~, wenn sie durch Wechselwirkung mit positiv geladene Atomkerne gebremst sind.



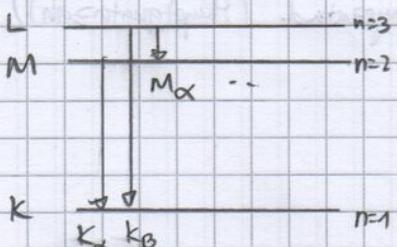
② Charakteristische Linien: Energie geben gleich Energieunterschied zwischen 2 Energieniveaus.

~~beschleunigt~~

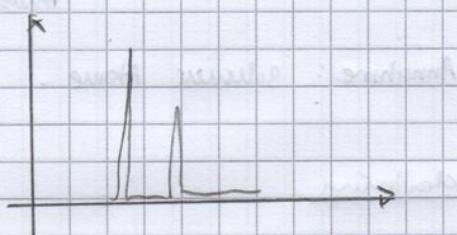
beschleunigte Elektronen anttreten Elektronen aus den inneren Schalen der Atome der Anodenmaterialien herausstoßen lassen



- Elektronen von oktaedrischen Schalen zerfallen in niedrige Schalen
- Wegen ~~steile~~ Quantisierung. Schritte charakteristische Linien werden erzeugt.

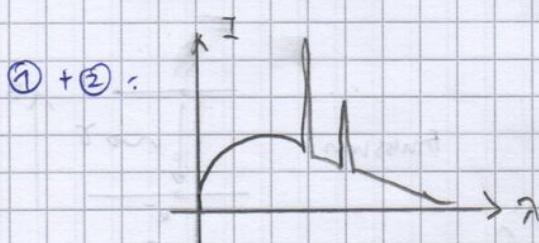


\Rightarrow

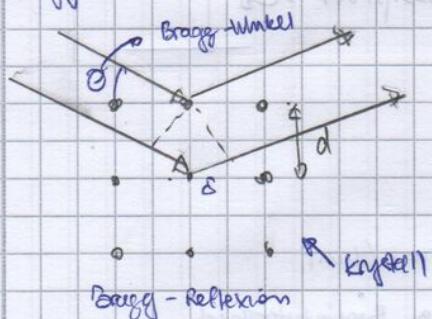


$$\text{Bragg} \quad \sqrt{\frac{E}{Ry}} = (z - \sigma_{2,1}) \sqrt{\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}}$$

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



Bragg - Reflexion



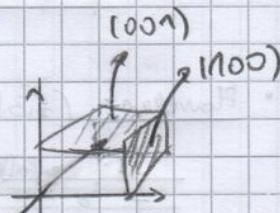
$$s = 2d \sin(\delta)$$

Pfeil unterscheidet

$$\Rightarrow \text{Intensität} : n\lambda = 2ds \sin(\delta)$$

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:

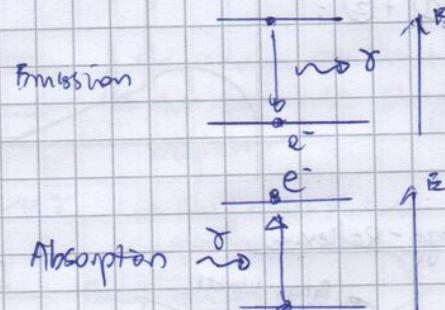
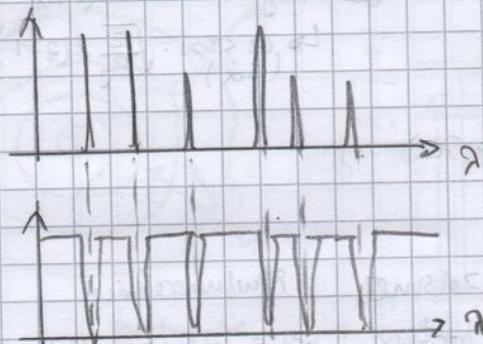
$$E = hf = \frac{me^2 q_1^2}{8\pi^2 \epsilon_0} \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

↓ ↓
Endzustand Anfangszustand (Hauptquantenzahl)

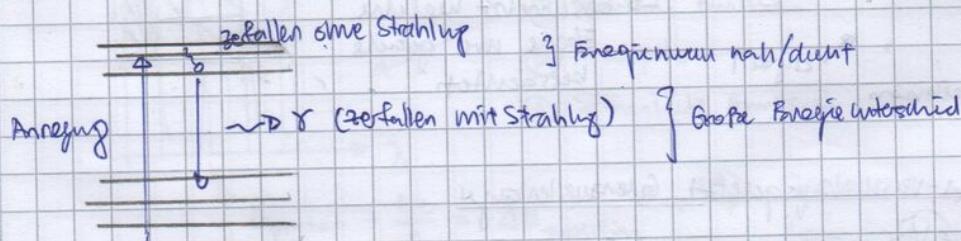
- Annahme: kleinere Atome.

Spektrallinien

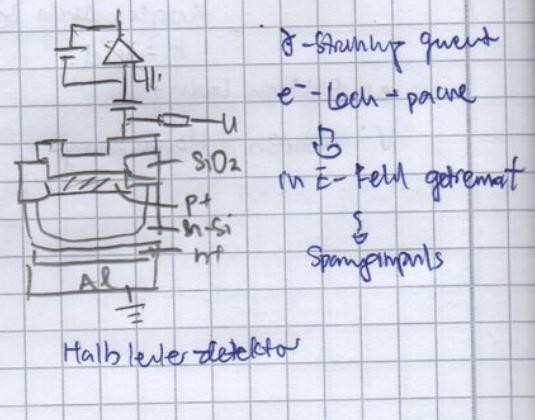
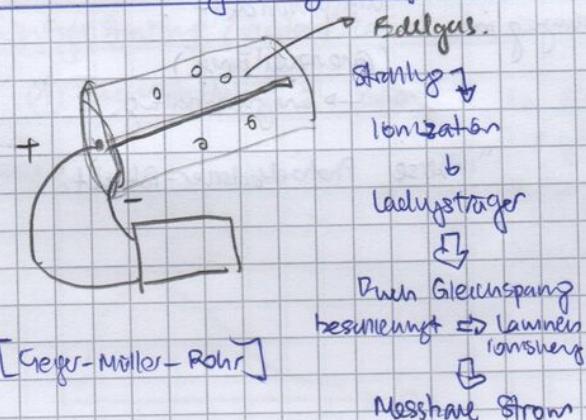
- Bohr: diskrete Energieniveaus



Fluoreszenz (z.B. Kristall)



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



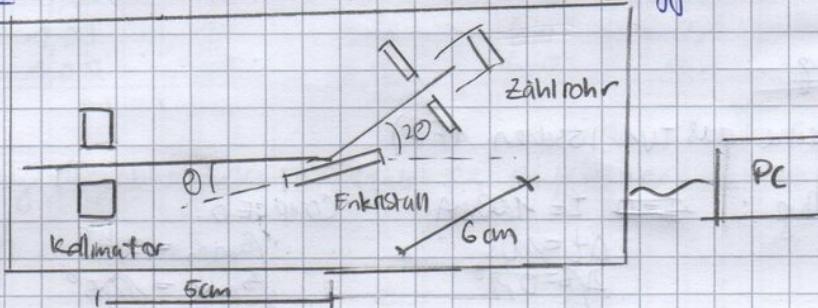
<Vorlesung> Name: Thilo Engels
Datum: 26.08.21

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.

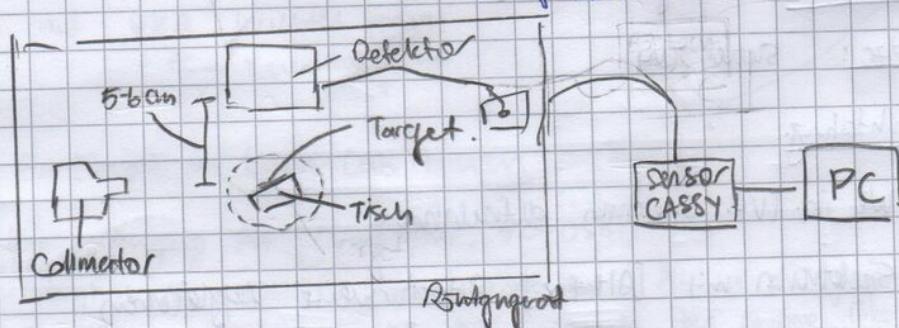
Teilversuch 4: Röntgenfluoreszenzanalyse

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:

Vielkanalmessung, 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 Tagetfisch im Röntgengerät
- ⑧ Schutzhandschuhe schließen und Messung 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.

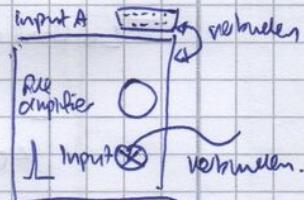
ZERO gedrückt \rightarrow Detektor dreht sich.

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.



\Rightarrow

darauf entsprechend
Bittel im Programm

Auf RA (Ratet) im Cassy-Lab klicken.

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

\hookrightarrow Breghusse NA Kanal NA, Energie EA haben die gleiche Einstellungen, Ablesungen in ~~aus~~ wird in der Anklone übernommen. Eine

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

Intervall: 1s.

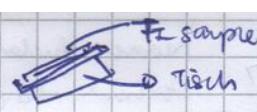
\downarrow
-2000 mV

Bregie 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 to fill in

$$\begin{aligned} K_{\alpha}(\text{Fe}) &= 17,0 \quad \text{Kanal} \quad \rightarrow 6,40 \text{ keV} \\ K_{\alpha}(\text{Mo}) &= 48,8 \quad \rightarrow 17,18 \text{ keV.} \end{aligned}$$

\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
7	Zn	Blau
8	Zr	Pink
9	Ag	Braun
10		Schwarz

- Ni, Cu, Zn, Zr, Ag machen. \rightarrow y-Achse: aus (vom Datensatz ausgenommen) blenden

[nicht gemessen]

Element	Z	K α -Linie			K β -Linie		
		E/keV	\sqrt{E}/keV	$R_{2,1}$	E/keV	\sqrt{E}/keV	$R_{3,1}$
Ti	22	$5,03 \pm 0,23$	19,23	-0,21	—	nicht sichtbar	—
Fe	26	$6,40 \pm 0,00$	21,69	0,95	$7,10 \pm 0,00$	22,85	1,77
Ni	28	$8,06 \pm 0,74$	24,34	$(0,10)$	—	nicht sichtbar	—
Cu	29	$8,51 \pm 0,26$	25,01	$(0,12)$	—	nicht sichtbar	—
Zn	30	$9,18 \pm 0,40$	25,98	0,00	—	nicht unterscheidbar	—
Zr	40	$15,86 \pm 0,32$	34,14	0,57	$17,73 \pm 0,30$	36,11	1,70
Mo	42	$17,49 \pm 0,30$	35,86	0,59	$19,65 \pm 0,25$	38,01	1,68
[Ag]	47	$21,97 \pm 0,30$	40,19	0,59	$24,75 \pm 0,36$	42,66	1,75

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

↑
(in LibreOffice Calc)
berechnet

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

↑ Im Vergleich zu Element
gibt es Abweichungen

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

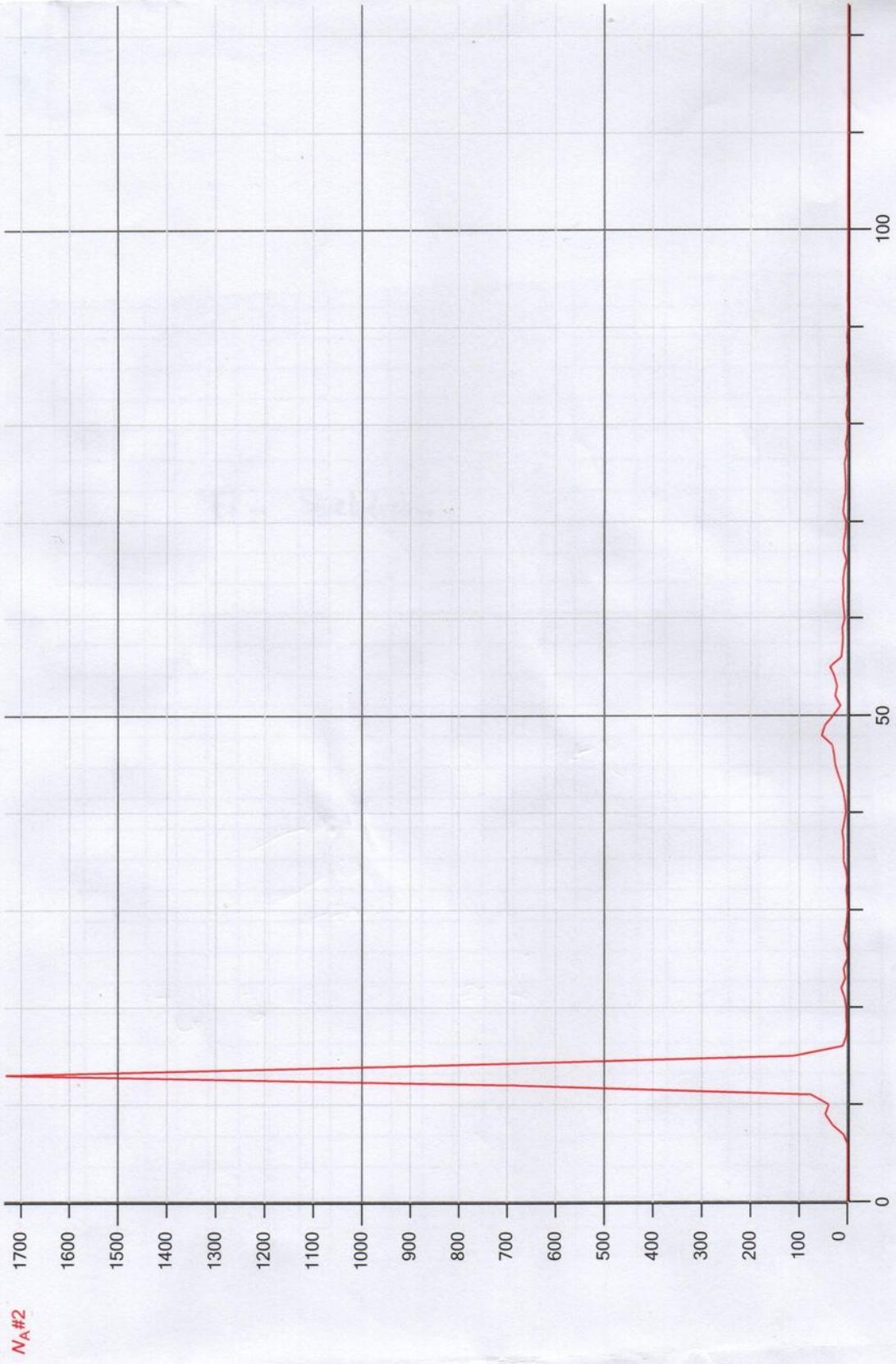
$$= 13,6 \text{ eV}$$

b
sqr

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

Ti-Spektrum

Standard - Ti-Spektrum-na - CASSY Lab 2



Na#2

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

$$\Rightarrow \frac{\alpha}{\beta} = z - \sigma_{2,1}$$

$$\Rightarrow \sigma_{2,1} = z - \frac{\alpha}{\beta}$$

Bedauerlich! $z_n \rightarrow \sigma_{2,1} = 0 ??$

\hookrightarrow Formel sehr empfindlich

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

$$\sigma_{3,1} \Rightarrow \beta_1 = \sqrt{\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{9}}$$

Plotten gemäß Anleitung Seite 20.

~~$$\text{Formel: } \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \frac{1}{\beta_3} + \frac{1}{\beta_4}$$~~

Standard - Mo-Spektrum - CASSY Lab 2

Ti, Fe und Mo Spektrum,

$N_A \# 2$

$E_A = 6,40 \text{ keV}; \sigma = 0,00 \text{ keV}$
 $E_A = 7,10 \text{ keV}; \sigma = 0,00 \text{ keV}$

$E_A = 17,49 \text{ keV}; \sigma = 0,30 \text{ keV}$
 $E_A = 19,65 \text{ keV}; \sigma = 0,25 \text{ keV}$

Ti →
— Fe

— Mo

1500

1000

500

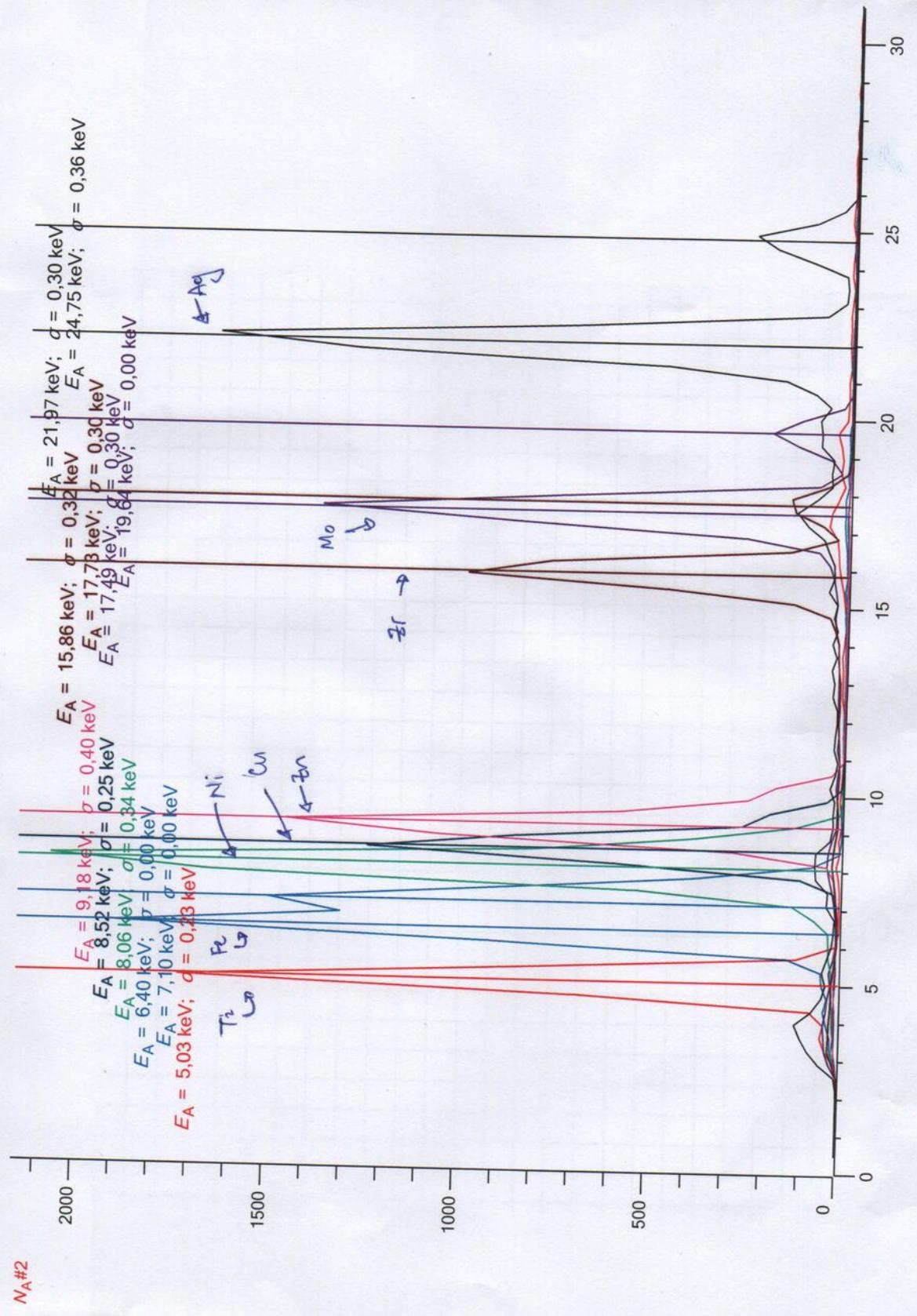
0

E_A / keV

30
25
20
15
10
5

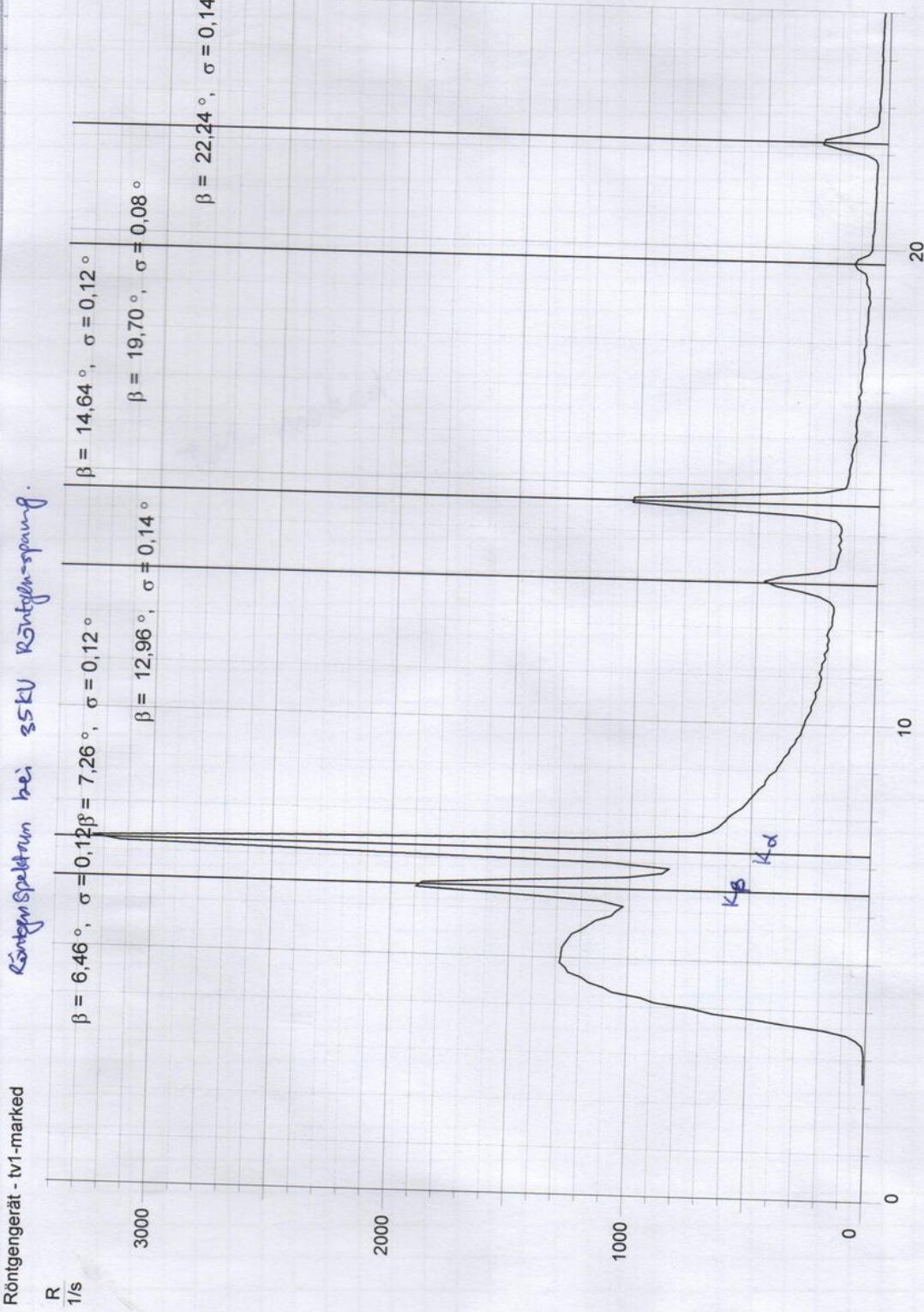
(Nach Kalibierung)

Standard - All-Spektrum-marked - CASSY Lab 2



Teilversuch 1 (weiter)

Röntgengerät - tv1-marked



$\beta / {}^\circ$

Teilversuch 2

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

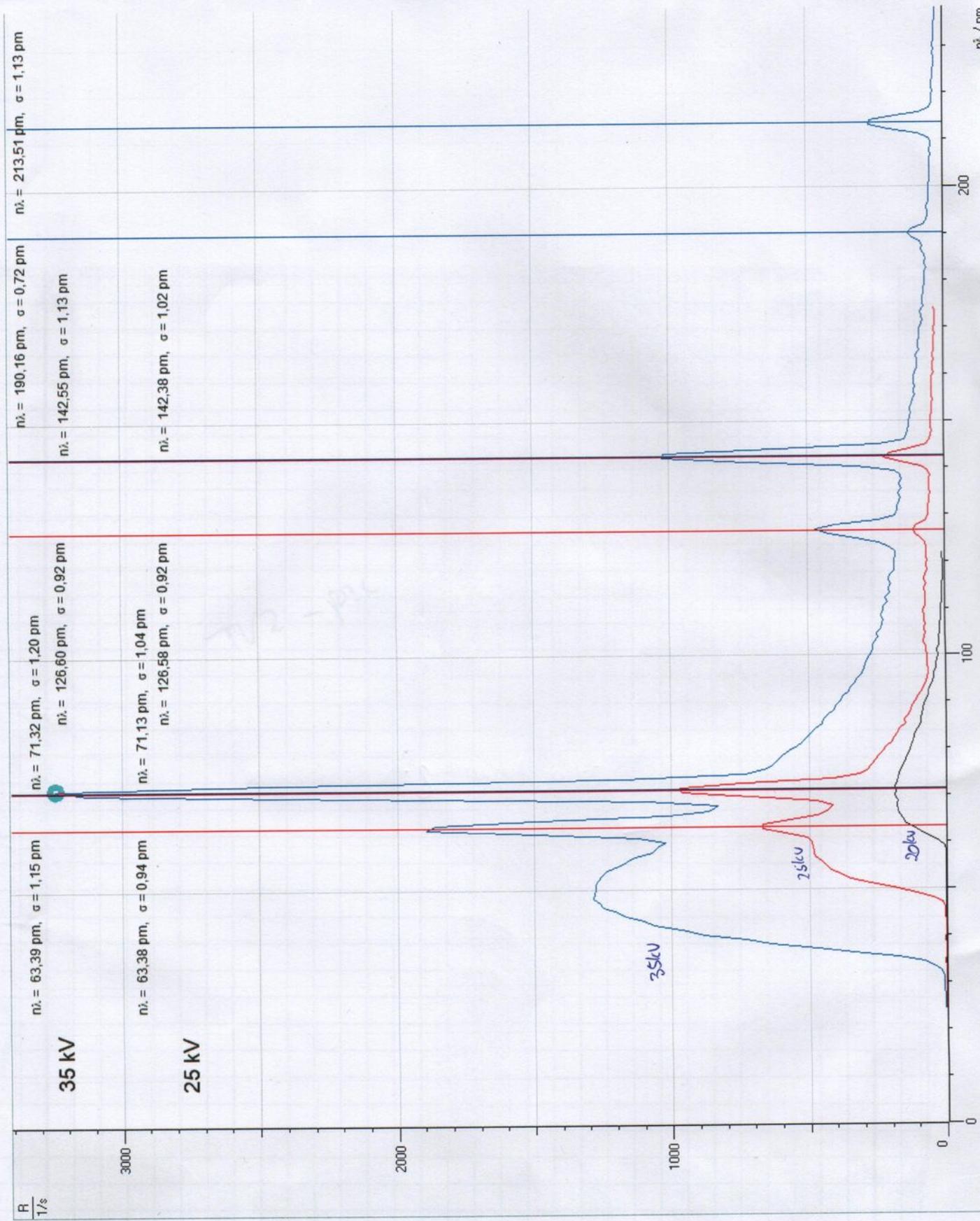
② $U = 25,0 \text{ kV}, \beta_{min} \approx 2,5 {}^\circ \rightarrow \beta_{max} = 18,0 {}^\circ$.

③ 35,0 kV Messwerte laden.

④ $F_5 > \text{kosten} > \text{NaCl}$ ($564,0 \frac{\text{nm}}{\text{Å}}$)

→ kein Park's gesehen

(TV2) Spektrum bei vorherreuer He^+ Röhrenheizung.



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 Kerne \Rightarrow Schwer bestimte Ionen, kollidung?
Empfindliche Formel?

Teilversuch 5:

Probe: 1€ Münze

Messung ~~NGH11~~

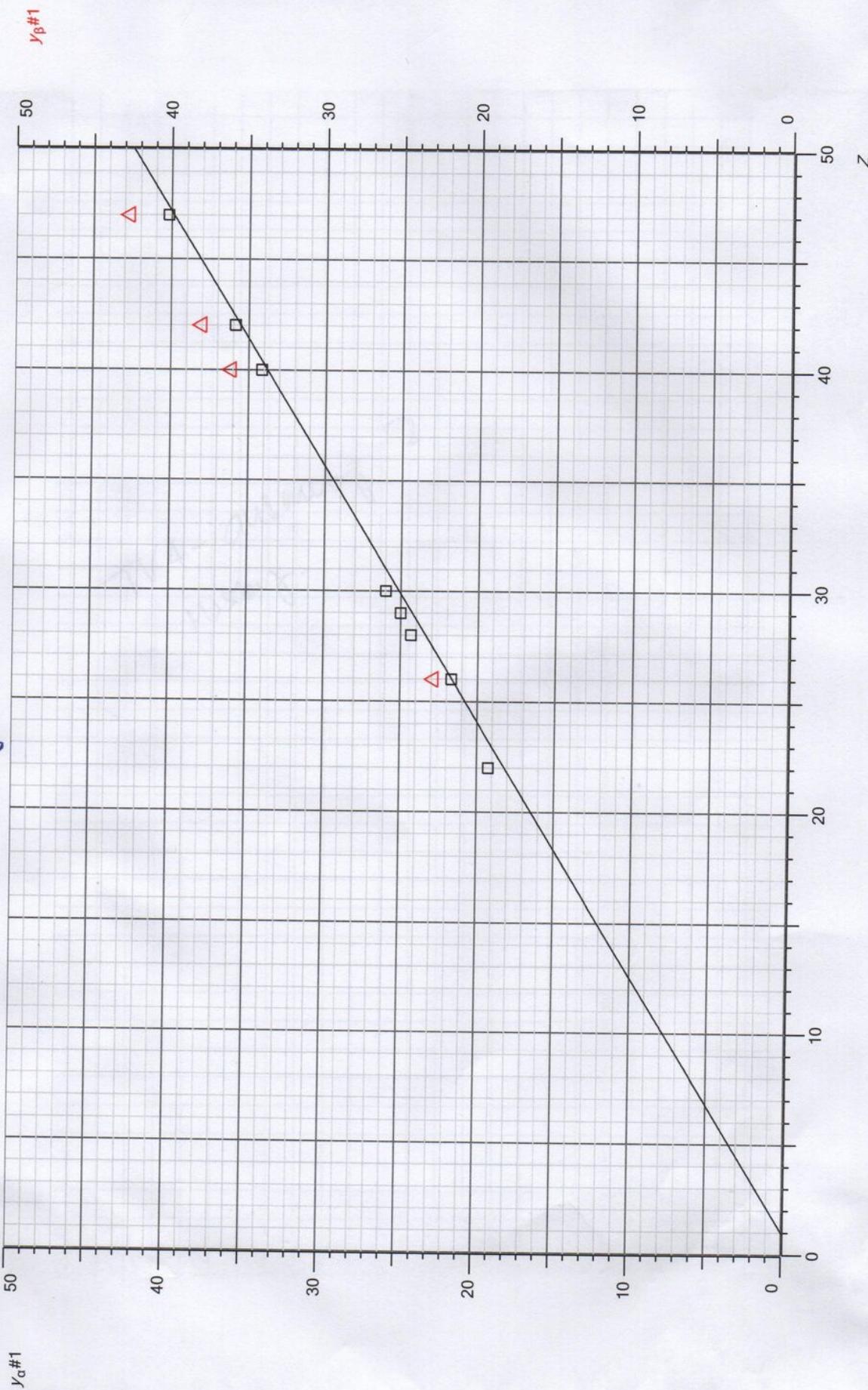
} Ergebnis: Zin

Teilversuch 3

Messreihe (Plände) siehe Auswertung für die Messreihe

Moseley - tv4-auswertung-2 - CASSY Lab 2

Teilversuch 4 : Moseley's Gesetz.

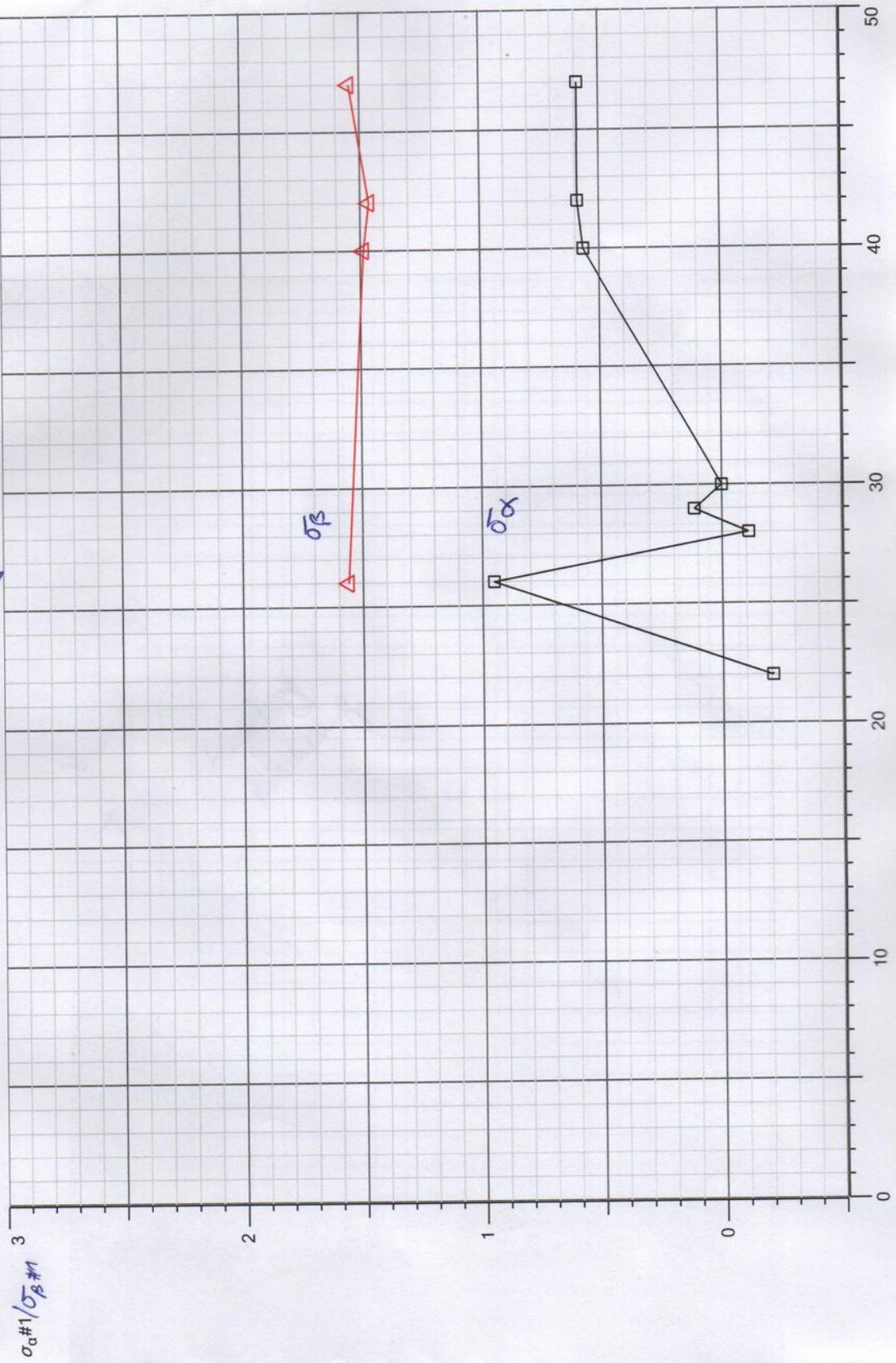


Teilversuch 4 (aveto)

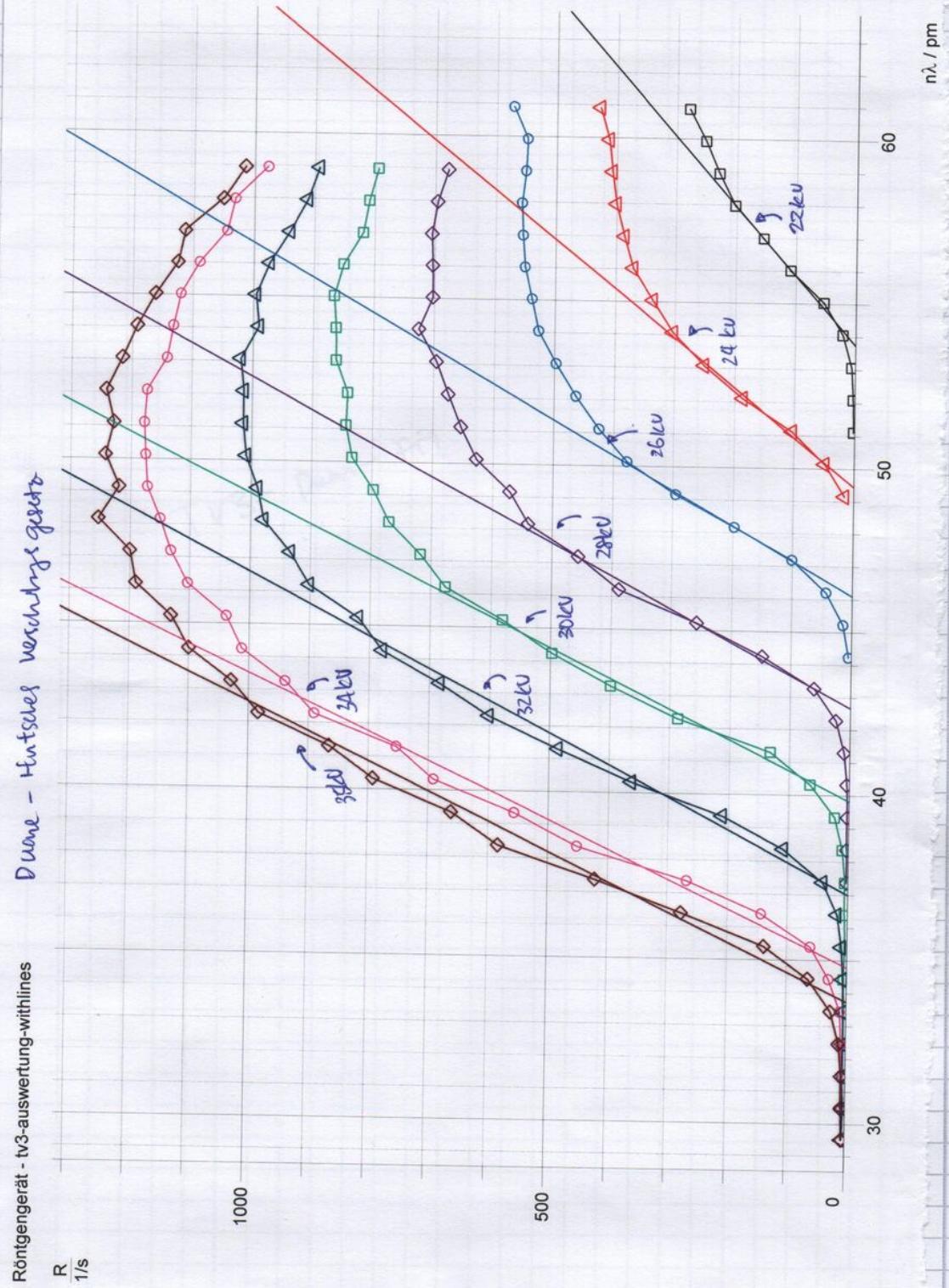
$\gamma_{\beta} \# 1$

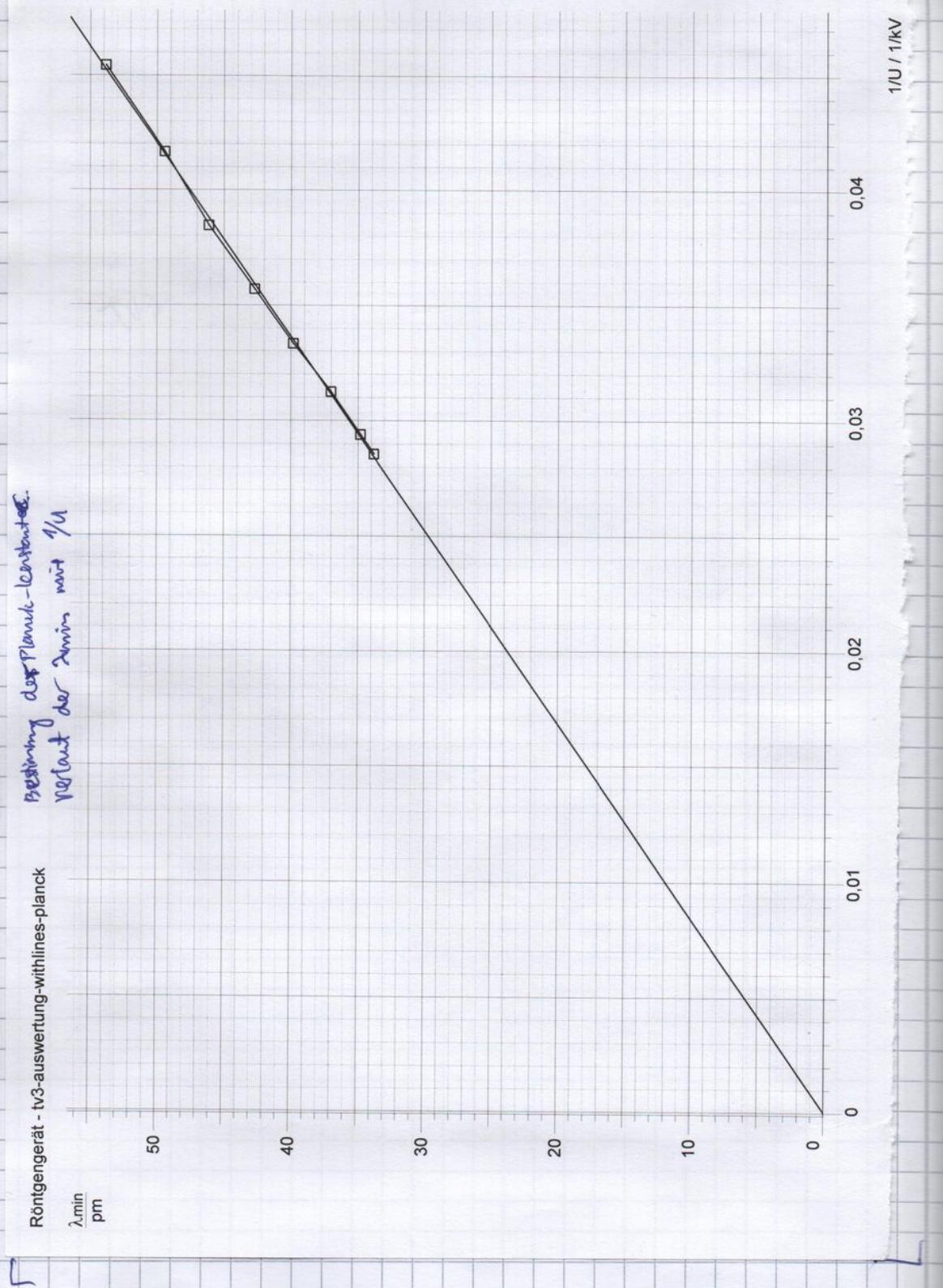
Abschirmungskonstante - tv4-auswertung-4 - CASSY Lab 2

Teilwesen & Abschirmkonstante



Teilversuch 3 (Calcifer)





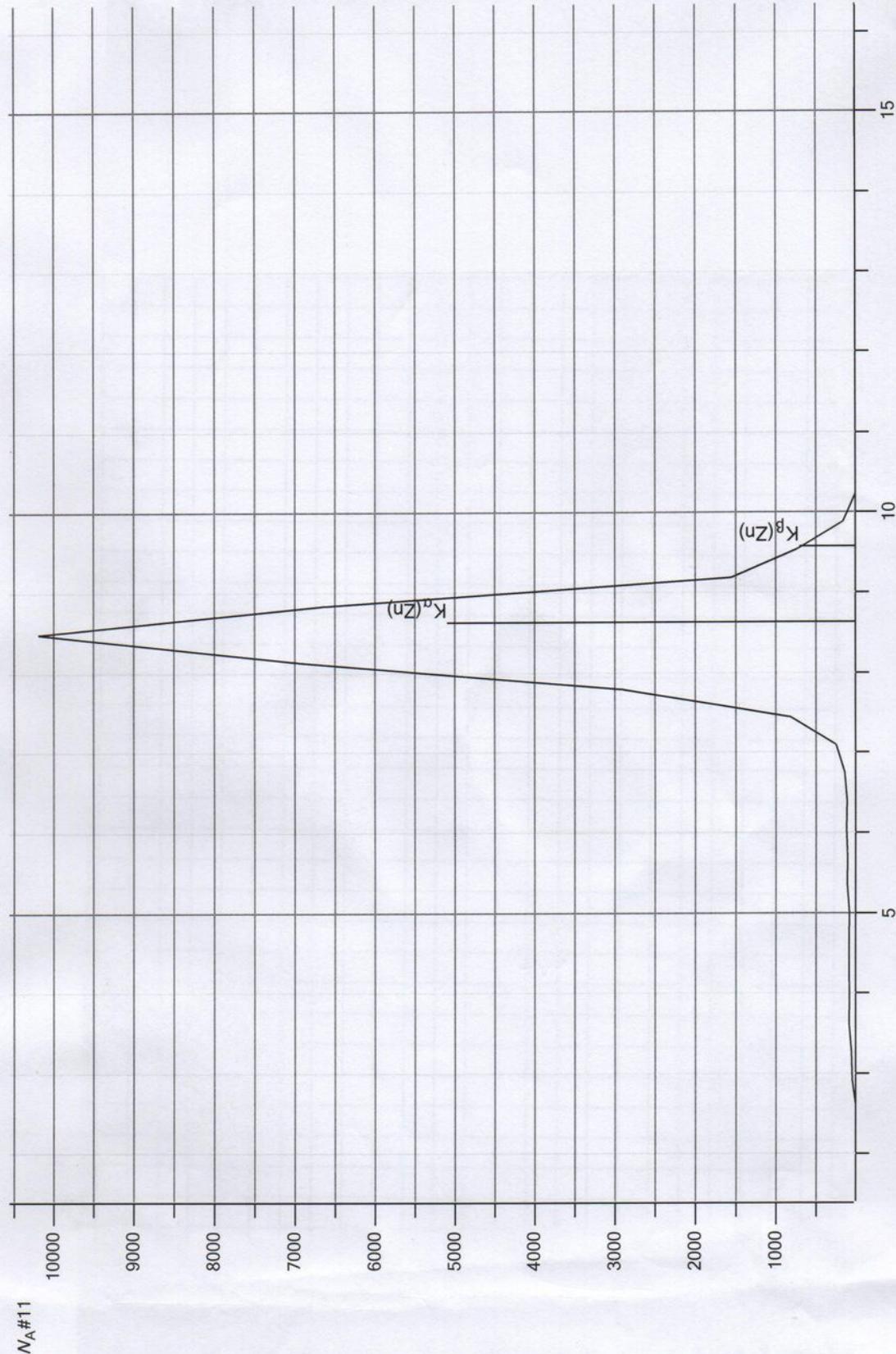
$$A = 1190 \text{ pm}^2 \text{kV}$$

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

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

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