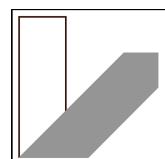


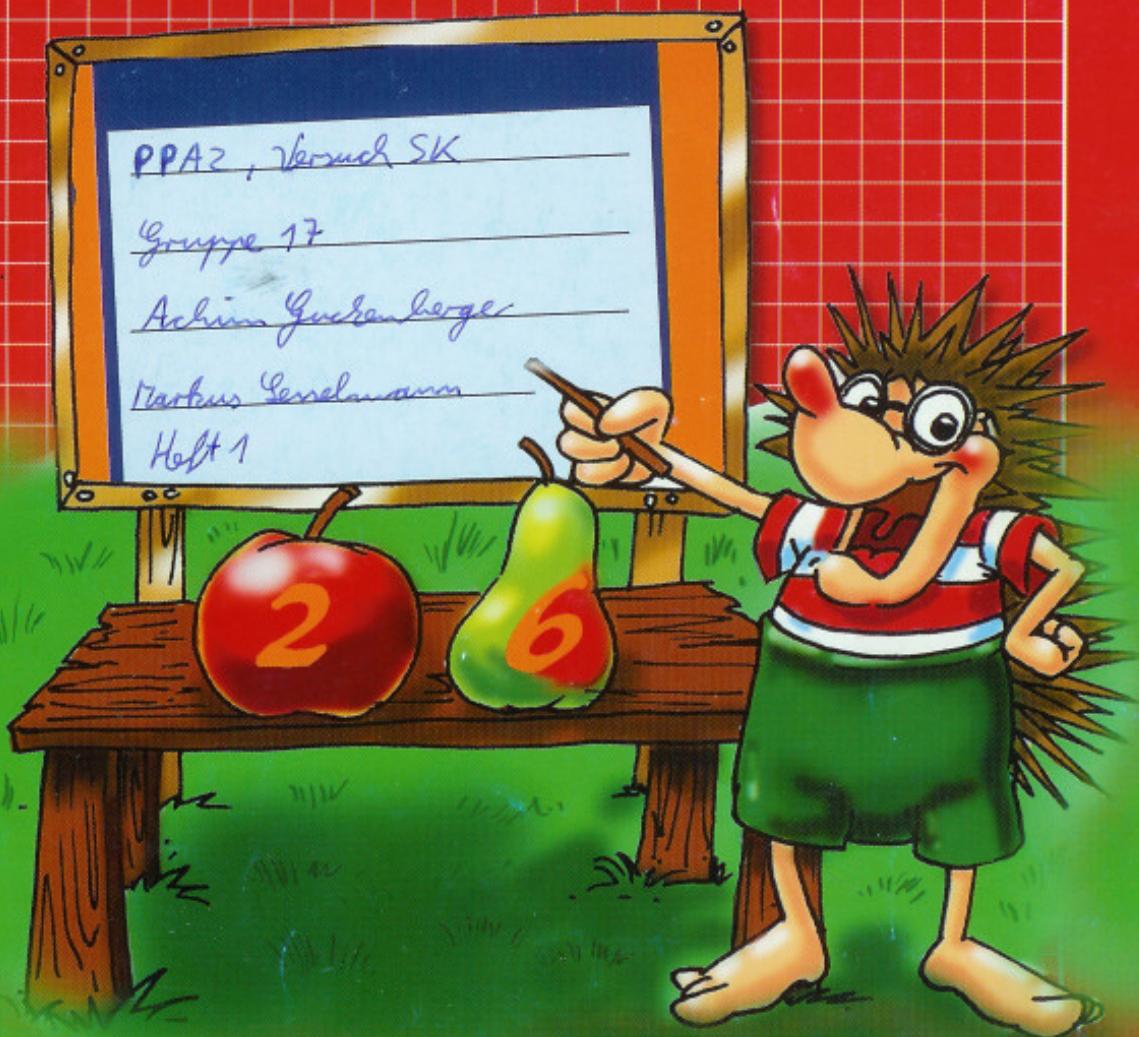
WS2010

PPA2

I-U-Kennlinien

Achim Guckenberger - Markus Sesselmann





bezdrobný písací papier, 80 g/qm, 16 listov, bielené bezchlórové • bezdrobný písací papier, 80 g/qm, 16 listů, zeleno bez chlóru • Papir za pisanje, bez upotrebe drveta, 80 g/qm, 16 listova, izbeljeno bez klorja • ceper bezdrozowy, 80 g/qm, 16 kartkowy, wybielony bez stosowania chloru • hârtie de scris fără continut de lemn, 80 g/mp, 16 file, înalbită fără clor • хартия без дървесина, 80 г/км., 16 листа, избелена без хлор • Писковый папир не содержит деревянной массы, 80 г/м², 16 листов. Відбіленій папір без хлору • Carta per scrivere senza fibra legnosa, 80 g/qm, 16 fogli, bianchita priva di cloro • färbentes Holzfrei, 80 g/m², 16 lapp, klörmentesen fehérített

26

holzfreies Schreibpapier,
80 g/qm, 16 Blatt,
chlorfrei gebleicht

VERSUCH: STROM-SPANNUNGS-KENNLINIEN

1. Allgemeines

- Teilnehmer: Achim Gudenberg, Markus Gerelmann
- Datum: 21.10.10
- Titel des Versuchs: Versuch S1K
- Versuchsort: 2. Platz vom Fenster
- Gruppennummer: 17
- Betreuer: Dr. Wolfgang Schöpf

✓

2. Einleitung und Ziel

In der Theorie der Elektrodynamik wird oft als angenommen, dass Spannungsquellen eine konstante Leistung abringen können, unabh. von der Betriebszeit oder des Lastwiderstandes. Praktisch jedoch existiert solch eine Anzahl nicht, und je nach Situation ist es nötig, dies bei der Planung und Durchführung von Experimenten zu beachten.

Eine weitere Idealisierung findet sich im ohmschen Gesetz, denn die wenigsten ohmschen Widerstände werden nicht (low. vernachlässigbar klein) von z. B. der Temperatur beeinflusst. Außerdem gilt es etlicheanteile, die völlig andere Charakteristiken (etwa bezgl. der Strom-Spannungskennlinie) aufweisen.

Das Ziel des Versuches ist, sich eingehender mit diesen Verhaltensmustern zu beschäftigen und insbes. die sog. Wheatstone-Brücke und das sehr wichtige Oszilloskop näher kennenzulernen.

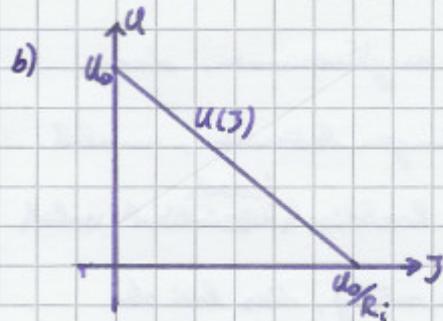
3. Fragen zur Vorbereitung

Aufgabe 1

a) Kirchhoff'sche Maschenregel:

$$U_0 - U - JR_i = 0 \quad \text{mit } U = RJ$$

$$\rightarrow U(J) = U_0 - JR_i \quad (*)$$



c) Es gilt: $U_0 = J \cdot R_{\text{ges}} = J \cdot (R + R_i)$

$$\rightarrow J = \frac{U_0}{R + R_i} = J(R)$$

$$(\Rightarrow \text{in } (*): U(R) = U_0 - \frac{U_0}{R + R_i} \cdot R_i \quad)$$

Der Graph von $J(R)$ hat die Form einer Hyperbel

\Rightarrow für $R \rightarrow \infty$ wird der Strom J minimal, nämlich 0.

d) Der mög. Strom, der entnommen werden kann, liegt im Grenzfall

$$R \rightarrow 0 \text{ vor: } J(R=0) = \frac{U_0}{R_i}$$

e) Entnommene Leistung:

$$P = U \cdot I = \left(U_0 - \frac{U_0}{R+R_i} \cdot R_i \right) \cdot \frac{U_0}{R+R_i} =$$
$$= \frac{U_0^2}{R+R_i} - \frac{U_0^2 \cdot R_i}{(R+R_i)^2}$$

Maximum von P:

$$\frac{dP}{dR} = 0$$

$$= 2 \cdot \frac{U_0^2 \cdot R_i}{(R+R_i)^3} - \frac{U_0^2}{(R+R_i)^2} = 0$$

$$2 \cdot R_i \cdot \frac{1}{R+R_i} - 1 = 0$$

$$2R_i = R + R_i$$

$$R = R_i$$

\Rightarrow Bei $P(R=R_i)$ liegt ein Extremum vor, welches, wie man anhand des Graphen erkennt, ein Maximum ist.

f)



Aufgabe 2

a) Kirchhoff'sche Maschenregel:

1) ohne Messgerät fließt Strom J_0 :

$$\rightarrow U_0 - R \cdot J_0 = 0$$

2) Mit Messgerät fließt Strom J :

$$\rightarrow U_0 - R_i^A \cdot J - R \cdot J = 0$$

$$1) \neq 2) \Rightarrow U_0 - R \cdot J_0 = U_0 - R_i^A \cdot J - R \cdot J$$

$$R \cdot J_0 = J \cdot (R_i^A + R)$$

$$\Rightarrow J = J_0 \cdot \frac{R}{R_i^A + R}$$

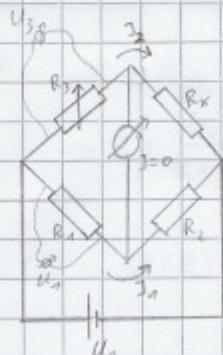
\Rightarrow Der Innenwiderstand eines Ampermeters sollte möglichst klein sein, damit $J \approx J_0$ gilt. ✓

Innen-

b) Der Widerstand R_i^V eines Voltmeters sollte möglichst groß sein, damit nur ein geringer Strom durch das Messgerät fließt.

Stütze! (Liquo!)

Aufgabe 3



$$1) U_0 - R_1 J_1 - R_2 J_2 = 0 \quad (\text{Kirchhoff'sche Maschenregel}) \quad (*1)$$

$$2) U_0 - R_3 J_3 - R_X J_X = 0 \quad (\quad " \quad " \quad) \quad (*2)$$

$$3) U_1 = J_1 R_1 \quad (\text{Spannungsauffall über } R_1) \\ 4) U_3 = J_2 R_3 \quad (\quad " \quad " \quad R_3) \quad \left. \right\} \Rightarrow J_1 R_1 = J_2 R_3 \quad (*3) \\ 5) U_1 = U_3, \text{ da } J=0 \text{ in der Mitte}$$

$$\text{Aus (#1): } U = R_1 J_1 + R_2 J_2 \xrightarrow{(\#2)} R_3 J_2 + R_x J_x$$

$$J_1 \cdot (R_1 + R_2) = J_2 \cdot (R_3 + R_x)$$

$$\text{mit (#3): } J_1 = J_2 \cdot \frac{R_3}{R_1}$$

$$\rightarrow J_2 \cdot \frac{R_3}{R_1} \cdot (R_1 + R_2) = J_2 \cdot (R_3 + R_x)$$

$$R_3 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = R_3 + R_x$$

$$R_3 \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} - 1 \right) = R_x$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} - 1 = \frac{R_x}{R_3}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3}$$

$$\Rightarrow R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad \checkmark$$

b) Der Widerstand des Ampermeters muss nicht berücksichtigt werden, da der Stromfluss durch diesen eben Null sein sollte.

Für die Justierung ist es irrelevant, da ein leicht falsch angezeigter Stromwert die Nullpunktstetigkeitsprüfung so gut wie nicht beeinträchtigt. ✓

Aufgabe 4

In Metallen fließen Elektronen, während im Elektrolyten Ionen fließen (sowohl positive als auch negative). *Etwas genau!*

→ Flaschenstopf "a/rein"

Aufgabe 5

Wie in Aufgabe 6 erörtert wird, ist das sog. Leitungsband und das Valenzband durch die Bandlücke energetisch getrennt, wobei das Leitungsband eine höhere Energiesorte repräsentiert und sich folglich alle Elektronen bei niedrigen Temperaturen im Valenzband aufhalten, wodurch sie an das jeweilige Atom gebunden sind, da es keine freien Stellen mehr in diesem Band gibt.

Der Begriff „Eigenleitung“ berichtet sich auf reine, nicht dotierte Halbleiter oder auf dotierte Halbleiter bei hoher Temperatur. Wenn das Material eine Störstelle aufweist (d.h. nicht dotiert ist), so können folglich auch nur Elektronen dieses Stoffes bei Anregung (z.B. durch Licht oder thermische Energie) in das Leitungsband springen und somit eine Leitung erzeugen, die Eigenleitung (entsprechendes gilt für die „Löcher“). Bei dotierten Halbleitern liegt eine Eigenleitung vor, wenn überwiegend Elektronen des ursprünglichen Halbleiters zur Leitung beitragen, was der Fall ist, wenn die Anregungsenergie ausreicht, um die Bandlücke zu überwinden.

✓

Eine „Störleitung“ existiert nur bei dotierten Halbleitern. Bei diesen liegen normalerweise die Energieniveaus der Stör-/Fremdatome innerhalb der Bandlücke, weshalb deren Elektronen leichter (d.h. z.B. bei niedriger Temperatur) in das Leitungsband wechseln können und somit zur Leitung zur elektr. Leitfähigkeit beitragen (d.h. sie erzeugen).

Bei höherer Temperatur gelangen zunehmend mehr Elektronen des Wirtsmaterials in das Leitungsband und da die Anzahl der Löcherelektronen die Anzahl der Elektronen des Endstoffes überwiegt, spricht man wieder von einer Eigenleitung.

Energie ↑



Leitungsbandniveau



Störstellenniveau



Valenzbandniveau

] wenig Energie

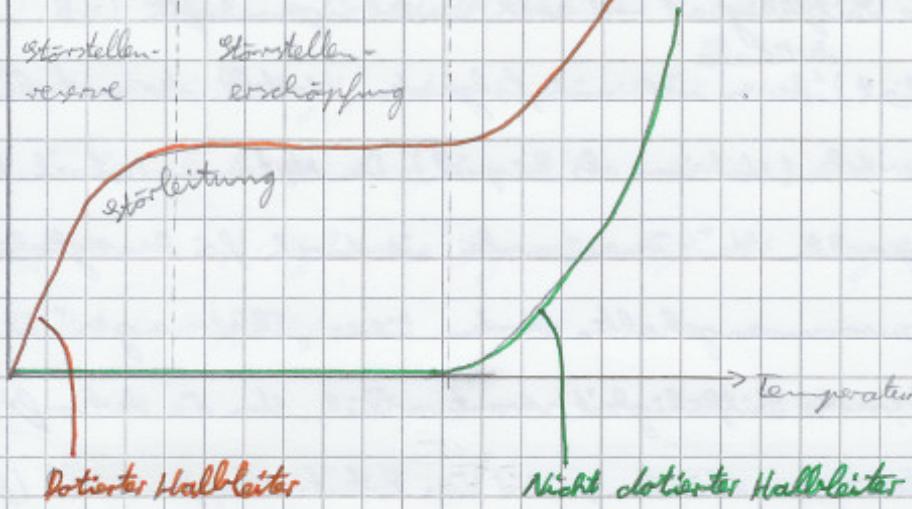
nötig

] mehr Energie

nötig

Leitfähigkeit

Eigengeitung



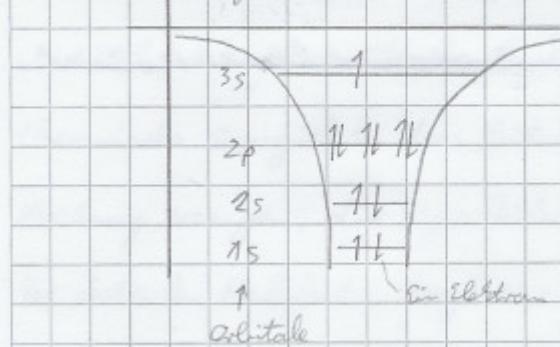
Störstellenresonanz: Noch nicht alle Störstellen niveaus sind besetzt/ionisiert

Störstellenerschöpfung: Alle Störstellen niveaus sind besetzt/ionisiert

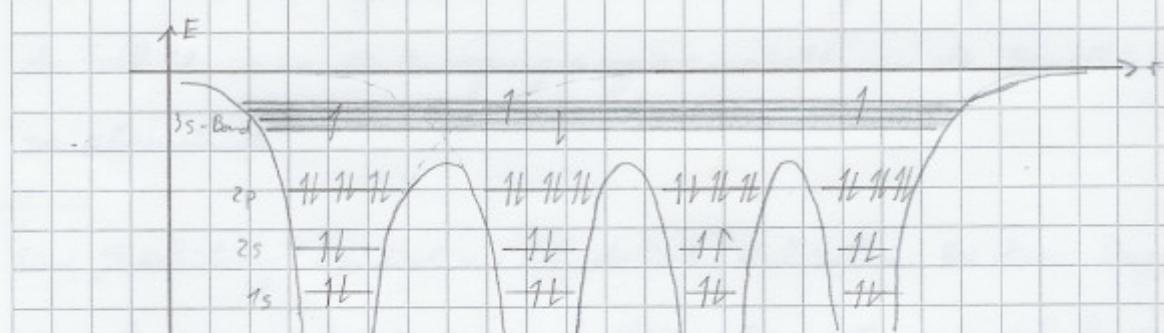
Aufgabe 6

Die elektrische Leitfähigkeit und noch weitere Eigenschaften (z.B. ^{de Metalle} Deformierbarkeit) lassen sich mit folgenden Modell der metallischen Bindung verstehen (Natrium als Beispiel): Ein Natrium Metall besteht aus dichtgepackten Na^+ -Ionen, wobei sie durch frei bewegliche Elektronen zusammengehalten werden. Dieses „Elektronengas“ ist auch für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlich. Um die Herkunft dieser freien Elektronen zu erläutern, wird das Potentialblöpfmodell (für Natrium) herangesogen:

Energie E



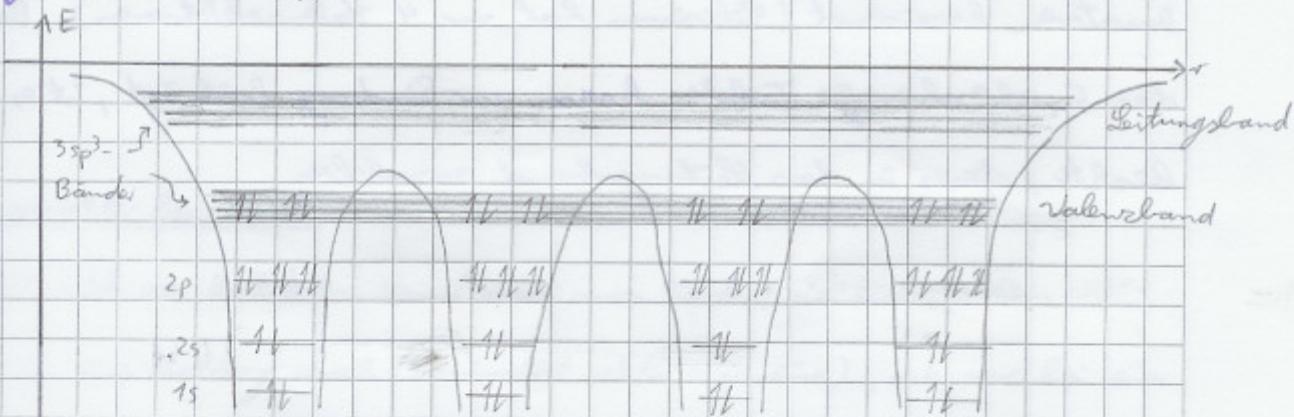
Ein Natrium-Atom besitzt 11 Elektronen und folglich sind die ersten 3 Niveaus voll besetzt.



Bei der Bindung überlappen die Potentiale der einzelnen Natrium-Atome, wodurch die 3s-Niveaus auf Balken des Potentialblöpfes liegen und sich somit durch abgerundete Knicke runden würden. Jedoch verhindert ^{einseitig} das Pauli-Prinzip, dass mehr als 2 Elektronen in diesem einen 3s-Orbital aufhalten können, allerdings sind auf der anderen Seite mehr als 2 Elektronen vorhanden. Die Folge davon ist, dass sich das 3s-Niveau aufspaltet und zu einem 3s-Band wird, in dem alle Elektronen des ursprünglichen 3s-Orbitals Platz finden; und da das Band oberhalb der Potentialbarriren liegt und freie Plätze bietet, sind die Elektronen quasi frei beweglich.

Bei einem Halbleiter (zunächst nicht dotiert) passiert ähnliches (Erläuterungen anhand von Silicium, welches 14 Elektronen besitzt):

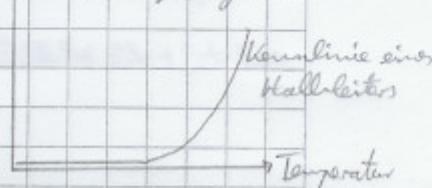
Im Silicium-Kristall liegt, anders als bei Natrium, keine ionische, sondern eine kovalente Bindung vor, wobei sich Si ähnlich wie Kohlenstoff in der sp^3 -Hybridkonfiguration befindet. Es ergibt sich folgendes Potentialtopfmodell:



Die sp^3 -Zustände sind mit jeweils 4 Elektronen besetzt und bieten Platz für 8. Erneut überlappen die Niveaus der benachbarten Atome, welche in Folge davon aufgespalten werden. Es entstehen jedoch 2 auseinander getrennte Bänder: das niedrigere Valenzband und das höher gelegene Leitungsband, die durch die sog. Bandlücke getrennt sind. Da ersteres voll besetzt ist, können auch mittels Tunneleffekt keine Elektronen „fließen“.

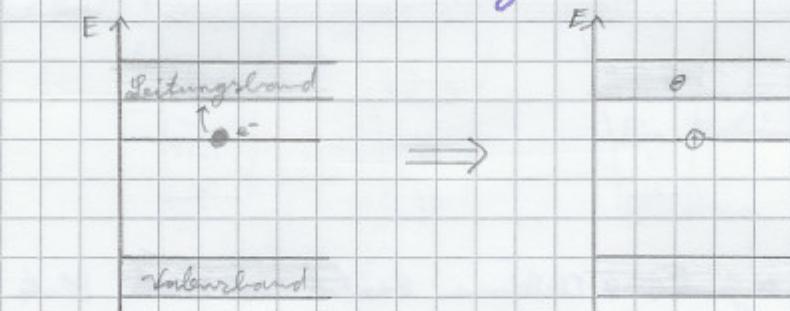
Überden Elektronen kann z.B. durch thermische Energie angeregt, so können sie in das Leitungsband gelangen und sich somit quasi „frei“ durch den Kristall bewegen. Umgekehrt können im Valenzband Elektronen von einem Atom zum nächsten „tuneln“, wodurch das „Loch“ (welches durch die Ausbildung des einen Teilchens) wandert. Deshalb fasst man oft solch ein Loch als ^{ein} positives Teilchen mit positiver Ladung auf, um die Beschreibung von Vorgängen zu erleichtern.

Bei erhöhte Temperatur wird ein Halbleiter also elektrisch leitend; die sog. Eigeleitung bei undotierten Natriumkristallen entsteht.



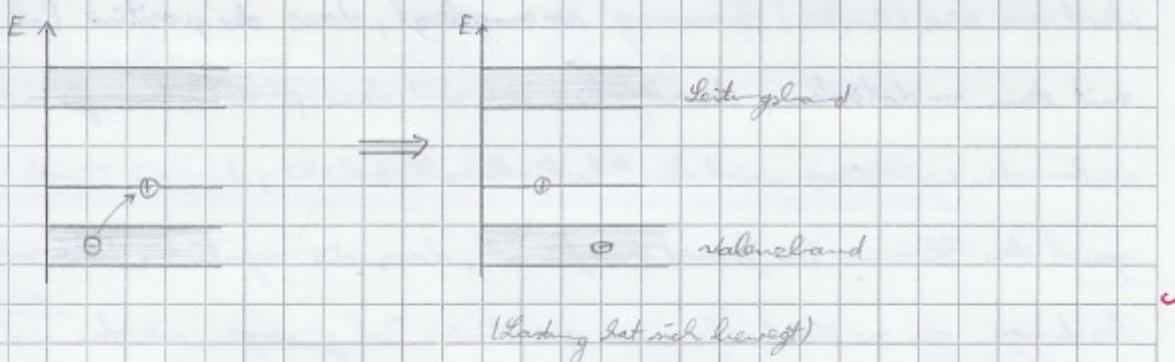
Nun ist es möglich, Fremdatome in das Kristallgitter einzubauen; ein Vorgang, der als Dotierung bezeichnet wird, wobei 2 unterschiedliche Typen existieren: die n- und die p-Dotierung.

Bei der n-Dotierung werden 5-wertige Atome, d.h. Atome mit 5 Valenzelektronen eingeschoben und werden deshalb als ^{noch} Elektronendonoratoren bezeichnet (Silizium hat nur 4 Valenzelektronen). Da das 5., überschüssige Teilchen kaum zur Bindung beiträgt, ist es leichter, dieses in das Leitungsband anzuheben.



Zwischen bleibt ein „Loch“, d.h. ein positives Brandteilchen, auch Defektelektron genannt. Folglich wird der Halbleiter bereits bei einer niedrigeren Temperatur leitend; es entsteht eine Störleitung. Ab einer bestimmten Temperatur ist die thermische Energie so groß, dass Elektronen aus dem Valenzband in das Leitungsband gelangen können (\rightarrow es entsteht wieder eine Eigenleitung).

Bei der p-Dotierung werden Silizium-Atome durch Atome mit 3 Valenzelektronen ersetzt, wodurch 1 Teilchen für die Bindung fehlt; Es entsteht folglich ein Defektelektron und der Fremdstoff wird als Elektronen-Absorber bezeichnet. Nun kann mit (im Vergleich zur Überwindung der Bandlücke nötigen Energie) relativ wenig Energie ein Elektron eines benachbarten Si-Atoms in die leere Bindungsstelle „springen“, wodurch ein Stromfluss bei angelegter Spannung entsteht kann, welche erneut eine Störleitung ist. Ab einer bestimmten Temperatur entsteht die die beschriebene Eigenleitung.



Gleichrichter bzw. Diode

Gleichrichter aus Halbleitern nennt man auch Diode; sie lassen Strom nur in eine Richtung durch (mindest nötigungsweise), d.h. nur bei einer bestimmten Polung der angelegten Spannung.

Dies liegt am p-n-Übergang in Halbleiterkristallen zu Grunde, d.h. es werden 2 Gebiete ineinander verschachtelt, wobei das erste p- und das zweite n-dotiert ist (praktisch bedeutet dies, dass die eine Teil einen Überschuss an positiven, die andere an negativen Ladungsträgern besitzt).

Aufgrund des Konzentrationsgradienten beginnen die Teilchen in das andere Gebiet zu diffundieren, wodurch ein elektr. Feld und damit eine Spannung, die sog. Diffusionsspannung entsteht (am Anfang existiert nur ein Überschuss von Ladungsträgern in beiden Halbleiterstücken, später sind beide elektr. neutral, da schließlich die Dotierung mit Hilfe neutraler Atome geschieht). Diese Spannung behindert die Diffusion,

⊕ ⊕ ⊕ ⊕	⊕ ⊕ ⊕ ⊕	⊖ ⊖ ⊖ ⊖
⊕ ⊕ ⊕ ⊕	⊕ ⊕ ⊕ ⊕	⊖ ⊖ ⊖ ⊖

↓

⊕ ⊕	--	++	⊖	⊖
⊕ ⊕	--	++	⊖	⊖

↑ E-Feld ↑

p-dotiert n-dotiert

bis sich ein Gleichgewicht eingestellt hat und somit keine Teilchen mehr (im Mittel) die Seite wechseln; es hat sich also ein Potentialwall aufgebaut ✓

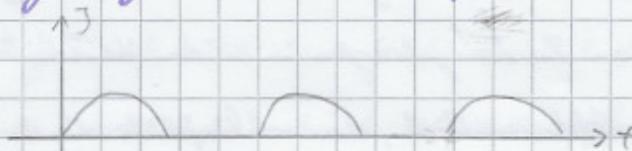
und eine sog. Raumladungszone / Verarmungszone gebildet.

Wird nun eine (längere) Sperrung so angelegt, dass der positive Pol mit dem n-dotierten, der negative Pol mit dem p-dotierten Gebiet verbunden wird, so wird der Potentialwall erhöht, d.h. die Diode sperrt den Strom. Der Grund hierfür ist, dass die negativen Überschussladungen des n-Kristalls zum positiven Pol gezogen werden und die pos. (Brenn-)Ladungen des p-Kristalls zum negativen Pol, d.h. die Verarmungszone und damit der Potentialwall, welcher für Stromfluss von den Ladungsträgern überwunden werden muss, größer wird.



Umgekehrt fließt ein Strom, wenn am p-dotierten Ende der positive Pol und am n-dotierten Ende der negative Pol angeschlossen ist, da nun der Potentialwall abgebaut wird und dieser nicht leichter überwunden werden kann. An der Verbindungsstelle tritt hierbei fortwährend Rekombination auf.

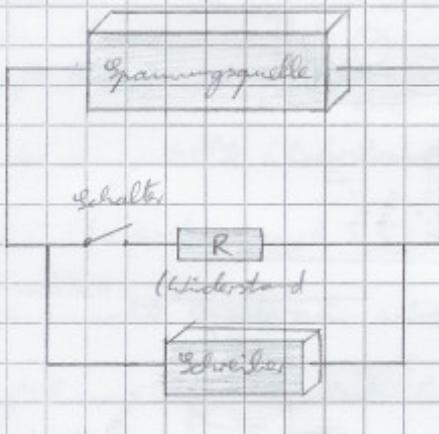
Zusammenfassend erhält man folglich bei Anlegen einer sinusförmigen Wechselspannung folgenden Stromverlauf:



4. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

4.1 Versuch: Entladekennlinien von Batterien und Akkus

Aufbau:



Die Spannungsquelle ist eine Batterie (1,5V)

Der Widerstand R ist auswechselbar. Es wird einmal $R = 1,8 \Omega$ und einmal $R = 0,51 \Omega$ verwendet.

Für den $x-t$ -Schreiber wird eine Empfindlichkeit von $2V$ und ein Papiervorschub von $30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$ gewählt.

Durchführung:

Dieses Experiment wird als erstes gestartet und läuft, während parallel davon alle weiteren Versuche durchgeführt werden.

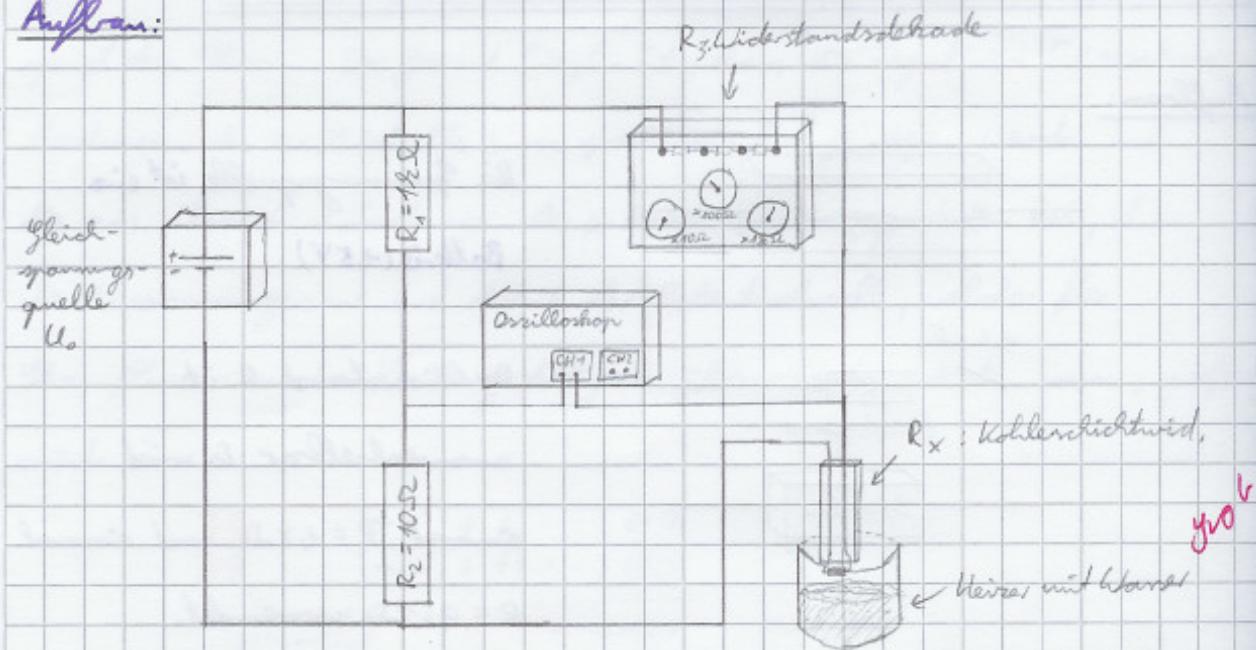
(links Rand)
Zuerst wird der Schreibkopf auf Position „10“ \downarrow gebracht, wobei die Batterie nicht angeschlossen ist, und die Position wird mit dem Schreiber markiert (0V-Position). Anschließend wird die Spannungsquelle angeschlossen, wobei der Schalter geöffnet ist, und diese Leerlaufspannung wird ebenfalls markiert. Nun wird der Schreiber gestartet, wobei der Widerstand angeklemmt (Schalter geschlossen) und der Zeitpunkt auf dem Papier (auf der t-Achse) festgehalten. Der Versuch wird gestoppt, sobald die angelegte Spannung auf ca. 0,2V gerunten ist.

Dieses Experiment wird zunächst mit dem $1,8 \Omega$ Widerstand und anschließend wiederum mit dem $0,51 \Omega$ Widerstand durchgeführt.

4.2 Messungen mit Gleichspannung

4.2.1 Messung von $R(T)$ für einen Kohleschichtwiderstand

Aufbau:



- Widerstände: $R_1 = 12\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, R_3 : Widerstandsschraube

- Beim Oszilloskop, welches als Abgleichinstrument dient, wird der Kanal 1 bereitstellt mit der Betriebsart DC (während der Messung).

- Bei der Spannungsquelle wird der Maximalwert bei der Schalterstellung 0...12 V verwendet.

- R_x ist der Kohleschichtwiderstand

- Die Temperatur wird am aufgesteckten Thermometer ($\Delta T = 0,5\text{K}$) abgelesen.

Durchführung:

1) Der Kohlewiderstand R_x wird auf die gewünschte Temperatur gebracht.

2) Bei der Einstellung GND wird am Oszilloskop, welches als Abgleichinstrument dient, die Linie in die Mitte der Anzeige gelegt.

3) Die Spannungsquelle wird eingeschaltet und das Oszilloskop auf DC gestellt.

4) Der Widerstand R_3 (d.h. die Schraube) wird so lange verändert, bis der am Oszilloskop angezeigte Strich wieder möglichst in der Mitte ist (d.h. keine Spannung mehr gemessen wird).

5). Das Oszilloskop wird die Empfindlichkeit um eine oder mehrere Stufen erhöht, so dass die angezeigte Spannung noch sichtbar ist. Es erfolgt wieder die Ausführung von Schritt 4).

- Falls sich die angezeigte Spannung in der empfindlichsten Einstellung am Nullpunkt befindet \Rightarrow Schritt 6)

6). Die offene Brücke ist im abgeglichenen Zustand. Folglich kann nun der eingestellte Widerstand R_3 notiert und damit R_x berechnet werden (nach 5.5).

- Die gewünschte Temperatur wird dann nun erhöht und die Ausführung beginnt wieder bei Schritt 1), falls dieser Durchlauf noch nicht bei 70°C durchgeführt wurde. Ansonsten ist der Versuch beendet.

~~Begonnen wird der Versuch bei 25°C . Da die Erhöhung der Temperatur immer~~ folgt, werden folgende Temperaturen benutzt:
Für die verwendeten Temperaturen, siehe Protokoll 5.2.7.

Anschließend wird noch getestet, ob der Widerstand unabhängig von der angelegten Spannung U_0 ist, indem diese zwischen 0 und 12 V verändert und die Auswirkung am Oszilloskop beobachtet wird.

Dies geschieht im bei 12 V ausgeglichenen Zustand bei 70°C in der empfindlichsten Einstellung. Sollte R von U_0 abhängen müsste sich eine (deutliche) Verschiebung des Oszilloskop machen.

4.2.2 Bestimmung von $R(T)$ für einen NTC-Widerstand

Aufbau:

Der Aufbau ist weitgehend identisch zu Tafel 4.2.1 von S. 194.

Die einzigen Unterschiede finden sich bei den Widerständen:

$$R_1 = 19 \Omega$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

R_3 : Widerstandsabschraube

Als zunehmender Widerstand R_x wird nun auch nicht mehr ein Kohlerdriftwiderstand, sondern ein NTC-Widerstand benutzt.

Durchführung:

Es wird neues (grüner) Kabel benutzt, da die Abhängigkeit des Winkels von Tafel 4.2.1 zu lange dauern würde.

~~Die Durchführung selbst ist identisch zu Tafel 4.2.1 (S. 19f.).~~

~~Die Starttemperatur beträgt 25°C und die Schrittweite~~

~~D.h. es werden folgende Temperaturen verwendet:~~

~~Verwendete Temperaturen: siehe Protokoll S. 28.~~

Die Überprüfung, ob R_x unabh. von der angelegten Spannung ist, wird jedoch nicht durchgeführt.

4.2.3 Messung von R für eine Photodiode

Aufbau:

Der Aufbau ist weitgehend identisch zu Schmied 4.2.1 von S. 14.

Allerdings wird nun das Heisgerät nicht mehr benötigt und es werden folgende Widerstände verwendet:

$$R_1 = 100 \Omega$$

$$R_2 = 100 \Omega$$

R_3 : Widerstandskette

Als zu messender Widerstand R_x dient nun eine Photodiode.

Sie wird auf der oberen Ablage (zusammen mit der Schaltung) platziert, um den Lichteinfall möglichst konstant zu halten.

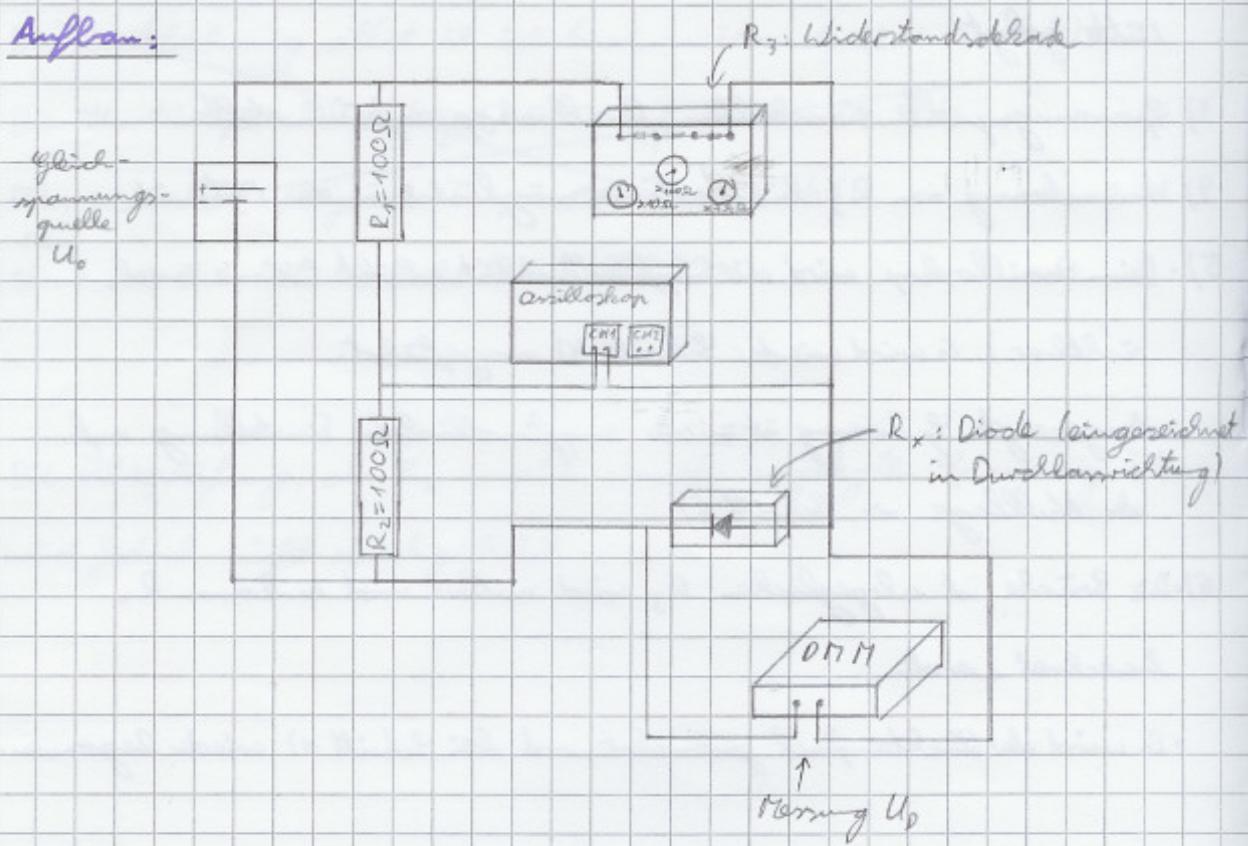
Durchführung:

- 1) Der Lichteinfall wird wie gewünscht geregelt (siehe nächste Seite).
- 2) Bei der Einstellung GND wird am Oszilloskop die Linie in die Mitte gelegt.
- 3) Spannungsquelle einschalten, Oszilloskop auf DC stellen
- 4) Veränderung von R_3 , bis die Linie möglichst in der Mitte ist
- 5) Beim Oszilloskop wird die Empfindlichkeit erhöht (Linie noch nicht sichtbar). Es wird wieder Schritt 4) ausgeführt.
 - Anzeigete Spannung ist in der empfindlichsten Einstellung auf der Nulllage \rightarrow Schritt 6)
- 6) Die Brücke ist abgeglichen. R_3 wird notiert und es kann R_x berechnet werden.
 - Es wird der Lichteinfall geändert und bei Schritt 1) wieder begonnen.

Der Versuch wird ohne Abdunklung der Diode begonnen. Danach erfolgt eine Änderung des Lichtverfalls wie im Protokoll auf S. 29 beschrieben.

4.2.4 Messung der Kennlinie $R_x(U_x)$ einer Silizium-Diode

Aufbau:



• Widerstände: $R_1 = R_2 = 100 \Omega$

R_3 : Widerstandsrückade

R_x : Diode (erst in Durchlass-, dann in Sperrrichtung)

• Oszilloskop: Betriebart DC auf Kanal 1

• Für die Spannungsquelle wird die Einstellung 0...12V verwendet.

• DMM-Einstellung: DCV, 20

Durchführung für Durchlassrichtung:

Durchlass-

1) Die Diode wird in der gewünschten Richtung eingebaut.

2) Die Spannungsquelle (Gleichg.) wird eingeschaltet, wobei der Drehknopf auf 0V steht.

3) Es wird mittels Oszilloskop und Widerstandsrückade R_3 abgeglichen.

4) U_0 (DMM gereichte Spannung) wird notiert, ebenso der eingesetzte Widerstand R_3 .

5) Es wird die Spannung mittels Drehknopf erhöht, so dass die Linie am Osi. ca. 2 Kästchen unterhalb des Nullpunkt liegt.

Weiter mit Schritt 3). Abbruch für $U_0 > 0,9V$

Durchführung für Sperrrichtung:

1) Diode in Sperrrichtung einbauen, Gz. quelle bei 0V einschalten

2) Abgleich und Notation von U_0 und R_3

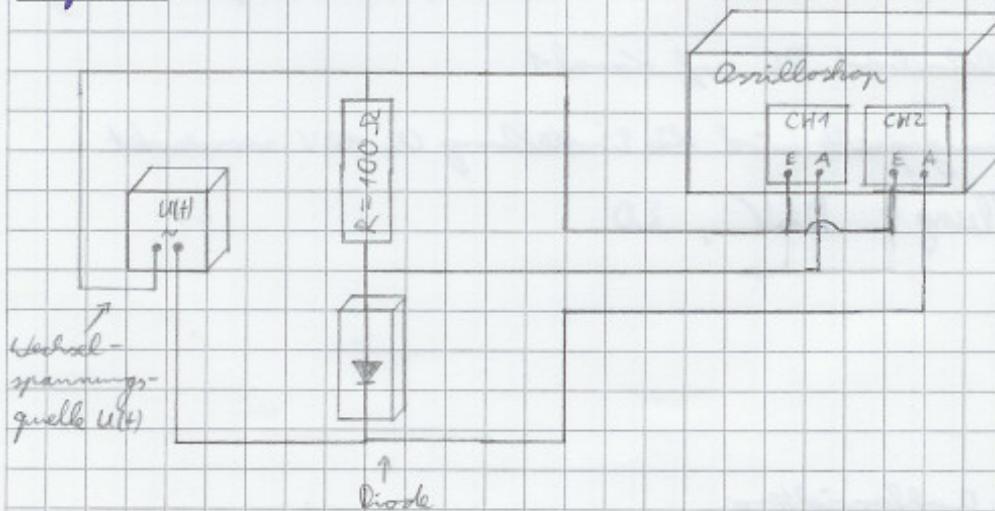
3) Erhöhung der Spannung, so dass sich U_0 um ca. 1V erhöht \rightarrow Schritt 2)

Hann beim Spannungsgerät 12V eingestellt ist: Abbruch

4.3 Messungen mit Wechselspannung

4.3.1 Durchlastrstrom einer einzelnen Diode

Aufbau:



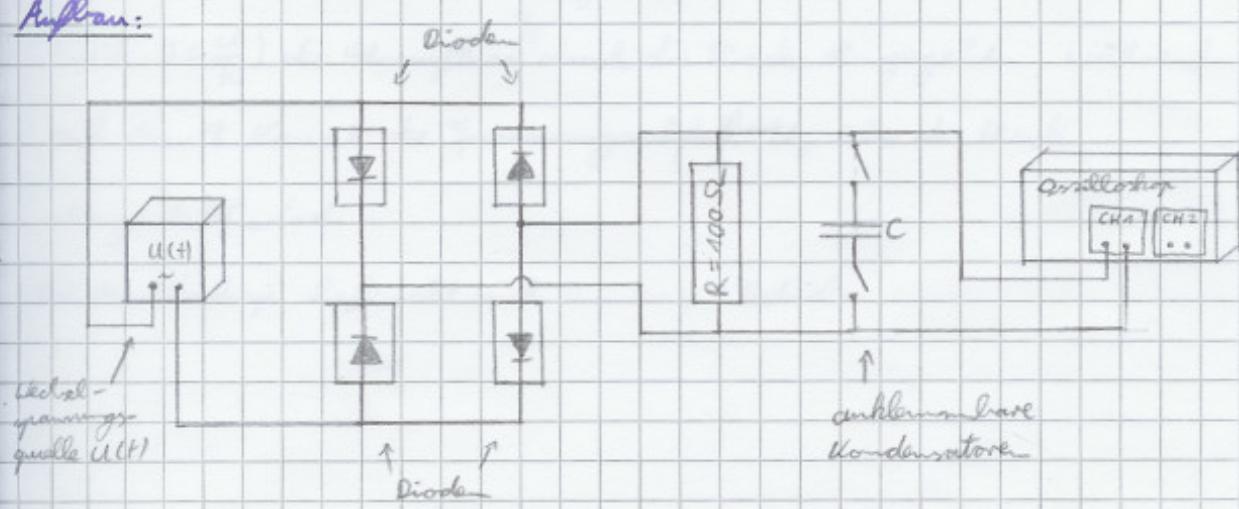
- Die beiden Eingänge E (schwarze Stecker) des Oszilloskops sind intern miteinander verbunden, weshalb die Abgriffpunkte in der Schaltung auf dem gleichen Potential liegen müssen.
- Die Ausgänge des Oszilloskops sind rot.
- Auf dem ersten Kanal wird in der Einstellung DC der Spannungsabfall über R dargestellt, welche nach $I = \frac{U}{R}$ proportional zu dem durch R und der Diode fließende Strom ist.
- Auf dem zweiten Kanal, auch in der Einstellung DC, wird parallel dazu (d.h. nicht im x-y-Betrieb) die Eingangsspannung visualisiert.

Ausführung:

- Zunächst wird in der Einstellung GND die Nullage beider Kanäle am Bild-Oszilloskop in die Mitte des Schirms gelegt.
- Die Spannungsquelle wird eingeschaltet und die Oszilloskop-Kanäle auf die Betriebsart DC gestellt (es werden beide gleichzeitig visualisiert).
- Es werden die Empfindlichkeiten, ~~und~~ die Zeitbasis so eingestellt, dass sich ein gutes Bild ergibt.

4.3.2 Gleichrichtschaltung

Aufbau:



• Es wird nur der 1. Kanal des Oszilloskops in der Betriebsart DC verwendet.

• Es können Kondensatoren C parallel zum Widerstand R angebracht werden, so dass der Spannungsabfall über diesen Kondensatoren angezeigt werden.

Durchführung:

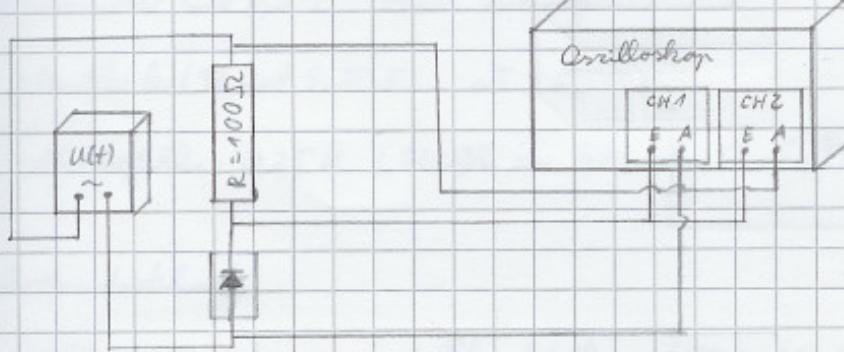
- Zunächst sind keine Kondensatoren angekennnt. Es wird wieder die Nullage am Oszilloskop eingestellt, danach die Betriebsart D.C., die Spannungsquelle wird eingeschaltet, die Einstellungen des Oszilloskops werden für ein gutes Bild angepasst und der zeitliche Verlauf festgehalten.
- Nun werden obige Schritte wiederholt, wobei nur ein Kondensator parallel zum Widerstand angekennnt ist.

Benötigte Kondensatoren:

- Kondensator 1 (schwarz) mit $100\mu F$
- Kondensator 2 (blau) mit $2200\mu F$

4.3.3 Strom-Spannungs-Kennlinie $J_0(U_0)$ einer Diode

Aufbau:



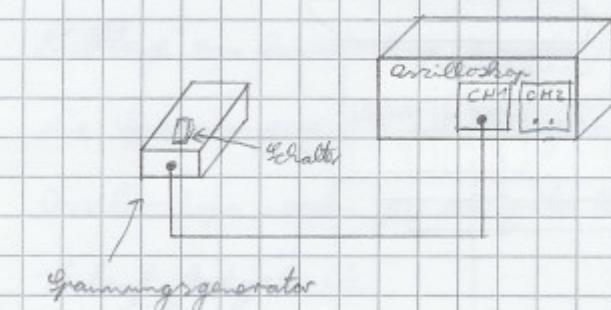
- Der Aufbau ähnelt stark dem von Versuch 4.3.1 (Seite 20), jedoch ist das Oszilloskop unter-^{schiedlich} angeschlossen.
- Die Eingänge E (schwarze Stöcke) liegen auf dem selben Potential (sie sind intern verbunden).
- Auf Kanal 2 wird der Spannungsabfall über R und damit (nach $J = \frac{U}{R}$) der Stromfluss J_0 durch die Diode eingegeben, während auf dem 1. Kanal der Spannungsabfall U_0 über der Diode dargestellt wird.
- Das Oszilloskop befindet sich im x-y-Betrieb.

Durchführung:

Ist ähnlich zu Versuch 4.3.1 (S.20), nur im x-y-Betrieb, um die Strom-Spannungsbeziehung $J_0(U_0)$ direkt angezeigt zu bekommen.

4.3.4 Charakterisierung einer unbekannten Spannung

Aufbau:



Spannungsgenerator

- Der Spannungsgenerator (Nummer: 4) wird direkt mit dem 1. Kanal des Oszilloskops verbunden (d.h. ohne den Umweg über den Adapter).
- Betriebsart: DC (da hier Gleichspannungsanteile nicht herausgefiltert werden)

Durchführung:

Es wird die Nulllage festgestellt, anschließend der Generator eingeschaltet und die Einstellungen für ein gutes Bild angepasst.

5. Fehler der verwendeten Messgeräte

- Thermometer mit $0,5^{\circ}\text{C}$ Skalenteilung:

- Restfehler (Bsp. S. F-5): $\Delta T = 0,5\text{ K}$

- Abtastfehler: $0,25\text{ K}$ (Hälfte der kleinste Einheit)

- Widerstandsmessode:

Fehler = 1% des eingestellten Werts (Bsp. S. SK-8)

- x-t-Schalter: Fehler laut Anleitung $\pm 0,35\%$ (der gemessenen Wert, beide Arten)

- DMM: • Stabilität: $\pm 1\text{ digit}$

(4121)

- $\pm (0,05\% \text{ vom Format} + 1\text{ digit})$

groß! ✓

6. Versuchsdurchführung/Protokoll

6.1 Entlast - Charakteristika von Batterien und Akkus

- Aufbau und Durchführung: S. 13

- Spannungsquelle: Batterien (1,5V, AA Größe)

	Startzeit	Uhrzeit bei Abbruch
$R = 1,852$	14:09	16:36
$R = 0,5152$	16:40	17:38

- x-t-Schreiber Einstellungen:

- 1. Kanal (Grün)

- Schalter „cal“

- Schalter „M“

- Papiervorschub: „12“ und „20“, mit „cm/h“

- Empfindlichkeit: 2V

- Der \oplus -Pol der Batterie wird mit dem \oplus -Pkt Eingang des x-t-Schreibers verbunden.

6.2 Messung mit Gleichspannungsmeter

6.2.1 Messung für Kohlewiderstand

- Aufbau und Durchführung: S. 14 f.

- Wertstabelle:

Nr.	Temperatur [°C]	Eingestellte Wdh. R ₃ [s2]	
1	29,5	7300	E
2	38,5	6100	
3	43,5	6020	
4	48,0	6020	
5	53,0	6000	
6	59,5	5980	
7	63,5	5970	
8	68,5	5970	V

- Es wird stets gewartet, bis das Heißlicht erlischt und sich die Linie auf dem Oszilloskop nicht mehr verschiebt.

6.2.2 Messung für NTC-Widerstand

-Ablauf und Durchführung: S. 16

-Messabelle:

Nr.	Temp. [°C]	R ₃ [Ω]
1	25,5	2690
2	31,0	2230
3	35,5	1990
4	38,0	1750
5	41,0	1600
6	43,5	1480
7	47,0	1320
8	50,0	1190
9	55,0	1030
10	61,0	880
11	65,0	790
12	70,0	690

✓

-Es wird das Heizgerät ca. 1°C vor der Zieltemperatur ausgeschaltet und gewartet bis die angezeigte Spannung sich nicht mehr ändert.
Dann wird abgeglichen.

6.2.3 Messung mit Photodiode

- Aufbau u. Durchführung: S. 17

- Tabelle:

Nr.	R_3 [Ω]	Licht- Intensität	Beschreibung
1	11.100	lichtleserstet	Die Handfläche wird ca. 4 cm über die Diode gehalten (Raumlicht am)
2	6870	„normal“	Normale Raumbeleuchtung
3	3890	etw. lüller	Raumbel., Diode dem Fenster zugeneigt
4	6700	hell	mit Lampe aus ca. 30 cm bestrahlt mit Raumbel. angeschaltet (LED-Lampe) Weiß

Die Diode kann nicht stark von Licht abgeschirmt werden, da sonst die Brücke nicht mehr abgeglichen werden kann (da $R_3 = 11.100$ der max. Widerstand).

6.2.4 Messung Kennlinie einer Silizium-Diode

- Aufbau und Durchführung: S. 18f.

- Wertabelle in Durchlassrichtung

Nr.	U_0 [V]	R_g WAF [S2]
1	0,011	8100
2	0,216	8030
3	0,278	7830
4	0,295	7670
5	0,322	7260
6	0,336	6900
7	0,348	6530
8	0,359	6090
9	0,370	5890
10	0,382	4980
11	0,391	4550
12	0,397	4200
13	0,407	3690
14	0,415	3320
15	0,422	2980
16	0,430	2650
17	0,439	2300
18	0,448	1990
19	0,458	1700
20	0,467	1460
21	0,477	1230
22	0,486	1060
23	0,495	920
24	0,505	780
25	0,513	680

Nr.	U_0 [V]	R_3 W/MW [S2]
26	0,528	540
27	0,539	460
28	0,557	380
29	0,561	330
30	0,571	300
31	0,579	270
32	0,588	240
33	0,593	230
34	0,599	210
35	0,608	190
36	0,619	170
37	0,633	150
38	0,649	130
39	0,662	120
40	0,672	110
41	0,685	100
42	0,718	80
43	0,743	70
44	0,778	60
45	0,913	40

- DTM - Einstellungen: DCV 1 „20“

- Tabelle in Gegenstellung:

• DMR-Einstellung: DCV, „20“

Nr.	U_0 [V]	R_3 [Ω]
1	0,019	8100
2	1,215	8110
3	2,480	8110
4	3,641	8110
5	4,913	8050
6	6,046	8050
7	6,460	8050

v

Name:

PPA2, Veruch SK

Gruppe 17

Achim Giebelberger

Marcus Berelmann

Huft 2

Holzfreies Schreibpapier - elementarchlorfrei gebleicht

Schreibheft A4 - Lineatur 22 - 80g/qm

22

16
Blatt

6.3 Versagen mit Wechselspannung

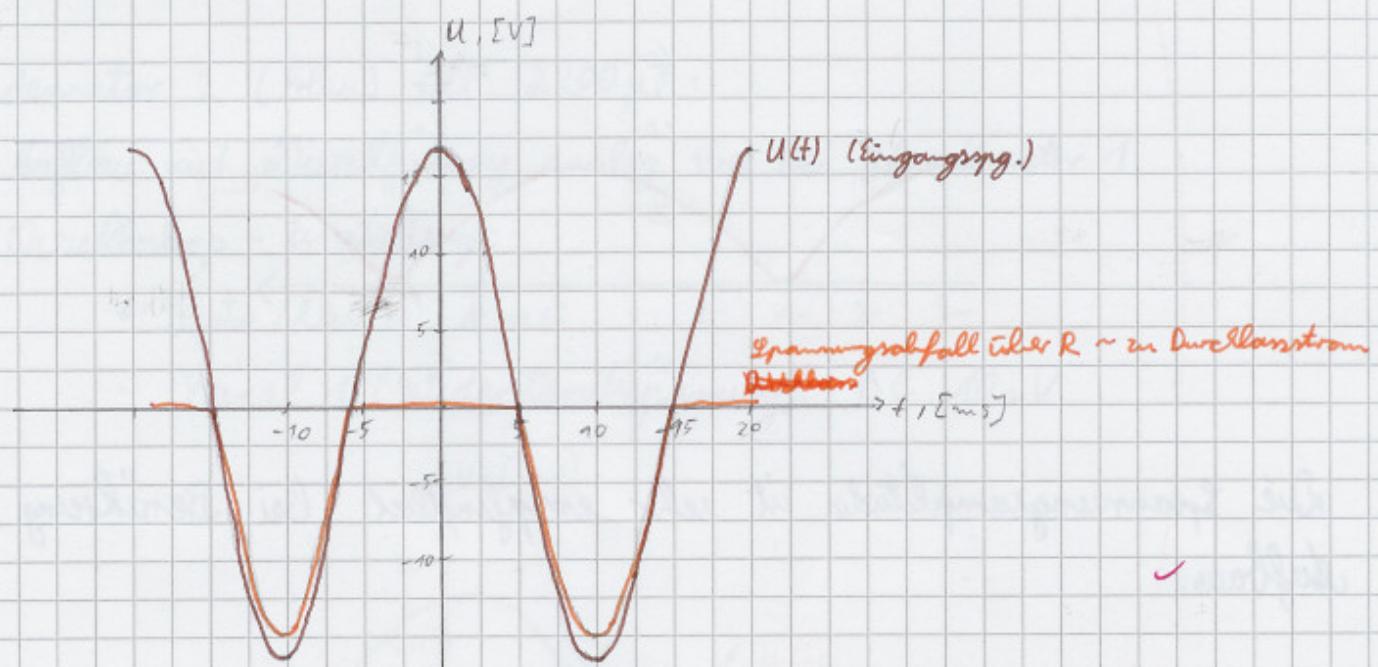
6.3.1 Durchlassstrom einer einsch. Diode

Aufbau und Durchführung: S. 20

Durchführbarkeit Oszilloskop-Einstellungen:

- Time / Div: 5 ms
- Kanal 1 (Widerstandsgang): DC mit 5V

→ Bild:

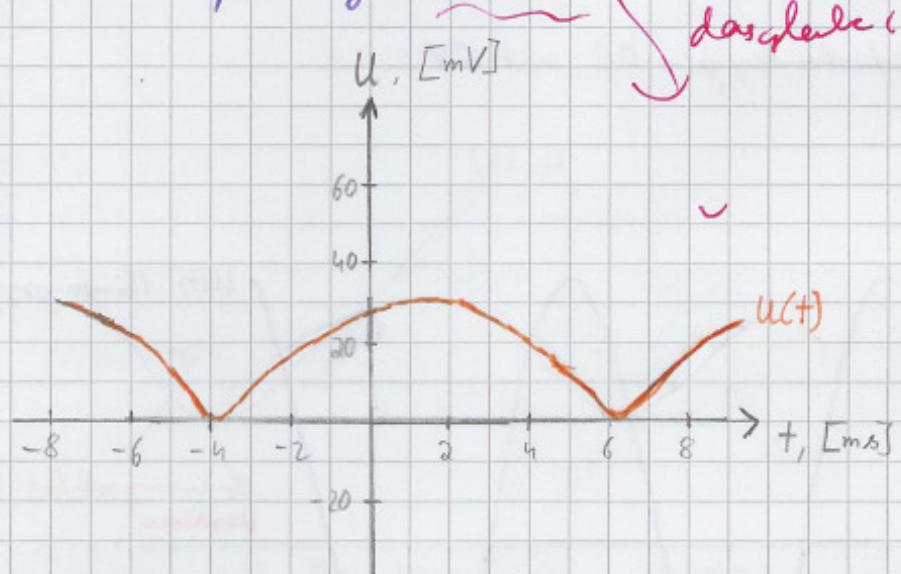


6.3.2 Gaußschaltung

- Aufbau u. Durchführung: S.21

- Oszilloskop-Einstellung:

- Time/Div: 2 ms
- Kanal 1 (Widerstandsspannung): DC 20 mV

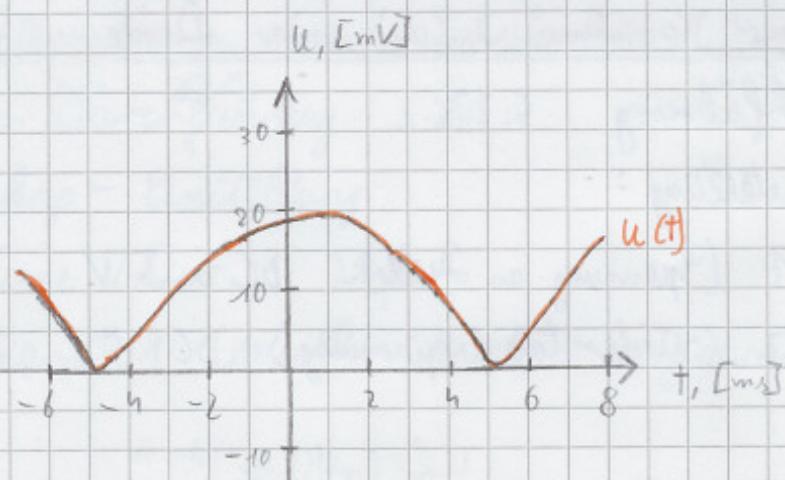


Die Spannungsamplitude ist sehr empfindlich bei Berührung des Aufbaus.

Nun wird zum Widerstand ein Kondensator parallel geschaltet.
Hierbei werden zwei unterschiedliche Kondensatoren benutzt.

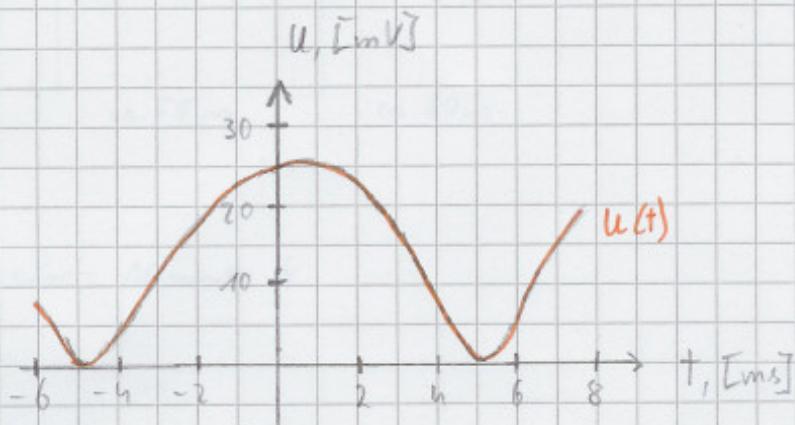
Kondensator 1 (schwarz) mit $100 \mu F$:

- Aufbau und Durchführung wie bei 6.3.2, nur mit zum Widerstand parallel geschalteten Kondensator 1
- Oszilloskop-Einstellung:
 - Time/Div: 2 ms
 - Kanal 1 (Widerstandsspannung): DC 10 mV



Kondensator 2 (blau) mit $2200 \mu\text{F}$:

- Aufbau und Durchführung analog wie bei Kondensator 1
- Oszilloskop - Einstellung:
 - Time / Div: 2 ms
 - Kanal 1 (Widerstandsspannung): $\Delta C 10 \text{ mV}$



hein
entzündet?

hier so nicht sein!

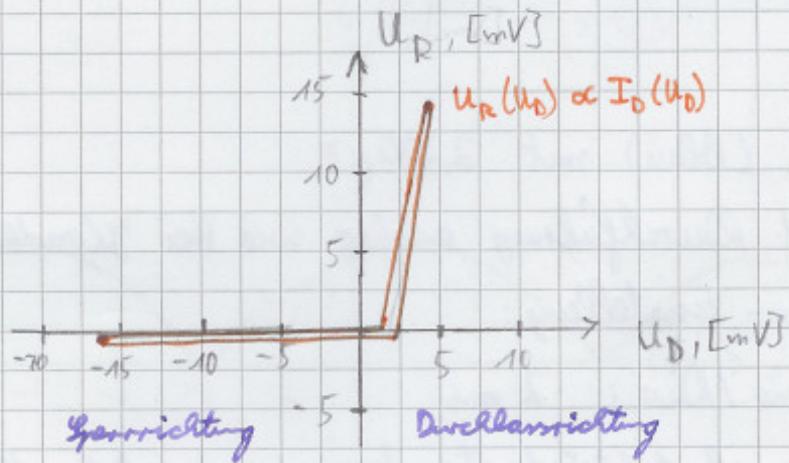
irgend etwas stimmt hier nicht!

6.3.3 Strom-Spannungs-Kennlinie $I_D(U_D)$ einer Diode

- Aufbau u. Durchführung S. 23

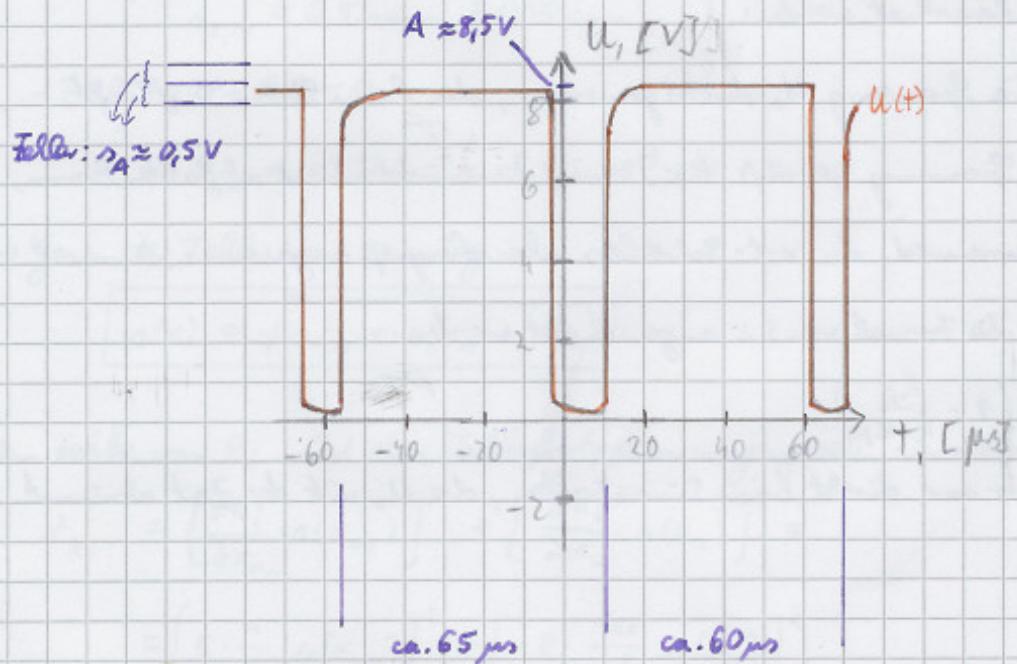
- Oszilloskop-Einstellung:

- Kanal 1 (Spannung an Diode): DC 5V
- Kanal 2 (Widerstandsspannung): DC 5V, invertiert



6.3.4 Charakterisierung einer unbekannten Spannung

- Aufbau u. Durchführung S.29..
- Oszilloskop - Einstellung:
 - Zeitteil/Div: $20 \mu\text{s}$
 - Kanal 1 (Anschluss des Spannungsgegenerators): DC $2V$



21.10.10 Cl.

- Benutzter Generator: Nummer 9

7. Auswertung

7.1 Entlade - Charakteristiken von Batterien und Akkus

7.1.1 Berechnung des Innenwiderstandes

Der Innenwiderstand kann aus dem Spannungsabfall direkt nach den Anklammern des Entladewiderstandes wie folgt berechnet werden:

- Ohne ext. Wld. R: Es wird die Spannung U_0 direkt gemessen, da kein Strom I fließt und somit keine Spannung gemäß $R \cdot I$ am Innenwiderstand abfallen kann.
Hierbei wird der Innenwid. des x-t-Schalters als sehr groß angenommen.
- Mit ext. Wld. R: Es kann die Formel von S. 2 angewandt werden:

$$U(R) = U_0 \cdot \left(1 - \frac{R_i}{R+R_i}\right).$$

Diese Formel gilt nur nur direkt beim Einschalten, da U_0 mit der Zeit abnimmt.

→ Berechnung von R_i :

$$\frac{U}{U_0} = 1 - \frac{R_i}{R+R_i}$$

$$\frac{R_i}{R+R_i} = 1 - \frac{U}{U_0}$$

$$R_i = \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot (R + R_i) = \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot R + \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot R_i$$

$$R_i \cdot \left(1 - \frac{U_0 - U}{U_0}\right) = R_i \cdot \left(1 - 1 + \frac{U}{U_0}\right) \stackrel{!}{=} \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot R = \left(1 - \frac{U}{U_0}\right) \cdot R$$

$$R_i = \left(1 - \frac{U}{U_0}\right) \cdot R \cdot \frac{U_0}{U} = \left(\frac{U_0}{U} - 1\right) \cdot R$$

$$\Rightarrow R_i = R \cdot \left(\frac{U_0}{U} - 1\right) = R \cdot \left(\frac{x_{u_0}}{x_u} - 1\right)$$

U

Hierbei bezeichnet x_{u_0} die Auslenkung des x-t-Schalters von dem Nullpunkt bis zur Leerlaufzeit. U_0 ist eine Längeneinheit (z.B. cm);

ber.

x_u entsprechend die Auslenkung bis zu der Stelle bei der „Auslenkzeit“, an der der Graph noch nicht „abknickt“ (d.h. immer noch schreibt ist).

Die Beziehung $\frac{x_{u_0}}{x_u} = \frac{U_0}{U}$ gilt, da $x_{u_0} \sim U_0$ und $x_u \sim U$.

Der Fehler von R wird vernachlässigt, nicht jedoch von x_{u_0} und x_u (im folgenden jeweils als Messwert x bezeichnet):

- Restfehler Büromafstab (S.25):

$$\sigma_{r,H} = 0,2 \text{ mm} + 10^{-3} \cdot x = 0,02 \text{ cm} + 10^{-3} \cdot x$$

- Ablesefehler Büromafstab (S.25):

$$\sigma_{a,H} = 0,5 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$$

- Fehler x-t-Schreiber:

$$\sigma_{s,H} = 0,35\% \cdot x = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot x$$

→ Gesamter Fehler von Messung x:

$$\boxed{\sigma(x) = \sqrt{\sigma_{r,H}^2 + \sigma_{a,H}^2 + \sigma_{s,H}^2}}$$

Für den Fehler von R; wird das Fehlerfortpflanzungsgerste verwendet:

$$\begin{aligned} \sigma_{R_i}^2 &= \left[\frac{\partial R_i}{\partial x_{u_0}} \cdot \sigma(x_{u_0}) \right]^2 + \left[\frac{\partial R_i}{\partial x_u} \cdot \sigma(x_u) \right]^2 = \\ &= \left[R \cdot \frac{1}{x_u} \cdot \sigma(x_{u_0}) \right]^2 + \left[-R \cdot \frac{x_{u_0}}{x_u^2} \cdot \sigma(x_u) \right]^2 \end{aligned}$$

$$\rightarrow \boxed{\sigma_{R_i} = R \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{x_u} \cdot \sigma(x_{u_0}) \right)^2 + \left(\frac{x_{u_0}}{x_u^2} \cdot \sigma(x_u) \right)^2}}$$

Damit ergeben sich folgende Werte für R; und deren Fehler:

R [Ω]	x_{u_0} [cm]	x_u [cm]	R; [Ω]	σ_{R_i} [Ω]
0,51	20,4	15,75	0,15057 ≈ 0,151	0,004655 ≈ 0,005
7,8	20,4	18,4	0,19565 ≈ 0,196	0,01356 ≈ 0,014

Es wurde erwartet, dass die Innenwiderstände beider Batterien identisch sind, da es 2 Batterien des gleichen Modells und des gleichen Herstellers waren. Jedoch ist der Unterschied im Hinblick auf die errechneten Fehler signifikant.

Eine mögliche Fehlerquelle ist, dass die Ablesung von U nur relativ ungenau erfolgen kann.

Hängt von der Last ab!

Mittelwertbildung:

$$\bar{R}_i = \frac{R_i(0,51\Omega) + R_i(1,8\Omega)}{2} \approx 0,1731\Omega$$

Fehler des Mittelwerts:

$$\begin{aligned}s_{\bar{R}_i}^2 &= \left(\frac{\partial \bar{R}_i}{\partial R_i(0,51\Omega)} \cdot s_{R_i}(0,51\Omega) \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{R}_i}{\partial R_i(1,8\Omega)} \cdot s_{R_i}(1,8\Omega) \right)^2 = \\ &= \frac{1}{4} \left[s_{R_i}^2(0,51\Omega) + s_{R_i}^2(1,8\Omega) \right]\end{aligned}$$

$$s_{\bar{R}_i} \approx 0,007168\Omega \approx 0,007168\Omega$$

Dieser Fehler ~~ist~~ erscheint im Hinblick auf obige erläuterte Gleichheit etwas gering. Dafür wird ein Fehler von $s_{\bar{R}_i} = 0,020\Omega$ angenommen.

$$\Rightarrow \boxed{R_i = \bar{R}_i \pm s_{\bar{R}_i} \approx (0,173 \pm 0,020)\Omega} \quad \text{Wie geht Iher!}$$

7.1.2 Diskussion der Diagramme

- Auf den ersten Blick erscheinen beide Diagramme ähnlich, nur dass der Entladevergang für $R = 1,8\Omega$ länger dauerte als für $R = 0,51\Omega$. Dies ist verständlich, da bei $R = 1,8\Omega$ ein geringerer Strom fließt, weshalb sich die Batterie langsamer entlädt.

- Im I. Bereich, d.h. direkt beim Anhören von R , findet der bereits unter 7.1.1 diskutierte instabile Spannungsabfall statt. Der Grund hierfür ist, dass sich die „Spannungsabfälle“ über die vorhandenen Widerstände (d.h. R und R_i) „verteilen“.

- II. Bereich: Der Graph geht in eine lineare Funktion über. Die Dauer ^{Aufladen} von "diesem Bereich" ($30 \frac{\text{A}}{\text{h}}$):

• Für $R = 0,51\Omega$: $t \approx \frac{25 \text{ A}}{30 \frac{\text{A}}{\text{h}}} \approx 5 \text{ min}$

• Für $R = 1,8\Omega$: $t \approx \frac{7 \text{ A}}{30 \frac{\text{A}}{\text{h}}} \approx 14 \text{ min}$

-II. Bereich: Ein im etwa linearer Spannungsabfall, und der Bereich mit der größten Dauer:

• Für $R = 0,5152$: $t \approx \frac{14 \text{ cm}}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \approx 28 \text{ min}$

• Für $R = 1,8 \Omega$: $t \approx \frac{53 \text{ cm}}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \approx 106 \text{ min}$

Dies lässt sich mit einem mit Wasser gefüllten Gefäß anschaulichen, das oben unten an der Wand ein Loch hat. Zunächst ist der Druck mit dann der Wasserstrahl ausreichend groß. Je mehr Wasser jedoch hinausgeflossen ist, desto weniger Wasser „drückt“ auf das Loch, d.h. der Druck nimmt ab (und zwar linear nach der Formel $p = \rho g h$).

- III. Bereich: Hier unterscheiden sich beide Diagramme deutlich voneinander.

• Für $R = 0,5152$: Die Spannung nimmt linear ab, und zwar deutlich stärker als in Bereich II. Eine Analogie kann evtl. auch hier verwendet werden: Der Wasserziegel ist unter die obere Lochgrenze gefallen, d.h. es gibt keine Wassersäule mehr über dem Loch; das Wasser wird nicht mehr hingedrückt, sondern fließt nur noch hinaus, d.h. es kommt nur noch ein geringer Druck. Dies nimmt schnell ab, da immer weniger Wasser durch das Loch fließt, da der Wasserziegel abwärts sinkt.

Dauer: $t = \frac{2,5 \text{ cm}}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \approx 5 \text{ min}$

• Für $R = 1,8 \Omega$: Die Spannung nimmt nicht linear ab, sondern erst schneller, und dann langsamer. Dass die Abnahme im Vergleich zu Bereich III schneller passiert, lässt sich mit der Einer-Analogie wie für $R = 0,5152$ anschaulich beschreiben, die aufgeschriebene Form jedoch nicht.

Dauer: $t \approx \frac{10,2 \text{ cm}}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \approx 20,4 \text{ min}$

- II. Bereich: Die Spannung ist mittlerweile beinahe auf 0 V abgefallen und nimmt in diesem Bereich nur noch sehr langsam und in etwa linear ab.

In der Analogie könnte man dies so beschreiben, dass das Wasser nur noch langsam hinauströpfft. Die Dauer bis zum Fassende:

$$\begin{aligned} \cdot \text{Für } R = 0,51\Omega : t \approx \frac{5,5 \text{ s}}{\frac{30 \text{ cm}}{\text{h}}} &\approx 11 \text{ min} \\ \cdot \text{Für } R = 1,8\Omega : t \approx \frac{1,5 \text{ s}}{\frac{30 \text{ cm}}{\text{h}}} &= 3 \text{ min} \end{aligned} \quad \left. \right\} \begin{array}{l} (\text{Zeiten haben keine Bedeutung, da Abbruch-} \\ \text{zeitpunkt ist willkürlich}) \end{array}$$

→ Gesamtbetriebszeiten:

- Für $R = 0,51\Omega$: $t \approx 49 \text{ min}$
- Für $R = 1,8\Omega$: $t \approx 143 \text{ min}$

7.1.3 Graphische Integration des Graphen für $R = 0,51\Omega$

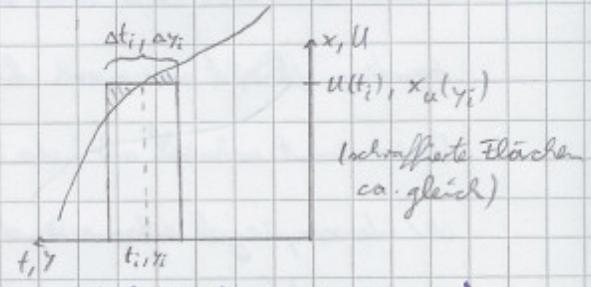
Für Flächenberechnungen werden im Diagramm 2 bekannte Spannungsweise benötigt; der 1. Wert ist die Nulllage ($\rightarrow 0V$), der 2. Wert die Leerlaufspannung ($\rightarrow 1,5V$ nach Beschriftung der Batterien).

Die Ladung berechnet sich mittels:

$$Q = \int_0^T I dt = \frac{1}{R} \cdot \int_0^T U dt \approx \frac{1}{R} \cdot \sum_{i=1}^N U(t_i) \cdot \Delta t,$$

$$\text{mit: } U = U_0 \cdot \frac{x_u}{x_{u_0}}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta y}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \quad (\Delta y: \text{Gesamtbreite eines Rechtecks auf der Zeitachse, in [cm]})$$



$$\text{Somit: } Q = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot \int_0^{x_u} x_u(y) dy \stackrel{\text{wobei}}{\approx} \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot \underbrace{\sum_{i=1}^N x_u(y_i) \cdot \Delta y_i}_{=: A}$$

(A: Fläche
in cm^2 unter
Kurve)

Das Ende ist in den Diagrammen markiert.

a) Grobe Bestimmung der eingespeistenen Ladung:

Mittels der 3 rotenen Rechtecke:

$$A \approx 1,3 \text{ cm} \cdot 8 \text{ cm} + 6,3 \text{ cm} \cdot 2 \text{ cm} + 10,5 \text{ cm} \cdot 19 \text{ cm} = 222,5 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow Q \approx \frac{1}{0,51\Omega} \cdot \frac{1}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{1,5 \text{ V}}{20,4 \text{ cm}} \cdot 222,5 \text{ cm}^2 \approx 1,07 \text{ Ah}$$

$$\rightarrow Q = 3,85 \cdot 10^3 \text{ C}$$

b) genauere graphische Integration:

- die gemessenen Werte sind im Diagramm verzeichnet. In der Mitte wurde die annähernde Linearität angenommen und die Fläche als Trapez approximiert.
- Formel für Trapez: $A_T = \frac{a+c}{2} \cdot h$ mit: $a = 8,8 \text{ cm}$, $c = 12 \text{ cm}$, $h = 13 \text{ cm}$
- Fehlerberichtigung: Es wurde mithilfe eines Lineals gemessen. Der Fehler einer Messung ergibt sich also wie auf S. 39:

$$\sigma(x) = \sqrt{(0,02 \text{ cm} + 10^{-3} \cdot x)^2 + (0,05 \text{ cm})^2 + (3,5 \cdot 10^{-3} \cdot x)^2}$$

(auch für y , d.h. Zeitachse)

→ Fehler für die Fläche eines Rechtecks: $A_i = x_i \cdot \Delta y_i$

$$\begin{aligned}\sigma_{A_i}^2 &= \left(\frac{\partial A_i}{\partial x} \cdot \sigma(x) \right)^2 + \left(\frac{\partial A_i}{\partial (\Delta y)} \cdot \sigma(\Delta y) \right)^2 = \\ &= (\Delta y_i \cdot \sigma(x_i))^2 + (x_i \cdot \sigma(\Delta y_i))^2 \\ \sigma_{A_i} &= \sqrt{(\Delta y_i \cdot \sigma(x_i))^2 + (x_i \cdot \sigma(\Delta y_i))^2}\end{aligned}$$

→ Fehler für die Fläche des Trapezes:

$$\begin{aligned}\sigma_{A_T}^2 &= \left(\frac{\partial A_T}{\partial a} \cdot \sigma(a) \right)^2 + \left(\frac{\partial A_T}{\partial c} \cdot \sigma(c) \right)^2 + \left(\frac{\partial A_T}{\partial h} \cdot \sigma(h) \right)^2 = \\ &= \left(\frac{h}{2} \cdot \sigma(a) \right)^2 + \left(\frac{h}{2} \cdot \sigma(c) \right)^2 + \left(\frac{a+c}{2} \cdot \sigma(h) \right)^2 \\ \sigma_{A_T} &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{(h \cdot \sigma(a))^2 + (h \cdot \sigma(c))^2 + ((a+c) \cdot \sigma(h))^2}\end{aligned}$$

→ Fehler für die Summe aller Flächen: $A = \sum_i A_i + A_T$

$$\begin{aligned}\sigma_A^2 &= \sum_i \left(\frac{\partial A}{\partial A_i} \cdot \sigma_{A_i} \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial A_T} \cdot \sigma_{A_T} \right)^2 = \\ &= \sum_i \sigma_{A_i}^2 + \sigma_{A_T}^2 \\ \sigma_A &= \sqrt{\sigma_{A_T}^2 + \sum_i (\sigma_{A_i}^2)}\end{aligned}$$

→ Fehler für die Leistung Q : $Q = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{U_0}{X_{U_0}} \cdot A$

$$\sigma_Q = \left| \frac{\partial Q}{\partial A} \cdot \sigma_A \right| = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{U_0}{X_{U_0}} \cdot \sigma_A$$

Die gesamte Fläche A ergibt dann: $A = (203,2 \pm 2,0) \text{ cm}^2$

Zu dazugehörige, d.h. im gesamten entnommene Ladung:

$$Q = (3515 \pm 34) \text{ C}$$

Die folgenden beiden Diagramme haben ^{ca.} an dieser Stelle einen Bruch.

Die Funktion $Q(t)$ kann nun in Tabelleform angegeben werden.

Die Zeit t erhält man durch aufzählen aller Δt_i bis zu dem gewünschten Wert:

$$t = \sum_i \Delta t_i, \quad \Delta t_i = \sqrt{\sum_i (\Delta x_{at_i})^2} \text{ (Tabelle)}$$

Die Werte Δt_i berechnen sich dabei aus Δy_i , wie folgt (Papierorschub: $30 \frac{\text{cm}}{\text{h}} = v_p$):

$$\Delta t_i = \frac{\Delta y_i}{v_p}, \quad \Delta x_{at_i} = \frac{1}{v_p} \cdot \Delta t_i \quad (\Delta t_i: \text{Ext. } s(x) \text{ von vorheriger Seite})$$

Die Fläche des i -ten Rechtecks erhält man mittels:

$$A_i = \Delta y_i \cdot x_u(y_i) = \Delta y_i \cdot x_i \quad \text{mit } x_i := x_u(y_i)$$

$$\Delta A_i = \sqrt{(\Delta y_i \cdot s(x_i))^2 + (x_i \cdot s(\Delta y_i))^2}$$

Diese Fläche entspricht der folgenden Ladung:

$$Q_i = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{v_p} \cdot \frac{U_0}{x_{u0}} \cdot A_i \quad (\text{nach S. 42}) \quad (R \text{ hier: } R = 0,5152)$$

$$\Delta Q_i = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{v_p} \cdot \frac{U_0}{x_{u0}} \cdot \Delta A_i$$

Die Ladung $Q(t)$ erhält man dann durch aufzählen aller Q_i bis zum gewünschten Zeit:

$$Q = \sum_i Q_i$$

$$\Delta Q = \sqrt{\sum_i (\Delta Q_i)^2}$$

Um Zwischenstufen innerhalb des Trapezes angeben zu können, wird wie folgt interpoliert:

- Geradengl. für obere Trapezseite: $x(y) = m \cdot y + c$ (c : Achsenabschnitt, m : Steigung $m < 0$)

$$\text{mit: } m = -\frac{c-a}{h} \quad (a, c, h: \text{Trapezseiten, siehe Diagramm})$$

$$\text{Für } R = 0,5152: \quad m = -\frac{12-8,8}{13} = -\frac{16}{65}$$

$$\bullet c \text{ erhält man aus: } x(y_i) = m \cdot y_i + c \stackrel{!}{=} c \quad (y_i: \text{rechte Kante des Trapezes})$$

$$\text{Für } R = 0,5152: \quad -\frac{16}{65} \cdot 3 \text{ cm} + c \stackrel{!}{=} 12 \text{ cm}$$

$$c = \frac{828}{65} \text{ cm}$$

(Es werden Brüche verwendet, um Rundungsfehler zu vermeiden.)

- Die Gleichg. wird nun in eine Gl. $I(t)$ transformiert:

$$1) \gamma = V_p \cdot t$$

$$2) \frac{U}{x} = \frac{IR}{x} \stackrel{!}{=} \frac{U_0}{x_{u_0}} \quad (\text{Dreisatz mit } U_0 = 1,5V \text{ und } x_{u_0} = 20,4\text{ cm})$$

$$\Rightarrow \gamma = T.D. \cdot \frac{x}{x_{u_0}}$$

$x-t$ -Schräger Aufzeichnung

für $R = 0,515 \Omega$

$$I(t) = \frac{U_0}{R} \cdot \frac{1}{x_{u_0}} \cdot x + \frac{U_0}{R} \cdot \frac{1}{x_{u_0}} \cdot t$$

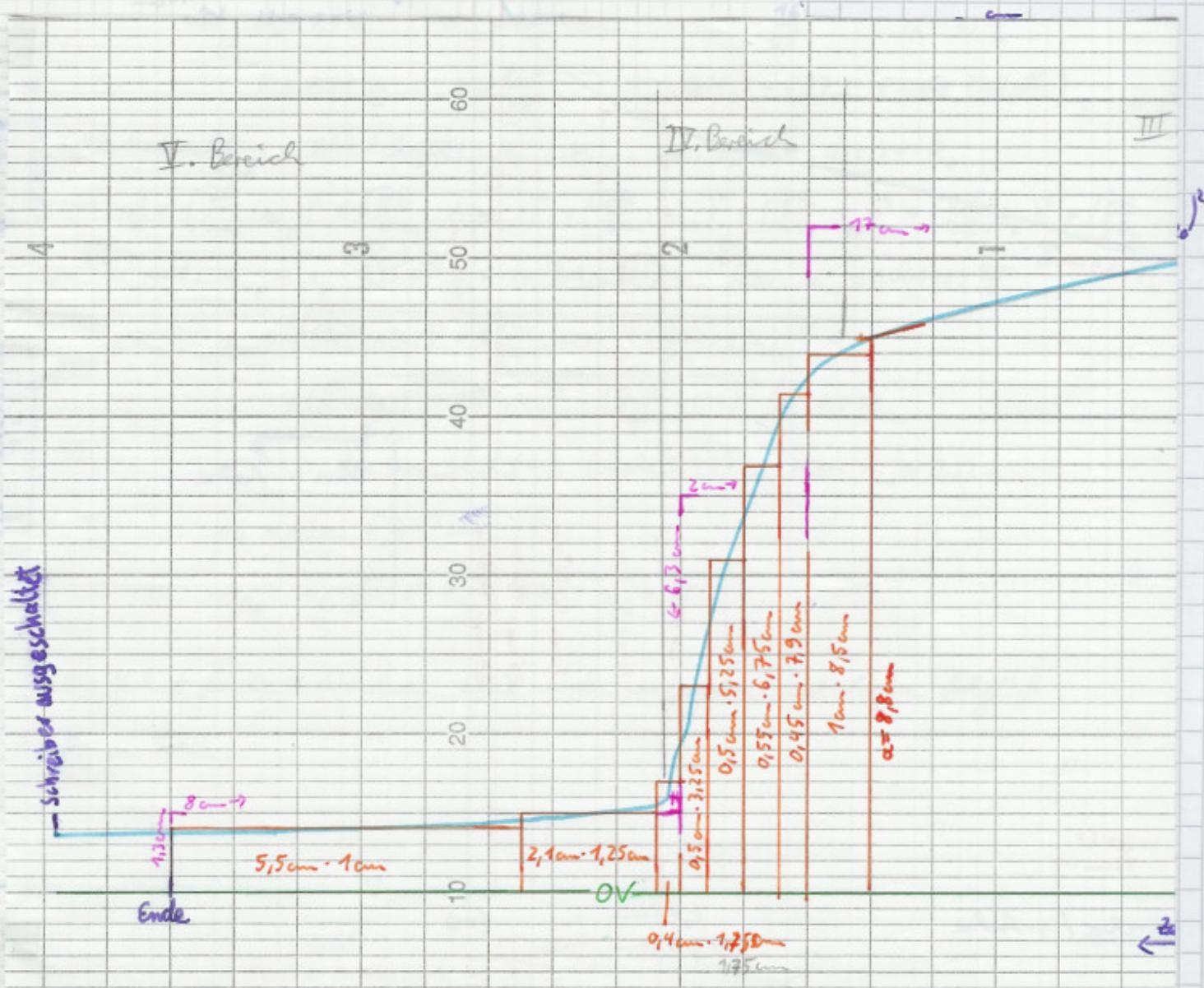
- Die Fläche, d.h. $Q(t)$ kann nun für den Trapez zu folgt interpoliert werden:

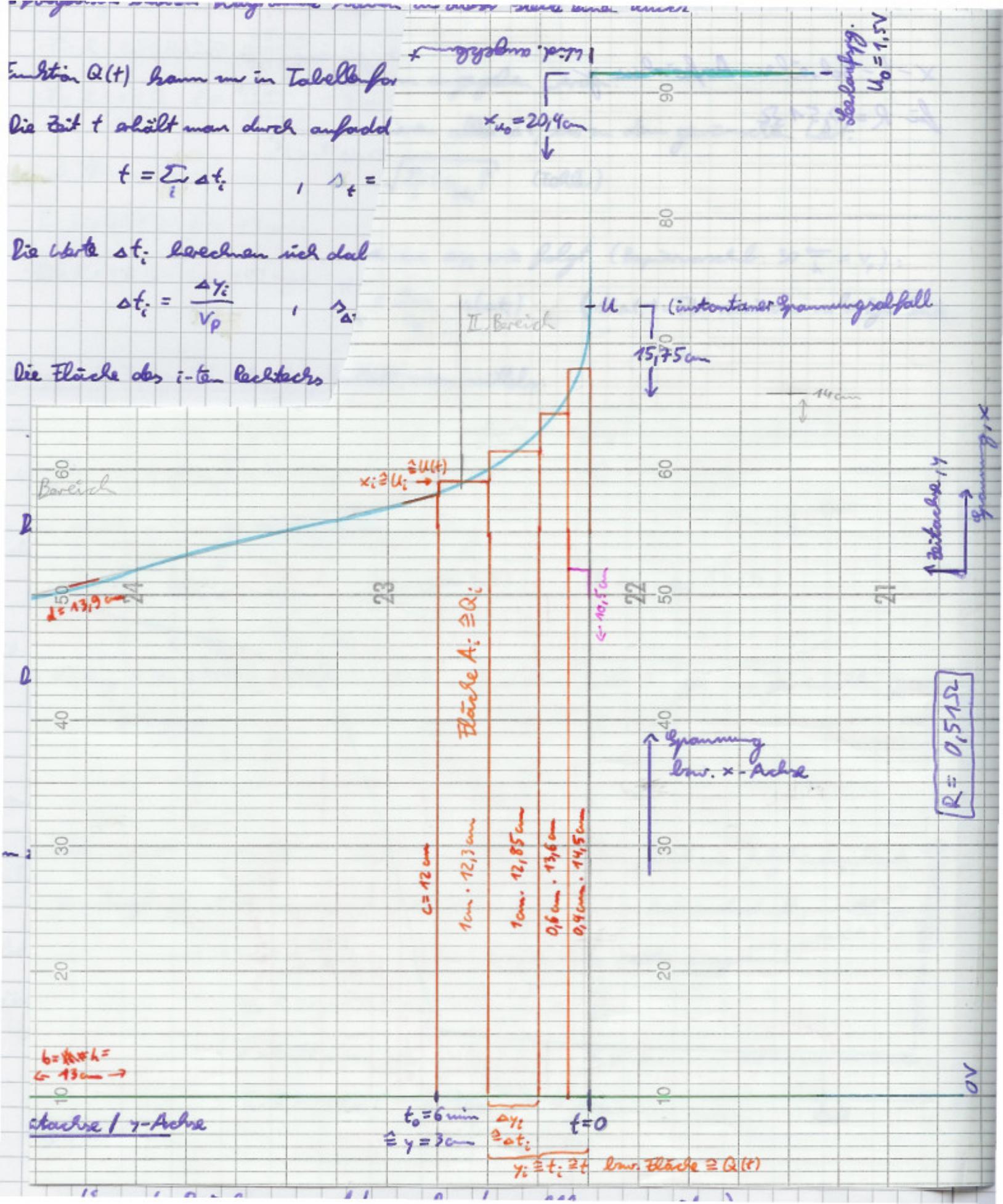
$$Q(t) = \int I(t) dt = Q(t_0) + \alpha(t) \quad \text{mit: } t_0 = \text{"Rand" des Trapezes, } t_0 = 6 \text{ min}$$

Differenzialgleichung (Integration)

$$= V_p \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{x_{u_0}} \cdot x^2 + C$$

$$+ Q(t_0)$$





- Da Geradengl. wird nun in eine Gl. $J(t)$ transformiert:

$$1) \quad y = v_p \cdot t$$

$$2) \quad \frac{U}{x} = \frac{JR}{x} = \frac{U_0}{x_{u_0}} \quad (\text{Berechnet mit } U_0 = 1,5V \text{ und } x_{u_0} = 20,4\text{cm})$$
$$\rightarrow x = J \cdot R \cdot \frac{x_{u_0}}{U_0}$$

→ in Geradengl.:

$$J \cdot R \cdot \frac{x_{u_0}}{U_0} = m \cdot v_p \cdot t + z$$

$$J(t) = v_p \cdot \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot \frac{m}{R} \cdot t + \frac{U_0}{R \cdot x_{u_0}} \cdot z$$

bis zu Zeit

- Die Fläche⁶, d.h. $Q(t)$ kann nun für das Trapez wie folgt interpoliert werden:

$$Q(t) = \int_{t_0}^t J(t) dt' + Q(t_0) \quad \text{mit: } t_0: \text{rechter „Rand“ des Trapezes}, t_0 = 6 \text{ min}$$

$$= v_p \cdot \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot \frac{m}{R} \cdot \frac{1}{2} \cdot (t^2 - t_0^2) + \frac{U_0}{R \cdot x_{u_0}} \cdot z \cdot (t - t_0) + Q(t_0)$$

$$\text{mit: } U_0 = 1,5V, x_{u_0} = 20,4\text{cm}, m = -\frac{16}{65}, v_p = 30 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$R = 9,51 \Omega, z = \frac{828}{65} \text{ cm}, Q(t_0) = 677 \text{ C} \quad (\text{niedrige Tabelle})$$

- Fehlerbetrachtung: Fehlerschätzter: $v_p, x_{u_0}, m, t_0, z, Q(t_0) =: Q_0$

$$\gamma_Q^2 = \left(\frac{\partial Q}{\partial v_p} \cdot \gamma_{v_p} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial x_{u_0}} \cdot \gamma(x_{u_0}) \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial m} \cdot \gamma_m \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial t_0} \cdot \gamma_{t_0} \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial z} \cdot \gamma_z \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial Q_0} \cdot \gamma_{Q_0} \right)^2$$

$$\text{mit: } \gamma_{v_p} = v_p \cdot 0,35\% \quad (\text{x-t-Schreiber}) \quad \text{Hier: } \gamma_{v_p} \approx 0,000029 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\gamma_m = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial m} \cdot \gamma(a) \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial m} \cdot \gamma(c) \right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial m} \cdot \gamma(h) \right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{h} \cdot \gamma(a) \right)^2 + \left(\frac{1}{h} \cdot \gamma(c) \right)^2 + \left(\frac{c-a}{h^2} \cdot \gamma(h) \right)^2} \stackrel{\text{Hier}}{\approx} 0,008$$

$$\gamma_{t_0}: \gamma_t \text{ bis zum Wert } t=t_0 \quad (\text{niedrige S. 44}) \quad \text{Hier: } \gamma_{t_0} \approx 0,22\%$$

$$\gamma_z = \gamma(z) \stackrel{\text{Hier}}{\approx} 0,07 \text{ cm}$$

$$\gamma_{Q_0}: \gamma_Q \text{ für } t=t_0 \quad \text{Hier: } \gamma_{Q_0} \approx 25 \text{ C}$$

Die Zitate für die Interpolation sind vorgegeben und haben folglich keinen Fehler.

Für die Funktion $U(Q)$ wird ähnlich verfahren:

Interpolation für das Trapez:

$$U(t) = R \cdot J(t) = V_p \cdot \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot m \cdot t + \frac{U_0}{x_{u_0}} \cdot z$$

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial U}{\partial V_p} \cdot \sigma_{V_p} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x_{u_0}} \cdot \sigma(x_{u_0}) \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial m} \cdot \sigma_m \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} \cdot \sigma_z \right)^2$$

(siehe S. 46)

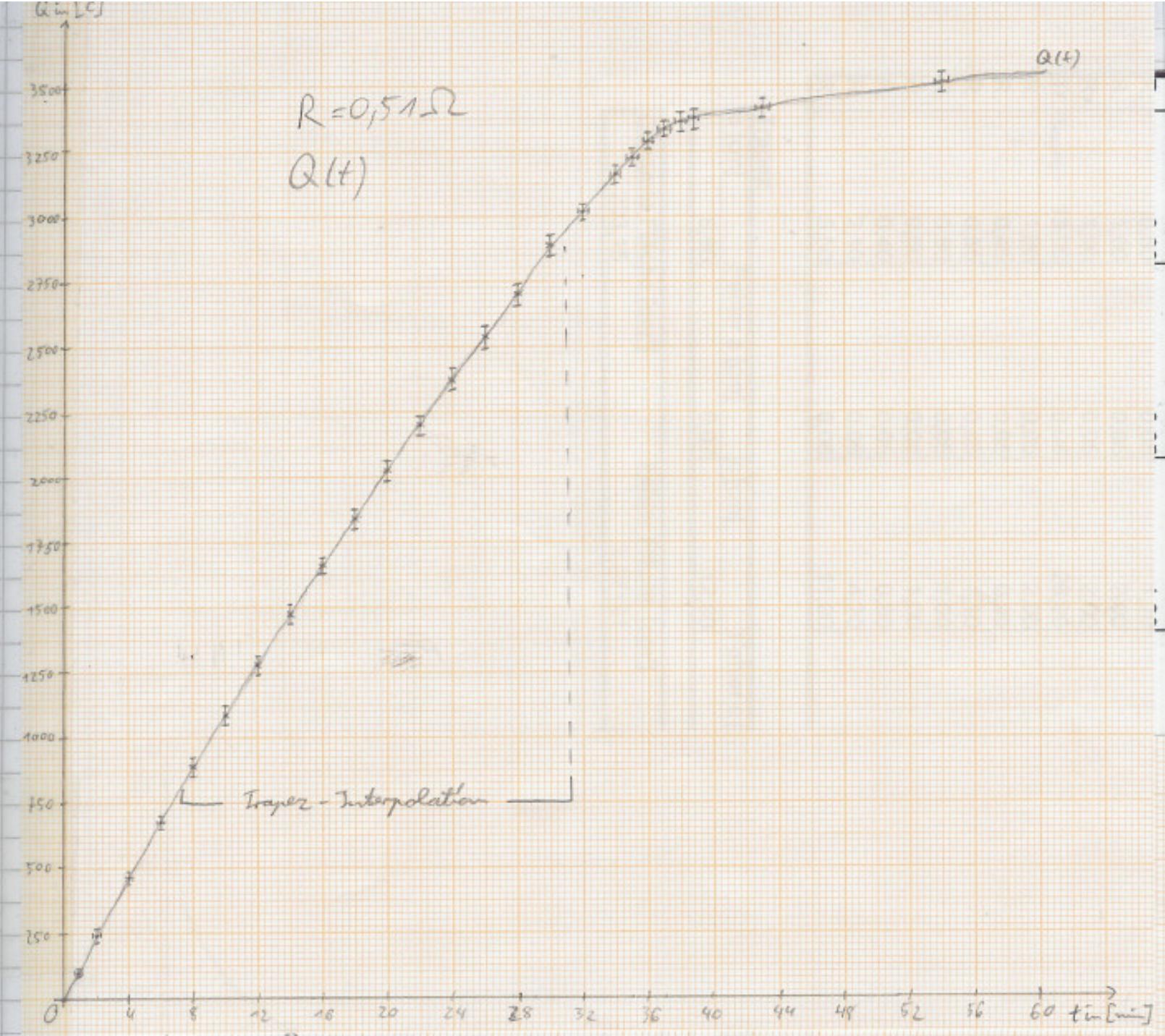
In der Tabelle sind $U(t)$ und $Q(t)$ gelistet, wodurch $U(Q)$ gezeichnet werden kann.

t [min]	Fehler t [min]	Ladung Q(t) [C]	Fehler Q(t) [C]	U(t) [V]	Fehler U(t) [V]
0,80	0,11	100	14	1,066	0,006
2,00	0,15	242	19	1,000	0,006
4,00	0,19	464	22	0,945	0,006
$t_0 = 6,00$	$\sigma(t_0) = 0,22$	$Q(t_0) = Q_0 = 677$	$\sigma_{Q_0} = 25$	0,904	0,005
8		882	35	0,864	0,007
10		1083	35	0,846	0,007
12		1280	36	0,828	0,008
14		1473	36	0,810	0,008
16		1661	36	0,792	0,008
18		1846	37	0,774	0,008
20		2026	37	0,756	0,009
22		2201	38	0,738	0,009
24		2373	39	0,719	0,009
26		2540	40	0,701	0,010
28		2703	41	0,683	0,010
30		2861	42	0,665	0,011
32,00	0,26	3016	31	0,647	0,011
34,00	0,29	3163	32	0,625	0,005
34,90	0,31	3224	32	0,581	0,005
36,00	0,32	3289	33	0,496	0,005
37,00	0,34	3334	33	0,386	0,004
38,00	0,36	3362	34	0,239	0,004
38,80	0,37	3374	34	0,129	0,004
43,00	0,39	3420	34	0,092	0,004
54,00	0,41	3515	34	0,074	0,004

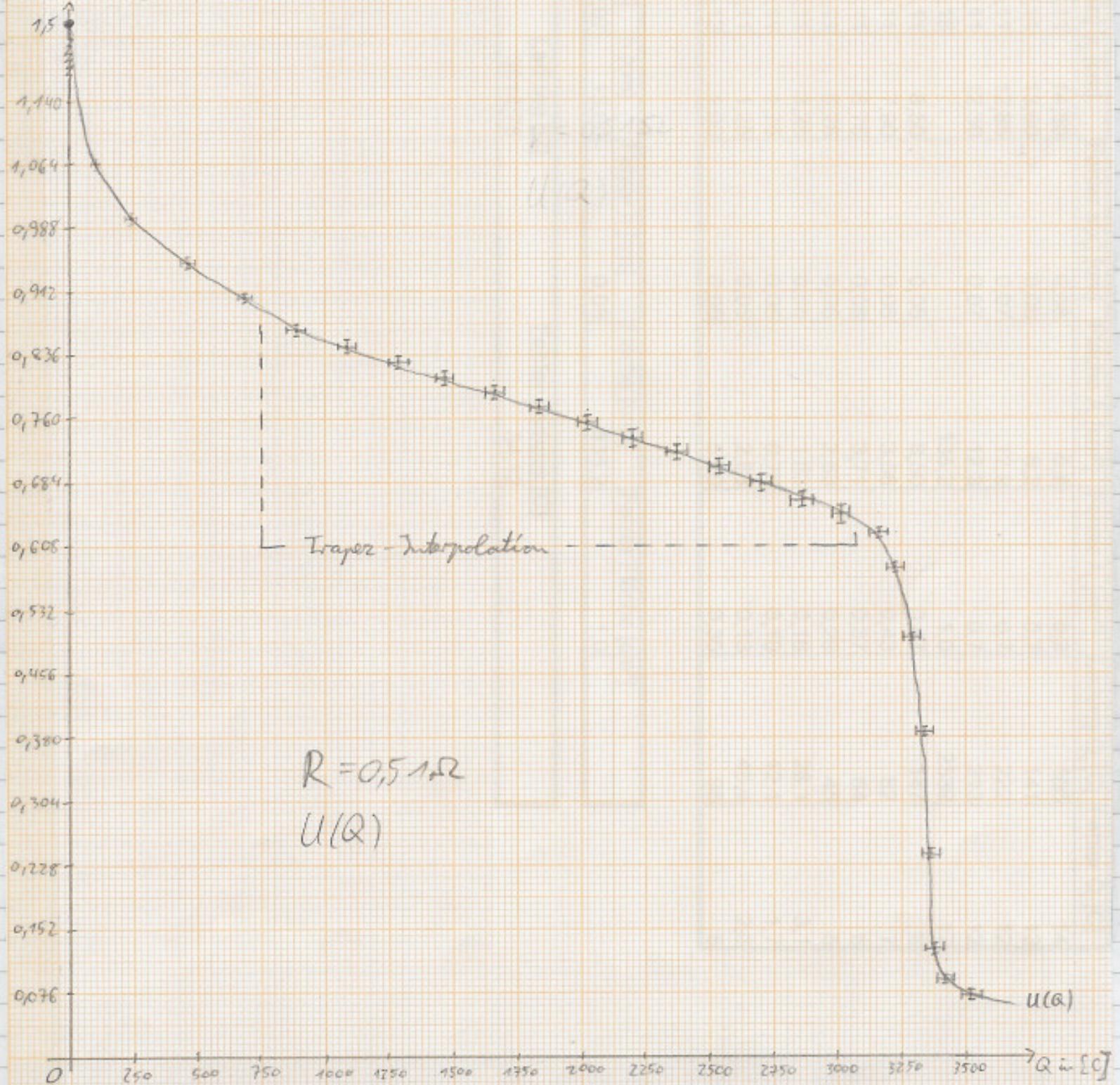
interpoliert

Begründung für die Benutzung eines (und im Kapitel 7.1.3 & weiter) Trapezes:

Wenn man ein Lineal an die fragliche Abschritte legt, so stellt man fest, dass der Graph sehr linear verläuft, weshalb wir uns darüber, dass ein Trapez ^{und} schon eine Fläche am besten approximiert, eben als die herkömmlichen Rechtecke. Für Zwischenwerte sei das aufstellen einer Geradengleichung nicht weit schwer. Leicht hatten wir hierbei die nötigen Transformationen (z.B. in Q) vorgenommen und besonders die Fallrechnung, welche nun relativ langatmig auffiel (S. 45), jedoch mit Computer-Einsatz zu bewältigen war. Dabei sehen die interpolierten Werte „vernünftig“ aus.



$U(Q)$ in [V]



Basiswerte und Zwischenwerte ($R = 0,51\Omega$)

Δy_i [cm]	Fehler $s(\Delta y_i)$ [cm]	Δt_i [min]	Fehler Δt_i [min]	x_i [cm]	Fehler $s(x_i)$ [cm]	Fläche A_i [cm 2]	Fehler A_i [cm 2]	Ladung Q_i [C]	Fehler Q_i [C]	
R. (Rechteck)	0,40	0,05	0,80	0,11	14,50	0,08	5,8	0,8	100	14
R.	0,60	0,05	1,20	0,11	13,60	0,08	8,2	0,7	141	13
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	12,85	0,07	12,9	0,7	222	12
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	12,30	0,07	12,3	0,7	213	12
Tr. (Trapez)	13,00	0,08	26,00	0,15			135,2	1,0	2339	17
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	8,50	0,06	8,50	0,47	147	8
R.	0,45	0,05	0,90	0,11	7,90	0,06	3,56	0,43	62	7
R.	0,55	0,05	1,10	0,11	6,75	0,06	3,71	0,37	64	6
R.	0,50	0,05	1,00	0,11	5,25	0,06	2,63	0,29	45	5
R.	0,50	0,05	1,00	0,11	3,25	0,06	1,63	0,18	28,1	3,1
R.	0,40	0,05	0,80	0,11	1,75	0,05	0,70	0,10	12,1	1,7
R.	2,10	0,06	4,20	0,11	1,25	0,05	2,63	0,13	45,4	2,3
R.	5,50	0,06	11,00	0,12	1,00	0,05	5,50	0,30	95	5

Trapez

a [cm]	Fehler a [cm]	c [cm]	Fehler c [cm]	h [cm]	Fehler h [cm]	Fläche [cm 2]	Fehler Fläche [cm 2]
8,80	0,07	12,00	0,07	13,00	0,08	135,2	1,0

Gesamte Fläche [cm 2]	Fehler Fläche [cm 2]	Ladung [C]	Fehler Ladung [C]
203,15	1,97191	3514,75	34,12

7.1.4 Graphische Integration des Gleichstroms für $R = 1,85\Omega$

Alle Rechnungen sind weitestgehend analog zu 7.1.3 (S.42 f.).

Hauptunterschied ist, dass 2 Trapeze verwendet werden (siehe Diagramm).

Die Leerlaufspannung wird wieder mit 1,5V angenommen und ist wieder bei $x_{u_0} = 20,4\text{cm}$ markiert.

a) Grobe Bestimmung der entnommenen Ladung

Die Rosa Markierungen ergeben Fläche von:

$$A \approx 16,3\text{cm} \cdot 7\text{cm} + 13\text{cm} \cdot 5,3\text{cm} + 7,3\text{cm} \cdot 10,2\text{cm} = 877,56\text{cm}^2$$

$$Q \approx \frac{1}{1,85\Omega} \cdot \frac{1}{30\frac{\text{cm}}{\text{h}}} \cdot \frac{1,5\text{V}}{20,4\text{cm}} \cdot 877,56\text{cm}^2$$

$$\rightarrow Q \approx 4301,76\text{C} \approx 4,30 \cdot 10^3\text{C} \quad \checkmark$$

b) genauere graphische Integration

Wie bereits erwähnt, sind die Rechnungen analog zu S.43 f., nur dass 2 Trapeze statt nur einem verwendet werden.

Nun erhält für die gesamte Fläche: $A = (876,1 \pm 4,2)\text{cm}^2$

Für die gesamte entnommene Ladung:

$$Q = (4295 \pm 20)\text{C} \quad \checkmark$$

Ebenso werden analog die Tabellen bestimmt.

Daten des Trapezes 1:

- Steigung: $m = -\frac{c-a}{h} = -\frac{15,1 - 13,9}{21} = -\frac{6}{66}$ (Wieder Brüche um Rundungsfehler zu vermeiden)
- Achsenabschnitt: $c = a + m \cdot y_i = 15,1\text{cm} + \frac{6}{66} \cdot 8\text{cm}$ (y_i : rechte Kante des Trapezes)
 $= \frac{1757}{110}\text{cm}$

$$\cdot Q(t_0) = 632\text{C} = Q_0$$

$$\cdot t_0 = 16\text{min} \quad (\hat{=} y_i = 8\text{cm})$$

$$\cdot Widerstand: R = 1,85\Omega, \quad U_0 = 1,5\text{V}, \quad x_{u_0} = 20,4\text{cm}, \quad V_p = 30\frac{\text{cm}}{\text{h}}$$

$$\cdot Fehler: \gamma_{V_p} \approx 0,000029 \frac{\text{C}}{\text{h}}$$

$$\gamma_m \approx 0,0102$$

$$\gamma_2 \approx 0,08\text{cm}$$

$$\gamma_{Q_0} \approx 12\text{C}$$

$$\gamma(t_0) \approx 0,29\text{C}$$

t [min]	Fehler t [min]	Ladung Q(t) [C]	Fehler Q(t) [C]	U(t) [V]	Fehler U(t) [V]
1,00	0,11	44	5	1,305	0,006
2,00	0,15	86	7	1,265	0,006
4,00	0,19	168	8	1,235	0,006
6,00	0,22	248	9	1,206	0,006
8,00	0,24	327	10	1,184	0,006
12,00	0,27	482	11	1,158	0,006
16,00	0,29	632	12	1,125	0,006
18		705	17	1,102	0,010
20		779	17	1,094	0,011
22		851	17	1,086	0,011
24		924	17	1,078	0,012
26		995	17	1,070	0,013
28		1066	17	1,062	0,013
30		1137	17	1,054	0,014
35		1311	18	1,034	0,015
38		1414	19	1,022	0,016
40		1482	22	1,020	0,009
45		1651	22	1,007	0,009
50		1818	22	0,994	0,009
55		1982	23	0,981	0,010
60		2145	23	0,968	0,010
65		2305	24	0,955	0,010
70		2463	24	0,941	0,010
75		2619	25	0,928	0,011
80		2772	26	0,915	0,011
85		2924	27	0,902	0,012
90		3073	28	0,889	0,012
95		3220	29	0,876	0,012
100		3365	31	0,862	0,013
105		3507	32	0,849	0,013
110		3648	34	0,836	0,014
112,0	0,4	3703	19	0,831	0,014
116,0	0,5	3813	19	0,824	0,005
120,0	0,5	3921	19	0,805	0,005
122,0	0,5	3973	19	0,787	0,005
124,0	0,5	4024	20	0,757	0,005
126,0	0,5	4072	20	0,721	0,005
126,9	0,5	4092	20	0,665	0,005
128,0	0,5	4113	20	0,585	0,005
129,1	0,5	4132	20	0,507	0,005
130,0	0,5	4146	20	0,471	0,004
132,0	0,6	4175	20	0,441	0,004
134,0	0,6	4202	20	0,404	0,004
136,0	0,6	4227	20	0,375	0,004
138,0	0,6	4251	20	0,353	0,004
139,4	0,6	4266	20	0,324	0,004
140,3	0,6	4274	20	0,283	0,004
140,7	0,6	4277	20	0,184	0,004
144,0	0,6	4295	20	0,165	0,004

1. Trapez

2. Trapez

Daten des Trapezes 2:

• Steigung: $m = -\frac{c-a}{h} = -\frac{13,95 - 11,7}{37} = -\frac{53}{740}$

• Achsenabschnitt: $z = c - m \cdot y_i = 13,95 \text{ cm} + \frac{53}{740} \cdot 19 \text{ cm} = \frac{1133}{74} \text{ cm}$

• $Q(t_0) = 1414 \text{ C}$

• $t_0 = 38 \text{ min}$ ($\hat{=} y_i = 19 \text{ min}$)

• Weiterhin: $R = 1,8 \Omega$, $U_0 = 1,5 \text{ V}$, $x_{u_0} = 20,4 \text{ cm}$, $v_p = 30 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$

• Toller: $n_{v_p} \approx 0,000029 \frac{\text{cm}}{\text{h}}$

$n_m \approx 0,00286$

$n(t_0) \approx 0,29 \text{ s}$ (s wurde der Toller $n(t_0)$ des 1. Trapezes genommen)

$n_2 \approx 0,08 \text{ cm}$

$n_{u_0} \approx 19 \text{ C}$

Funktionen

$Q(t)$, $U(t)$

und folglich $\overrightarrow{(Tabelle)}$

auch $U(Q)$

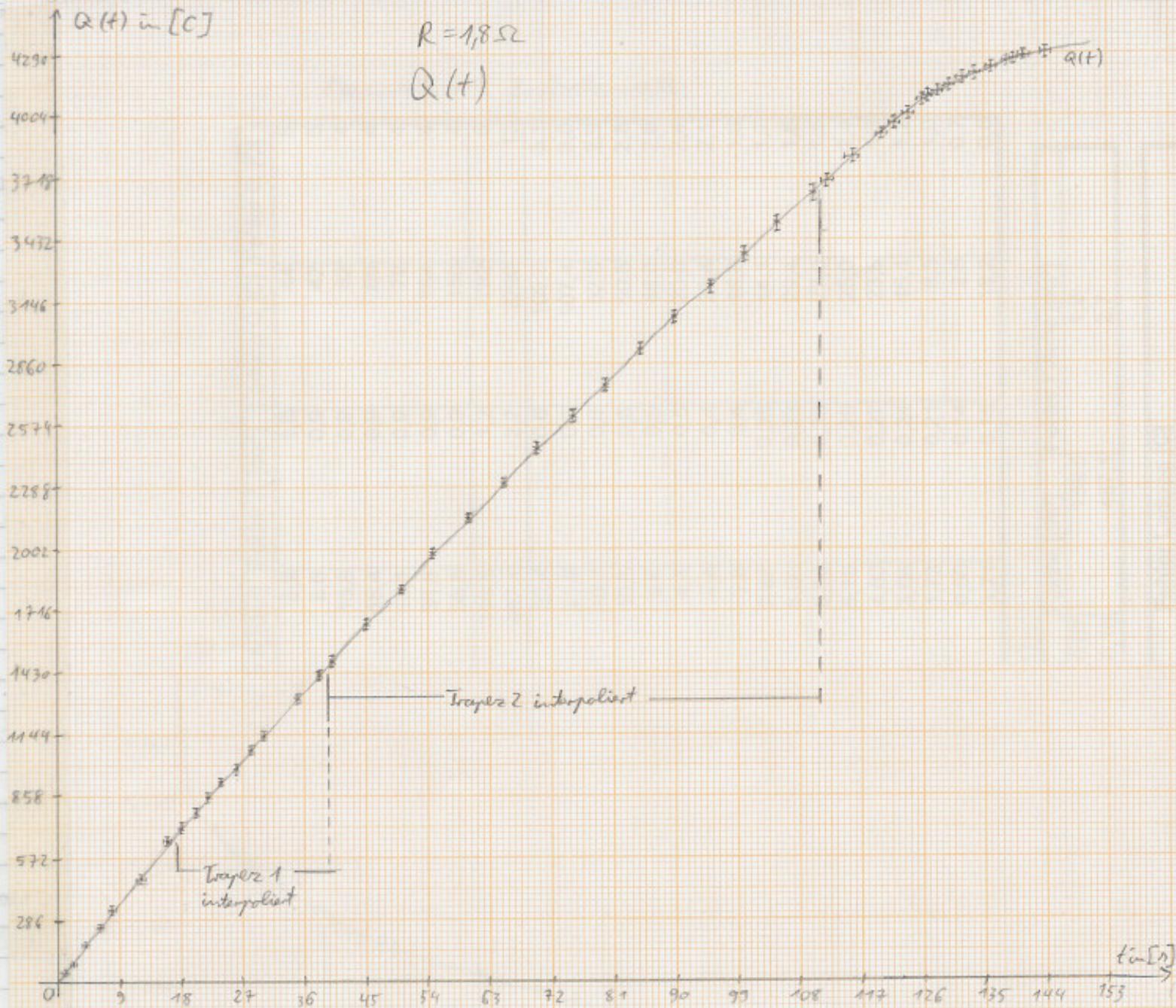
Großer Hintergrund:

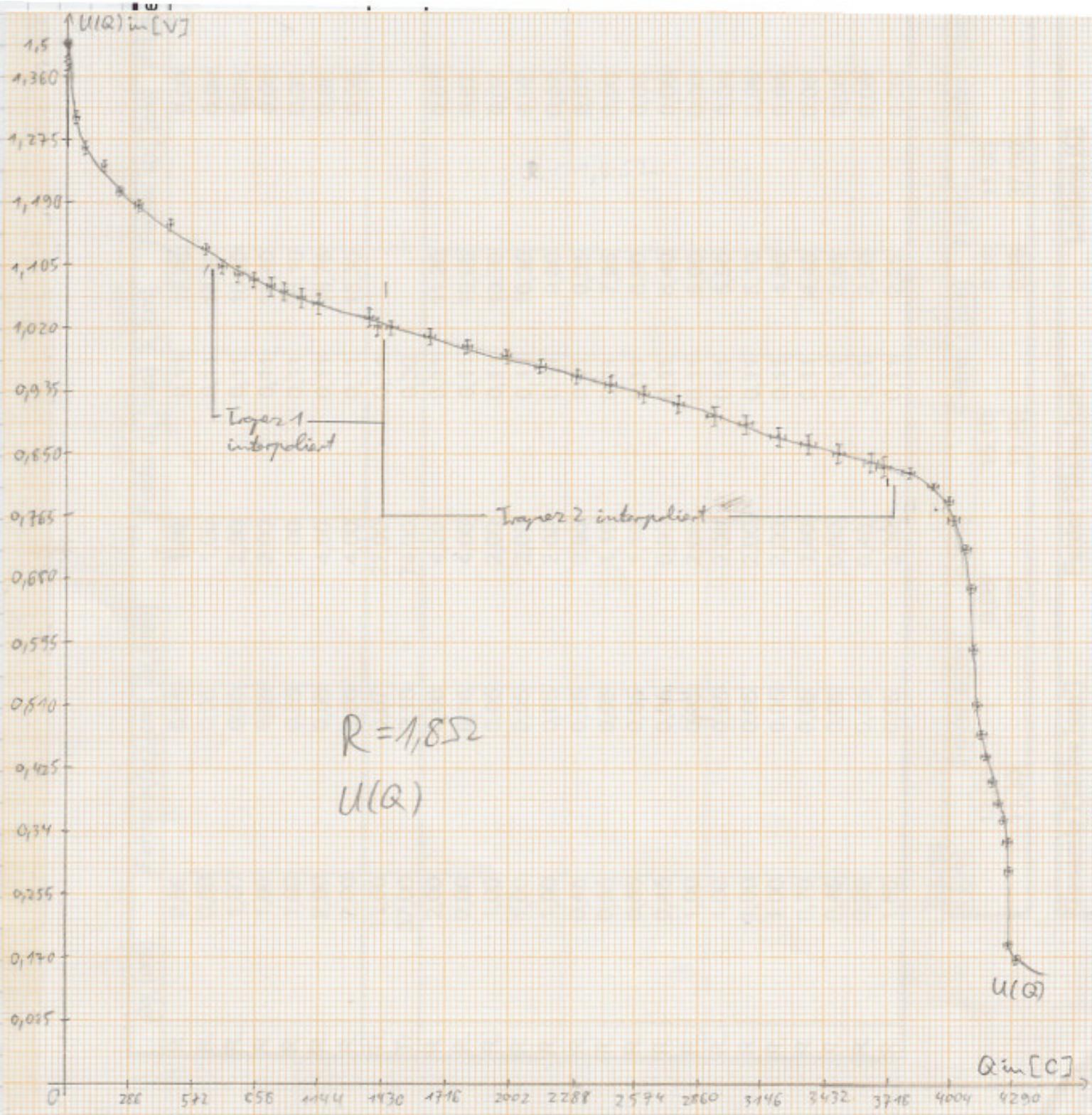
Interpoliert

$Q(t) \text{ in } [\mu\text{C}]$

$R = 1,8 \Omega$

$Q(t)$





Normate und Einzelwerte:

Δy_i [cm]	Fehler $s(\Delta y_i)$ [cm]	Δt_i [min]	Fehler Δt_i [min]	x_i [cm]	Fehler $s(x_i)$ [cm]	Fläche A_i [cm 2]	Fehler A_i [cm 2]	Ladung Q_i [C]	Fehler Q_i [C]
R.	0,50	0,05	1,00	0,11	17,75	0,09	8,9	1,0	44
R.	0,50	0,05	1,00	0,11	17,20	0,09	8,6	0,9	42
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	16,80	0,09	16,8	0,9	82
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	16,40	0,08	16,4	0,9	80
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	16,10	0,08	16,1	0,9	79
R.	2,00	0,06	4,00	0,11	15,75	0,08	31,5	0,9	154
R.	2,00	0,06	4,00	0,11	15,30	0,08	30,6	0,9	150
Tr.	11,00	0,07	22,00	0,14		159,5	1,2	782	6
Tr.	37,00	0,15	74,00	0,30		467,1	2,7	2290	13
R.	2,00	0,06	4,00	0,11	11,20	0,07	22,4	0,6	109,8
R.	2,00	0,06	4,00	0,11	10,95	0,07	21,9	0,6	107,4
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	10,70	0,07	10,7	0,6	52,5
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	10,30	0,07	10,3	0,6	50,5
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	9,80	0,07	9,8	0,5	48,0
R.	0,45	0,05	0,90	0,11	9,05	0,07	4,1	0,5	20,0
R.	0,55	0,05	1,10	0,11	7,95	0,06	4,4	0,4	21,4
R.	0,55	0,05	1,10	0,11	6,90	0,06	3,8	0,4	18,6
R.	0,45	0,05	0,90	0,11	6,40	0,06	2,88	0,35	14,1
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	6,00	0,06	6,00	0,33	29,4
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	5,50	0,06	5,50	0,30	27,0
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	5,10	0,06	5,10	0,28	25,0
R.	1,00	0,05	2,00	0,11	4,80	0,06	4,80	0,27	23,5
R.	0,70	0,05	1,40	0,11	4,40	0,06	3,08	0,24	15,1
R.	0,45	0,05	0,90	0,11	3,85	0,06	1,73	0,21	8,5
R.	0,20	0,05	0,40	0,11	2,50	0,06	0,50	0,14	2,5
R.	1,65	0,05	3,30	0,11	2,25	0,06	3,71	0,15	18,2

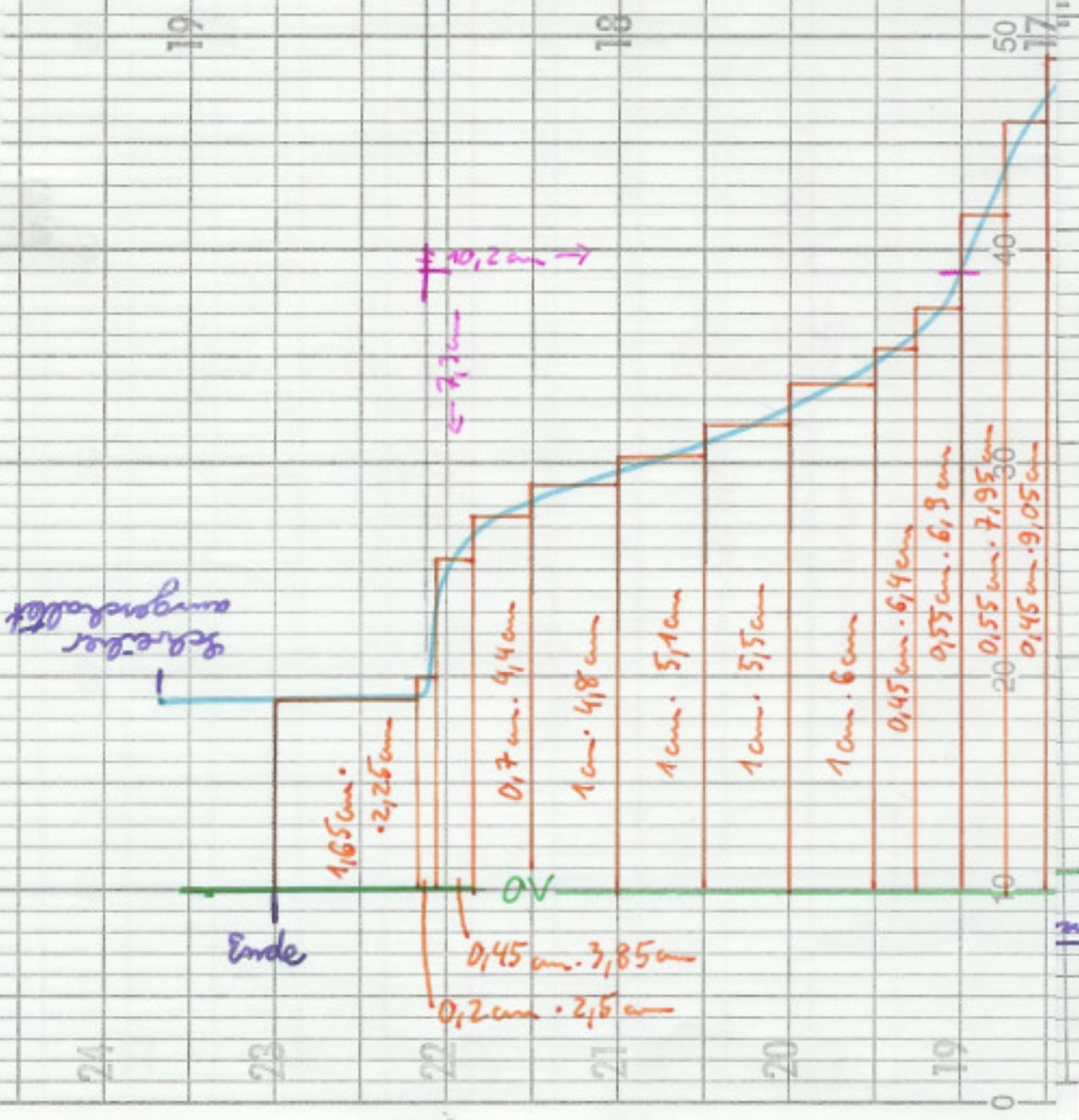
Trapez

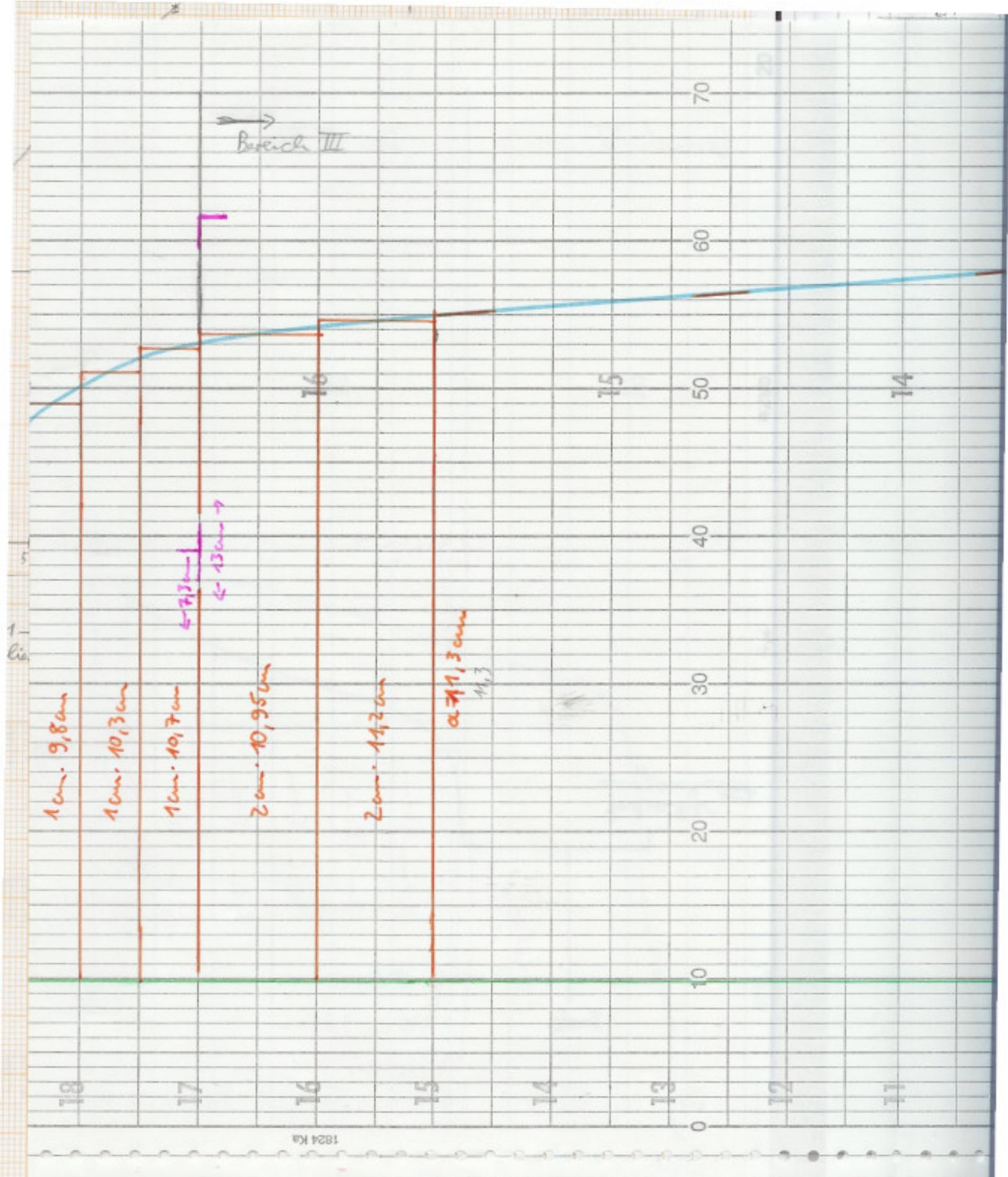
a [cm]	Fehler a [cm]	c [cm]	Fehler c [cm]	h [cm]	Fehler h [cm]	Fläche [cm 2]	Fehler Fläche [cm 2]
13,90	0,08	15,10	0,08	11,00	0,07	159,5	1,2
11,30	0,07	13,95	0,08	37,00	0,15	467,1	2,7

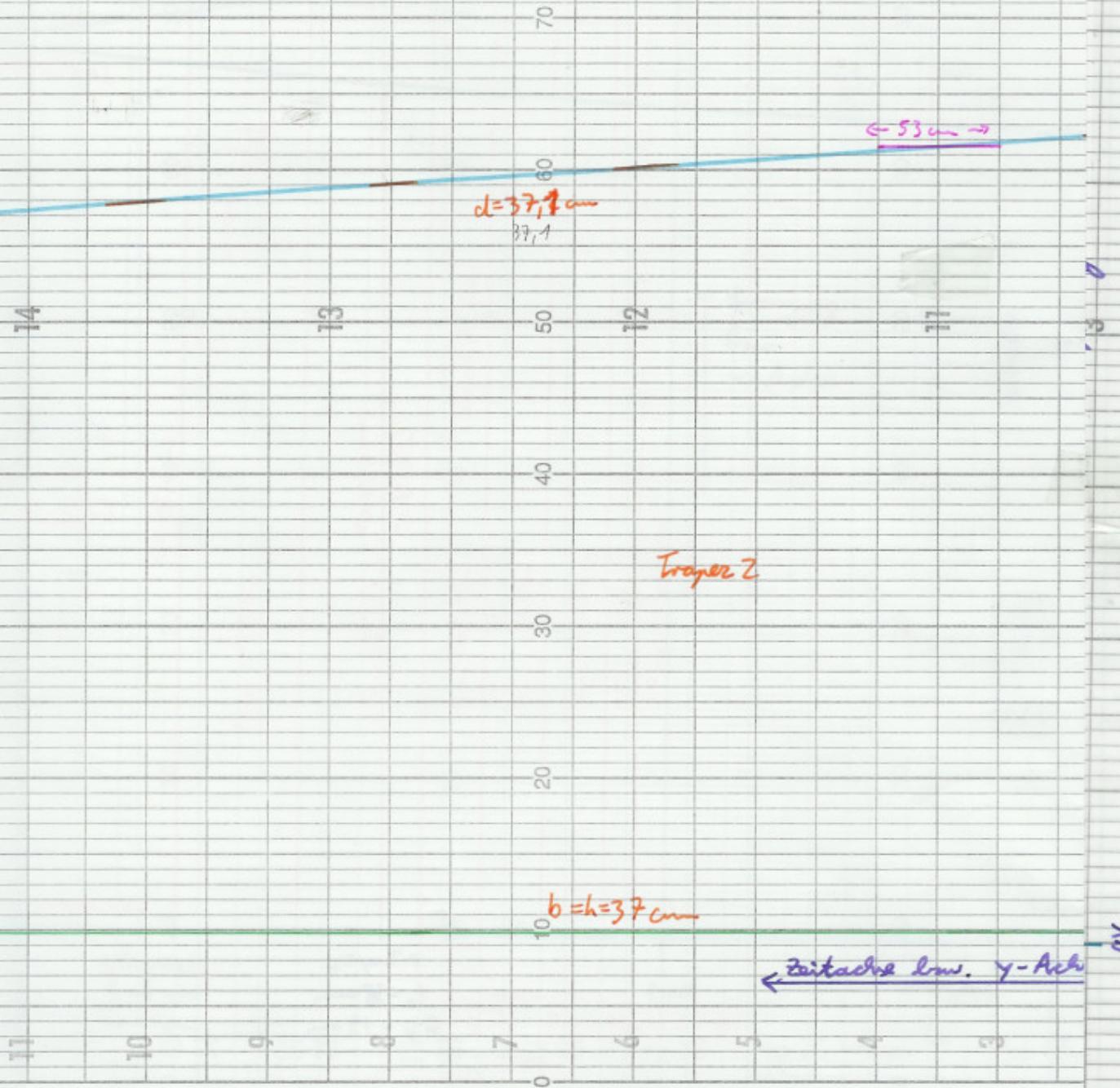
Gesamte Fläche [cm 2]	Fehler Fläche [cm 2]	Ladung [C]	Fehler Ladung [C]
876,1	4,2	4295	20

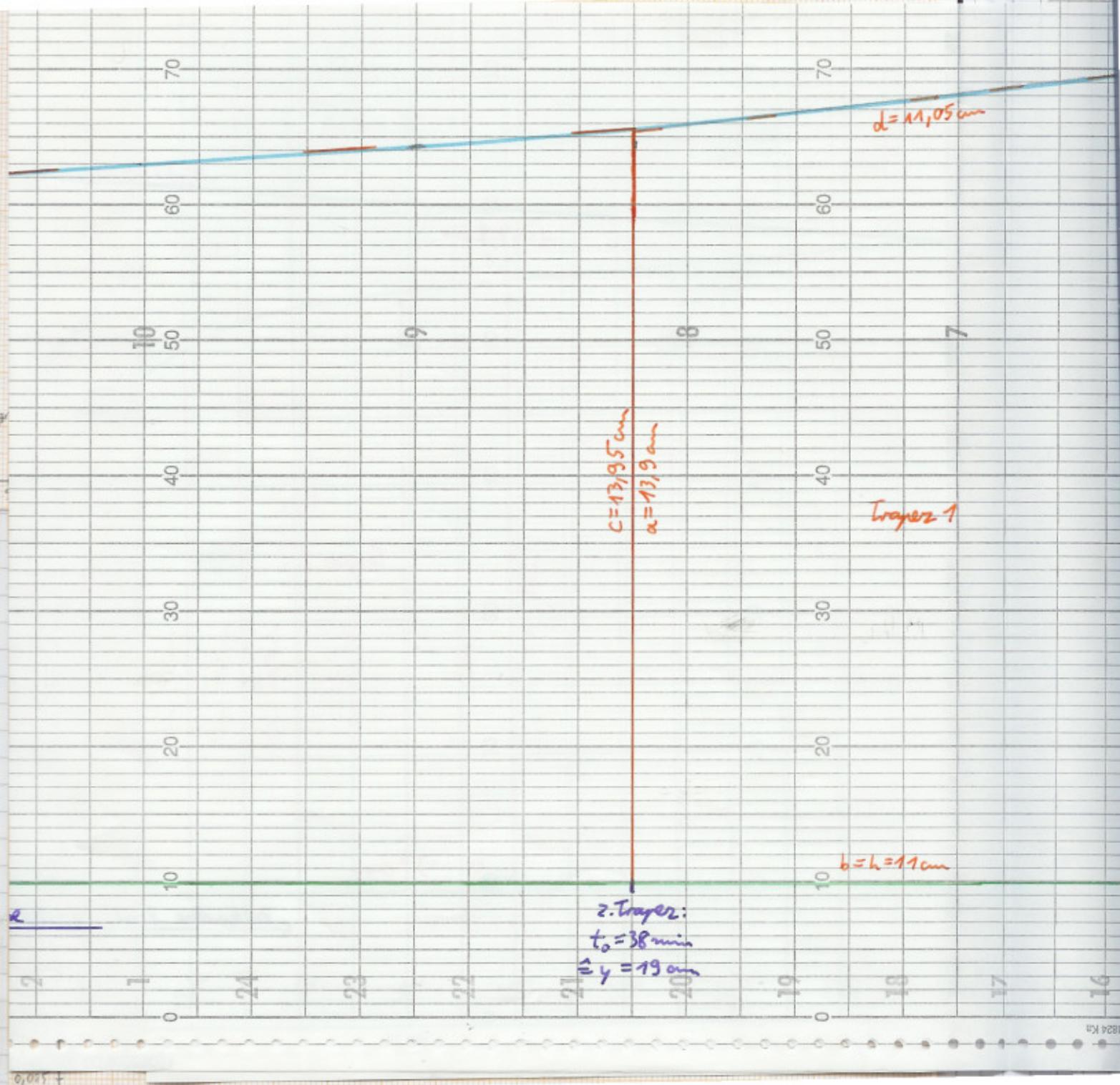
Bereich V

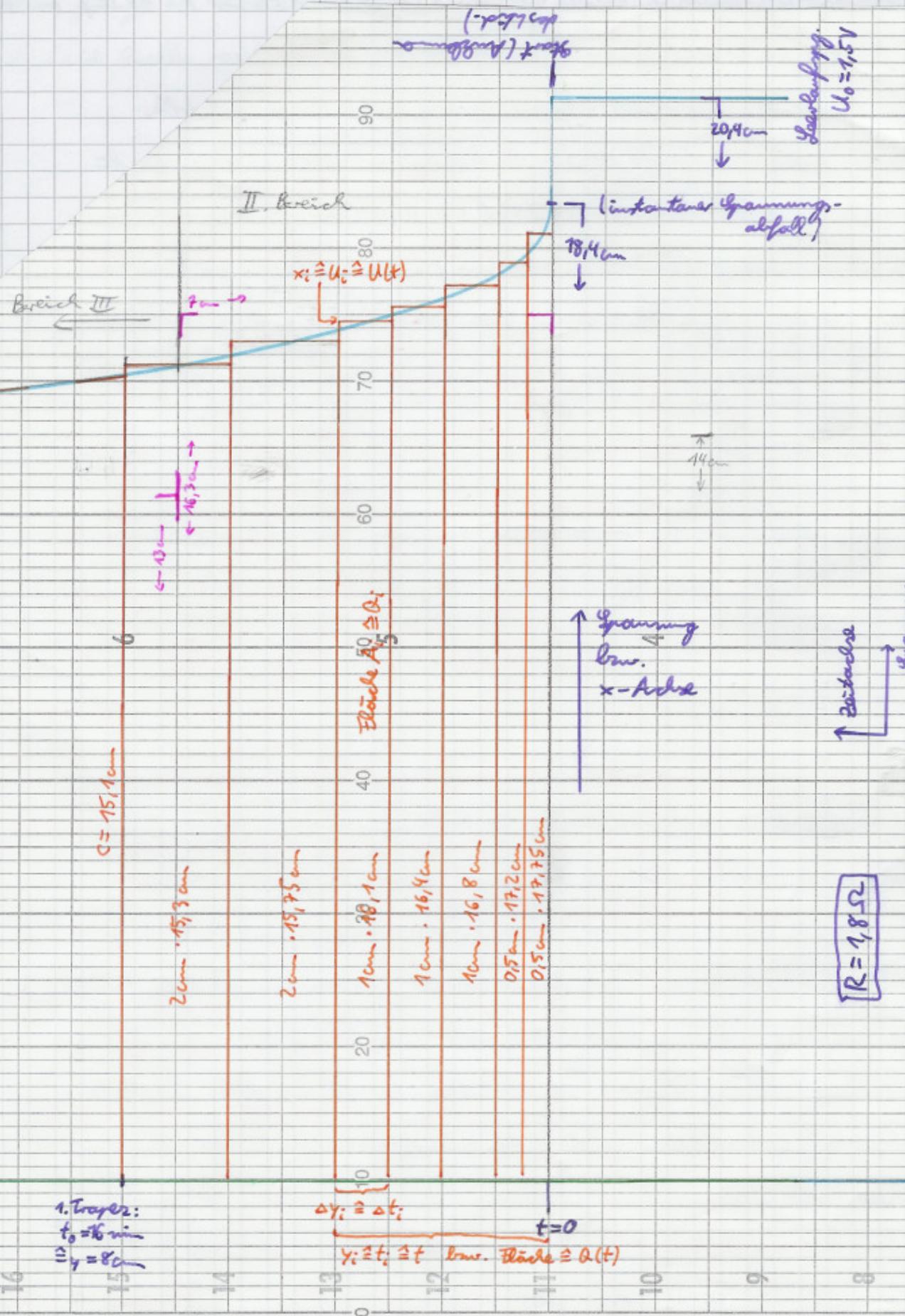
Bereich IV











7.1.5 Unterschiede zw. den Entladewiderständen

Die offensichtlichen Unterschiede der beiden Diagramme ($f_1 R = 0,5152$ und $R = 1,852$) wurden bereits auf S. 40f (7.1.2) diskutiert.

Nach den Berechnungen lassen sich folgende weitere Beobachtungen feststellen:

- Die entnommene Ladung für $R = 0,5152$ beträgt ca. 3500C (S. 44), die für $R = 1,852$ in etwa 4300C (S. 48), d.h. bedeutend mehr.

eine möglicher Erklärungsversuch ist, dass bei $R = 0,5152$ ein größerer Strom fließt und damit mehr Leistung am Innenwiderstand der Batterie abfällt.

- Der „Knick“ im Graphen $Q(t)$ ist für $R = 1,852$ weniger stark ausgeprägt als für $R = 0,5152$.

„“

7.1.6 Vergleich Batterie - Akku (unrechte Quelle: Batterie)

- Der Innenwiderstand eines Akkus ist mit $R_i = (0,11 \pm 0,01)\text{S}\Omega$ geringer als für eine Batterie ($R_i = (0,17) \pm 0,020\text{S}\Omega$, S. 40) (und zwar signifikant bzgl. der Fehler).
- Beim Akku wurden für beide Widerstände ca. 2500C entnommen, bei der Batterie war die Ladungsaufnahme unterschiedlich groß (siehe oben, 7.1.5).
Eine mögliche Erklärung ist, dass sich der Innenwiderstand von Akku und Batterie grundsätzlich unterscheiden, so dass der Leistungverlust am R_i des Akkus unabh. von der Stromstärke ist.
✓
- Die Batterie hat eine deutlich längere Entladedauer (ca. doppelt so lange).

Batterie (S. 42)	Akku	$\Delta_{\text{Pfl}} \Leftrightarrow \Delta_{\text{Batt}}$
$R = 1,852$	743 min	72 min
$R = 0,5152$	49 min	24 min

- Im ca. linearan Bereich der aufgenommenen Diagramme ist die Steigung beim Akku bedeutend geringer als bei der Batterie (für beide Widerstände). Am Ende fallen jedoch beide Quellen rasch ab.

D.h., Akkus sind besser für Situationen geeignet, bei denen eine möglichst konstante Spannung benötigt wird. jedoch entladen sie sich schneller (können aber wieder aufgeladen werden).

Batterien haben eine längere Laufzeit (was auch wichtig ist, da sie nicht wiederaufladbar sind), d.h. eine höhere Ladungsdichte. jedoch nimmt die Spannung relativ schnell ab.

→ Beispiele?

7.2 Messungen mit Gleichspannung

7.2.1 Temperaturabh. des Kohleschichtwiderstandes (Protokoll: S.27)

$$\text{Es gilt (S.5): } R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{100} \cdot R_3 \quad \text{mit: } R_x = R \text{ (Kohleschichtw.)}$$

R_3 = Wid. Schicht

$$R_1 = 1000 \Omega$$

$$R_2 = 10 \Omega$$

Fehlerbetrachtung:

- R_1 und R_2 werden als systematische Fehler betrachtet und werden nicht berücksichtigt.
- Fehler Wid. Schicht R_3 (S.25): 1% des eingestellten Wertes

$$\rightarrow \sigma_3 := \frac{R_3}{100}$$

- Fehler Thermometer (S.25):

• Abtastfehler: 0,25 K

• Restfehler: 0,50 K

$$\Rightarrow \sigma_T = \sqrt{(0,25 \text{ K})^2 + (0,5 \text{ K})^2} \approx 0,559 \text{ K} \approx 0,6 \text{ K} = \text{konst.}$$

- Fehler für R_x (Fehlerfortpfl.):

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\partial R_x}{\partial R_3} \cdot \sigma_3\right)^2} = \frac{R_2}{R_1} \cdot \sigma_3 = \frac{1}{100} \cdot \sigma_3$$

Die Normwerte befinden sich auf S.27. Es ergeben sich folgende Werte:

Nr.	$T / [\text{K}] \pm \sigma_T$	$R_x / [\Omega]$
1	302,7	$73,0 \pm 0,7$
2	311,7	$61,0 \pm 0,6$
3	316,7	$60,2 \pm 0,6$
4	321,2	$60,2 \pm 0,6$
5	326,2	$60,0 \pm 0,6$
6	332,7	$59,8 \pm 0,6$
7	336,7	$59,7 \pm 0,6$
8	341,7	$59,7 \pm 0,6$

$$[\text{mit: } (T \text{ in K}) = (T \text{ in } ^\circ\text{C}) + 273,15]$$

Fehler von T ist konstant: $\sigma_T = 0,6 \text{ K}$

Bei Ansteigen der Temp. von 302,7 K auf 311,7 K fällt R_x um 12 Ω und beim anschließenden Sinken um 5 K um 0,8 Ω. Alle folgenden Änderungen von R_x liegen innerhalb der Toleranzgrenze von 0,6 Ω. P.h. ab einer Temperatur von ca. 316 K ist der Widerstand unabh. von der Temperatur.

✓

7.2.2 Kalibrierung des NTC-Widerstands (Protokoll: S. 28)

Voraussetzungen: $R_1 = 1000 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = \text{Wid. abhängig}$, $R_x = \text{NTC-Wid.}$

$$\rightarrow R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{10} \cdot R_3$$

Fehlerbetrachtung: Wie bei 7.2.1 (linke Seite), mit:

$$\sigma_3 = \frac{R_3}{100}$$

$$\sigma_T \approx 0,559 K \approx 0,6 K = \text{konst.}$$

$$\sigma_x = \frac{R_2}{R_1} \cdot \sigma_3 = \frac{1}{1000} R_3$$

Für die Kalibrierung wird der Logarithmus des T-R-Gerades gebildet, um eine Gerade zu erhalten: $R_x = R^* \cdot e^{\frac{T^*}{T}}$

$$\rightarrow \ln R_x = T^* \cdot \frac{1}{T} + \ln R^* \quad (\ln R_x \text{ ist eine Fkt. von } \frac{1}{T})$$

Fehlerbetrachtung:

$$- \text{Für } \frac{1}{T}: \sigma_{\frac{1}{T}} = \left| \frac{\partial \frac{1}{T}}{\partial T} \cdot \sigma_T \right| = \frac{\sigma_T}{T^2}$$

$$- \text{Für } \ln R_x: \sigma_{\ln R_x} = \left| \frac{\partial \ln R_x}{\partial R_3} \cdot \sigma_3 \right| = \frac{1}{\frac{1}{10} R_3} \cdot \frac{1}{10} \cdot \sigma_3 = \frac{\sigma_3}{R_3} = \frac{1}{R_3} \cdot \frac{R_3}{100} \\ \sigma_{\ln R_x} = \frac{1}{100} = 0,010 = \text{konst.}$$

$\sigma_{\ln R_x}$ ist dimensionslos. $\ln(R_x)$ hätte eigtl. die Einheit $\ln \Omega$, welche aber physikal. wenig Bedeutung hat. Daher wird die Einheit $\ln \Omega$ im Ergebnis weggelassen.

$\frac{1}{T} / [10^{-5} \frac{1}{K}]$	$\sigma_{\frac{1}{T}} / [10^{-5} \frac{1}{K}]$	$R_x / [\Omega]$	$\sigma_x / [\Omega]$	$\ln R_x$, Fehler von $\ln R_x$ steht: $\sigma_{\ln R_x} = 0,010$
334,8	0,627 $\approx 0,6$	269,0	2,7	5,595
328,8	0,604 $\approx 0,6$	223,0	2,2	5,407
324,0	0,587 $\approx 0,6$	199,0	2,0	5,293
321,4	0,577 $\approx 0,6$	175,0	1,8	5,165
318,3	0,566 $\approx 0,6$	160,0	1,6	5,075
315,8	0,558 $\approx 0,6$	148,0	1,5	4,997
312,4	0,545 $\approx 0,5$	132,0	1,3	4,883
309,5	0,535 $\approx 0,5$	119,0	1,2	4,779
304,7	0,519 $\approx 0,5$	103,0	1,0	4,635
299,3	0,501 $\approx 0,5$	88,0	0,9	4,477
295,7	0,489 $\approx 0,5$	79,0	0,8	4,369
291,4	0,475 $\approx 0,5$	69,0	0,7	4,234

v

$\rho_m(\rho_x)$

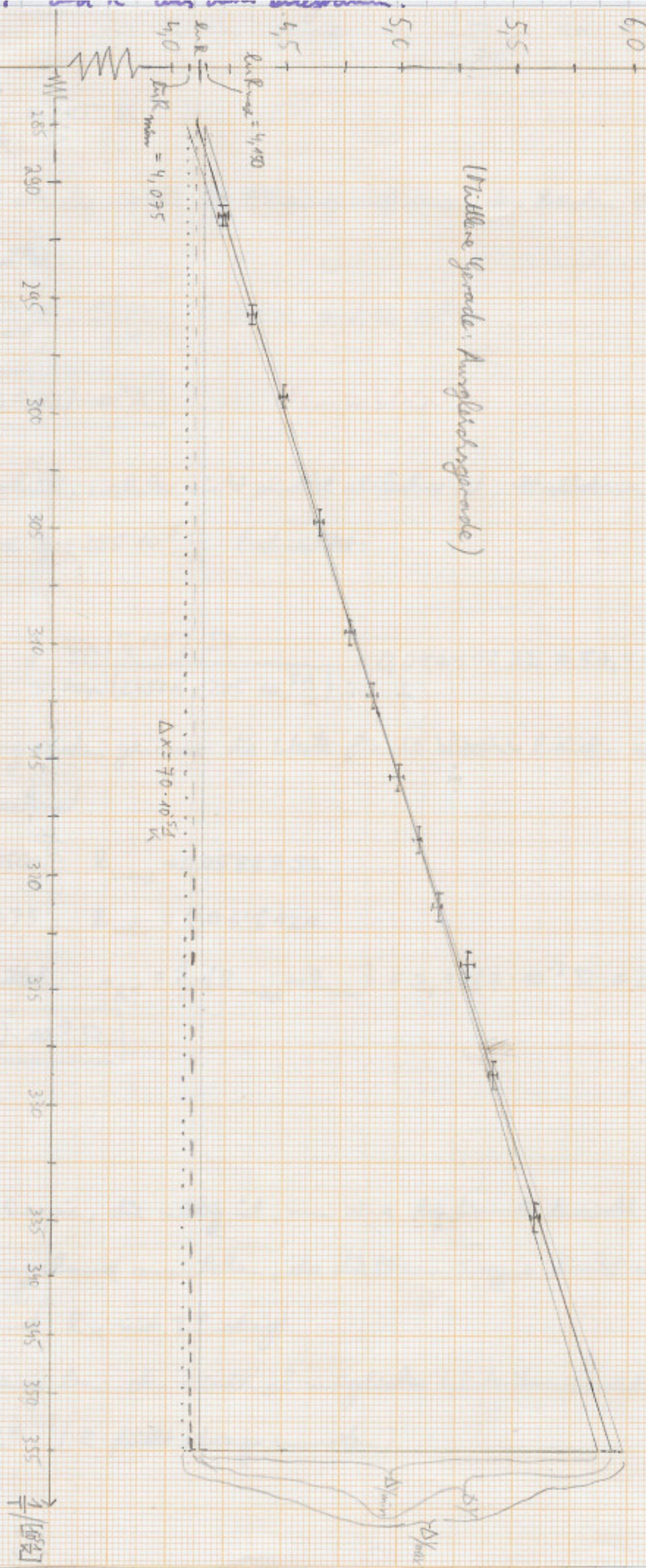
$$\Delta \gamma_{\max} = 1,800$$

$$\frac{1}{2} \Delta \gamma = 1,200$$

$$\frac{1}{4} \Delta \gamma_{\min}^2 = 1,625$$

(Mittlere Grenade; Ausgleichsgrenade)

(S)
 $\Delta \gamma_{\min}$



Bestimmung der Parameter T^* und R^* aus dem Diagramm:

- T^* ist die Steigung:

$$\cdot \bar{T}^* = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{1715}{70 \cdot 10^{-5} \text{ K}} = 2450 \text{ K}$$

• Fehler für T^* wird als die Hälfte der Steigungsdifferenz der beiden äußeren Geraden abgeschätzt:

$$\sigma_{T^*} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\Delta Y_{\max}}{\Delta X} - \frac{\Delta Y_{\min}}{\Delta X} \right) = 125 \text{ K} \approx 0,13 \cdot 10^3 \text{ K}$$

$$\Rightarrow T^* = (2,45 \pm 0,13) \cdot 10^3 \text{ K} \quad \text{der} \approx 3000 \text{ K}$$

- R^* ist der y-Achsenabschnitt, welcher nicht direkt ablesbar ist. Stattdessen wird der Wert von $\ln R_x$ bei $\frac{1}{T} = 285 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}}$ betrachtet:

$$\ln \bar{R}^* = \ln R - \frac{\bar{T}^*}{T}$$

$$\rightarrow \bar{R}^* = \frac{\exp(\ln R)}{\exp(\bar{T}^*/T)} = \frac{\exp(4,125) \cdot 52}{\exp(2450 \text{ K} \cdot 285 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{K}})} = 0,057472 \text{ S} \approx 57,4 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

Für die Fehlerberechnung werden genauso die Werte für die äußeren beiden anderen, äußeren Geraden berechnet:

$$\text{Für } \ln R_{\max} = 4,150 : R_{\max} = 0,05887 \text{ S}$$

$$\text{Für } \ln R_{\min} = 4,075 : R_{\min} = 0,054612 \text{ S}$$

$$\text{Fehlerabschätzung mittels: } \sigma_{R^*} = \frac{1}{2} \cdot (R_{\max} - R_{\min}) = 2,1267 \cdot 10^{-3} \text{ S} \approx 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$\Rightarrow R^* = (57,4 \pm 2,1) \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

Interpretation R^* und T^* :

- T^* ist ein Maß für die Energie, die nötig ist, um eine bestimmte Anzahl von Elektronen in das Spitzengelände anzuladen, da die therm. Energie direkt von der Temperatur abhängt und R_x mit T^* steigt.

- R^* stellt die untere Grenze bzw. den minimal möglichen Widerstandswert dar, da $T > 0$ und $\lim_{T \rightarrow \infty} R = R^*$ (R fällt streng monoton).

7.2.3 Photowiderstand (Protokoll: S. 29)

Es lässt sich zunächst feststellen, dass der Photowiderstand R_x bei stärkerer Belichtung abnimmt (R_x nimmt ab und erg. $R_x \approx R_3$ auch R_x). Anschaulich kann man sich dies so erklären, dass bei einer geringen Belichtungsintensität wenige Photonen auf die Photodiode treffen und dadurch nur wenige Elektronen in das Leitungsband angeladen werden, wodurch der Stromfluss sinkt und das Licht stärkt. Umgekehrt treffen bei einer höheren Intensität mehr Photonen auf, wodurch mehr Leitungselektronen „entstehen“.

Jedoch fällt in der Tabelle auf S. 29 auf, dass der Widerstand der Photodiode durch die zusätzl. Belichtung des LED-Lämpchens nur gering abnimmt, obwohl das Licht sehr hell erscheint. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass zwar eine hohe Anzahl von Photonen durch die LED-Lampe entstehen (\rightarrow hohe Intensität), aber dass nur relativ wenige Photonen eine genügend hohe Energie besitzen, um die Elektronen in das Leitungsband anzuheben.

7.2.4 Kennlinie einer Diode (Gleichspannung) (Protokoll: S. 30 f.)

- Verwendet: $R_1 = R_2 = 100\Omega$, R_3 : Wid. Schack

$$\Rightarrow R_D = R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} = R_3 \quad \rightarrow R_D = R_3$$

$$\text{Fehler von } R_3 \text{ (siehe S. 25): } \gamma_3 = \frac{R_3}{100}$$

$$\rightarrow \text{Fehler von } R_x: \gamma_x = \gamma_3 = \frac{R_3}{100} = \frac{R_x}{100} =: \gamma_D$$

- Fehler von U_0 (siehe S. 25, DMM): - Abtastfehler: $\gamma_{uA} = 0,0005$

$$\cdot Restfehler: \gamma_{uR} = |0,05\% \cdot U_0| + 0,001$$

$$\rightarrow \gamma_u = \gamma_{uD} = \sqrt{\gamma_{uA}^2 + \gamma_{uR}^2}$$

- Der Diodenstrom I_D errechnet sich mittels:

$$I_D = \frac{U_0}{R_D} = \frac{U_0}{R_3}$$

$$\text{Fehler von } I_D: \gamma_I := \gamma_{I_D} = \sqrt{\left(\frac{\partial I_D}{\partial u_0} \cdot \gamma_u\right)^2 + \left(\frac{\partial I_D}{\partial R_3} \cdot \gamma_3\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{\gamma_u}{R_3}\right)^2 + \left(\frac{U_0}{R_3^2} \cdot \gamma_3\right)^2}$$

graph $I_D(U_D)$

All U_D -Werte und passende I_D -Werte zu klein

zum Einzeichnen

Sinige U_D und I_D hätte man nicht angezeichnet
(liegen sehr eng beieinander)

$\uparrow I_D(U_D)$
in $[10^{-3} A]$

24,0

19,5

18,0

16,5

15,0

13,5

12,0

10,5

9,0

7,5

6,0

4,5

3,0

1,5

-1

-4,5



$\uparrow R_D(U_0)$ in [Ω]



Die Gravungen in Durchlassrichtung sind positiv zu zählen, in Sperrrichtung negativ, da der Ausgang des Oszilloskops (welcher für den + Pol vorgesetzt ist) in Durchlassrichtung positiv ist, jedoch in Sperrrichtung negativ ist.

Discussie !!

Nr.	U_D [V]	Fehler U_D [V]	R_s [Ohm]	Fehler R_s [Ohm]	I_D [10^{-3} A]	Fehler I_D [10^{-3} A]
7	-6,4600	0,0043	8050	80,5	-0,802	0,008
6	-6,0460	0,0041	8050	80,5	-0,751	0,008
5	-4,9130	0,0035	8050	80,5	-0,610	0,006
4	-3,6410	0,0029	8110	81,1	-0,449	0,005
3	-2,4800	0,0023	8110	81,1	-0,3058	0,0031
2	-1,2150	0,0017	8110	81,1	-0,1498	0,0015
1	-0,0190	0,0011	8100	81,0	-0,00235	0,00014
1	0,0110	0,0011	8100	81,0	0,00136	0,00014
2	0,2160	0,0012	8030	80,3	0,02690	0,00031
3	0,2760	0,0012	7830	78,3	0,03525	0,00039
4	0,2950	0,0013	7670	76,7	0,0385	0,0004
5	0,3220	0,0013	7260	72,6	0,0444	0,0005
6	0,3360	0,0013	6900	69,0	0,0487	0,0005
7	0,3480	0,0013	6530	65,3	0,0533	0,0006
8	0,3590	0,0013	6090	60,9	0,0589	0,0006
9	0,3700	0,0013	5590	55,9	0,0662	0,0007
10	0,3820	0,0013	4980	49,8	0,0767	0,0008
11	0,3910	0,0013	4550	45,5	0,0859	0,0009
12	0,3970	0,0013	4200	42,0	0,0945	0,0010
13	0,4070	0,0013	3690	36,9	0,1103	0,0012
14	0,4150	0,0013	3320	33,2	0,1250	0,0013
15	0,4220	0,0013	2980	29,8	0,1416	0,0015
16	0,4300	0,0013	2650	26,5	0,1623	0,0017
17	0,4390	0,0013	2300	23,0	0,1909	0,0020
18	0,4480	0,0013	1990	19,9	0,2251	0,0023
19	0,4580	0,0013	1700	17,0	0,2694	0,0028
20	0,4670	0,0013	1460	14,6	0,3199	0,0033
21	0,4770	0,0013	1230	12,3	0,388	0,004
22	0,4860	0,0013	1060	10,6	0,458	0,005
23	0,4950	0,0013	920	9,2	0,538	0,006
24	0,5050	0,0013	780	7,8	0,647	0,007
25	0,5130	0,0014	680	6,8	0,754	0,008
26	0,5280	0,0014	540	5,4	0,978	0,010
27	0,5390	0,0014	460	4,6	1,172	0,012
28	0,5530	0,0014	380	3,8	1,455	0,015
29	0,5610	0,0014	330	3,3	1,700	0,018
30	0,5710	0,0014	300	3,0	1,903	0,020
31	0,5790	0,0014	270	2,7	2,144	0,022
32	0,5880	0,0014	240	2,4	2,450	0,025
33	0,5930	0,0014	230	2,3	2,578	0,026
34	0,5990	0,0014	210	2,1	2,852	0,029
35	0,6080	0,0014	190	1,9	3,200	0,033
36	0,6190	0,0014	170	1,7	3,641	0,037
37	0,6330	0,0014	150	1,5	4,22	0,04
38	0,6490	0,0014	130	1,3	4,99	0,05
39	0,6620	0,0014	120	1,2	5,52	0,06
40	0,6720	0,0014	110	1,1	6,11	0,06
41	0,6850	0,0014	100	1,0	6,85	0,07
42	0,7180	0,0014	80	0,8	8,98	0,09
43	0,7430	0,0015	70	0,7	10,61	0,11
44	0,7780	0,0015	60	0,6	12,97	0,13
45	0,9130	0,0015	40	0,4	22,83	0,23

7.3 Messungen mit Wechselspannung

7.3.1 Durchlassstrom einer einzelnen Diode (Protokoll: S.33)

Auf dem Oszilloskop ist der zeitl. Verlauf der Widerstandsspg., welche direkt proportional (und damit in Phase) zum Diodenstrom ist, und die Eingangsspg. dargestellt.

Es ist sofort ersichtlich, dass beide Verläufe periodisch sind, was zu erwarten war.

Außerdem sind sie in Phase, d.h. im ~~Strom~~ ^{der Diode} gibt es keine Invertiertheit oder Kapazität.

Weiterhin haben beide Verläufe unterschiedliche Amplituden, was davon liegt, dass die Widerstandsspg. stets geringer ist als die Eingangsspg., da die Diode auch in Durchlassrichtung einen gewissen Eigenwiderstand besitzt, wonit über ihr eine Spannung abfällt. Dieser ~~wieder~~ Spannungsabfall über der Diode (in Durchlassrichtung) ergibt sich folglich aus der Differenz der Eingangsspg. und der Widerstandsspg.

Die Widerstandsspg. ist im Bereich des Stromdurchlaufs negativ, weil die Diode in Durchlassrichtung vom Pluspol zum Minuspol zeigt und, wie man am Schaltplan auf S.20 sieht kann, der Eingang der zu Widerstandsspg. gehörige Kontakt positiv gegenüber dem Ausgang ist. Das Oszilloskop zeigt jedoch normalerweise einen pos. Anschlag, wenn der negative Pol mit dem Eingang verbunden ist (Eingang = schwarze Buchse).

Aufgrund der Tatsache, dass die beiden Eingänge des Oszilloskops intern verbunden sind und dadurch an selben Punkt abgegriffen werden müssen, da sonst ein Kurzschluss in der Schaltung besteht, ist nur die Schaltung wie auf S.20 möglich, um gleichzeitig die Widerstandsspg. als auch die Eingangsspg. darstellen zu können.

7.3.2 Graetz-Schaltung (Protokoll: S.34)

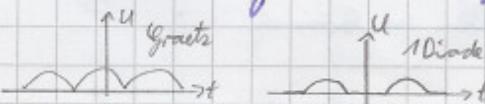
Das Oszilloskop zeigt einen stetig positiven und periodischen Verlauf der Wid.-spannung, welcher wie auf S.21 geschildert, abgegriffen wird. Aus der Art des und Weise der Schaltung und wie der Eingang und Ausgang des Oszilloskops verbunden sind, ist klar, dass immer der Eingang negativ gegenüber dem Ausgang ist, weshalb die dargestellte Spannung stets größer Null ist.

Wenn man diesen Verlauf mit der Eingangsspg., welche identisch zu der von 6.3.1 (S.33) ist,

vergleicht, so stellt man 2 Unterschiede fest: Zum einen ist die Periode um die Hälfte kleiner als die Eingangssig. (10ms gegenüber 20ms), da man durch die Graetzschaltung effektiv den Betrag erhält (max hat eine doppelt so große Periode wie $\text{min} \times 1$). Zum anderen weisen die Amplituden starke Unterschiede auf. Bei der Durchführung von Versuch 6.3.1 erhält man durch die Diode einen zusätzl. Spannungsabfall von ca. 1,25V. Hier hat man die doppelte Anzahl an Dioden in jedem Stromweg, wodurch ein Spannungsabfall von ca. 2,5V entstehen sollte. Jedoch ~~ist~~ registriert man einen Abfall von über 16V auf ca. 29mV, welches sich kaum durch Diodenbelüftung abschwächen lässt. Eine mögliche Fehlerquelle steht im Auflau, da sich die Amplitude sehr stark bei dieser Brücke änderte.

Im 2. Teil wurden noch Kondensatoren parallel geschaltet. Beim ersten Kond. ($C = 100\mu\text{F}$) fällt die Spannung im Vergleich zum 1. Teil um 10mV, beim zweiten Kond. ($C = 2200\mu\text{F}$) um 3mV. Aufgrund der oben geschilderten Empfindlichkeit der Schaltung lässt sich jedoch hieraus keine Aussage ermitteln. Da jedoch die Kond. parallel geschaltet wurden, sollte sich von der Theorie her keine Änderung bzgl. der Spannungen ergeben (wollt aber bzgl. des Stromes im Kondensatorzweig).

In der Technik wird die Graetzschaltung verwendet, um Gleichstrom aus einer Wechselspannungsquelle zu erzeugen. Im Unterschied zur Schaltung mit nur einer Diode gilt es hier immer einen Stromfluss, wodurch diese Schaltung in etwa doppelt so energieeffizient ist wie die mit nur einer Diode.



Die Eingangssig. lässt sich nicht am 2. Kanal des Oszilloskops darstellen, da die beiden Kanäle 1 Punkt in der Schaltung gemeinsam haben müssen (da die beiden Eingänge intern verbunden sind). Dadurch könnte man höchstens die Spannung einer Diode anzeigen, nicht jedoch die Eingangssig. (würde man es versuchen, erzeugte man einen Kurzschluss).

7.2.3 Strom-Spannungskennlinie einer Diode (Protokoll: S. 36)

Wertung: 5.23.

In Durchlassrichtung ist der Ausgang des 1. Kanals positiv gegenüber dem Eingang, also ist die generierte Spannung ^{der Diode} positiv. Beim 2. Kanal liegt ^{die} der Spannungsabfall in der gleichen Richtung vor, aber die Reihenfolge von Eingang und Ausgang ist vertauscht (\rightarrow Ausgabe: neg. Zug.), weshalb dieser 2. Kanal invertiert wurde (\rightarrow Ausgabe: pos. Zug.).

In Sperrrichtung ist der Ausgang des 1. Kanals neg. gegenüber dem Eingang, so dass die Röhreng. negativ sein muss. Am Widerstand sollte idealweise kein Strom fließen (d.h. keine Zug. abfallen), jedoch fließt ein kleiner Strom, da die Diode nicht ideal ist (ein paar Elektronen können den Potentialwall immer überwinden, siehe S. 12). Dies Zug. ist negativ, weil der Ausgang des 2. Kanals positiv gegenüber dem Eingang ist, der Kanal aber invertiert wurde.
genau so einfach ist es nicht!

Da man bei diesem Versuch sowohl die Dioden- als auch die Widerstandsrng. mit dem Brillenskop messen möchte und die Eingänge am selben Punkt abgegriffen werden müssen, muss dieser Punkt zw. der Diode und dem Widerstand liegen.

Die Richtung der Diode ist so festgelegt, dass sie aufgrund obige Erklärung zum Eingang des Kanals zeigen muss, da man den 1. Kanal nicht invertieren kann.

Ähnlich zur Kennlinie von Versuch 7.2.4 (S. 58):

Prinzipiell alle leichten Kennlinien gleich aus. Der Hauptunterschied ist, dass die direkt angezeigte Kennlinie „aufgespalten“ ist, ähnlich einer Hystereseschwelle. Entsprechend könnte der Grund hierfür sein, dass ^{die Diode} eine relative Dielektrizitätskonstante $\neq 1$ besitzt, d.h. eine Erhöhung der Spannung U_0 erzeugt nicht die den gleichen Wert U_R wie eine Erniedrigung von U_0 . Entsprechend könnte die eingeschlossene Fläche ein Maß für die in der Diode verbrauchte Energie sein.

7.3.4 Charakterisierung der unelastischen Spannung (Brodkoll: S.37)

Bei der unelastischen Spannung handelt es sich um eine Wechselspannung mit "großen" Gleichspannungsanteil, so dass die Spannung stetig positiv ist (Gleichspannung).

Die Periode beträgt in etwa:

$$T = \frac{60 + 65}{2} \mu s = 62,5 \mu s$$

Die Zeichnung ist sehr ungenau, daher wird der Fehler auf

$$\approx 65 \mu s - 60 \mu s = 5 \mu s \text{ geschätzt.}$$

$$\rightarrow T = (63 \pm 5) \mu s$$

Das ist keine vollständige
Clockskew!!

Die Amplitude A beträgt ca.:

$$A \approx 8,5 V$$

$$\text{Fehlerabschätzung: } \approx 0,5 V$$

$$\rightarrow A = (8,5 \pm 0,5) V$$

Der Verlauf an sich stellt annähernd eine Rechteckspannung dar.

Frage & Vorb. - manchmal wurde (Lizenz) heftig!

- auf das etwas aus knapp, am Schluss dann richtig gut!

Resiprothokoll: - Drang der. Abstand Durchführung liegt sehr nah sind und es viele Blätter rotieren
→ unübersichtlich!

- ansaufen oder sehr gut und sehr gut nach vorne zielt bzw.!!.
- Messungen in Orientierung allerdings nicht so sehr zielt!

Auswertung:

- Entladung: Beispiele bei Auswirkung Ahorn/Buche!!

- Diskussion Niederhemmung!!

- Insgesamt sehr gute + gute dual-darleb. Darstellung!!

Fragen zur Vorbereitung:

3/4

Protokoll/Durchführung:

3/3

Entladungs-Charakteristiken:

4/4.5

Gleichspannungs-Messungen:

3/3.5

Wechselspannungs-Messungen:

3.5/4

Form:

1/1

Sonderpunkt

7

Gesamt:

18.5/20