

Laborbericht Physik TGE12/2 A

Titel: Entladung eines Kondensators

Bearbeiter: Dominik Eisele

Mitarbeiter:

Datum Versuchsdurchführung: 29.02.2016

Datum Abgabe: 23.03.2016

Ich erkläre an Eides statt, den vorliegenden Laborbericht selbst angefertigt zu haben. Alle fremden Quellen wurden in diesem Laborbericht benannt.

Aichwald, 16. März 2016 Dominik Eisele

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	2
1.1	Ziele	2
1.2	Formeln	2
2	Material und Methoden	3
2.1	Material	3
2.2	Aufbau	3
2.3	Durchführung	4
3	Messwerte	4
4	Auswertung	7
4.1	$I(t)$ -Diagramme	7
4.2	Ladung und Kapazität des Kondensators	12
4.2.1	Für Kondensatorspannung 5V	12
4.2.2	Für Kondensatorspannung 10V	12
4.2.3	Für Kondensatorspannung 15V	13
4.3	Bestimmung der Zeitkonstante τ	14
4.3.1	Für Kondensatorspannung 5V	14
4.3.2	Für Kondensatorspannung 10V	15
4.3.3	Für Kondensatorspannung 15V	16
4.4	Kapazität des Kondensators	18
4.5	Innenwiderstand des Multimeters	18
4.6	Fehlerdiskussion	20

1 Einführung

Bei dem Versuch zur Entladung eines Kondensators ergibt sich die Entladekurve eines Kondensators über einen Widerstand. Aus dieser Entladekurve lassen sich nun die Ladung und die Kapazität berechnen.

Zusätzlich wurde für den Widerstand, über den der Kondensator entladen wird, das Multimeter eingesetzt. So kann man den Innenwiderstand des Multimeters berechnen.

1.1 Ziele

- Aufnahme der Entladekurve eines Kondensators
- Bestimmung der Ladung eines Kondensators (aus der Entladekurve)
- Bestimmung der Kapazität eines Kondensators
- Bestimmung des Innenwiderstands eines Multimeters

1.2 Formeln

Strom/Ladung

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \text{ bzw. } I = \frac{dQ}{dt}; [I] = \text{A}$$

Kapazität

$$C = \frac{Q}{U}; [C] = \text{F}$$

Entladung eines Kondensators über einen Widerstand

$$Q(t) = Q_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$U(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$$

2 Material und Methoden

2.1 Material

Für den Versuch verwendete Materialien:

- 1 × Netzteil
- 1 × Digitalmultimeter
- 1 × Kondensator
- 1 × Widerstand 47 k Ω
- 1 × Steckbrett
- Leitungen

2.2 Aufbau

Die Schaltung, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist, wurde auf dem Steckbrett gesteckt. In der zweiten Messreihe wurde der Widerstand entfernt, sodass der Kondensator nur über den Innenwiderstand des Multimeters entladen wurde.

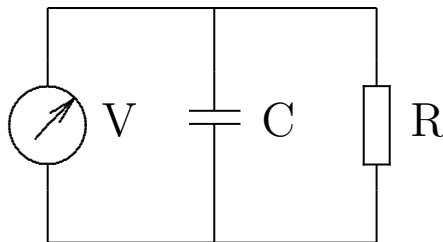


Abbildung 1: Skizze des Schaltplans

2.3 Durchführung

Nachdem die Schaltung wie beschrieben aufgebaut worden war, wurde der Kondensator für 30 s mit 5 V aufgeladen. Als der Kondensator vollständig geladen war, wurde das Netzteil ausgesteckt, sodass sich der Kondensator entladen konnte. Die Spannung die am Kondensator anlag wurde, während des Entladevorgangs, in 10 s Intervallen gemessen. Die Messungen wurden abgebrochen, nachdem 3 % der Ausgangsspannung anlagen, bzw. 5 min vergangen waren.

Diese Messung wurde mit 10 V und mit 15 V wiederholt. Zusätzlich wurde eine Messreihe durchgeführt, bei der der Widerstand entfernt wurde. Damit hat man die Möglichkeit den Innenwiderstand des Multimeters zu berechnen. Diese Messreihe wurde bei einer Ausgangsladung von 10 V durchgeführt. Diese Messung wurde mit 10 V und mit 15 V wiederholt. Zusätzlich wurde eine Messreihe durchgeführt, bei der der Widerstand entfernt wurde. Damit hat man die Möglichkeit den Innenwiderstand des Multimeters zu berechnen. Diese Messreihe wurde bei einer Ausgangsladung von 10 V durchgeführt.

3 Messwerte

In Tabelle 1 sind die Messwerte für die ersten drei Messreihen zu sehen. Hierbei handelt es sich um die Kondensatorentladungen über den Widerstand. In Tabelle 2 sind die Messwerte für die Entladung über den Innenwiderstand des Multimeters zu sehen.

t	5 V	10 V	15 V	t	5 V	10 V	15 V
0 s	5,00 V	10,0 V	15,00 V	160 s	0,200 V	0,380 V	0,580 V
10 s	4,00 V	8,17 V	12,16 V	170 s	0,200 V	0,310 V	0,480 V
20 s	3,20 V	6,54 V	9,850 V	180 s	0,140 V	0,260 V	0,400 V
30 s	2,70 V	5,30 V	7,990 V	190 s	0,120 V	0,210 V	0,330 V
40 s	2,15 V	4,34 V	6,540 V	200 s	0,100 V	0,180 V	0,270 V
50 s	1,60 V	3,53 V	5,320 V	210 s	0,090 V	0,150 V	0,230 V
60 s	1,40 V	2,86 V	4,320 V	220 s	0,073 V	0,130 V	0,190 V
70 s	1,20 V	2,35 V	3,510 V	230 s	0,060 V	0,100 V	0,164 V
80 s	1,00 V	1,89 V	2,860 V	240 s	0,053 V	0,088 V	0,138 V
90 s	0,80 V	1,54 V	2,330 V	250 s	0,045 V	0,077 V	0,115 V
100 s	0,70 V	1,27 V	1,900 V	260 s	0,040 V	0,060 V	0,100 V
110 s	0,50 V	1,04 V	1,560 V	270 s	0,035 V	0,055 V	0,085 V
120 s	0,40 V	0,84 V	1,280 V	280 s	0,032 V	0,049 V	0,073 V
130 s	0,40 V	0,70 V	1,050 V	290 s	0,027 V	0,040 V	0,063 V
140 s	0,30 V	0,57 V	0,860 V	300 s	0,025 V	0,037 V	0,055 V
150 s	0,30 V	0,47 V	0,710 V	310 s	0,023 V	0,033 V	0,045 V

Tabelle 1: Messreihen mit Widerstand

t	10 V
0 s	10,0 V
30 s	9,74 V
60 s	9,46 V
90 s	9,20 V
120 s	8,94 V
150 s	8,70 V
180 s	8,45 V
210 s	8,22 V
240 s	8,00 V
270 s	7,78 V
300 s	7,56 V

Tabelle 2: Messwerte ohne Widerstand

4 Auswertung

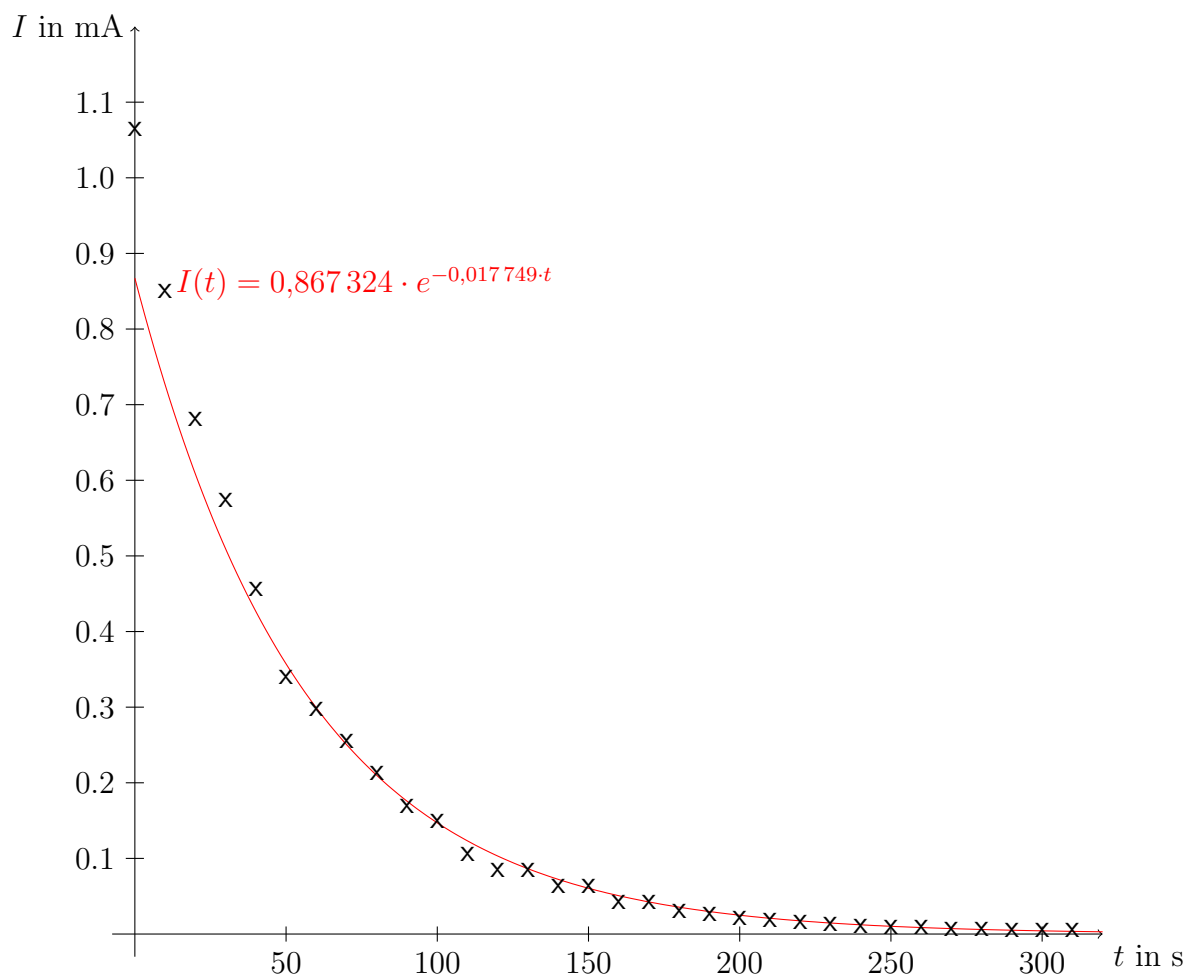
4.1 $I(t)$ -Diagramme

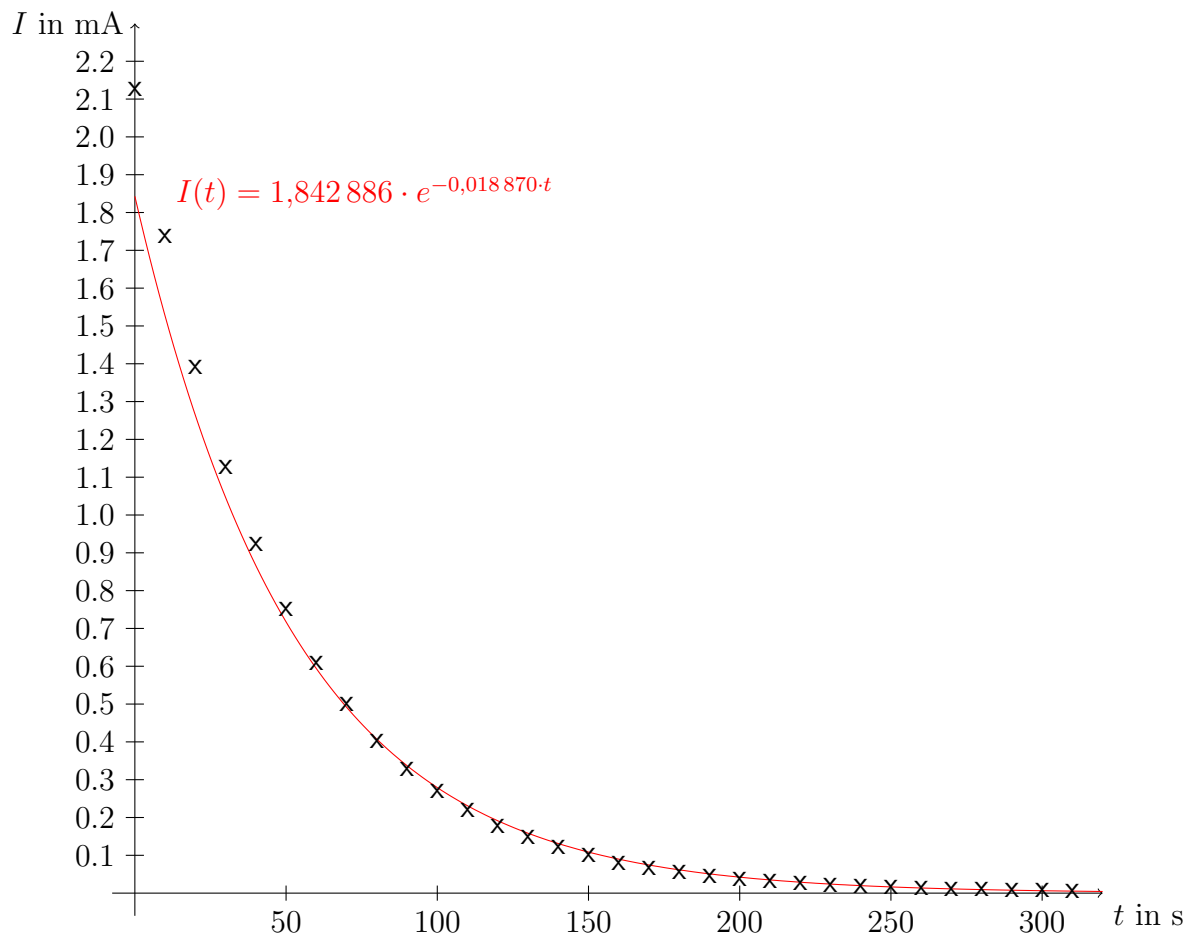
Für die $I(t)$ -Diagramme werden die Ströme mit der Formel $I = \frac{U}{R}$ berechnet.

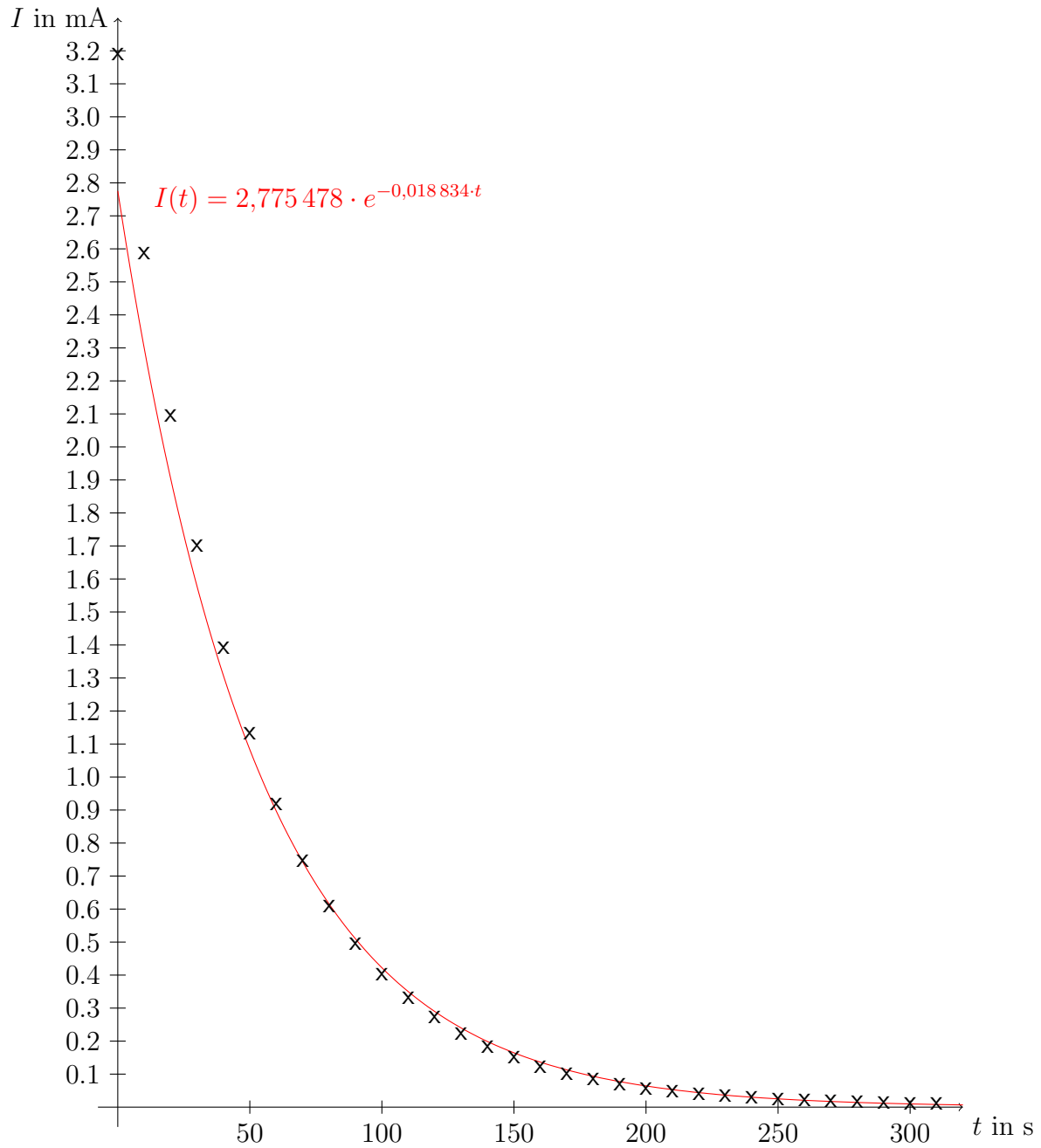
Die Ströme zum Zeitpunkt t sind in Tabelle 3 abgebildet. Anschließend folgen in Abbildung 2, 3 und 4 die $I(t)$ -Diagramme und die Gleichungen der Regressionskurven.

t	5 V	10 V	15 V	t	5 V	10 V	15 V
0 s	1,064 mA	2,128 mA	3,191 mA	160 s	0,043 mA	0,081 mA	0,123 mA
10 s	0,851 mA	1,738 mA	2,587 mA	170 s	0,043 mA	0,066 mA	0,102 mA
20 s	0,681 mA	1,391 mA	2,096 mA	180 s	0,030 mA	0,055 mA	0,085 mA
30 s	0,574 mA	1,128 mA	1,700 mA	190 s	0,026 mA	0,045 mA	0,070 mA
40 s	0,457 mA	0,923 mA	1,391 mA	200 s	0,021 mA	0,038 mA	0,057 mA
50 s	0,340 mA	0,751 mA	1,132 mA	210 s	0,019 mA	0,032 mA	0,049 mA
60 s	0,298 mA	0,609 mA	0,919 mA	220 s	0,016 mA	0,028 mA	0,040 mA
70 s	0,255 mA	0,500 mA	0,747 mA	230 s	0,013 mA	0,021 mA	0,035 mA
80 s	0,213 mA	0,402 mA	0,609 mA	240 s	0,011 mA	0,019 mA	0,029 mA
90 s	0,170 mA	0,328 mA	0,496 mA	250 s	0,010 mA	0,016 mA	0,024 mA
100 s	0,149 mA	0,270 mA	0,404 mA	260 s	0,009 mA	0,013 mA	0,021 mA
110 s	0,106 mA	0,221 mA	0,332 mA	270 s	0,007 mA	0,012 mA	0,018 mA
120 s	0,085 mA	0,179 mA	0,272 mA	280 s	0,007 mA	0,010 mA	0,016 mA
130 s	0,085 mA	0,149 mA	0,223 mA	290 s	0,006 mA	0,009 mA	0,013 mA
140 s	0,064 mA	0,121 mA	0,183 mA	300 s	0,005 mA	0,008 mA	0,012 mA
150 s	0,064 mA	0,100 mA	0,151 mA	310 s	0,005 mA	0,007 mA	0,010 mA

Tabelle 3: $I(t)$

Abbildung 2: Diagramm: $I(t)$ bei Kondensatorspannung 5 V

Abbildung 3: Diagramm: $I(t)$ bei Kondensatorspannung 10 V

Abbildung 4: Diagramm: $I(t)$ bei Kondensatorspannung 15 V

4.2 Ladung und Kapazität des Kondensators

Die Ladung des Kondensators Q ergibt aus der Formel:

$$Q = \int_0^{\infty} I \, dt$$

Die Kapazität des Kondensators C ergibt aus der Formel:

$$C = \frac{Q}{U}$$

4.2.1 Für Kondensatorspannung 5V

Ladung:

$$Q = \int_0^{\infty} 0,000\,867\,324 \cdot e^{-0,017\,749 \cdot t} \, dt$$

$$Q \approx 0,048\,866\,1 \, \text{C}$$

Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{0,048\,866\,1 \, \text{C}}{5 \, \text{V}}$$

$$C \approx 0,009\,773 \, \text{F}$$

4.2.2 Für Kondensatorspannung 10V

Ladung:

$$Q = \int_0^{\infty} 0,000\,001\,843 \cdot e^{-0,018\,870 \cdot t} \, dt$$

$$Q \approx 0,009\,766\,2 \, \text{C}$$

Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{0,97662 \, \text{C}}{10 \, \text{V}}$$

$$C \approx 0,009\,766 \, \text{F}$$

4.2.3 Für Kondensatorspannung 15V

Ladung:

$$Q = \int_0^{\infty} 0,000\,002\,775 \cdot e^{-0,018\,834 \cdot t} dt$$

$$Q \approx 0,147\,365 \text{ C}$$

Kapazität:

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{0,147\,365 \text{ C}}{15 \text{ V}}$$

$$C \approx 0,09824 \text{ F}$$

4.3 Bestimmung der Zeitkonstante τ

4.3.1 Für Kondensatorspannung 5V

Zum Zeitpunkt τ ist die Ladung auf das 0,368-fache der Ursprungsladung abgesunken. Da die Spannungsabnahme den selben zeitlichen Verlauf wie die Ladungsabnahme hat, ist zum Zeitpunkt τ ist auch die Spannung auf das 0,368-fache der Ursprungsspannung abgesunken. Bei 5 V ist $U(\tau) = 5 \text{ V} \cdot 0,368 = 1,84 \text{ V}$. Diese Spannung muss man nun in die Funktionsgleichung der Regressionskurve einsetzen, und nach t auflösen.

$$1,84 \text{ V} = 4,081\,301 \cdot e^{-0,017\,779 \cdot t}$$

$$t = 44,8085$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$C = \frac{44,8085 \text{ s}}{4,7 \text{ k}\Omega}$$

$$C \approx 0,009\,532 \text{ F}$$

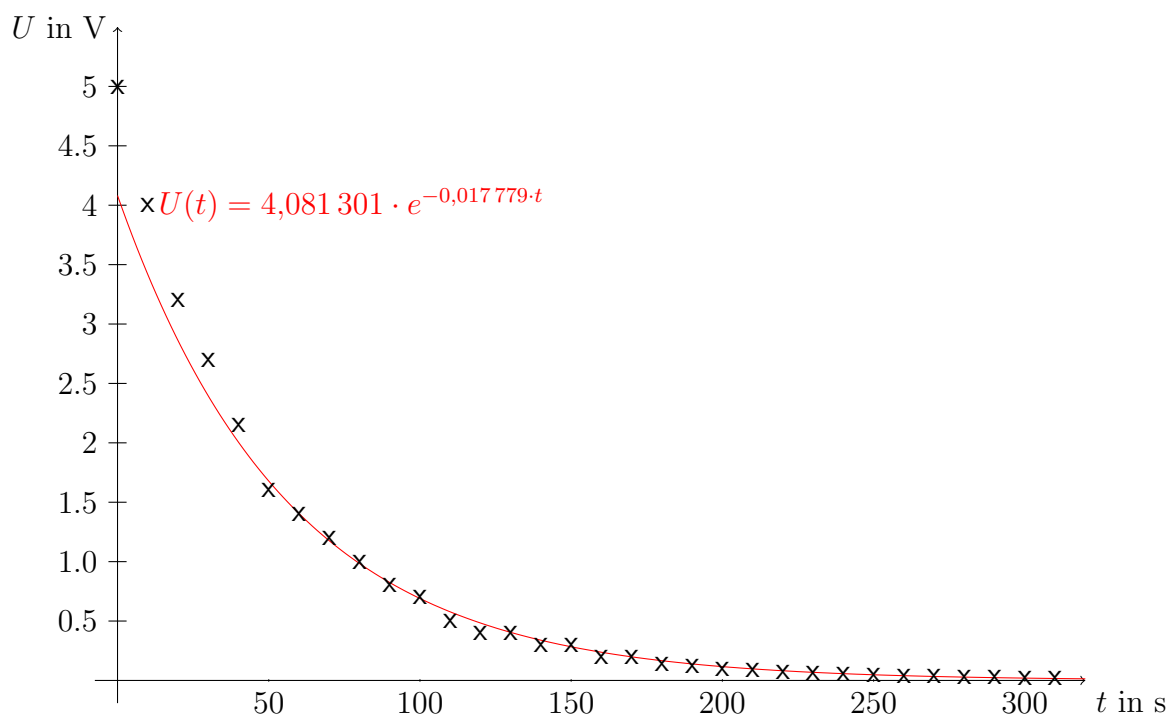


Abbildung 5: Diagramm: $U(t)$ bei Kondensatorspannung 5 V

4.3.2 Für Kondensatorspannung 10V

Das Verfahren zur Bestimmung der Zeitkonstante τ und der Kapazität des Kondensators C ist bei den beiden anderen Messreihen dasselbe, wie es auch schon bei der ersten Messreihe angewandt wurde.

$$U(\tau) = 10 \text{ V} \cdot 0,368 = 3,68 \text{ V}$$

$$3,68 \text{ V} = 8,684\,022 \cdot e^{-0,018\,899 \cdot t}$$

$$t = 45,4295 = \tau$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$C = \frac{45,4295 \text{ s}}{4,7 \text{ k}\Omega}$$

$$C \approx 0,009\,666 \text{ F}$$

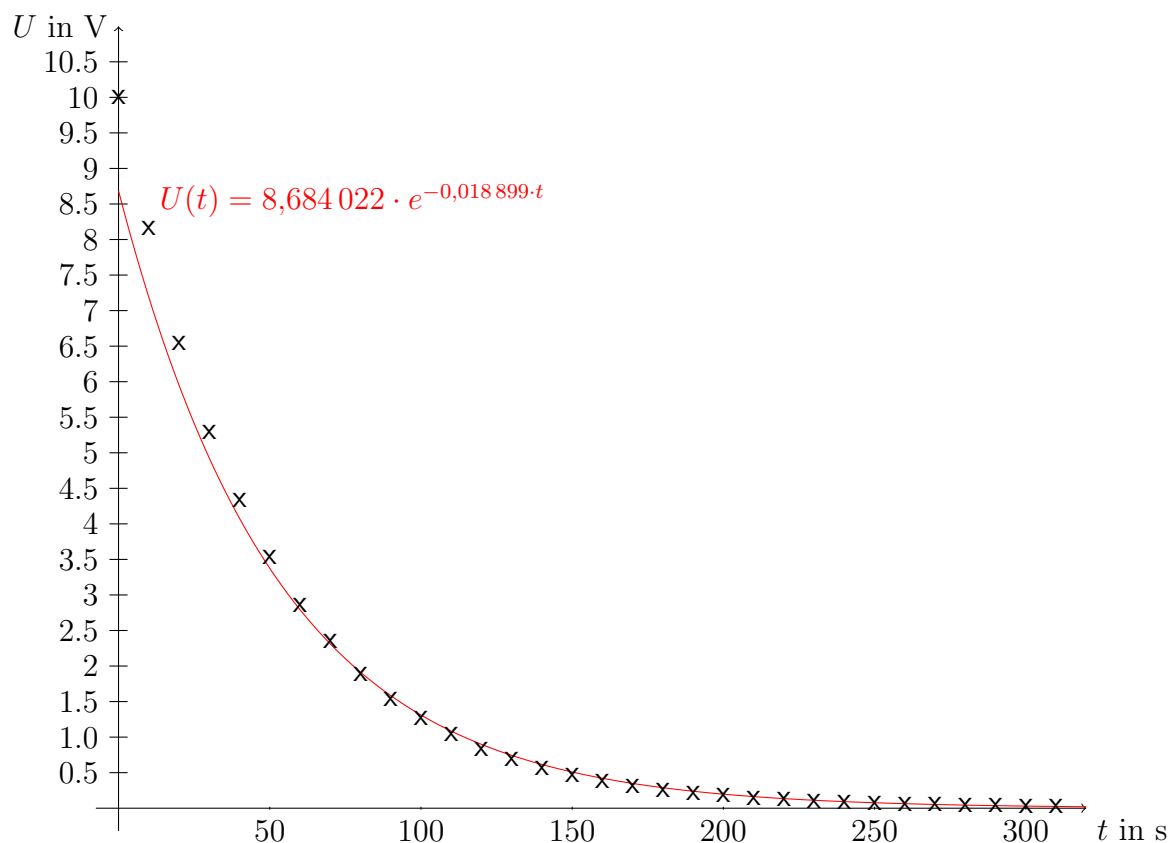


Abbildung 6: Diagramm: $U(t)$ bei Kondensatorspannung 10 V

4.3.3 Für Kondensatorspannung 15V

$$U(\tau) = 15 \text{ V} \cdot 0,368 = 5,52 \text{ V}$$

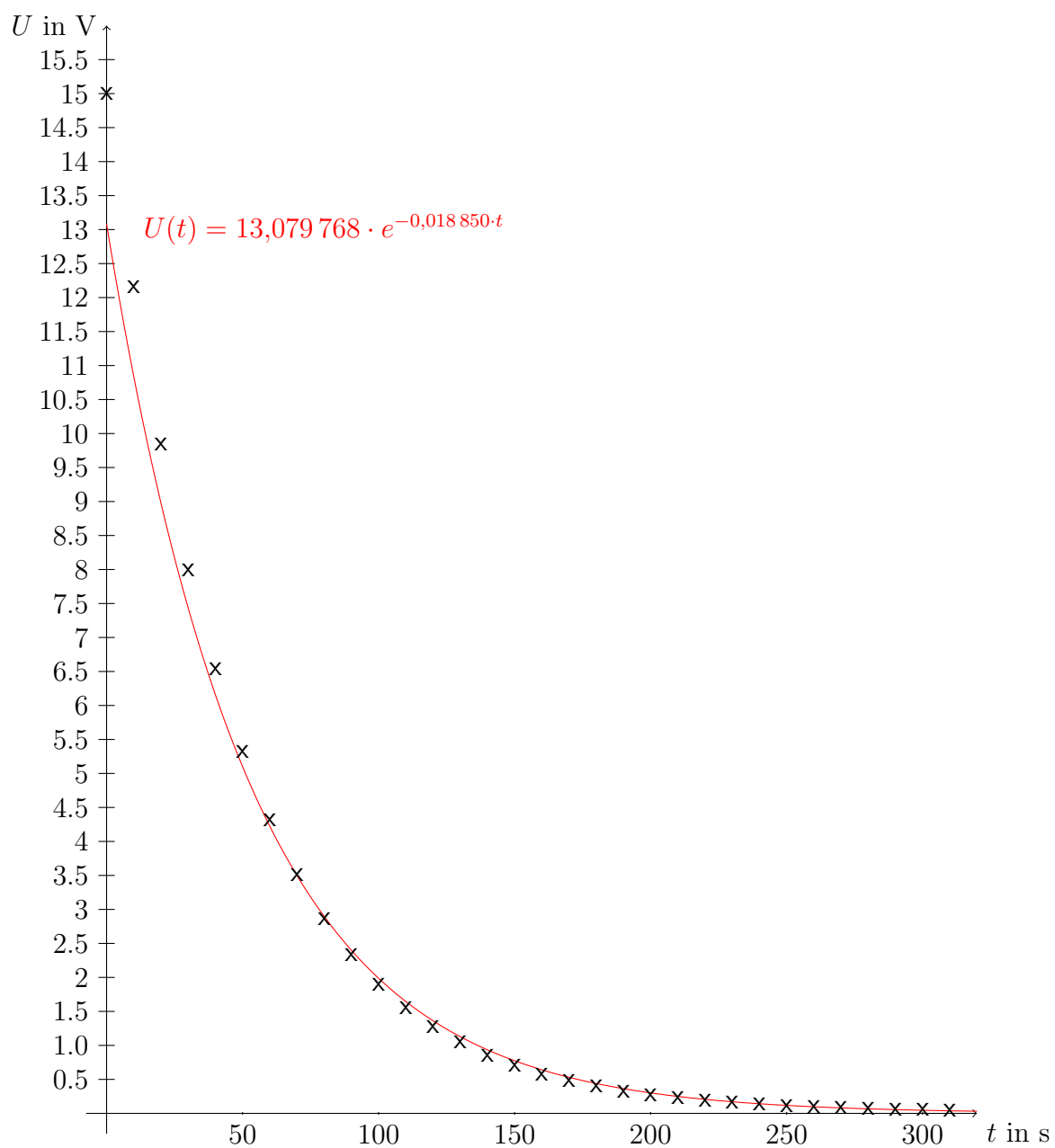
$$5,52 \text{ V} = 13,079\,768 \cdot e^{-0,018\,850 \cdot t}$$

$$t = 45,766 = \tau$$

$$C = \frac{\tau}{R}$$

$$C = \frac{45,766 \text{ s}}{4,7 \text{ k}\Omega}$$

$$C \approx 0,009\,737 \text{ F}$$

Abbildung 7: Diagramm: $U(t)$ bei Kondensatorspannung 15 V

4.4 Kapazität des Kondensators

Mittelwert der sechs Kapazitäten:

$$\frac{0,009\,773\,\text{F} + 0,009\,766\,\text{F} + 0,009\,824\,\text{F} + 0,009\,532\,\text{F} + 0,009\,666\,\text{F} + 0,009\,737\,\text{F}}{6}$$

$$= 0,009\,716\,\text{F}$$

Die Standardabweichung wird mit der Formel $\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$ berechnet, und beträgt $\pm 0,0001$.

4.5 Innenwiderstand des Multimeters

Um den Innenwiderstand des Multimeters zu bestimmen wurde die Schaltung umgebaut. Der Widerstand wurde entfernt, sodass sich der Kondensator ausschließlich über den Innenwiderstand des Multimeters entlädt. Wenn man nun die Zeitkonstante τ , durch exponentielle Regression der $U(t)$ -Kurve, bestimmt, kann man sich den Widerstand, in diesem Fall der Innenwiderstand des Multimeters, über den der Kondensator entladen wurde, berechnen. Dies geschieht indem man die Zeitkonstante τ durch die Kapazität teilt, da $\tau = RC$.

$$U(\tau) = 10\,\text{V} \cdot 0,368 = 3,68\,\text{V}$$

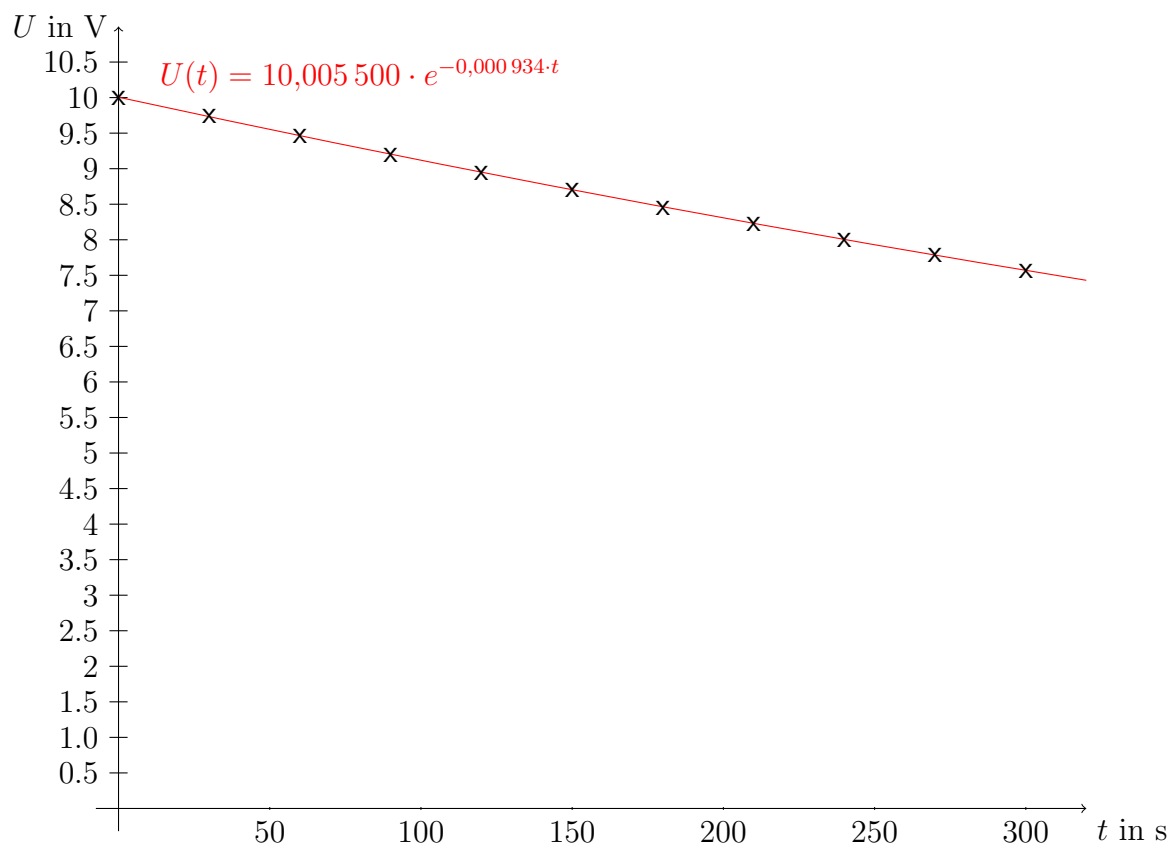
$$3,68\,\text{V} = 10,005\,500\,0 \cdot e^{-0,000\,934 \cdot t}$$

$$t = 1070,9 = \tau$$

$$R = \frac{\tau}{C}$$

$$R = \frac{1070,9}{0,009\,716\,\text{F}}$$

$$R \approx 110\,220,2552\,\Omega$$

Abbildung 8: Diagramm: $U(t)$ bei Entladung über Innenwiderstand

4.6 Fehlerdiskussion

Fehlerursache	Beschreibung
Experimentieranordnung	Die Widerstände des Messgeräts und der Leitungen wurden vernachlässigt
Messgerät	Das Messgerät besitzt eine Messtoleranz
Menschlicher Fehler	Zeitlich ungenaues Ablesen des Messgeräts, durch schnelle Veränderung des Messwerts ist genaues ablesen nicht möglich
Stromquelle	Durch simplen Regler ist die Spannung nur ungenau einstellbar, Schwankungen der Netzspannung verfälschen die Aufladung

Abbildung 9: Fehlerquellen