

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Fehlerrechnung	4
4 Durchführung	5
5 Auswertung	6
6 Diskussion	14
7 Originaldaten	15
Literatur	17

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Elementarladung e_0 bestimmt werden. Mit dieser soll dann zusätzlich die Avogadrokonstante N_A berechnet werden.

2 Theorie

Bei der Bestimmung der Elementarladung e_0 nach der Methode von Millikan werden zerstäubte Öltröpfchen in einem elektrischen Feld eines Kondensators beobachtet. Während der Zerstäubung sammeln sich auf den Öltröpfchen durch Reibung ganzzahlige Vielfache von e_0 an. Ohne das elektrische Feld wirkt auf das Tröpfchen die Gravitationskraft $\vec{F}_g = m\vec{g}$. Dieser ist die Stokesche Reibungskraft $\vec{F}_R = -6\pi r\eta_L \vec{v}$, hervorgerufen durch die Viskosität η_L der Luft, entgegengerichtet. Im Gleichgewicht, also wenn die Tröpfchen nicht weiter beschleunigt werden, gilt dann:

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_{\text{Öl}} - \rho_L)g = 6\pi r\eta_L v_0. \quad (1)$$

Wenn das elektrische Feld am Kondensator anliegt, wirkt zusätzlich eine elektrostatische Kraft $\vec{F}_{\text{el}} = q\vec{E}$ auf das Öltröpfchen. Dies ist in Abbildung 1 zu sehen. Wenn die

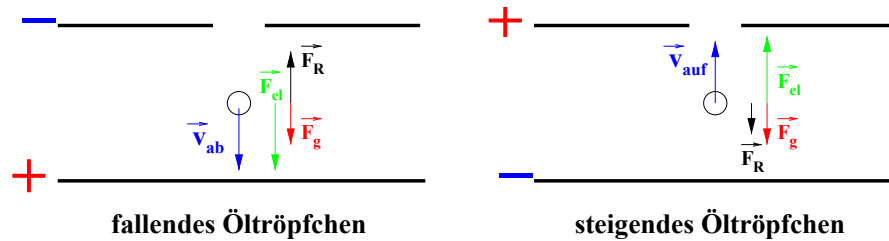


Abbildung 1: Kräfte auf ein sich im Gleichgewicht befindendes Öltröpfchen in einem Plattenkondensator[1, S. 2].

untere Kondensatorplatte positiv geladen ist, wirkt die elektrostatische Kraft in Richtung der Gravitationskraft. Das Öltröpfchen bewegt sich dann mit einer schnelleren Geschwindigkeit \vec{v}_{ab} nach unten als mit der Gleichgewichtsgeschwindigkeit \vec{v}_0 ohne das angelegte elektrische Feld. In diesem Fall gilt für die Kräfte:

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_{\text{Öl}} - \rho_L)g - 6\pi r\eta_L v_{\text{ab}} = -qE. \quad (2)$$

Wird die Spannung genau andersherum angeschlossen, so wirkt die elektrostatische Kraft entgegen der Schwerkraft. Dadurch kann das Öltröpfchen, wenn die elektrostatische Kraft ausreichend groß ist, sich mit der Geschwindigkeit \vec{v}_{auf} nach oben bewegen. Für die Kräfte gilt dann:

$$\frac{4\pi}{3}r^3(\rho_{\text{Öl}} + \rho_L)g + 6\pi r\eta_L v_{\text{auf}} = +qE. \quad (3)$$

Mit Hilfe der Gleichungen (2) und (3) lassen sich der Tröpfchenradius und die sich auf ihnen befindliche Ladung bestimmen:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta_L(v_{ab} - v_{auf})}{4g(\rho_{öl} - \rho_L)}} \quad (4)$$

$$q = 3\pi\eta_L \sqrt{\frac{9\eta_L(v_{ab} - v_{auf})}{4g(\rho_{öl} - \rho_L)}} \cdot \frac{(v_{ab} + v_{auf})}{E} \quad (5)$$

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde die Stokesche Reibung benutzt. Diese gilt allerdings nur, wenn die Abmessungen der Tröpfchen größer sind als die mittlere freie Weglänge \bar{l} in Luft. Da dies nicht gegeben ist, wird die Ladung später korrigiert, sodass sich

$$q = q_0 \left(1 + \frac{B}{pr}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (6)$$

ergibt, wobei $B = 82,3 \text{ Pa m}$ ist und p den Luftdruck angibt.

3 Fehlerrechnung

Im Folgenden werden alle Mittelwerte mit folgender Formel bestimmt:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (7)$$

Der zugehörige Fehler des Mittelwertes berechnet sich mit

$$\Delta\bar{x} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (8)$$

Werden fehlerbehaftete Größen in einer späteren Formel benutzt, so wird der neue Fehler mit Hilfe der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung angegeben:

$$\Delta f(x_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot (\Delta x_i)^2}. \quad (9)$$

Eventuelle Ausgleichsgeraden berechnen sich über

$$y = a \cdot x + b \quad (10a)$$

$$a = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad (10b)$$

$$b = \frac{\overline{x^2\bar{y}} - \bar{x}\overline{xy}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}. \quad (10c)$$

Die Regression sowohl von Ausgleichsgeraden als auch von anderen Polynomen, sowie die Bestimmung der zugehörigen Fehler, wird mit iPython 2.1.0 durchgeführt.

Fehler werden nach DIN auf eine geltende Ziffer gerundet. Sollte diese Zahl eine 1 sein, so wird, ebenfalls nach DIN, eine weitere Ziffer angegeben. Der zugehörige Wert wird mit der gleichen Anzahl an Nachkommastellen wie der Fehler angegeben. Ausnahmen sind Werte, bei denen der Fehler größer als der eigentliche Wert ist. In diesem Fall wird eine geltende Ziffer des Wertes angegeben. Im Falle einer 1 wird erneut auch die nächste Ziffer angegeben, der Fehler wird entsprechend gerundet.

4 Durchführung

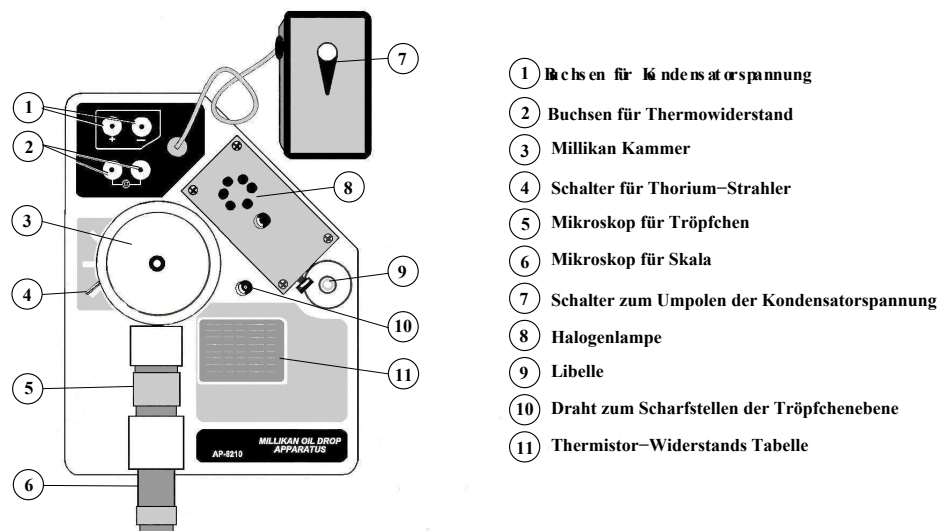


Abbildung 2: Apparatur zum Millikan-Öltröpfchenversuch[1, S. 4].

Bevor der Versuch begonnen werden kann, muss kontrolliert werden, ob die Apparatur waagerecht steht. Falls dies nicht der Fall ist, so müssen die höhenverstellbaren Füße entsprechend verstellt werden. Danach wird mit dem Mikroskop das Raster scharf gestellt. Die Spannung U am Kondensator wird über einen Regler eingestellt. Die nachfolgend beschriebene Messreihe wird für jeweils fünf verschiedene Kondensatorspannungen durchgeführt. Die Spannungen sollten dabei in einem Intervall von circa (150 – 250) V liegen.

Die Messung kann nun damit begonnen werden, dass das Öl in die Millikankammer gesprüht wird. Es wird ein Tröpfchen gewählt, das eine Geschwindigkeit zwischen $v = (0,01 - 0,001) 10^{-2} \text{ m/s}$ besitzt. Dann wird kurzzeitig das elektrische Feld angeschaltet, um zu überprüfen, ob das Tröpfchen elektrisch geladen ist. Falls dies nicht der Fall ist, kann der Thorium-Strahler, bei abgeschaltetem elektrischen Feld, kurz aktiviert werden. Dabei wird die umgebende Luft ionisiert und es lagern sich mehr Elementarladungen auf den Tröpfchen an. Der Thoriumstrahler wird danach wieder ausgeschaltet. Es wird die

Gleichgewichtsgeschwindigkeit v_0 bestimmt, indem die Zeit t_0 gemessen wird, die das Tröpfchen braucht, um eine Strecke s von $0,5 \cdot 10^{-3}$ m zurückzulegen. Dann wird das elektrische Feld angeschaltet und die Geschwindigkeit v_{ab} wird gemessen, indem erneut die Zeit t_{ab} gemessen wird, die das Tröpfchen nun für die Strecke s benötigt. Hat das Tröpfchen die Strecke zurückgelegt, so wird das elektrische Feld umgepolt, um die Zeit t_{auf} zu messen, die das Tröpfchen für den entgegengesetzten Weg braucht. Die Zeit t_0 wird für jedes Tröpfchen einmal gemessen, die anderen beiden Zeiten drei- bis viermal. Bei einer eingestellten Kondensatorspannung werden fünf verschiedene Tröpfchen auf die gleiche Weise ausgemessen.

Zusätzlich muss während der Messung die Temperatur T beobachtet werden. Dazu wird der Thermistorwiderstand an einem Multimeter abgelesen. Der Widerstand wird vor jeder Messreihe notiert. Anhand der auf der Apparatur aufgedruckten Tabelle lässt sich später jedem gemessenen Widerstand die entsprechende Temperatur zuordnen.

5 Auswertung

Die gemessenen Zeiten befinden sich in den Tabellen unter 1. Die Datentriplets, während die Spannung am Kondensator angelegt war, werden zudem gemittelt.

Aus diesen Zeiten lassen sich, mit $s = 0,5 \cdot 10^{-3}$ m, über

$$v = \frac{s}{t} \quad (11)$$

die entsprechenden Geschwindigkeiten v berechnen. Zudem wird überprüft, ob die Gleichung

$$2 \cdot v_0 = v_{ab} - v_{auf} \quad (12)$$

stimmt. Ist dies, innerhalb der Messgenauigkeit, nicht der Fall, so hat sich der Öltropfen während dem Messprozess verändert. Entsprechend werden im Folgenden nur Daten verwendet, für die

$$0.75 \leq \frac{2v_0}{v_{ab} - v_{auf}} \leq 1.25 \quad (13)$$

gilt. Die Daten befinden sich in Tabelle 2. Rot markierte Daten sind solche, die die Bedingung (13) nicht erfüllen und in der folgenden Auswertung nicht weiter beachtet werden.

Über Gleichung (5) bestimmen sich dann die jeweiligen Ladungen $q_{\text{unkorrigiert}}$. Aus

Tabelle 1: Gemessene Zeiten.

(a) $U = 250 \text{ V}$ $T = 25^\circ \text{C}$			(b) $U = 225 \text{ V}$ $T = 27^\circ \text{C}$		
t_0 / s	t_{ab} / s	$t_{\text{auf}} / \text{s}$	t_0 / s	t_{ab} / s	$t_{\text{auf}} / \text{s}$
16,29	5,34	16,87	23,18	5,93	10,63
	5,38	16,76		5,89	11,18
	5,10	16,70		5,69	11,03
\Rightarrow	$5,27 \pm 0,07$	$16,78 \pm 0,04$	\Rightarrow	$5,84 \pm 0,06$	$10,95 \pm 0,13$
14,78	3,10	5,92	31,15	6,26	11,77
	2,96	5,10		6,12	12,76
	3,35	6,24		5,80	11,90
\Rightarrow	$3,14 \pm 0,09$	$5,8 \pm 0,3$	\Rightarrow	$6,06 \pm 0,11$	$12,1 \pm 0,3$
47,94	3,03	3,50	14,44	3,64	5,50
	3,07	3,35		3,53	5,53
	3,09	3,36		3,44	5,53
\Rightarrow	$3,063 \pm 0,014$	$3,40 \pm 0,04$	\Rightarrow	$3,54 \pm 0,05$	$5,520 \pm 0,008$
13,61	4,18	9,44	29,32	3,41	4,16
	4,15	10,12		3,30	4,16
	4,20	9,95		3,24	4,21
\Rightarrow	$4,177 \pm 0,012$	$9,84 \pm 0,17$	\Rightarrow	$3,32 \pm 0,04$	$4,180 \pm 0,014$
27,69	5,83	12,03	14,93	4,32	12,35
	5,30	13,03		4,50	12,40
	5,18	12,69		4,35	12,50
\Rightarrow	$5,44 \pm 0,16$	$12,6 \pm 0,2$	\Rightarrow	$4,39 \pm 0,05$	$12,42 \pm 0,04$

(c) $U = 200 \text{ V}$ $T = 29^\circ \text{C}$

t_0 / s	t_{ab} / s	$t_{\text{auf}} / \text{s}$
7,45	2,35	7,88
	2,52	7,53
	3,07	8,46
\Rightarrow	$2,65 \pm 0,18$	$8,0 \pm 0,2$
12,66	3,64	9,60
	3,63	9,58
	3,96	9,42
\Rightarrow	$3,74 \pm 0,09$	$9,53 \pm 0,05$
26,44	11,35	24,55
	10,53	23,98
	9,30	22,30
\Rightarrow	$10,4 \pm 0,5$	$23,6 \pm 0,6$
20,00	8,29	29,38
	9,23	31,93
	8,63	32,56
\Rightarrow	$8,7 \pm 0,2$	$31,3 \pm 0,8$
25,30	5,01	6,83
	5,69	7,16
	5,20	6,95
\Rightarrow	$5,30 \pm 0,17$	$6,98 \pm 0,08$

(d) $U = 175 \text{ V}$ $T = 30^\circ\text{C}$

t_0 / s	t_{ab} / s	$t_{\text{auf}} / \text{s}$
9,15	2,13	3,60
	2,12	3,53
	1,96	3,53
\Rightarrow	$2,07 \pm 0,04$	$3,55 \pm 0,02$
47,52	2,07	2,78
	2,26	2,53
	2,24	2,81
\Rightarrow	$2,19 \pm 0,05$	$2,71 \pm 0,07$
8,23	2,73	8,07
	2,78	8,13
	2,53	8,32
\Rightarrow	$2,68 \pm 0,06$	$8,17 \pm 0,06$
22,56	3,21	5,03
	3,16	5,29
	3,44	5,10
\Rightarrow	$3,27 \pm 0,07$	$5,14 \pm 0,06$
27,90	5,61	7,41
	5,67	6,64
	5,70	7,40
\Rightarrow	$5,66 \pm 0,02$	$7,2 \pm 0,2$

(e) $U = 275 \text{ V}$ $T = 30^\circ\text{C}$

t_0 / s	t_{ab} / s	$t_{\text{auf}} / \text{s}$
14,35	4,26	12,38
	3,86	12,07
	4,30	12,33
\Rightarrow	$4,14 \pm 0,11$	$12,26 \pm 0,08$
21,86	2,65	3,63
	2,64	3,12
	2,58	3,16
\Rightarrow	$2,62 \pm 0,02$	$3,30 \pm 0,13$
10,13	2,64	5,43
	2,73	5,20
	2,69	5,16
\Rightarrow	$2,69 \pm 0,02$	$5,26 \pm 0,07$
6,33	1,86	3,80
	1,73	3,76
	1,80	3,83
\Rightarrow	$1,80 \pm 0,03$	$3,80 \pm 0,02$
19,15	3,44	5,96
	3,76	5,83
	2,87	5,44
\Rightarrow	$3,4 \pm 0,2$	$5,74 \pm 0,13$

Abbildung 3 wurden dabei die folgende Viskositäten η_L entnommen:

$$\begin{aligned} 25^\circ\text{C} &\rightarrow 1,846 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} \\ 27^\circ\text{C} &\rightarrow 1,856 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} \\ 29^\circ\text{C} &\rightarrow 1,867 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} \\ 30^\circ\text{C} &\rightarrow 1,872 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2} \\ 30^\circ\text{C} &\rightarrow 1,872 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2}. \end{aligned}$$

Die Ergebnisse für die Ladungen befinden sich in Tabelle 3. Die Ergebnisse werden geplottet, zu sehen in Abbildung 4, und es werden Bereiche als Vielfaches des niedrigsten Niveaus eingezeichnet. Die eingezeichneten Bereiche haben dabei eine Dicke von $7 \cdot 10^{-20} \text{ C}$ und werden solange verschoben, bis möglichst viele Daten in einem eingezeichneten Niveau liegen. Die Ladungen werden durch die Nummer, von unten bei 1 anfangend zu zählen, des Niveaus, auf dem sie liegen, geteilt und gemittelt. Damit ergibt sich für die mit dieser Methode bestimmte Elementarladung:

$$e_0 = (1,607 \pm 0,018) \cdot 10^{-19} \text{ C}.$$

Tabelle 2: Errechnete Geschwindigkeiten.

v_0 / m/s	v_{ab} / m/s	v_{auf} / m/s	$\frac{2v_0}{v_{ab}-v_{auf}}$
3,07	$9,48 \pm 0,13$	$2,980 \pm 0,007$	0,94
3,38	$15,9 \pm 0,5$	$8,7 \pm 0,4$	0,93
1,04	$16,32 \pm 0,08$	$14,69 \pm 0,17$	1,28
3,67	$11,97 \pm 0,03$	$5,08 \pm 0,09$	1,07
1,81	$9,2 \pm 0,3$	$3,97 \pm 0,08$	0,69
2,16	$8,57 \pm 0,09$	$4,57 \pm 0,06$	1,08
1,61	$8,25 \pm 0,15$	$4,12 \pm 0,09$	0,78
3,46	$14,14 \pm 0,19$	$9,058 \pm 0,013$	1,36
1,71	$15,08 \pm 0,18$	$11,97 \pm 0,04$	1,10
3,35	$11,39 \pm 0,12$	$4,027 \pm 0,012$	0,91
6,71	$18,9 \pm 1,3$	$6,28 \pm 0,17$	1,06
3,95	$13,4 \pm 0,3$	$5,24 \pm 0,03$	0,97
1,89	$4,8 \pm 0,2$	$2,12 \pm 0,05$	1,40
2,50	$5,74 \pm 0,15$	$1,60 \pm 0,04$	1,21
1,98	$9,4 \pm 0,3$	$7,16 \pm 0,08$	1,74
5,46	$24,2 \pm 0,5$	$14,07 \pm 0,08$	1,08
1,05	$22,8 \pm 0,5$	$18,5 \pm 0,5$	0,48
6,08	$18,7 \pm 0,4$	$6,12 \pm 0,05$	1,00
2,22	$15,3 \pm 0,3$	$9,73 \pm 0,12$	0,80
1,79	$8,83 \pm 0,03$	$7,0 \pm 0,2$	1,95
3,48	$12,1 \pm 0,3$	$4,08 \pm 0,03$	0,87
2,29	$19,06 \pm 0,13$	$15,1 \pm 0,6$	1,17
4,94	$18,61 \pm 0,15$	$9,50 \pm 0,12$	1,08
7,90	$27,8 \pm 0,5$	$13,17 \pm 0,06$	1,08
2,61	$14,9 \pm 0,9$	$8,71 \pm 0,19$	0,84

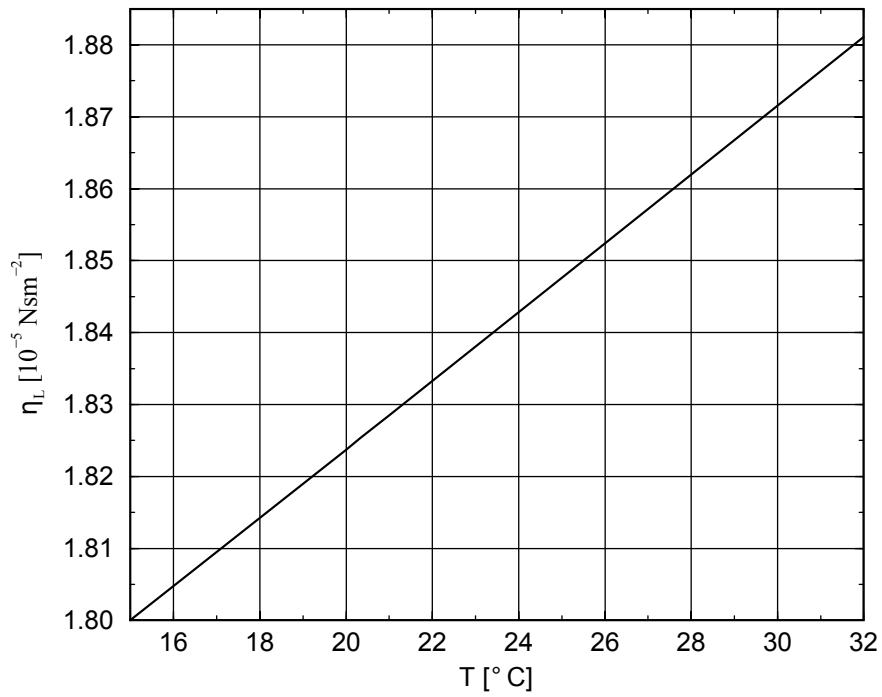


Abbildung 3: Viskosität von Luft[1, S. 6].

Tabelle 3: Errechnete Ladungen.

$q_{\text{unkorrigiert}} / 10^{-19} \text{ C}$	$r / 10^{-7} \text{ m}$	$q_{\text{korrigiert}} / 10^{-19} \text{ C}$
$3,69 \pm 0,07$	$5,58 \pm 0,06$	$4,52 \pm 0,09$
$7,7 \pm 0,4$	$5,9 \pm 0,3$	$9,3 \pm 0,5$
$5,20 \pm 0,02$	$5,74 \pm 0,04$	$6,34 \pm 0,03$
$3,42 \pm 0,06$	$4,39 \pm 0,06$	$4,41 \pm 0,08$
$3,27 \pm 0,10$	$4,46 \pm 0,09$	$4,20 \pm 0,13$
$6,2 \pm 0,2$	$3,86 \pm 0,12$	$8,3 \pm 0,3$
$5,44 \pm 0,09$	$5,95 \pm 0,05$	$6,59 \pm 0,10$
$13,2 \pm 1,3$	$7,8 \pm 0,4$	$15,3 \pm 1,5$
$7,8 \pm 0,3$	$6,27 \pm 0,12$	$9,4 \pm 0,3$
$2,20 \pm 0,08$	$4,48 \pm 0,08$	$2,83 \pm 0,11$
$20,6 \pm 0,8$	$7,00 \pm 0,18$	$24,2 \pm 1,0$
$14,9 \pm 0,5$	$7,80 \pm 0,14$	$17,2 \pm 0,6$
$10,0 \pm 0,4$	$5,20 \pm 0,16$	$12,4 \pm 0,5$
$4,9 \pm 0,2$	$6,23 \pm 0,13$	$5,9 \pm 0,3$
$7,3 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,34$	$9,4 \pm 0,6$
$9,14 \pm 0,12$	$6,65 \pm 0,07$	$10,87 \pm 0,15$
$16,9 \pm 0,5$	$8,43 \pm 0,14$	$19,4 \pm 0,5$
$6,3 \pm 0,7$	$5,5 \pm 0,4$	$7,8 \pm 0,9$

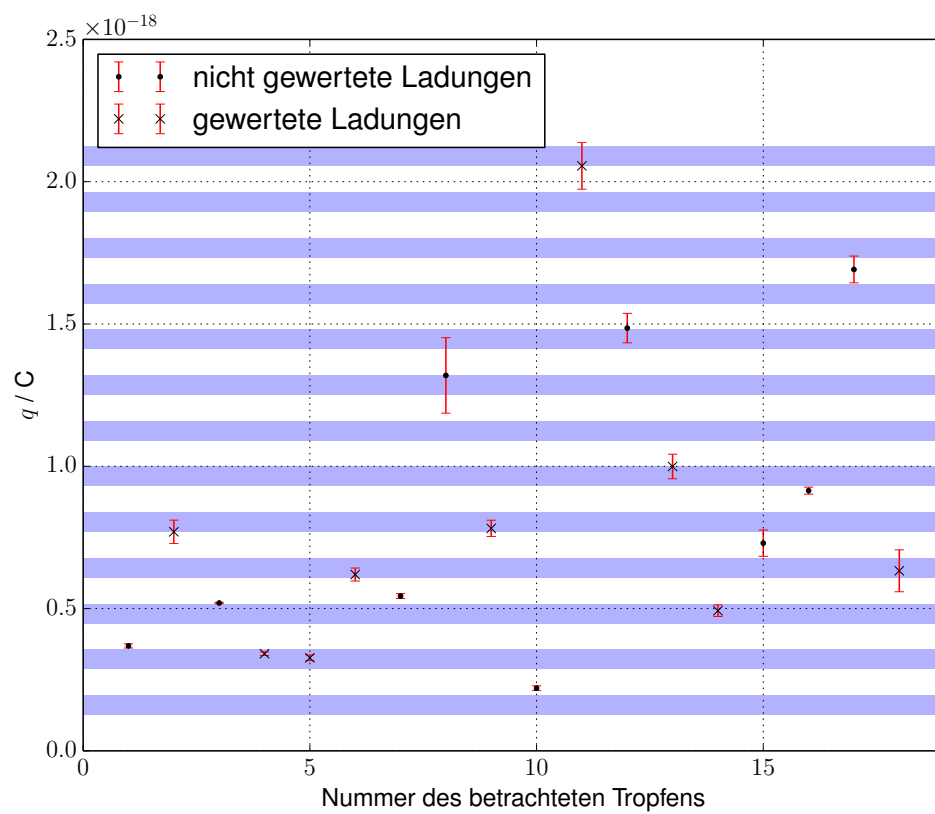


Abbildung 4: unkorrigierte Ladungen.

Mit

$$N_A = \frac{F}{e_0} \quad (14)$$

und der Faradaykonstante[4] $F = (96\,485,3365 \pm 0,0021) \text{ C/mol}$ ergibt sich für die Avogadrokonstante:

$$N_A = (6,00 \pm 0,07) \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}.$$

Wie in der Theorie beschrieben, müssen die Ladungen jedoch zunächst nach (6) korrigiert werden. Die benötigten Radien r der Öltropfen, bestimmt nach (4), sowie die korrigierten Ladungen $q_{\text{korrigiert}}$ befinden sich ebenfalls in Tabelle 3. Ansonsten wird analog zur vorherigen Auswertung vorgegangen. Der Plot der Ladungen befindet sich in Abbildung 5 und es ergibt sich für die Elementarladung und die Avogadrokonstante:

$$e_0 = (1,531 \pm 0,014) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$
$$N_A = (6,30 \pm 0,06) \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}.$$

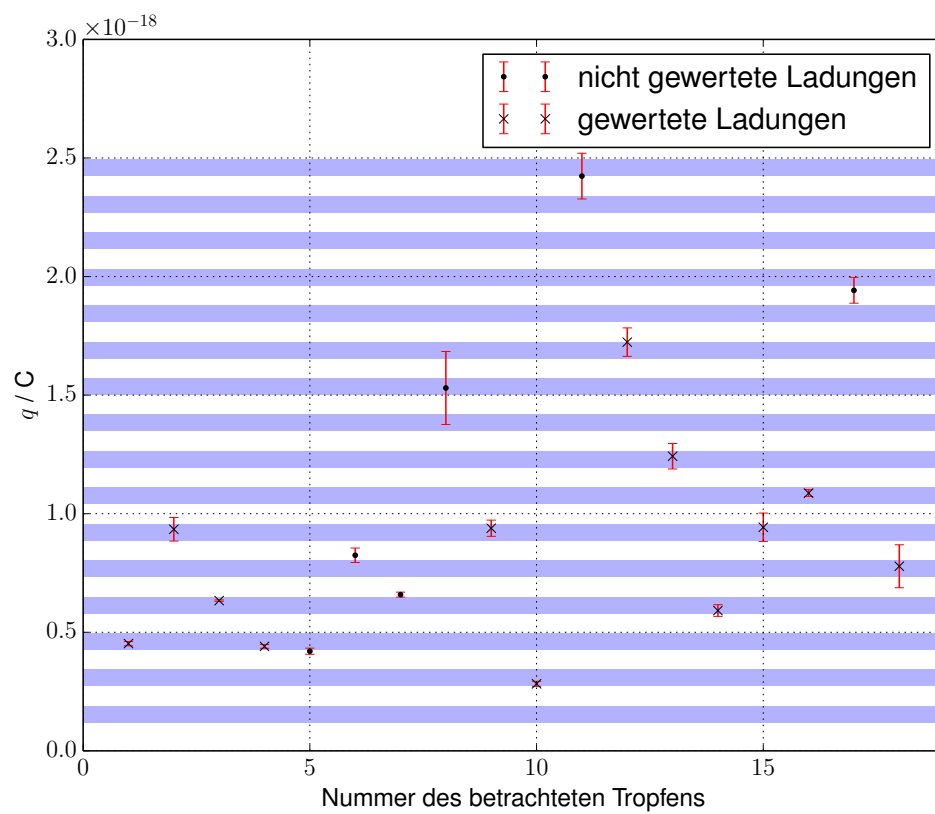


Abbildung 5: korrigierte Ladungen.

6 Diskussion

Werden die beiden Ergebnisse für die Elementarladungen mit dem Literaturwert[3] verglichen, so zeigt sich, dass der Wert mit Hilfe der unkorrigierten Ladungen eine kleinere Abweichung hat:

$$\begin{aligned}e_{\text{Literatur}} &= (1,602\,176\,565 \pm 0,000\,000\,035) \cdot 10^{-19} \text{ C} \\e_{\text{unkorrigiert}} &= (1,607 \pm 0,018) \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ \Rightarrow \text{Abweichung} &\hat{=} -0,313 \% \\e_{\text{korrigiert}} &= (1,531 \pm 0,014) \cdot 10^{-19} \text{ C} \\ \Rightarrow \text{Abweichung} &\hat{=} 4,424 \%\end{aligned}$$

Allerdings liegen bei den unkorrigierten Ladungen die Hälfte der Werte außerhalb der betrachteten Bereiche, obwohl versucht wurde, die Lage der Niveaus zu optimieren. Entsprechend ist der errechnete Wert für $e_{\text{unkorrigiert}}$ nicht so stark aussagekräftig. Bei den nach Cunningham korrigierten Ladungen wurde nur ein Drittel der Werte vernachlässigt und die Abweichung vom Literaturwert ist auch hier noch klein genug, um insgesamt sagen zu können, dass diese Methode zu bevorzugen ist. Für die Avogadrokonstanten[2] gilt das gleiche:

$$\begin{aligned}N_{A,\text{Literatur}} &= (6,022\,141\,29 \pm 0,000\,000\,27) \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \\N_{A,\text{unkorrigiert}} &= (6,00 \pm 0,07) \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \\ \Rightarrow \text{Abweichung} &\hat{=} 0,312 \% \\N_{A,\text{korrigiert}} &= (6,30 \pm 0,06) \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}} \\ \Rightarrow \text{Abweichung} &\hat{=} -4,629 \%\end{aligned}$$

Insgesamt ist die Messmethode sehr genau. Dies zeigt sich an den allgemein sehr kleinen Fehlern der Ergebnisse und der eingebauten Selbstkontrollen. Neben Bedingung (13) kann die graphische Auswertung beliebig genau durchgeführt werden, in dem die gültigen Bereiche kleiner gewählt werden oder Daten mit großen Fehlern nicht betrachtet werden.

Versuch 503: Milikan, $09.06.5$ / mm inner $0,5$

250 V

2,04 MΩ

I

V_0	s / mm	t / s	V_{ab} / s/mm	t / s	V_{auf} / s/mm	t / s
2,5		64,21	2,5	5,43	2,5	16,87
2,5		16,29		5,34		16,46
				5,38		17,58
				5,10		16,70

V_0 : $s: 2,5$ mm $t: 18,70$
 $s: 2,5$ mm $t: 24,36$
~~58,30~~
~~23,77~~
 14,78

V_{ab} : ~~3,33~~ ~~4,33~~

V_{auf} : ~~4,33~~

3,10
2,96
3,35

5,92
5,10
6,24

1,93 MΩ

V_0 : 47,94

t_{ab} : 3,03
3,07
3,18
3,09

t_{auf} : 3,50
3,50
3,35
3,36

t_0 : ~~26,43~~ 13,61

IV

1,90 MΩ

t_0 : 27,69

V

t_{ab} : 4,18 4,15 4,20

t_{ab} : ~~6,68~~ 5,83 5,30 5,18

t_{auf} : 9,44 10,12 9,95

t_{auf} : ~~10,50~~ 12,03 13,03 12,69

225 V 1,88 MΩ

I

t_0 : ~~13,13~~ 23,18

II

t_0 : 8,16 3,15

t_{ab} : 5,93 5,89 6,33 5,69

t_{ab} : 6,26 ~~6,00~~ 6,12 5,80

t_{auf} : 9,66 10,63 11,18 11,03

t_{auf} : 11,77 ~~9,46~~ 12,76 11,90

t_0 : 25,21 ~~30,44~~ 14,44

III

t_0 : 29,32

IV

t_{ab} : 1,92 3,64 3,90 3,53 3,44

t_{ab} : 3,41 3,69 3,30 3,24

t_{auf} : 11,96 6,38 5,50 5,53 5,53

t_{auf} : 4,16 4,16 4,21 4,53

1,88
MΩ

t_0 : 14,93

V

200 V

t_{ab} : 4,32 4,50 4,35 4,60

t_0 : 21,87

t_{auf} : 12,35 12,40 13,24 12,50

t_{ab} : 6,58 8,75

t_{auf} : 17,00 19,06

to : 7,95 I
 tab : 2,26 2,35 2,52 3,07
 tauf : 8,46 7,88 7,83 8,50

to : 12,66 II
 tab : 4,06 3,64 3,63 3,96
 tauf : 8,80 9,60 9,58 9,42

181 182
 183 184
 185 186

to : 26,44 III
 tab : 11,35 10,53 9,30
 tauf : 24,55 23,98 22,30

to : 20,00 IV
 tab : 8,28 9,23 8,63
 tauf : 29,38 31,93 32,56

187 188
 189 190
 191 192

to : 25,30 V
 tab : 5,15 5,01 5,69 5,20
 tauf : 8,60 6,83 7,16 6,95

to : 9,15 I
 tab : 2,13 1,96 2,12 1,95
 tauf : 3,60 3,12 3,53 3,53

193 194
 195 196
 197 198

to : 47,52 II
 tab : 2,07 2,38 2,26 2,24
 tauf : 2,78 2,53 2,81 2,49

to : 8,23 III
 tab : 2,73 2,63 2,78 2,53
 tauf : 8,07 9,04 8,13 8,32

to : 21,60 IV
 tab : 10,55 3,74 3,21 3,16 3,44
 tauf : 63,56 5,44 5,03 5,29 5,10

to : 7,79 V
 tab : 2,78 5,61 5,67 5,70
 tauf : 8,25 8,09 7,41 6,64 7,40

199 200
 201 202
 203 204

to : 14,35 I
 tab : 3,47 4,26 3,86 4,30
 tauf : 18,89 12,38 12,07 12,33

to : 21,86 II
 tab : 2,58 2,65 2,64 2,58 2,34
 tauf : 2,67 3,63 3,12 3,72 3,16

to : 10,13 III
 tab : 2,68 2,64 2,73 2,69
 tauf : 6,07 5,43 5,20 5,16

to : 6,33 IV
 tab : 1,63 1,86 1,73 1,80
 tauf : 3,80 3,76 4,16 4,03 3,83

to : 15,95 V
 tab : 5,86 4,32 4,21
 tauf : 12,83 8,87 6,44 8,46

to : 19,15 VI
 tab : 3,72 3,44 3,76 2,87
 tauf : 6,70 5,96 5,83 5,44

9,6.15

[Signature]

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch 503, Der Millikan-Öltröpfchenversuch*. 9. Juni 2015. eprint: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/Millikan.pdf>.
- [2] NIST. *Avogadro constant*. 14. Juni 2015. eprint: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?na>.
- [3] NIST. *elementary charge*. 14. Juni 2015. eprint: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?e>.
- [4] NIST. *Faraday constant*. 14. Juni 2015. eprint: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?f>.