

Anfängerpraktikum V500

Der Photo-Effekt

Helena Nawrath
helena.nawrath@tu-dortmund.de

Carl Arne Thomann
arnethomann@me.com

Durchführung: 21. April 2015

Abgabe: 28. April 2015

TU Dortmund – Fakultät Physik

Ziel

1 Theorie

2 Durchführung

3 Auswertung

Mit der in Kapitel 2 Apparat werden für fünf verschiedenen Kondensatorspannungen U jeweils fünf verschiedene Tröpfchen untersucht. Gemessen werden die Steig- und Fallzeiten t_{auf} und t_{ab} der Tröpfchen bei eingeschaltetem elektrischen Feld, sowie die Fallzeiten t_0 , wenn keine Kondensatorspannung anliegt. Aufgetragen sind die Messwerte in den Tabellen 1 bis ???. Die Temperatur innerhalb der Ölkammer, gemessen über einen Thermistorwiderstand, ist der Tabellenunterschrift beigelegt. Sie ändert sich im Laufe des Versuches nur sehr geringfügig.

Tröpfchen	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_{ab} / s
1	46,72	13,76
	45,20	15,41
	42,66	13,66
2	4,32	3,52
	8,60	7,09
	8,78	4,06
3	6,83	5,16
	7,15	5,56
	7,00	5,69
4	12,53	7,95
	13,75	7,53
	12,16	7,29
5	31,50	13,83
	28,87	11,64
	22,32	10,89

Tabelle 1: $U = 200 \text{ V}, T = 300,15 \text{ K}$.

Tröpfchen	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_{ab} / s
6	12,18	8,26
	13,84	9,01
	12,43	8,63
7	9,69	6,16
	7,29	6,41
	7,72	6,73
8	9,09	7,56
	9,32	8,26
	9,20	8,23
9	8,76	6,36
	9,09	5,52
	8,33	6,00
10	11,81	9,29
	12,03	7,00
	11,72	8,75

Tabelle 2: $U = 225 \text{ V}, T = 301,15 \text{ K}$.

In Tabelle ??? sind die nach THEORIE berechneten Fallzeiten und deren Fehler aufgelistet. In der weiteren Auswertung werden nur die Tröpfchen berücksichtigt, für die die Gleichung

$$2v_0 \approx v_{\text{ab}} - v_{\text{auf}} \quad (1)$$

Tröpfchen	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_{ab} / s
11	9,36	9,07
	9,66	6,20
	9,52	7,20
12	12,52	9,26
	11,84	9,10
	12,13	9,30
13	6,06	5,64
	7,28	5,60
	6,90	5,83
14	36,47	12,03
	36,76	14,33
	36,60	16,72
15	12,96	9,03
	13,32	7,32
	14,61	8,91

Tabelle 3: $U = 250 \text{ V}, T = 301,15 \text{ K}$.

Tröpfchen	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_{ab} / s
16	12,30	11,10
	14,90	10,86
	13,49	10,33
17	8,30	5,90
	8,41	6,12
	8,58	5,96
18	12,35	7,30
	11,76	6,87
	12,00	9,63
19	17,62	13,66
	13,18	10,66
	16,84	13,07
20	1,90	1,60
	2,10	1,55
	2,24	2,07

Tabelle 4: $U = 275 \text{ V}, T = 301,15 \text{ K}$.

erfüllt ist. Ist dies nicht der Fall, so haben die Tröpfchen während der Messung ihre Ladung geändert. Dadurch sind sie zur Bestimmung der Elementarladung unbrauchbar. Nach THEORIE UND THEORIE werden Radien r und Ladungen q der Tröpfchen, sowie deren Fehler bestimmt. η entspricht der Viskosität der Luft. Diese ist von der Temperatur abhängig und ändert sich ebenfalls kaum. Gemäß der Geradengleichung

$$\eta_L = 47.0580 \cdot 10^{-19} \frac{\text{Ns}}{\text{Km}^2} \quad (2)$$

wird η_L bestimmt. Dies ist möglich, da die Temperaturänderungen sich in einem Bereich bewegen, in dem die Viskosität linear beschrieben werden kann.

Tröpfchen	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_{ab} / s
21	7,00	6,03
	7,14	6,31
	7,45	5,89
22	9,66	4,09
	8,26	4,46
	8,73	4,14
23	4,30	3,83
	4,45	4,75
	4,56	4,33
24	10,73	4,98
	6,51	6,31
	7,15	5,03
25	9,25	5,01
	8,36	3,97
	8,78	4,14

Tabelle 5: $U = 300 \text{ V}, T = 301,15 \text{ K}$.

Tröpfchen	U / V	$v_{\text{auf}} / \frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$\Delta v_{\text{auf}} / \frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$v_{\text{ab}} / \frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$\Delta v_{\text{ab}} / \frac{\text{mm}}{\text{s}}$	$v_0 / \frac{\text{mm}}{\text{s}}$
1	200	0,0111	0,0003	0,035	0,001	0,013
2	200	0,07	0,02	0,11	0,02	0,009
3	200	0,0715	0,001	0,091	0,003	0,009
4	200	0,039	0,001	0,065	0,002	0,014
5	200	0,018	0,002	0,041	0,003	0,010
6	225	0,0394	0,002	0,057	0,001	0,008
7	225	0,061	0,005	0,077	0,002	0,009
8	225	0,0543	0,0004	0,062	0,002	0,007
9	225	0,0573	0,001	0,084	0,003	0,008
10	225	0,0421	0,0003	0,060	0,005	0,008
11	250	0,0525	0,0005	0,068	0,007	0,008
12	250	0,0411	0,0007	0,0542	0,0004	0,008
13	250	0,074	0,004	0,087	0,001	0,010
14	250	0,013 655	0,000 03	0,035	0,003	0,010
15	250	0,036	0,001	0,059	0,004	0,008
16	275	0,037	0,002	0,046	0,001	0,010
17	275	0,0593	0,0006	0,0834	0,0009	0,023
18	275	0,0415	0,0006	0,064	0,006	0,010
19	275	0,032	0,003	0,040	0,003	0,008
20	275	0,24	0,01	0,29	0,03	0,014
21	300	0,069	0,001	0,082	0,002	0,010
22	300	0,056	0,003	0,118	0,003	0,012
23	300	0,112	0,002	0,117	0,007	0,011
24	300	0,064	0,009	0,093	0,007	0,009
25	300	0,056	0,002	0,115	0,008	0,010

Tabelle 6

Tröpfchen	$\eta / 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$	$r \pm \Delta r / 10^{-7} \text{m}$	$q \pm \Delta q / 10^{-19} \text{C}$	$\eta_C \pm \Delta \eta_C / 10^{-5} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$	$q_C \pm \Delta q_C / 10^{-19} \text{C}$	$\Delta_{rel} q_C / \%$
1	1,8568	4,8 \pm 0,1	1,0 \pm 0,1	1,584 \pm 0,007	1,3 \pm 0,2	15,4
2	1,8568	6 \pm 2	5 \pm 5	1,63 \pm 0,08	6 \pm 6	100,0
3	1,8568	4,4 \pm 0,3	3,4 \pm 0,6	1,56 \pm 0,02	4,4 \pm 0,8	18,2
4	1,8568	5,1 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2	1,597 \pm 0,009	3,2 \pm 0,3	9,4
5	1,8568	4,7 \pm 0,4	1,3 \pm 0,3	1,58 \pm 0,02	1,7 \pm 0,4	23,5
6	1,8615	4,3 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	1,56 \pm 0,01	2,3 \pm 0,3	13,0
7	1,8615	3,9 \pm 0,7	2,3 \pm 0,7	1,54 \pm 0,05	3,1 \pm 0,9	29,0
8	1,8615	2,8 \pm 0,3	1,4 \pm 0,4	1,44 \pm 0,04	2,0 \pm 0,5	25,0
9	1,8615	5,1 \pm 0,4	3,0 \pm 0,6	1,69 \pm 0,02	3,8 \pm 0,7	18,4
10	1,8615	4,2 \pm 0,6	1,8 \pm 0,7	1,56 \pm 0,04	2 \pm 1	50,0
11	1,8615	3,9 \pm 0,9	2 \pm 1	1,54 \pm 0,06	2 \pm 1	50,0
12	1,8615	3,6 \pm 0,1	1,28 \pm 0,07	1,510 \pm 0,008	1,76 \pm 0,09	5,1
13	1,8615	3,6 \pm 0,6	2,2 \pm 0,6	1,51 \pm 0,05	3,0 \pm 0,8	26,7
14	1,8615	4,6 \pm 0,4	0,9 \pm 0,2	1,58 \pm 0,02	1,1 \pm 0,3	27,3
15	1,8615	4,7 \pm 0,4	1,7 \pm 0,5	1,58 \pm 0,02	2,2 \pm 0,6	27,8
16	1,8615	3,0 \pm 0,4	0,9 \pm 0,2	1,46 \pm 0,04	1,2 \pm 0,3	25,0
17	1,8615	4,8 \pm 0,1	2,4 \pm 0,1	1,589 \pm 0,005	3,0 \pm 0,2	6,7
18	1,8615	4,7 \pm 0,7	1,7 \pm 0,7	1,58 \pm 0,03	2,2 \pm 0,9	40,9
19	1,8615	2,9 \pm 0,7	0,7 \pm 0,4	1,45 \pm 0,08	1,0 \pm 0,6	60,0
20	1,8615	7 \pm 2	12 \pm 8	1,66 \pm 0,05	15 \pm 10	66,7
21	1,8615	3,5 \pm 0,3	1,7 \pm 0,3	1,51 \pm 0,02	2,3 \pm 0,4	17,4
22	1,8615	7,7 \pm 0,3	4,3 \pm 0,4	1,682 \pm 0,005	5,0 \pm 0,4	8,0
23	1,8615	2,0 \pm 2,0	1 \pm 3	1,3 \pm 0,3	2 \pm 5	250,0
24	1,8615	5 \pm 1	3 \pm 1	1,61 \pm 0,04	3 \pm 1	33,3
25	1,8615	7,5 \pm 0,5	4,1 \pm 0,9	1,68 \pm 0,01	5 \pm 1	20,0

Tabelle 7: Ergebnisse der Berechnung zur Bestimmung der Ladung eines Öltröpfchens.

Durch das Zerstäuben der Öltröpfchen ist deren Durchmesser so gering, dass er sich in ähnlichen Größenordnungen bewegt wie die mittlere freie Weglänge der Moleküle, welche sich in der Luft befinden. Die Stokesche Reibung wird hier ungenau und muss durch eine Korrektur behoben werden. Diese wurde 1910 vom Mathematiker Ebenezer Cunningham abgeleitet. Diese Cunningham-Korrektur fließt in die Berechnung der Ladung mit ein, deswegen wird erneut die Ladung q_C und Fehler dieser mit Korrekturfaktor bestimmt. Messbedingt treten teilweise sehr große Fehler auf, wie in Tabelle ?? zu sehen. Deswegen werden alle Werte mit einem relativen Fehler, welcher größer als 20% ist.

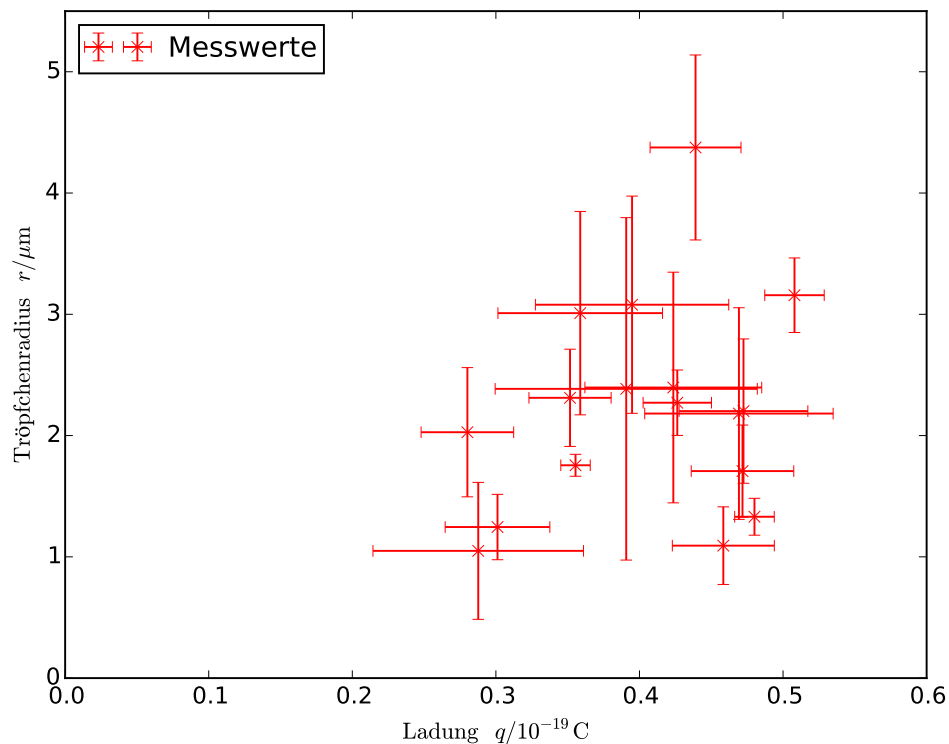


Abbildung 1: Unterschrift

Nun wird die berechnete Ladung der Tröpfchen gegen ihren Radius aufgetragen. Auffällig ist erneut die Größe einiger absoluter Fehler. Tropfen größeren Radiuses tragen etwas mehr Ladung als Tröpfchen mit kleinem Radius. Zur Messung wurden hauptsächlich Tröpfchen mit ähnlichen Eigenschaften, d.h. geringem Radius und wenig Ladung – also auch geringere Geschwindigkeit – betrachtet.

Gemäß der Annahme, dass Ladung quantisiert ist, müssen die Öltropfen immer genau die Elementarladung oder ein Vielfaches derer tragen. Zur Bestimmung der Elementarladung muss der größte gemeinsame Teiler der berechneten Ladungen gefunden werden. Dies ist schwierig, da die Größen fehlerbehaftet sind. Zur Auswertung wird ein Computer

herangezogen, der folgenden Algorithmus verwendet: Der gesuchte Wert für e_0 wird vom Computer erraten, falls ein in frage kommender eingegrenzter Bereich vorgegeben wird. Dies setzt voraus, dass die ungefähre Größenordnung der Elementarladung bekannt ist. Es wird berechnet um welchen Wert die gemessenen Ladungen von der geratenen Ladung bzw. deren Vielfachen abweichen. Die Abweichungen aller korrigierten Ladungen q_C werden aufsummiert und anschließend der Mittelwert gebildet. Daraus kann für jede geratene Ladung eine mittlere Abweichung der Messwerte bestimmt werden. Ist diese Abweichung minimal ist die Elementarladung gefunden. Die mittlere relative Abweichung des Ladungsvielfachen von der geratenen Ladung ist

$$\tilde{\Delta}q = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{q_i \left(\frac{q_i}{e_{geraten}} \right)^{-1}}{e_{geraten}} \right) \quad (3)$$

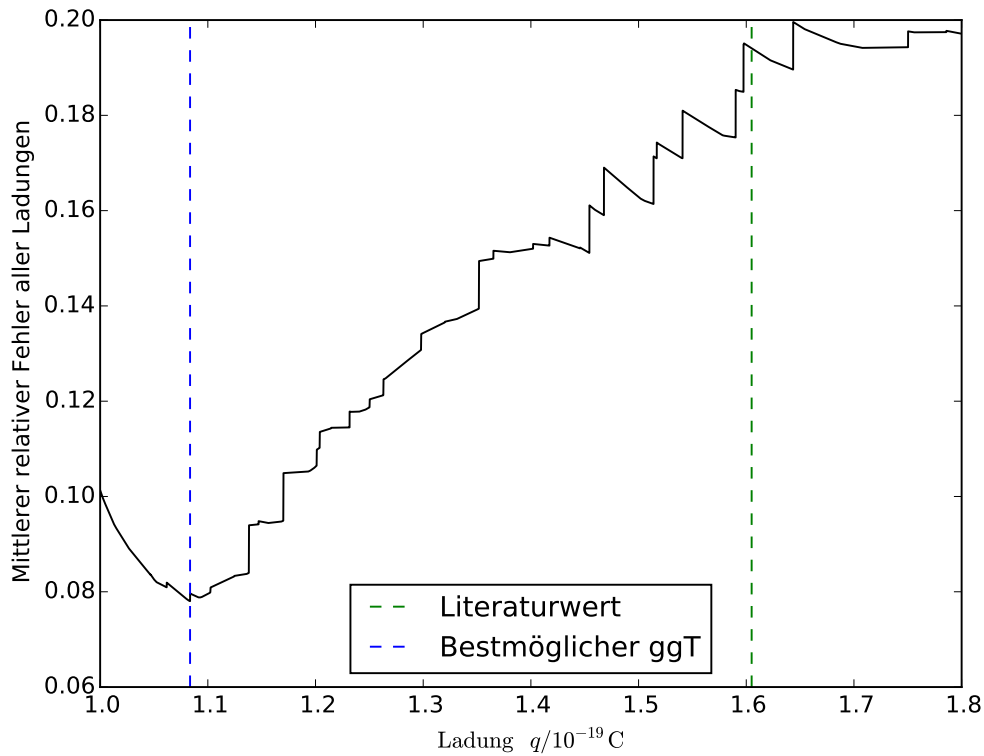


Abbildung 2: Unterschrift

Die Avogadrokonstante wird bestimmt über die vorherig berechnete Elementarladung und die als gegeben vorausgesetzte Faradaykonstante $F = 96485,337 \frac{\text{C}}{\text{mol}}$. Sie beschreibt

die Ladung eines Mols einfach geladener Ionen. Wird F durch die Ladung geteilt ergibt sich die Anzahl der Teilchen in einem Mol zu

$$N_A = \frac{F}{e_0} = 8,905 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}. \text{ Weicht stark ab (40,7 Prozent).}$$

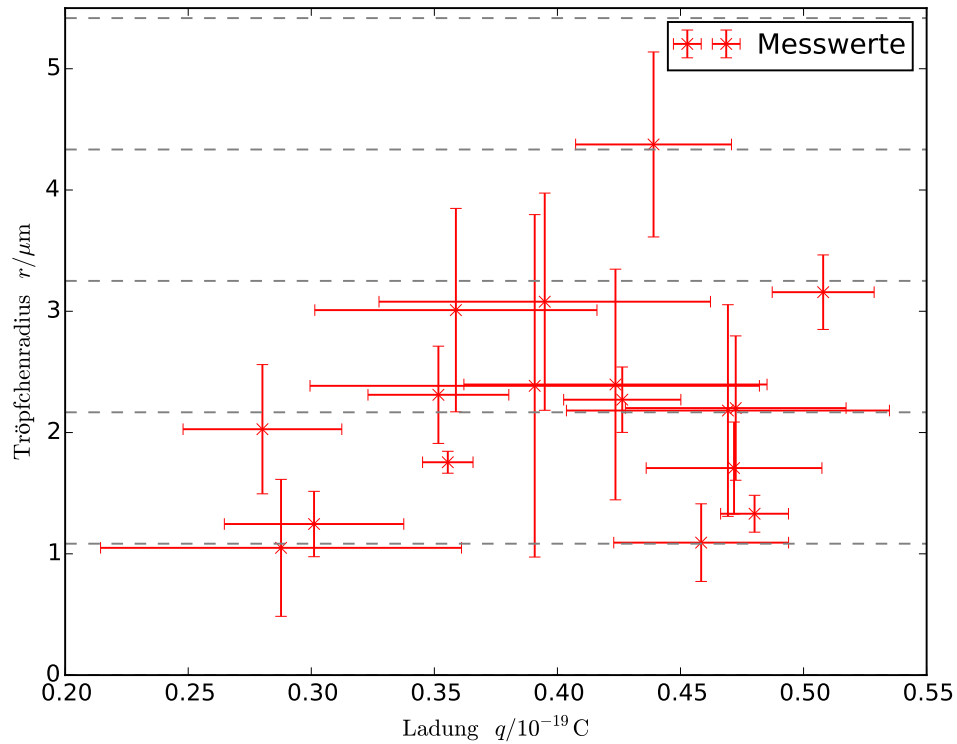


Abbildung 3: Unterschrift

4 Diskussion

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch V500: Der Photoeffekt*. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V500.pdf> (besucht am 20.04.2015).