

W12 Luftfeuchtigkeit

① Grundlagen

Thermoelement: Erzeugung einer elektrischen Potentialdifferenz (\rightarrow absoluter SEEBECK-Effekt) in einem elektrischen Leiter durch einen Temperaturgradienten. Verbindet man zwei versch. Leiter (Kupfer u. Konstantan) zu einem Strom-Kreis u. bringt die beiden Kontaktstellen auf versch. Temperaturen T_0 u. T_1 , so entstehen in den beiden Leitern unterschiedliche innere Potentiale, die als Thermospannung messbar ist. Die Thermospannung U_T ist näherungsweise proportional zu $\Delta T = T_1 - T_0$:

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T$$

α : Thermokraft / Seebeckkoeffizient
ist abhängig von Materialien

Luftfeuchtigkeit: Gehalt der Luft an Wasserdampf

Absolute Luftfeuchtigkeit f_a : Wasserdampfmasse m_d / Volumen V der Luft

$$f_a = \frac{m_d}{V}$$

Relative Luftfeuchtigkeit f_r : Verhältnis der Wasserdampfmenge zur Sättigungsmenge bzw. das Verhältnis des Dampfdruckes p_d zum Sättigungsdampfdruck p_s bei vorliegender Temp. T .

$$f_r = \frac{p_d}{p_s} \quad [\%]$$

$\rightarrow p_s$ ist abhängig von der Art der Flüssigkeit und von der Temperatur

RAOULT'sches Gesetz: Ist die Flüssigkeit im geschlossenen Gefäß eine wässrige Lösung, so ist der Sättigungsdampfdruck über der Lösung entsprechend dem Raoult'schen Gesetz um Δp verringert. Diese Dampfdruckerniedrigung hängt nur von der Anzahl der gelösten Teilchen ab.

$$\frac{\Delta p}{p_s} = \frac{p_s - p_{s,L}}{p_s} = x = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad \text{Raoult'sches Gesetz gilt nur für } n_2 \ll n_1$$

Durch Erniedrigung der Temperatur kann man 100%-ige Luftfeuchtigkeit erreichen. Ab einer best. Temp. τ (Taupunkt) kondensiert der Wasserdampf und scheidet sich z.B. auf einer Oberfläche ab (Taupunkt-Hygrometer). Anhand der Temp. τ kann aus Tabellen der dazugehörige Sättigungsdampfdruck $p_s(\tau)$ ermittelt werden.

Die relative Luftfeuchtigkeit f_r ergibt sich dann aus:

$$f_r = \frac{p_d(T)}{p_s(T)} = \frac{p_s(T)}{p_s(T)}$$

② Versuchsaufbau

Geräte: - Taupunkthygrometer

- Steuergerät für Lichtschranke
- Stromversorgungsgerät für Peltierkühler
- Kupfer-Konstantan-Thermoelement
- 2 Bechergläser
- flache Schale
- Flasche mit 3molarer CaCl_2 -Lsg.
- Sensor-Cassy mit μV -Box
- Computer, Cassy-Lab-Software

③ Versuchsdurchführung

- Aufbau der Schaltung des Ku-Konst.-Thermoelements
- Messreihe zur Kalibrierung des Ku-Konst.-Thermoelements starten
- aus dem Mittelwert der Haltepunkte beim Schmelzen, bzw. Erstarren des Galliums wird der Seebeckkoeffizient α berechnet
- Versuchsaufbau des Taupunkthygrometers
- Thermospannung wird mit Hilfe des Computers registriert
- Bestimmung der Thermospannung am Taupunkt durch Mittelwertbildung im Programm CassyLab
- Nachweis des Raoultschen Gesetzes mittels Wasserschale und Schale mit CaCl_2 -Lösung
- Thermospannungen am Taupunkt werden durch Mittelwertbildung im Programm CassyLab bestimmt

④ Aufgabenstellung

- ein Kupfer-Konstatan-Thermoelement ist zu kalibrieren
- die relative Luftfeuchtigkeit ist mit Hilfe eines Taupunkthygrometers zu bestimmen
- das Raoult'sche Gesetz (Dampfdruckerniedrigung in Lösungen) ist qualitativ zu bestätigen

⑤ Auswertung

Berechnung der zu erwartenden Luftfeuchtigkeit f durch Dampfdruckerniedrigung über der wässrigen Lösung nach dem Raoult'schen Gesetz:

$$\begin{aligned}n_1 = n_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{p \cdot V - n_{\text{CaCl}_2} \cdot M_{\text{CaCl}_2}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} \\&= \frac{1250 - 3 \text{ mol} \cdot 111,8 \text{ g/mol}}{18 \text{ g/mol}} \\&= \underline{\underline{50,94 \text{ mol}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_2 &= 3 \cdot n_{\text{CaCl}_2} \\&= 3 \cdot 3 \text{ mol} \\&= \underline{\underline{9 \text{ mol}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f &= \frac{\Delta p}{p_s} = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \\&= \frac{9 \text{ mol}}{50,94 \text{ mol} + 9 \text{ mol}} \\&= 0,15 \\&\hat{=} \underline{\underline{15\%}}\end{aligned}$$

Die zu erwartende Luftfeuchtigkeit beträgt rund 85 %.

⑥ Auswertung der Versuche

6.1 Kupfer-Konstantan-Thermoelement

Seebeckkoeffizienten α aus \bar{x} (Mittelwerte der Haltepunkte) ermitteln

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \alpha = \frac{U_T}{\Delta T}$$

$$\bar{U}_T = \frac{U_{T(\text{Schmelzen})} + U_{T(\text{Erstarren})}}{2}$$

$$= \frac{1,220 \text{ mV} + 1,182 \text{ mV}}{2}$$

$$= 1,201 \text{ mV}$$

$$\alpha = \frac{U_T}{\Delta T} = \frac{1,201 \text{ mV}}{29,5 \text{ K}} = 0,041 \text{ mV/K}$$

Der Seebeckkoeffizient α des Kupfer-Konstantan-Thermoelements beträgt rund 0,041 mV/K bei einer Mittelwertspannung von und einer Temperaturdifferenz von 29,5 K.

6.2 Taupunkthygrometer

Ermittlung von relativer Luftfeuchtigkeit und Taupunkt aus

$$U_T = 0,4431 \text{ mV} \pm 0,0008 \text{ mV}$$

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{U_T}{\alpha} = \frac{0,4431 \text{ mV}}{0,041 \text{ mV/K}}$$

$$= 10,8 \text{ K}$$

$$T_{\text{Taupunkt}} : 10,8^\circ \text{C}$$

$$T_{\text{Raum}} : 22,7^\circ \text{C}$$

$$f_r = \frac{p_{\text{dCT}}}{p_{\text{SCT}}} = \frac{1,312}{2,809} = 0,47 \Rightarrow 47\%$$

6.3 Raoult'sches Gesetz

Ermittlung von Taupunkt und rel. Luftfeuchtigkeit

- Mittelwert der Thermospannung bei Wasser =

$$U_T = 0,90041 \text{ mV} \pm 0,00023 \text{ mV}$$

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{U_T}{\alpha} = \frac{0,90041 \text{ mV}}{0,041 \text{ mV/K}} = 21,96 \text{ K}$$

$$T_{\text{Taupunkt}} = 21,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Raum}} = 22,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$f_r = \frac{p_{\text{SCT}}}{p_{\text{SAT}}} = \frac{2,642}{2,809} = 0,94$$

Die relative Luftfeuchtigkeit über H_2O beträgt 94 %.

- Mittelwert der Thermospannung bei 3 molarer CaCl_2 -Lösung:

$$U_T = 0,7212 \text{ mV} \pm 0,0004 \text{ mV}$$

$$U_T = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{U_T}{\alpha} = \frac{0,7212 \text{ mV}}{0,041 \text{ mV/K}} = 17,6 \text{ K}$$

$$T_{\text{Taupunkt}} = 17,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

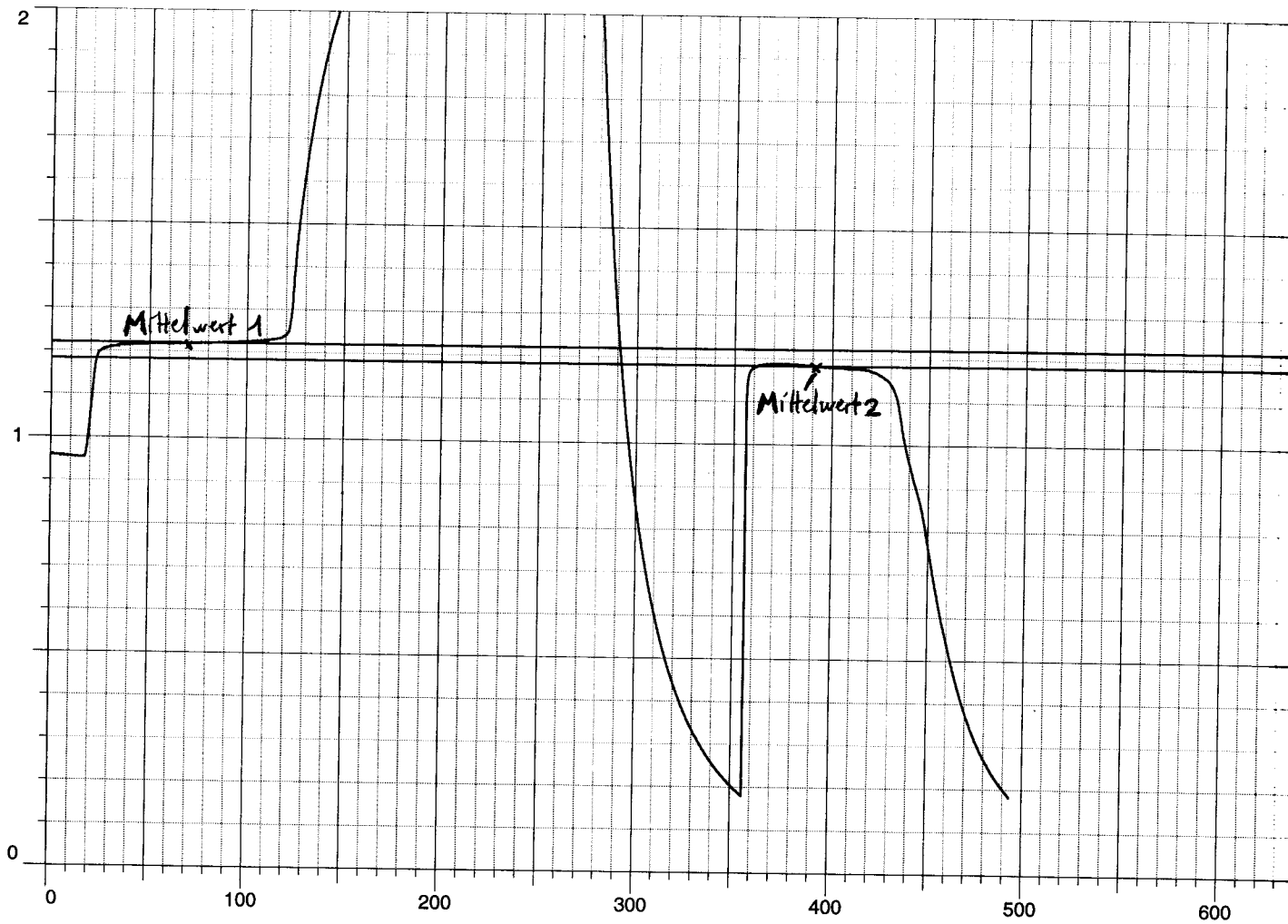
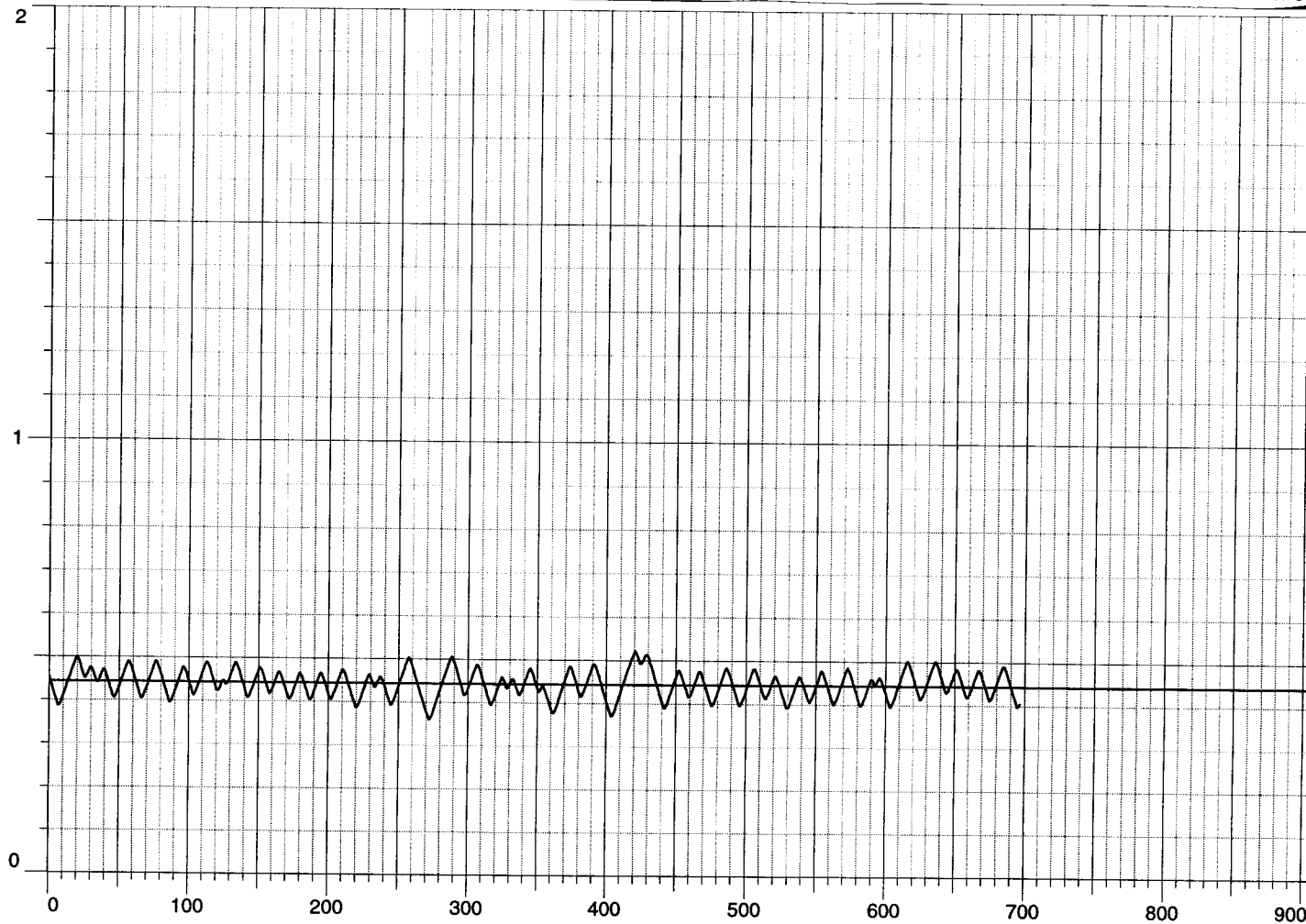
$$T_{\text{Raum}} = 22,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$f_r = \frac{p_{\text{SCT}}}{p_{\text{SAT}}} = \frac{2,062}{2,809} = 0,73$$

Die relative Luftfeuchtigkeit über CaCl_2 -Lösung beträgt 73 %.

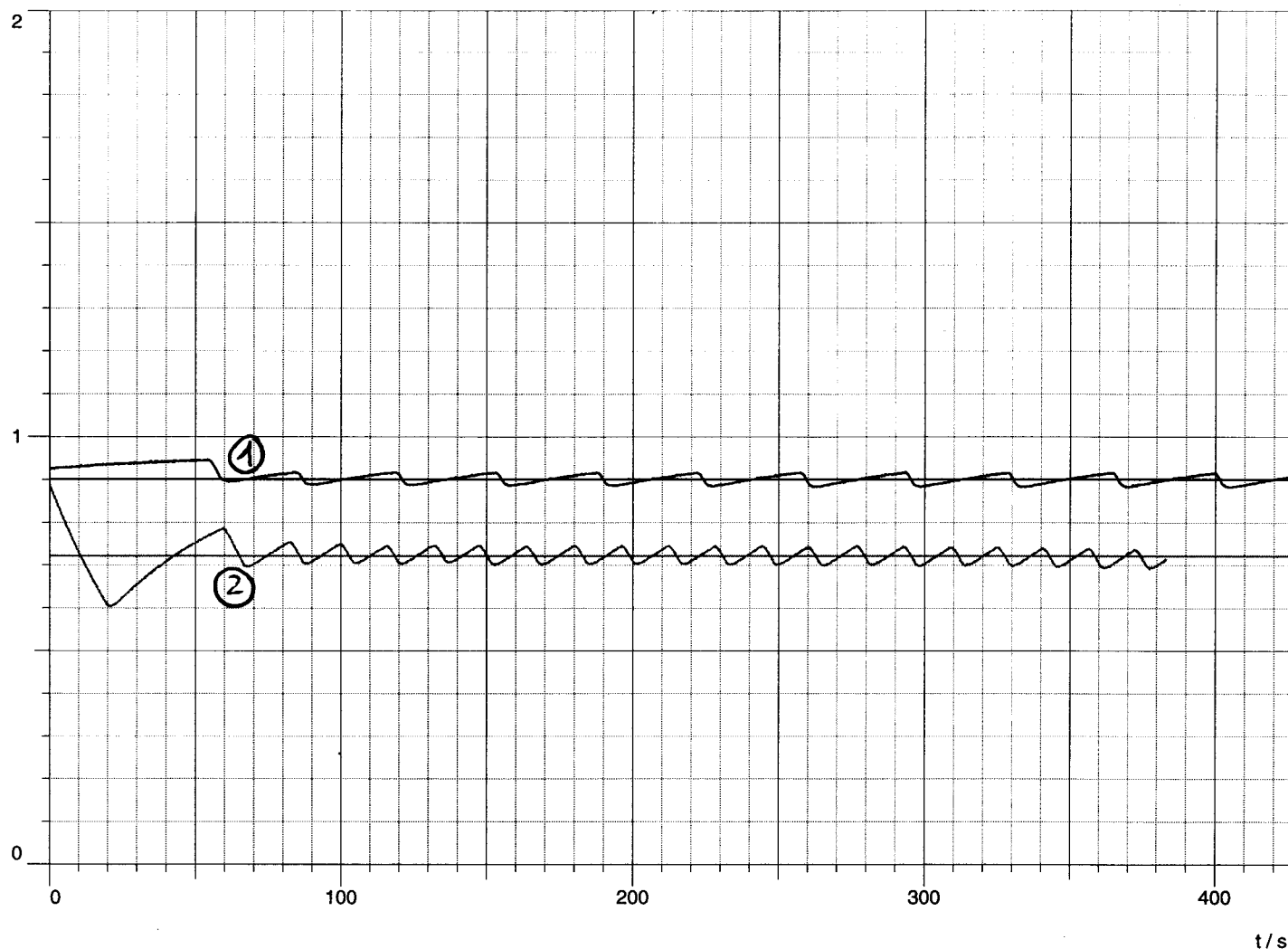
\Rightarrow 73% sollte sein.

29.11.08 CEisenroth

$\frac{U_{A1}}{mV}$  $\frac{U_{A1}}{mV}$ 

$$U_T = 0,4431 \text{ mV} \pm 0,0008 \text{ mV}$$

 t/s



① Mittelwert (wasser) $U_T: 0,90041 \text{ mV} \pm 0,00023 \text{ mV}$

② Mittelwert (CaCl₂-Lsg) $U_T: 0,7212 \text{ mV} \pm 0,0004 \text{ mV}$

W 25 Diffusion

① Grundlagen

Diffusion: Form des Massentransports in Festkörpern, Flüssigkeiten u. Gasen, die durch ungeordnete Teilchenbewegung hervorgerufen wird
(→ Brownsche Bewegung)

Osmose: Diffusion durch eine semipermeable Membran (durchlässig für Lösungsmittel, nicht für gelöste Stoffe)

Diffusionsfluss J : Die Stoffmenge, die netto pro Zeiteinheit in positive x -Richtung durch eine senkrecht zu dieser Richtung angeordnete Fläche A hindurchtritt
[mol/s]

$$\text{Diffusionsstromdichte } \phi = \frac{J}{A}$$

$$\begin{aligned} \text{Diffusionsfluss} &\sim A \\ &\sim dc/dx \end{aligned}$$

1. FICK'sches Gesetz: $J = -D \cdot A \cdot \left(\frac{dc}{dx}\right)$

D : Diffusionskoeffizient $\left[\frac{m^2}{s}\right]$

→ ist Materialkennzahl für die Beweglichkeit der Teilchen in der Phase
→ abhängig von Temperatur, Konz.

Apparatekonstante $\beta = \frac{A}{V \cdot s}$ s : Dicke der feinporeigen Wand

② Aufgabenstellung

- Für zwei Salzlösungen ist die elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Konzentration zu messen (→ Kalibrierkurven).
- Die Apparatekonstante der Diffusionszelle ist durch Untersuchung der Diffusion der Salzlösung mit bekanntem Diffusionskoeffizienten (K_{ce}) zu bestimmen.
- Der unbekannte Diffusionskoeffizient einer zweiten Salzlösung ist zu bestimmen.

③ Versuchsaufbau

- 1 Einzelmesskammer
- 1 Doppelmesskammer
- 2 Röhrchen für Stammlösung A u. B
- 1 Leitfähigkeits-Messsonde mit Stativ
- 1 Generator 1V, 130 Hz
- 1 Anschlussbox mit Umschalter u. Messwiderstand
- 1 Digitalmultimeter
- 1 Doppelmagnetrührer
- 2 Magnetrührstäbchen
- 1 Pipette 100 μ l, Pipettenspitzen
- 1 Mikrospatel, 1 Pinzette
- 1 Stoppuhr
- 1 Verbindungskabel

④ Versuchsdurchführung

① Kalibrierung des Systems

- Messen der Leitwerte von KCl u. unbekannter Lösung im Konzentrationsbereich von 0 - 0,5 g/l
- Herstellung der Stammlösungen (je 3 ml à 220 g/l)
- Einzelmesskammer mit 220 ml A._{dest} füllen
- in 5 Schritten jeweils 100 μ l der KCl-Stammlösung hinzugeben
- U_i und U_z messen
- Prozedur mit unbekanntem Salz wiederholen

② Bestimmung der Apparatekonstanten β

- beide Teile der Doppelmesskammer mit je 220 ml A._{dest} füllen
- $t=0 \rightarrow$ Zugabe von KCl in Kammer I $\rightarrow c = 10$ g/l einstellen
- Leitwert in Kammer II 15 min. lang alle 3 min. messen
- Leitwert sofort berechnen, Bestimmung d. Konz anhand der Kalibrierkurve

③ Messung des Diffusionskoeffizienten der Substanz B

- Messung analog zu ②
- für unbekanntes Salz wird eine Ausgangskonz. von 20 g/l in Kammer I eingestellt

Berechnungen

Konz. d. SL : $c_{SL} = 220 \text{ g/l}$

" " Messlgsgn: $c_{ges} = \frac{V_1 \cdot c_1}{V_2}$
 $= \frac{V_{SL} \cdot c_{SL}}{V_{SL} + H_2O}$

0. Schritt : Zugabe von $0 \mu\text{l}$ SL
 $c_0 = 0 \text{ g/l}$

1. Schritt : Zugabe von $100 \mu\text{l}$ ($= 0,1 \text{ ml}$) SL
 $c_1 = \frac{0,1 \text{ ml} \cdot 220 \text{ g}}{\text{l} (0,1 \text{ ml} + 220 \text{ ml})}$
 $= 0,099 \text{ g/l} \approx \underline{\underline{0,1 \text{ g/l}}}$

2. Schritt : Zugabe von weiteren $100 \mu\text{l}$ SL
 $c_2 = \underline{\underline{0,2 \text{ g/l}}}$

3.-5. Schritt : analog zu 2. Schritt
 $c_3 = \underline{\underline{0,3 \text{ g/l}}}$
 $c_4 = \underline{\underline{0,4 \text{ g/l}}}$
 $c_5 = \underline{\underline{0,5 \text{ g/l}}}$

Herstellung der Stammlösung

$c_{KCl/B} = 220 \text{ g/l}$; $V_{KCl/B} = 0,003 \text{ l}$; $c = \frac{m}{V} \rightarrow m = c \cdot V$

$m_{KCl/B} = 220 \frac{\text{g}}{\text{l}} \cdot 0,003 \text{ l}$
 $= \underline{\underline{0,66 \text{ g}}}$

Konzentrationseinstellung von KCl (B) in Kammer I

$c_{KCl} = 10 \text{ g/l}$; $c_B = 20 \text{ g/l}$; $V = 0,22 \text{ l}$

$m = c \cdot V$; $m_{KCl} = 10 \text{ g/l} \cdot 0,22 \text{ l} = \underline{\underline{2,2 \text{ g}}}$ \rightarrow Zugabe von $2,2 \text{ g KCl}$

$m_B = 20 \text{ g/l} \cdot 0,22 \text{ l} = \underline{\underline{4,4 \text{ g}}}$ \rightarrow Zugabe von $4,4 \text{ g KCl}$

⑤ Messwerte

4.I

Schritt	c_{KCl} in g/l	U_i in mV	U_z in V	G in s ($\rightarrow G = \frac{U_i}{U_z - U_i} \cdot \frac{1}{R}$) [$\frac{1}{A}$]
0	0	0,5	1,243	$0,04 \cdot 10^{-4}$
1	0,1	23,2	1,230	$1,92 \cdot 10^{-4}$
2	0,2	44,2	1,220	$3,76 \cdot 10^{-4}$
3	0,3	64,2	1,210	$5,60 \cdot 10^{-4}$
4	0,4	82,5	1,201	$7,38 \cdot 10^{-4}$
5	0,5	99,7	1,193	$9,12 \cdot 10^{-4}$
	c_B in g/l			
0	0	0,4	1,238	$0,03 \cdot 10^{-4}$
1	0,1	7,5	1,234	$0,61 \cdot 10^{-4}$
2	0,2	14,5	1,230	$1,19 \cdot 10^{-4}$
3	0,3	21,4	1,226	$1,78 \cdot 10^{-4}$
4	0,4	27,8	1,222	$2,33 \cdot 10^{-4}$
5	0,5	34,5	1,218	$2,91 \cdot 10^{-4}$

4.II

KCl

t in min	U_i in mV	U_z in V	G in s ($\rightarrow G = \frac{U_i}{U_z - U_i} \cdot \frac{1}{R}$) [$\frac{1}{A}$]	c_{II} in g/l aus Graphen
0	1,9	1,218	$0,16 \cdot 10^{-4}$	0,010
3	12,1	1,211	$1,01 \cdot 10^{-4}$	0,060
6	22,0	1,206	$1,86 \cdot 10^{-4}$	0,095
9	31,7	1,201	$2,71 \cdot 10^{-4}$	0,140
12	40,8	1,197	$3,53 \cdot 10^{-4}$	0,185
15	49,6	1,192	$4,34 \cdot 10^{-4}$	0,235
0	0,6	1,217	$0,05 \cdot 10^{-4}$	0,005
3	4,6	1,215	$0,38 \cdot 10^{-4}$	0,055
6	9,0	1,212	$0,75 \cdot 10^{-4}$	0,120
9	13,4	1,209	$1,12 \cdot 10^{-4}$	0,185
12	17,6	1,207	$1,48 \cdot 10^{-4}$	0,250
15	21,6	1,204	$1,83 \cdot 10^{-4}$	0,310

4.III

B

⑥ Auswertung

Bestimmung der Apparatekonstanten β :

$$\beta = \frac{dc_2}{c_1 \cdot D} = \frac{15,67 \text{ L}}{10 \text{ g} \cdot 1,996 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2} = \underline{\underline{7,85 \cdot 10^8 \text{ m}^{-2}}}$$

Bestimmung des Diffusionskoeffizienten D von Probe B:

$$D = \frac{dc_2/dt}{c_1 \cdot \beta} = \frac{15,88 \text{ L}}{10 \text{ g} \cdot 7,85 \cdot 10^8 \text{ m}^{-2}} = \underline{\underline{2,0229 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

⑦ Fehlerbetrachtung

① Systematische Fehler

- Verunreinigungen in den Röhrchen \rightarrow falsche Werte

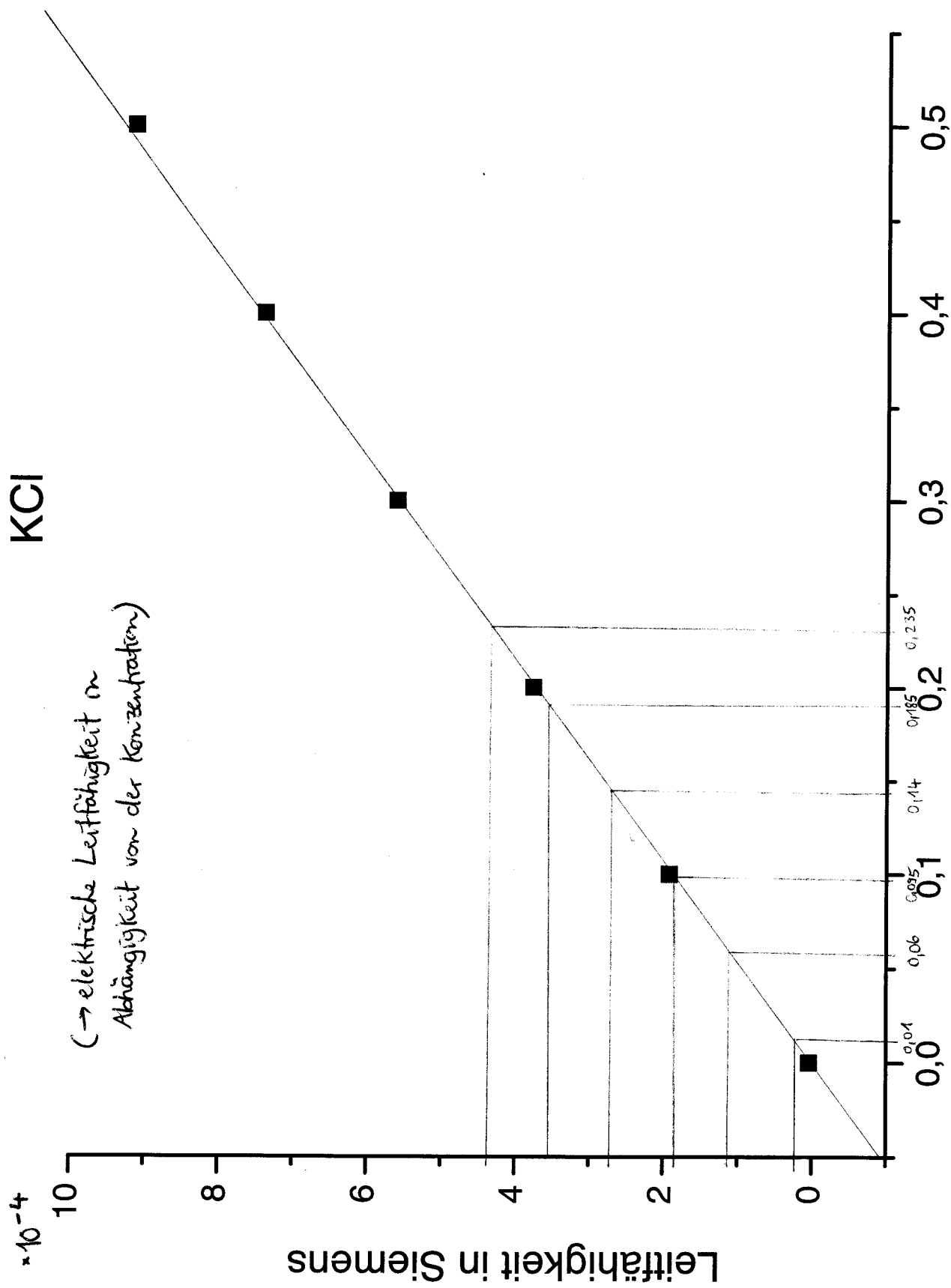
② Statistische Fehler

- Ungenauigkeit beim Abwiegen ($\pm 1 \text{ mg}$)
- Ungenauigkeit beim Ablesen der Konzentration aus den Diagrammen

06.17.04

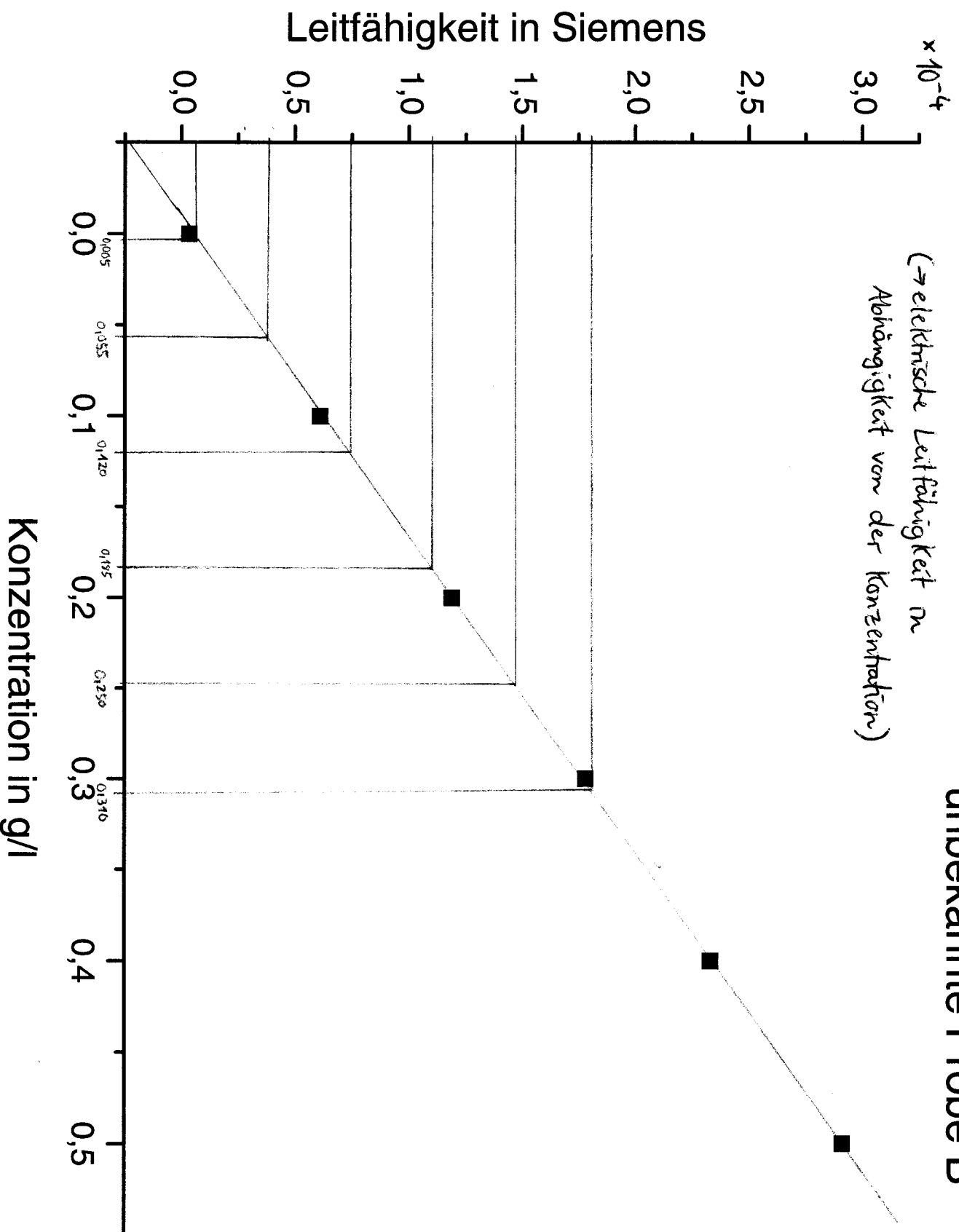
Krill

Konzentration in g/l



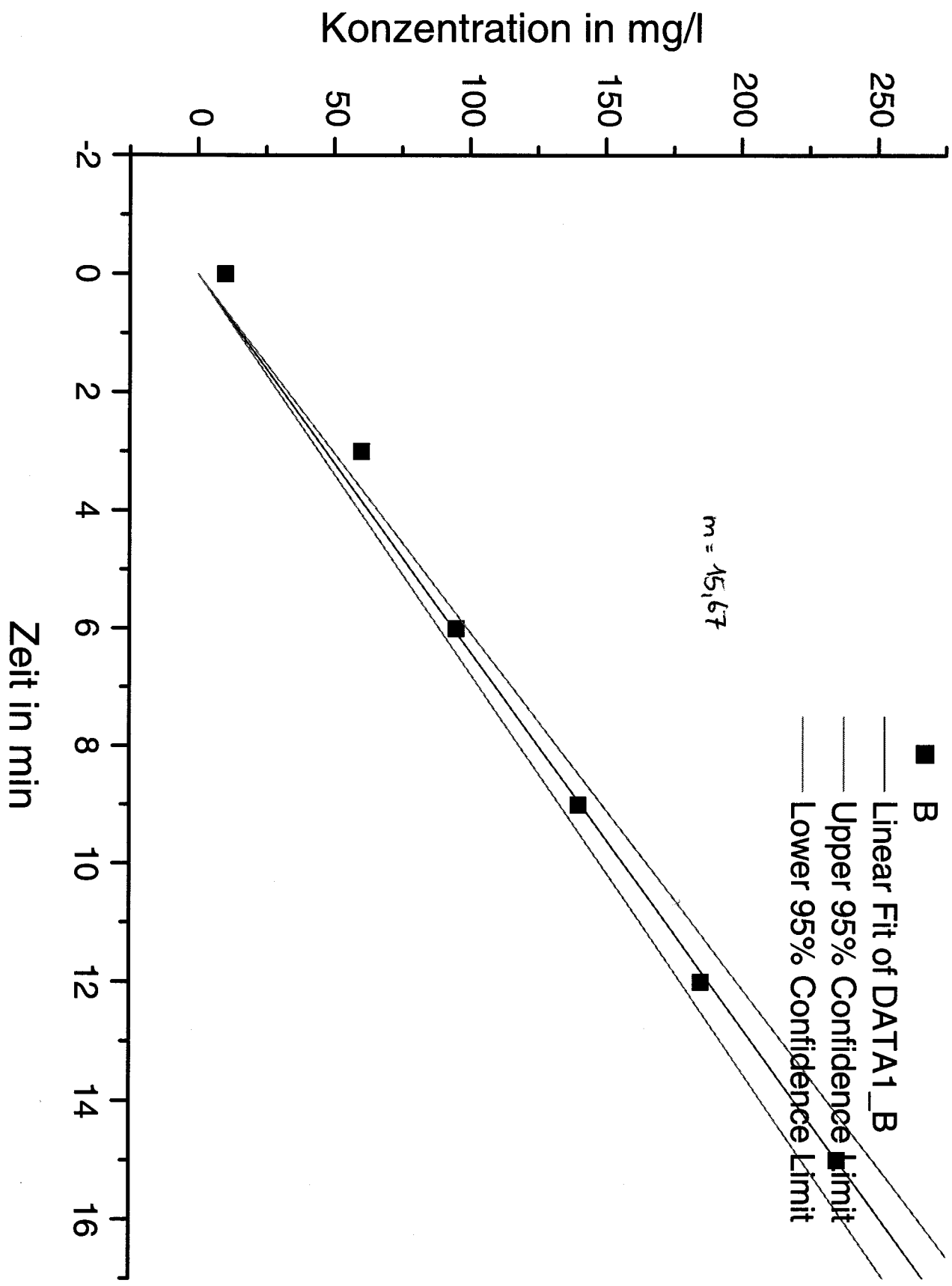
unbekannte Probe B

(\rightarrow elektrische Leitfähigkeit \propto
Abhängigkeit von der Konzentration)

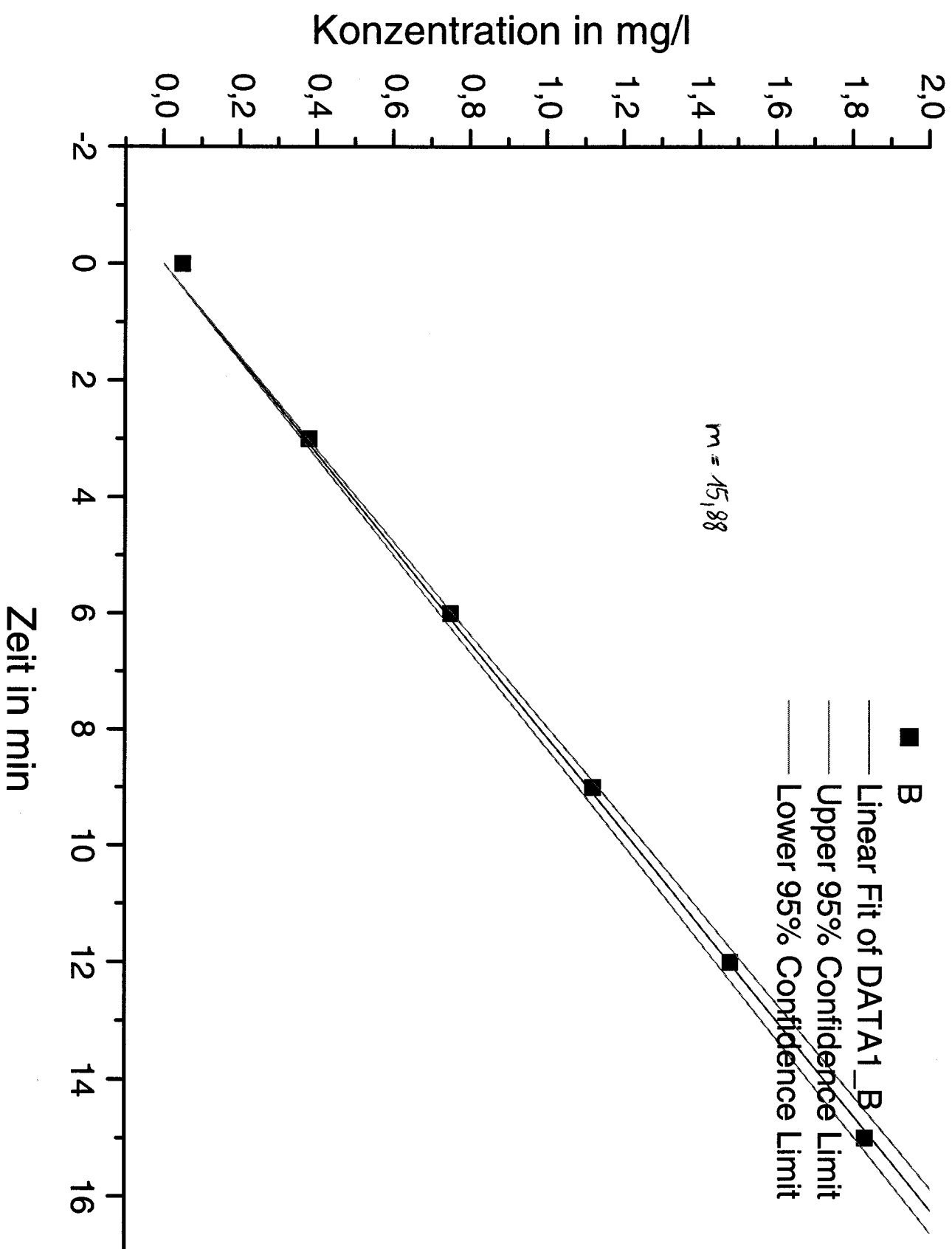


KCL

(→ zur Ermittlung der Apparatekonstanten)



Probe B



E 39 EKG

① Grundlagen

Elektrisches Dipolfeld : Beschreibt die Addition der Aktionspotentiale (ca. 70 mV) aller Zellen. Es breitet sich im gesamten Organismus aus, wobei es durch die elektrische Leitfähigkeit geschwächt wird.

EINTHOVEN: Dreieck : In diesem Dreieck lässt sich aus den Potentialen U_1, U_2, U_3 der Dipolvektor des Herzens konstruieren (\rightarrow elektrische Herzachse) im Moment des größten Potentials (R-Zacken-Potential)

A/D-Wandlung : Umwandlung des analogen Messsignals in digitale Daten

Wandlerbreite : Genauigkeit der Messung wird dadurch bestimmt.
 $12 \text{ Bit} = 2^{12} = 4096$ versch. digitale Messwerte

Messrate / Abtastrate R = Anzahl der Messungen pro Sekunde [Hz]
 Die Messrate bestimmt die Zeitauflösung, bzw. die maximal messbare Frequenz $f_G = f_G = \frac{1}{2} R$

② Aufgabenstellung

- mit Hilfe des CASSY-Messwerteerfassungssystems ist ein 3-Kanal-EKG aufzunehmen
- die Größe der R-Zacken-Potentiale und die Pulsfrequenz sind zu bestimmen
- die Lage der elektrischen Herzachse ist zu bestimmen

③ Versuchsaufbau

- 1 Sensor-CASSY
- 1 EKG/EMG-Box
- 1 PC mit CASSYLab-Software
- 4 Klammerelektroden
- Elektrodenspray

④ Versuchsdurchführung

- Cassy mit Strom versorgen → Programm starten
- EKG/EMG-Box aktivieren
- mit Bedienung des Programms vertraut machen
- Elektroden am Körper befestigen (Anordnung siehe Script)
- EKG wird 10s lang aufgezeichnet

⑤ Messwerte

Ableitungen	1	2	3	4	5	Mittelwert
U_I [mV]	0,281	0,297	0,282	0,259	0,247	0,273
U_{II} [mV]	0,506	0,474	0,501	0,551	0,532	0,513
U_{III} [mV]	0,779	0,863	0,774	0,791	0,807	0,803
Δt [s]	0,65	0,66	0,67	0,65	0,66	0,66

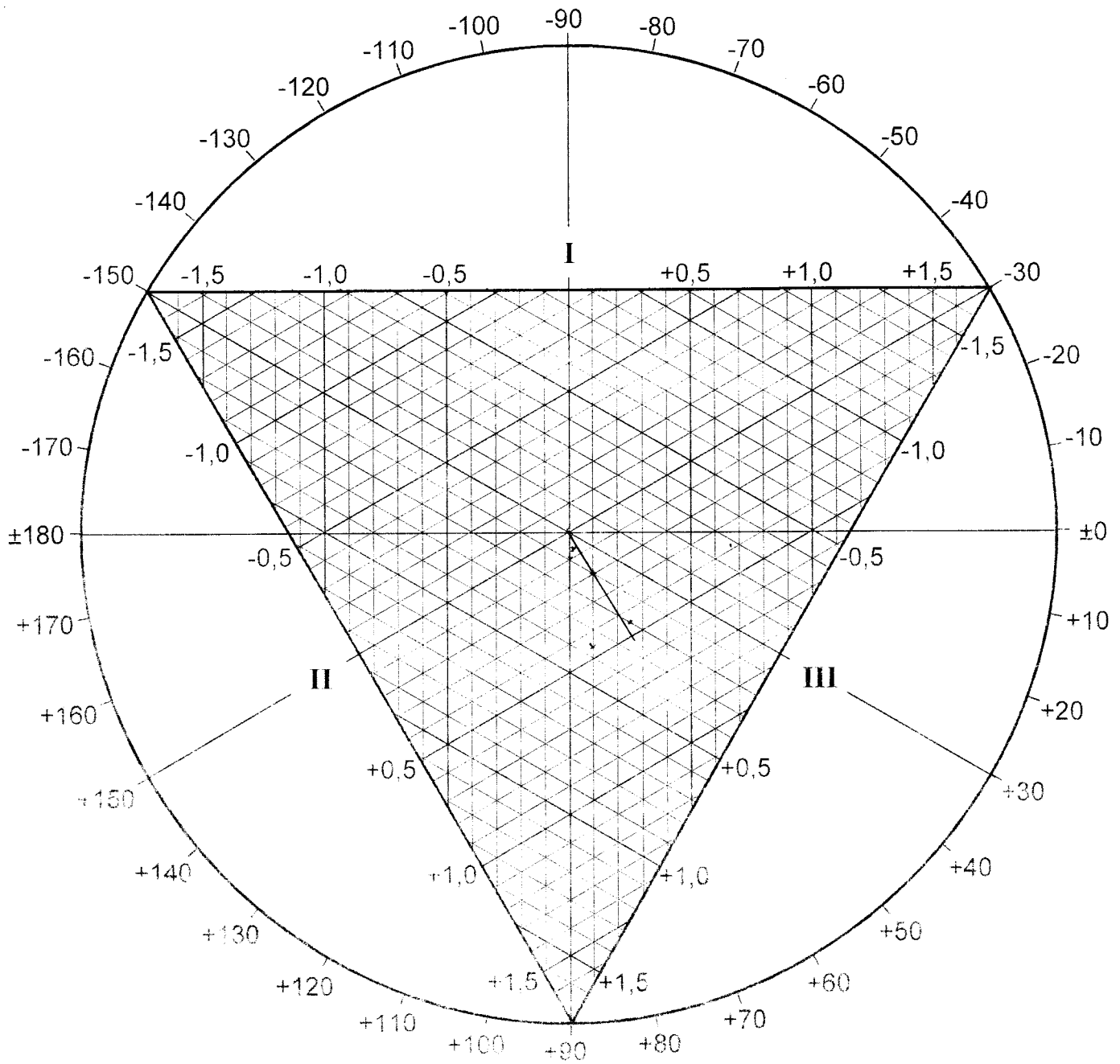
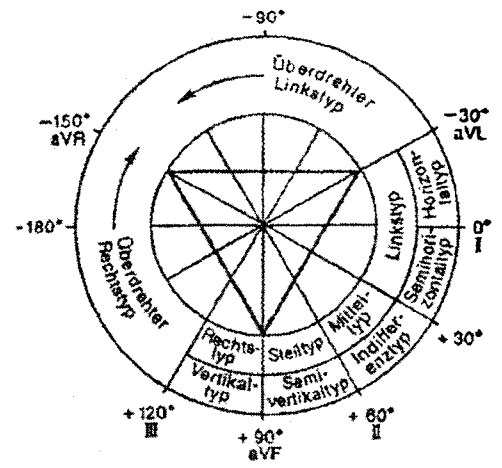
⑥ Auswertung

Pulsfrequenz: $f = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{0,665} \cdot 60 = 90/\text{min}$

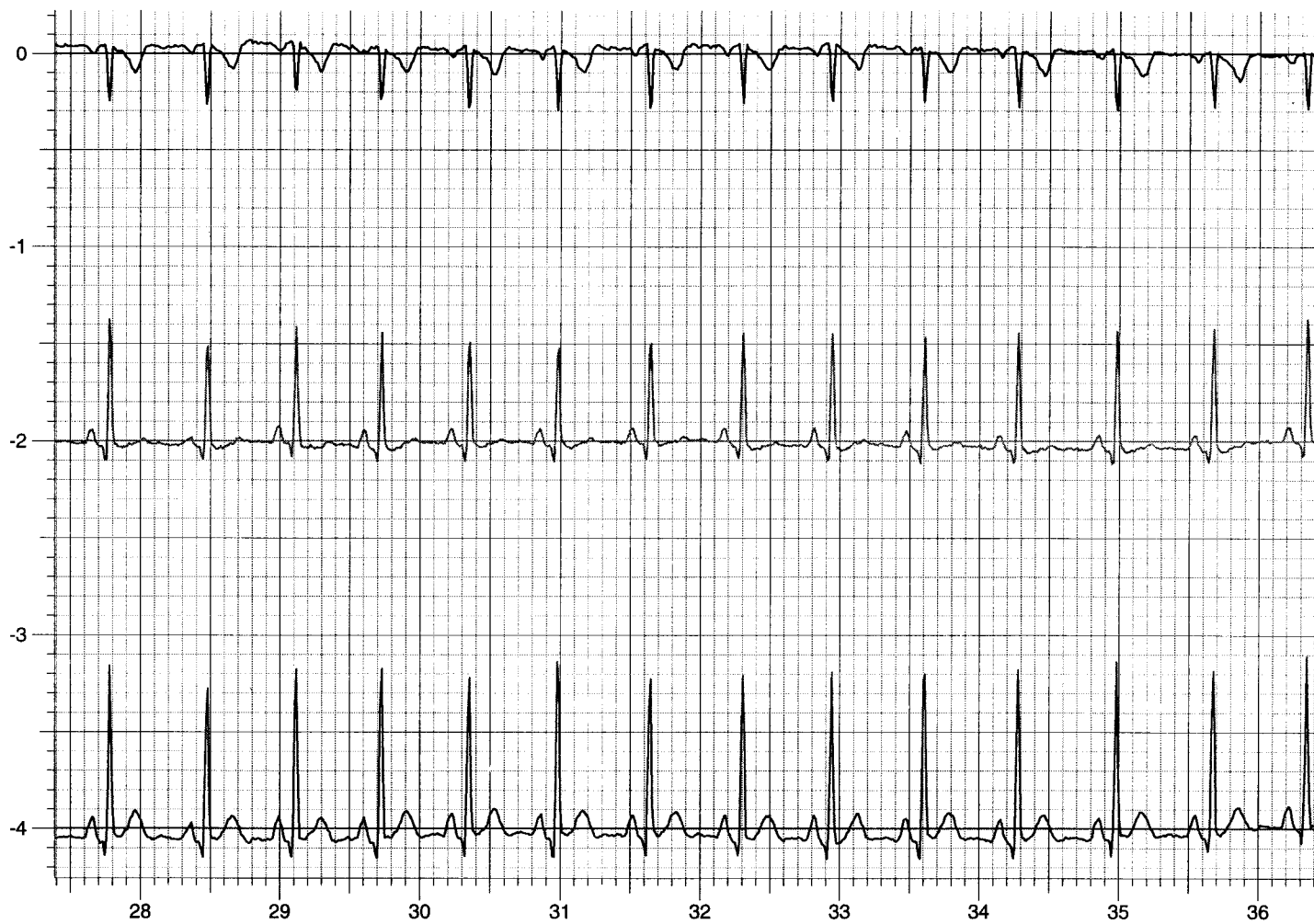
<u>Wertepaare</u>	U_1	U_2
	0,002	0,096
	0,089	0,195
	0,256	0,443
	0,114	0,456
	0,003	0,063

13.12.04
brill

Thema 5
Michel



$\frac{U_{B11}}{mV}$



t/s

E 22 RC-Glied

① Grundlagen

Wechselspannungen u. Wechselströme lassen sich mathematisch als harmonische Schwingungen darstellen:

$$U = \hat{U} \cdot \sin \omega t \quad I = \hat{I} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

\hat{U} = Spitzenwert Spannung \hat{I} = Spitzenwert Strom

Winkel φ stellt die Phasenverschiebung zw. Strom und Spannung dar
Kreisfrequenz ω : $\omega = 2\pi \cdot f$

Die Wärmemenge dQ in einem Leiter mit dem Widerstand R in einem Zeitelement dt :

$$dQ = I(t) \cdot U(t) \cdot dt = I^2(t) \cdot R \cdot dt$$

ist proportional zum Quadrat der elektrischen Stromstärke und damit unabhängig von deren Richtung. Über eine volle Periode T ergibt sich dann für die Wärmemenge Q :

$$Q = \int_0^T I^2(t) R \cdot dt$$

Entladestrom: $I = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

Spannung am Kondensator: $U = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

Zeitkonstante τ : $\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2}$

Wechselstromwiderstand: $\frac{Q}{I} = Z_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$

② Aufgabenstellung

Die Zeitkonstanten von RC-Gliedern sind zu bestimmen:

- aus der Entladung eines Kondensators
- aus dem Frequenzverhalten der RC-Glieder
- aus ihrem Impulsverhalten

③ Versuchsaufbau

- Stromversorgungsgerät HM 7042
- Vielfachmesser MetraMax 2
- Funktionsgenerator HM 8130
- Oszilloskop
- Stoppuhr
- Schalttafel mit RC-Glied
- Steckplatten
- Kondensatoren u. steckbarer Widerstand
- Verbindungsleitungen

④ Versuchsdurchführung

- Stromversorgungsgerät u. Spannungsmesser anschließen (10V)
- Schalter schließen \rightarrow Kondensator aufladen
- Schalter öffnen \rightarrow Entladung des Kondensators über den Widerstand
- mit der Stoppuhr 10x die Zeit messen, bei der die Spannung am Kondensator auf die Hälfte abgesunken ist
- zwei RC-Glieder sollen ausgemessen werden \rightarrow für das erste RC-Glied einen Kondensator verwenden, für das zweite eine Reihenschaltung der beiden Kondensatoren
- am Generator einstellen: $U_{ss} = 6V$ mit $f = 1kHz$
- mit dem Oszilloskop das Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangsspannung bestimmen
- am Generator eine Rechteck-Spannung wählen (f und Amplitude bleiben unverändert)
- mit dem Zeitmaßstab des Oszilloskops die Halbwertszeit des Entladevorgangs der RC-Glieder bestimmen
- möglichst großes Bild des Signals vermessen

⑤ Auswertung

Messung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zeit in s	8,09	8,18	8,16	8,28	8,28	8,22	8,03	8,28	8,13	8,00

Mittelwert t in s: 8,165

$$\text{Zeitkonstante} : \tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = \frac{8,165 \text{ s}}{\ln 2} = 11,78 \text{ s}$$

1 Kondensator

Eingangsspannung: $U_e = 5,2 \text{ V}$

Ausgangsspannung: $U_a = 3,1 \text{ V}$

Spannungsverhältnis: $\frac{U_a}{U_e} = 0,40 \text{ V}$

$$\begin{aligned} \text{Gleichung für } \tau &= \frac{1}{2\pi \cdot f} \cdot \frac{V}{\sqrt{1-V^2}} = \frac{1 \cdot \text{s}}{2\pi \cdot 1000} \cdot \frac{0,40 \text{ V}}{\sqrt{1-0,16}} \\ &= \underline{\underline{2,55 \cdot 10^{-5} \text{ s}}} \end{aligned}$$

Bestimmung der Zeitkonstante aus den Halbwertszeiten des Oszillographen

Halbwertszeit: $80 \mu\text{s}$

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 115 \mu\text{s}$$

2 Kondensatoren

Eingangsspannung: $U_e = 6,2 \text{ V}$

Ausgangsspannung: $U_a = 1,56 \text{ V}$

Spannungsverhältnis: $\frac{U_a}{U_e} = 0,25 \text{ V}$

$$\text{Gleichung für } \tau: \frac{1 \text{ s}}{2\pi \cdot 1000 \text{ s}} \cdot \frac{0,25 \text{ V}}{\sqrt{1 - 0,25}} = \underline{\underline{4,11 \cdot 10^{-5} \text{ s}}}$$

Bestimmung der Zeitkonstante aus den Halbwertszeiten des Oszillographen:

Halbwertszeit: $40 \mu\text{s}$

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 57,7 \mu\text{s}$$

⑦ Fehlerbetrachtung

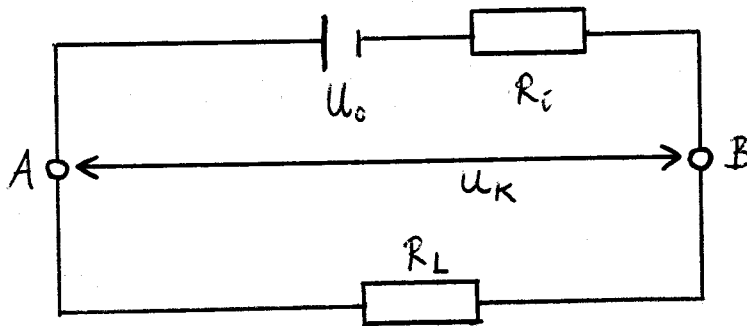
- Ungenauigkeit beim Ablesen der Werte

" " Stoppen der Zeit
der Meßgröße (ca. $\pm 0,1 \text{ V}$)

E 7 Innenwiderstand von Spannungsquellen

① Grundlagen

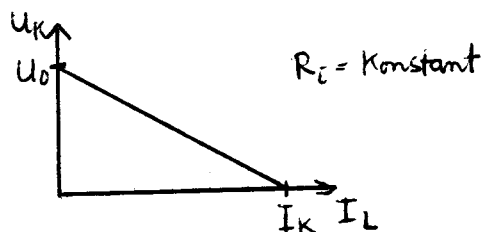
- Messung elektr. Spannungen \rightarrow nicht ohne Rückwirkungen auf Spang.
- Innenwiderstand R_i zw. Spannungsquelle U_0 (Urspannung) und Klemmen d. Messgerätes U_K
- Lastwiderstand R_L (innerer Widerstand d. Messgerätes)



- Maschensatz: $U_0 = I \cdot R_i + I \cdot R_L$
- Spannungsabfall am Lastwiderstand = Klemmspannung
 $U_K = I \cdot R_L$
- wenn Größenordnung d. Innenwiderstandes bekannt, dann
- Auswahl eines geeigneten Spannungsmessverfahrens bei dem $R_L \gg R_i$
- Urspannung U_0 wird fast unverfälscht gemessen
- Anschluß eines Verbrauchers: Spannung $\downarrow = U_K$

$$I = \frac{U_0}{R_L + R_i} \text{ Laststrom}$$

- $U_K \downarrow$ linear mit Strombelastung \rightarrow Strom-Spannungs-Kennlinie



- bei $R_L \downarrow$ $I \uparrow$ $U_K \downarrow$
- $R_L = 0$ $R_i = U_0 \rightarrow$ Kurzschluss \rightarrow maximal möglicher Stromfluss
= Kurzschlussstrom
- Verbraucher (R_L) soll Energie nutzen
- I fließt auch durch Spannungsquelle \rightarrow nimmt Teil d. Leistung a
 $P_L = U_K \cdot I$

- Wirkungsgrad η steigt mit wachsendem R_L zu R_i
- Leerlautnähe für Primär- u. Sekundärelemente wegen endlicher Kapazität in Ah (Ampèrestunden) angegeben
- $R_L = R_i$; P_L maximal : Leistungsanpassung

② Aufgabenstellung

- die Strom-Spannungs-Kennlinien verschiedener Gleichspannungsquellen sind aufzunehmen
- die Innenwiderstände dieser Spannungsquellen sind zu bestimmen

③ Versuchsaufbau

- 1 Trockenbatterie
- 1 Bleiakku
- 1 Solarzellenmodul
- 1 Schiebewiderstand 140Ω
- 1 Drehwiderstand 5Ω
- 4 Dekadenwiderstände $1/10/100/1000 \Omega$
- 2 Digitalmultimeter
- 1 Schalter
- Verbindungsleitungen

④ Versuchsdurchführung

- Leerlautspannungen U_0 messen für Bleiakku u. Trockenbatterie
- Strombegrenzung $3 A$ für Bleiakku, Trockenbatterie $200 mA$
→ R_L berechnen
- für das Solarzellenmodul die 4 Dekadenwiderstände verwenden
- Widerstände einstellen → Ströme nicht überschreiten
- Aufbau der Versuchsschaltung (s. Script) zur Aufnahme d. I-U-Kennlinie
- Akku-Kennlinie: 10 Messpunkte zw. 0 u. $3 A$, $U_K + U_0$ messen
- Batterie - " = 10 " zw. 0 u. $200 mA$, $U_K + U_0$ messen
- Solarzellenmodul: Aufnahme der I-U-Kennlinie aufnehmen, Messung von 20 Punkten; I , U_K , R_L erfassen

⑤ Messwerte

Bleiakku 3 A

$$R_L = 6,54 \, \Omega \quad \left(\rightarrow R = \frac{U}{I} \right) \quad R = \frac{1,962 \text{ V}}{0,3 \text{ A}}$$

Trockenbatterie 200 mA

$$R_L = 74,2 \, \Omega \quad R = \frac{1,484 \text{ V}}{0,020 \text{ A}}$$

Solarzelle R_1 R_2 R_3 R_4

Bleiakku \rightarrow Drehwiderstand

Trockenbatt. \rightarrow Schieberwiderstand

AKKU ($U_0 = 1,962 \text{ V}$)

$I [\text{A}]$	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
U_K		1,903	1,897	1,881	1,863	1,844	1,822	1,807	1,795	1,781	

Batterie ($U_0 = 1,484 \text{ V}$)

$I [\text{mA}]$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
U_K		1,443	1,444	1,445	1,443	1,440	1,436	1,433	1,430	1,425	1,420

Solarzelle ($U_0 = 5,55 \text{ V}$)

$I [\text{mA}]$	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44
U_K	5,07	5,04	5,03	5,01	4,98	4,97	4,95	4,93	4,92	4,89	4,87
R_L	1300	623	414	312	247	205	175	152	135	121	109
I	48	52	56	60	64	68	72	76	80		
U_K	4,86	4,84	4,82	4,79	4,77	4,74	4,71	4,66	4,57		
R_L	100	91	84	78	73	68	64	60	55		

$$U_{K \max} = 99,8 \text{ mA}$$

⑥ Auswertung -

Bleiakku : $U_0 = 1,94 \text{ V}$

$$I_K = \frac{U_0}{R} = \frac{1,94 \text{ V}}{0,06} = \underline{\underline{32,3 \text{ A}}}$$

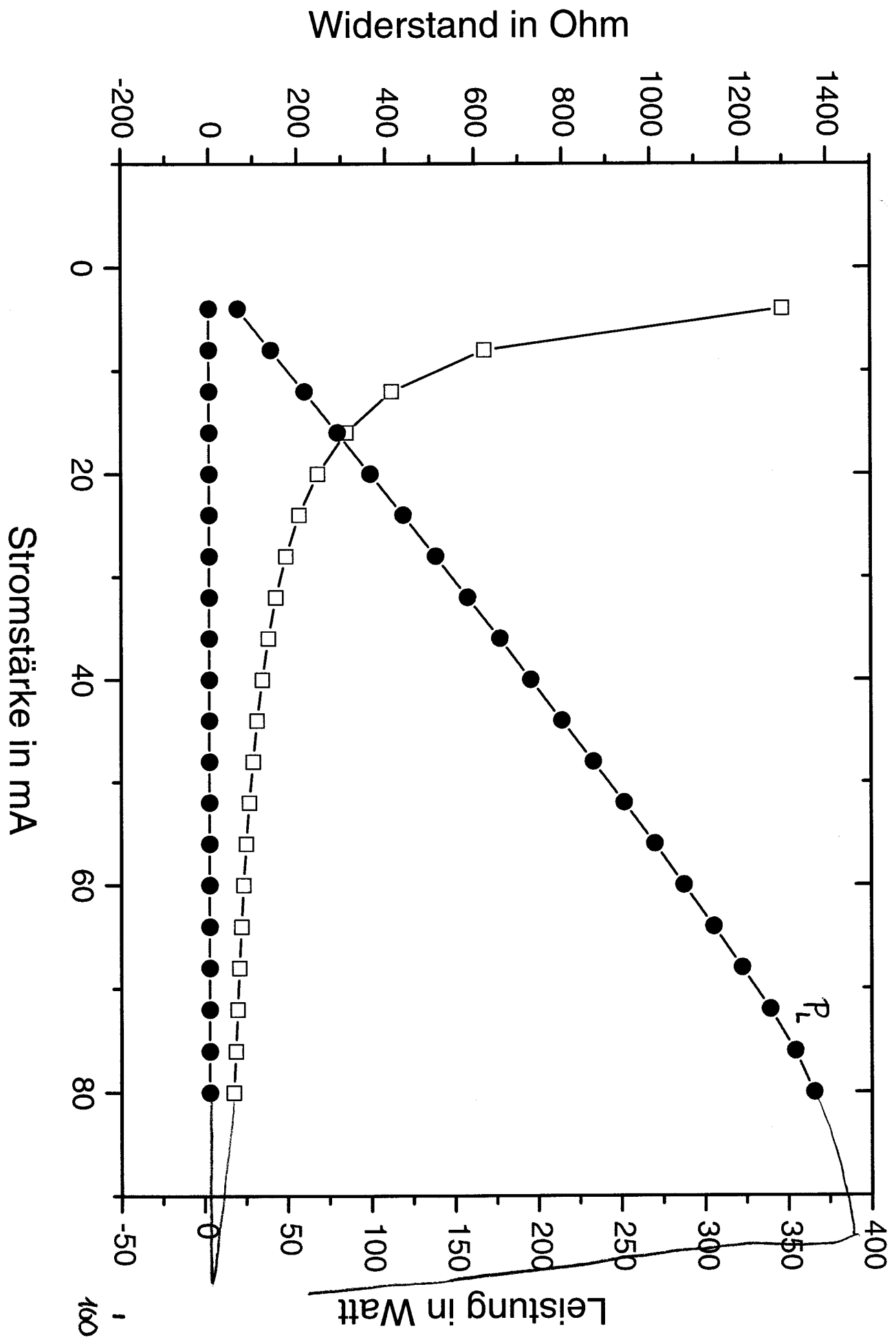
Trockenbatt. : $U_0 = 1,50 \text{ V}$

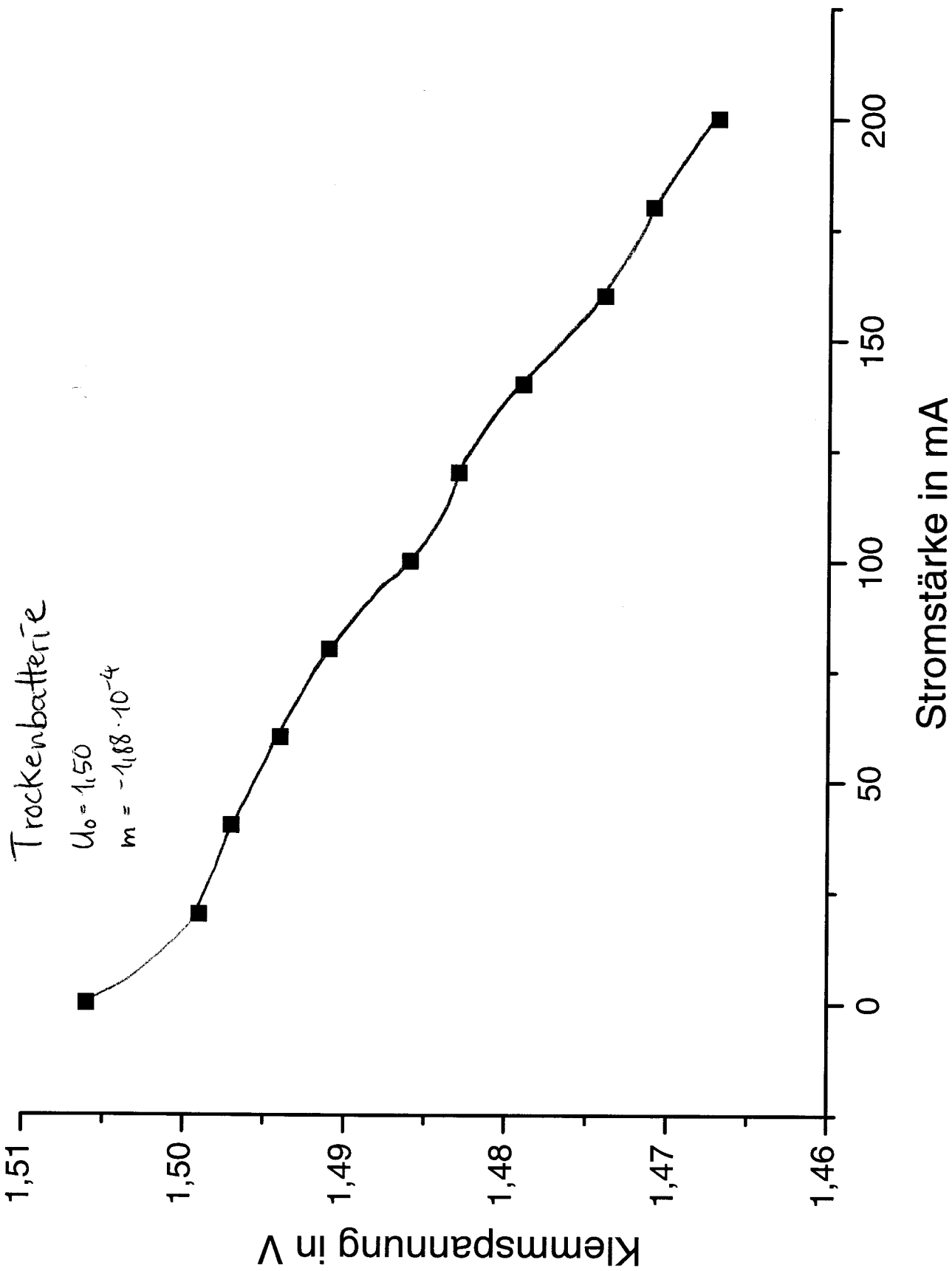
$$I_K = \frac{U_0}{R} = \frac{1,50 \text{ V}}{1,88 \cdot 10^{-4}} = \underline{\underline{7,98 \text{ A}}}$$

Fehlerbetrachtung:

- Beleuchtungsstärke d. Solarzellen variiert f
- Widerstände am Kabel und an Messgliedern/Verbrauchern \checkmark
- Entladung der Batterie während der Messung \checkmark
- Wärmeentwicklung der Widerstände f

b.1. Wechsel





Pb-AKKU

$U_0 = 1,94 \text{ V}$
 $m = -0,06 \text{ V}$

