

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Die Bildung der Erdalkaliperoxyde

Engler, Carl

Heidelberg, 1910

Über die Spannung frischer Wasseroberflächen und über die Messung
derselben durch schwingende Tropfen

[urn:nbn:de:bsz:31-289891](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-289891)

Sitzungsberichte
der Heidelberger Akademie der Wissenschaften

Stiftung Heinrich Lanz
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

==== Jahrgang 1910. 18. Abhandlung. ====

Über die Spannung frischer Wasser-
oberflächen und über die Messung
derselben durch schwingende Tropfen

von

tip
P. LENARD

in Heidelberg

Mit zwei Abbildungen

Eingegangen am 2. Juli 1910

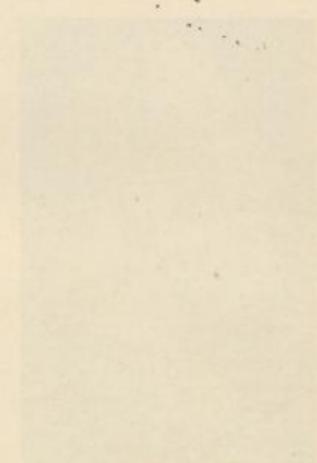


Heidelberg 1910

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung

Verlags - Nr. 471.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page.



Faint, illegible text at the bottom of the page, possibly bleed-through or a faint stamp.

Im Jahre 1886 hatte ich eine Methode zur Messung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten aus den ellipsoidischen Schwingungen frei fallender Tropfen ausgearbeitet. Die Methode hat die beiden großen Vorzüge, ganz frische, völlig reine Oberflächen zu benutzen und unabhängig von stets variablen und schwer zu messenden Randwinkeln zu sein, und es waren auch alle in Betracht kommenden Fehlerquellen bereits damals eingehend untersucht worden.¹⁾ — Es erwies sich zwar die Methode in der damals angegebenen Ausführung als nicht leicht zu handhaben und auch keiner sehr großen Genauigkeit fähig; sie war aber doch für die Frage nach der Veränderlichkeit der Oberflächenspannung bei frisch gebildeten Oberflächen sogleich von Interesse und Wert. Die Methode zeigte bei Wasser, daß so frische Oberflächen, wie sie hier benutzt werden, eine größere Spannung besitzen als ältere, ebenfalls völlig reine Oberflächen²⁾, und die sich hieraus ergebende, auch ohne Verunreinigung erfolgende zeitliche Abnahme der Oberflächenspannung frisch gebildeter Wasseroberflächen zeigte sich in der Tat auch bei den Messungen schon während der kurzen, nur $\frac{1}{10}$ Sekunde betragenden Fallzeit der Tropfen; es ergaben höher gelegene Fallwege größere Oberflächenspannungen als tiefer gelegene. Die größten damals gemessenen Werte, in runder Zahl 7,8 und 7,9 mgr/mm, fanden sich bei den frischesten benutzten Oberflächen (Zeitintervall zweier Tropfen nur 0,199 sec.; l. c. Tab. III). Es geht daraus hervor, daß die anfängliche Spannung einer

1) P. LENARD, *Ann. d. Phys. u. Chem.*, 30, p. 209, 1887.

2) Es war das entgegen der damaligen Erwartung, wonach ganz frische, sicher reine Oberflächen konstante Normalwerte der Spannung ergeben sollten. Man wußte, besonders aus den Untersuchungen von G. QUINCKE, daß schon geringe Verunreinigungen durch Ausbreitung die Oberflächenspannung erniedrigen und so die Resultate aller Messungen, welche nicht ganz frische Oberflächen benutzen, leicht fälschen können.

Wasseroberfläche im Augenblicke ihrer Bildung außerordentlich hoch und danach schnell abnehmend sein muß.

Auch die neueren Versuche von Herrn PEDERSEN³⁾ und Herrn BOHR⁴⁾ an schwingenden Flüssigkeitsstrahlen führen zu demselben Schlusse, wenn auch die Autoren auf die Veränderlichkeit der Oberflächenspannung ihr Augenmerk nicht richten, sondern vielmehr durch möglichst exakte Durcharbeitung ihrer Methode einen konstanten, diese Durcharbeitung rechtfertigenden Spannungswert zu erhalten streben, was aber doch bei so frischen Oberflächen, wie meine Versuche zeigten, nicht möglich ist. Dies ist wohl auch der Grund, warum Herr PEDERSEN einen größeren Wert für die Oberflächenspannung des Wassers findet ($\alpha = 7,63$ mgr/mm) als Herr BOHR ($\alpha = 7,46$ mgr/mm), da der erstere Wert näher bei der Ausflußöffnung, also an frischerer Oberfläche gemessen ist als der letztere. Unzweifelhaft ist es, wie Herr BOHR hervorhebt, vom Standpunkt der Störungsfreiheit sicherer, ferner ab von der Ausflußöffnung zu messen. Betrachtet man aber die ausgezeichnet durchgeführten Untersuchungen der beiden genannten Autoren im einzelnen, so erscheinen die Störungen, soweit sie berechenbar sind, genügend berücksichtigt, um den unmittelbar naheliegenden Schluß zu rechtfertigen, daß auch hier wieder die schnelle Abnahme der Oberflächenspannung vorliege. Berechnet man z. B. aus Herrn BOHR'S Daten (l. c. p. 311) die Oberflächenspannung in wachsenden Abständen vom Rohrende, so findet man sie abnehmend von 8,03 bis zu 7,45 mgr/mm, wobei das Alter der Oberflächen, ebenfalls nach den Versuchsdaten dortselbst berechnet, von 0,01 Sekunde bis zu 0,09 Sekunden wächst. Es ist nur ein störender Umstand ersichtlich, welchen die Autoren zwar diskutieren, aber nicht berücksichtigen konnten, das ist die aus gegenseitiger Verschiebung der konzentrischen Schichten des Strahles resultierende innere Mischung seiner Massen während deren Schwingungsbewegung. Solche Mischung könnte aber nur scheinbare Vergrößerung der Masse, also scheinbare Verringerung, nicht Vergrößerung der Kraft der Oberflächenspannung ergeben. Diese Störung nimmt mit zunehmender Entfernung von der Öffnung ab; sie fällt aber auch fern von der Öffnung nicht

³⁾ P. O. PEDERSEN, *Phil. Trans.*, A, Vol. 207, p. 341, 1907.

⁴⁾ N. BOHR, *Phil. Trans.*, A, Vol. 209, p. 281, 1909. Ich habe die Angaben der Autoren zu besserem Vergleich im obigen auf irdisches Maßsystem und 12° C. umgerechnet.

ganz fort, wegen des Widerstandes, welchen diese sehr schnell bewegten Strahlen in der Luft finden, und hieraus könnte es sich erklären, daß die von mir früher und auch die jetzt ausgeführten Messungen der Oberflächenspannung (s. w. u.) aus den Schwingungen von Tropfen größere Werte für die Spannung gleichaltriger Oberflächen ergeben als die Strahlenversuche der genannten Autoren. Bei den Tropfenschwingungen ist die genannte Störung durch Benutzung sehr kleiner Tropfen und nur geringer Fallwege, also kleiner Fallgeschwindigkeiten, jetzt jedenfalls gegenüber meinen älteren Versuchen mit Tropfen und besonders gegenüber Versuchen mit schnellen Strahlen sehr reduziert.

Der konstante Endwert, welchen die Oberflächenspannung nach genügender Alterung der Oberfläche erreicht, kann natürlich nur nach statischen Methoden ermittelt werden. Die beste Methode hierfür wird die sein, welche die alternde Oberfläche am besten vor Verunreinigung schützt; das ist wohl die Methode von EÖTVÖS, bei welcher die Flüssigkeit im Vakuum nur mit ihren eigenen Dämpfen in Berührung ist und welche von Randwinkeln ebenfalls unabhängig ist. Sie gibt für Wasser $\alpha = 7,46$ mgr/mm bei 12° C.⁵⁾ Dieser Endwert ist bei Reinhaltung der Oberfläche von großer Konstanz. Man kann an einer ruhig stehenden Wasseroberfläche in der luftleeren Glaskugel die Messung nach der genannten Methode zu beliebiger Zeit mit stets gleichem Resultate ausführen, und mit Recht hebt EÖTVÖS selbst hervor, daß er nach seiner Methode die Oberflächenspannungen so konstant finde wie Kristallwinkel. Auch unmittelbar nach heftigem Schütteln der Glaskugel mit dem Wasser wird, wie ich mich überzeugt habe, derselbe Wert der Oberflächenspannung gefunden; immerhin muß jedoch dabei mindestens eine Minute zwischen Bildung und Messung der Oberfläche vergehen. Es folgt daraus, daß die anfänglich sehr große Oberflächenspannung des Wassers schon innerhalb dieser Zeit auf ihren konstanten Endwert herabsinkt. Da, wie der erwähnte Versuch zeigt, dieses Herabsinken auch unter Ausschluß der Luft erfolgt, kann es nicht durch Kondensation irgendwelcher Bestandteile der Luft auf der Wasseroberfläche erklärt werden; vielmehr muß das reine Wasser selbst Bestandteile enthalten, welche geringere Oberflächenspannung haben als

⁵⁾ R. EÖTVÖS, *Math. es Természettud., E.*, 3, p. 55. S. auch *Wied. Ann.*, 27, p. 448, 1886.

der Rest und welche daher, aus dem Inneren nach der Oberfläche diffundierend, dort sich ausbreiten und anhäufen.⁶⁾ Die Natur dieser Bestandteile betreffend wird man an eine der Molekulgattungen H_2O , H_4O_2 , H_6O_3 denken müssen, deren Vorhandensein im flüssigen Wasser bereits EÖRVÖS aus seinen Kapillaruntersuchungen geschlossen hat⁷⁾ und auf welche auch die mehrfachen thermischen Anomalien des Wassers hinweisen. Auch bei Alkohol ergibt die Tropfenschwingungsmethode höhere Werte der Oberflächenspannung (s. w. u.) als die statischen Methoden; dem entspricht es, daß auch bei Alkohol nach den Untersuchungen von EÖRVÖS komplexe Moleküle vorhanden sind, welche zusammen mit den einfacheren Molekülen wieder ein Gemisch ergeben. Bei Alkohol scheint die Abnahme der anfänglich hohen Spannung langsamer zu erfolgen als bei Wasser, denn sie wird innerhalb der Fallstrecke nicht so sehr merklich (vgl. die Messungen am Schluß); dies könnte damit zusammenhängen, daß die zur Ausbreitung kommenden Moleküle hier in geringerer Zahl vorhanden sind. Es wäre zu erwarten, daß bei allen Flüssigkeiten mit nicht einheitlichen Molekülen die gleiche Erscheinung der erhöhten Anfangsspannung und des Spannungsabfalles sich finden wird, und man könnte hiernach die Flüssigkeiten erkennen, welche, obgleich chemisch einheitlich, doch Gemische verschiedener Moleküle sind.

Läßt man Luft zu einer auf konstanter Spannung unter Vakuum befindlichen Wasseroberfläche, so ändert das den Wert der Spannung nicht nennenswert. Ich habe mich hiervon unter Benutzung besonders sorgfältig durch stundenlanges Auskochen des Wassers luftfrei gemachter Gefäße überzeugt. Hat man eine so präparierte Glaskugel mit Wasser fertig zur Messung der Oberflächenspannung aufgestellt und öffnet sie dann, so bemerkt man während und nach dem Einströmen der Luft nicht die mindeste Änderung der Lichtmarken, also der Oberflächenspannung.⁸⁾ Erst wenn die Kugel tagelang offen gestanden hat, bei offenbarem Zutritt von Verunreinigungen, tritt eine Verringerung der Oberflächen-

⁶⁾ Dieser Vorgang der Ausbreitung mit dem Resultate, daß aus einem Flüssigkeitsgemisch der Bestandteil geringster Oberflächenspannung an der Oberfläche sich anhäufen müsse, ist zuerst von G. QUINCKE klargelegt worden (*Ann. d. Phys. u. Ch.*, 139, p. 1870).

⁷⁾ R. EÖRVÖS, *Ann. d. Phys. u. Ch.*, p. 448, 1886.

⁸⁾ Die Änderung müßte weniger als 0,5% betragen haben. Ich habe diesen Versuch bereits i. J. 1886 und dann nochmals 1907 ausgeführt.

spannung ein. Dieser letztere Versuch war mir deshalb von besonderem Interesse, weil er auch zeigt, daß eine elektrische Doppelschicht Wasser-Luft an Wasseroberflächen sich nicht ausbildet; denn jede sich ausbildende Doppelschicht würde die Oberflächenspannung verringern müssen.⁹⁾ Auf das Vorhandensein einer elektrischen Doppelschicht an nicht zu frischen Wasseroberflächen habe ich früher aus Beobachtungen über Wasserfallelektrizität geschlossen.¹⁰⁾ Man muß nach der hier mitgeteilten Erfahrung annehmen, daß die Belegungen dieser Doppelschicht aus zweierlei Wassermolekülen von verschiedener Atomzahl bestehen. Es würde dann die Ausbildung dieser Doppelschicht an frisch gebildeten Wasseroberflächen mit der schnellen Verringerung von deren Oberflächenspannung zusammenfallen. Über die Zeitdauer der Ausbildung dieser elektrischen Doppelschicht bei Wasser liegt bisher nur ein erster Anhalt vor aus Beobachtungen der Wasserfallelektrizität an Wasserstrahlen verschiedener Länge (l. c. 1892, Tab. XV, p. 620 und 621); die Doppelschicht würde danach in wenigen Hundertstel Sekunden bereits nahezu fertig ausgebildet sein.¹¹⁾

Das Interesse an diesen Änderungen frisch gebildeter Oberflächen veranlaßte mich, auch für die weitere Ausbildung der Methode der schwingenden Tropfen zu sorgen, und ich habe jetzt einen sehr kompensiösen und leicht zu handhabenden Apparat hierfür konstruiert, dessen Beschreibung hier folgen soll¹²⁾, und welcher sich auch zu leichter und einwandfreier Messung von Oberflächenspannungen überhaupt noch nützlich erweisen kann.

Apparat und Durchführung der Methode unterscheiden sich nun in mehrfacher Hinsicht gegen früher. Zunächst hatten mich anderweitige Studien an Tropfen¹³⁾ davon überzeugt, daß man nur mit sehr kleinen Tropfen zu vergrößerter Genauigkeit kommen könne, da die störenden, durch den Luftwiderstand hervorgehenden inneren Strömungen in den Tropfen mit zunehmender Tropfengröße sehr rasch ansteigen. Außerdem bieten die kleinen Tropfen noch den Vorteil, mit geringerer Amplitude vom Rohr

⁹⁾ H. HELMHOLTZ, *Ber. Berl. Akad.*, 3. Nov. 1881.

¹⁰⁾ P. LENARD, *Ann. d. Phys. u. Chem.*, 46, p. 584, 1892.

¹¹⁾ Über im Gange befindliche weitere Versuche, auch das Potential der Doppelschicht betreffend, soll später berichtet werden.

¹²⁾ Verfertigt wurde der Apparat von der Firma C. DESAGA in Heidelberg.

¹³⁾ P. LENARD, *Meteorolog. Zeitschr.*, 1904, p. 249.

abzufallen, so daß dann auch die über die ellipsoidischen Schwingungen gelagerten, störenden Partialschwingungen nach höheren Kugelfunktionen mehr in Wegfall kommen. Was die Berechnungsweise anlangt, so war die ursprünglich benutzte Eliminationsart der unbekanntes Anfangsgeschwindigkeit der Fallbewegungen der Tropfen durch Kombination zweier beobachteter Fallwege¹⁴⁾ insofern ungünstig, als Meßfehler in den Fallwegen verhältnismäßig großen Einfluß auf das Resultat gewannen. Ich ziehe es daher jetzt vor, von einer direkten Ermittlung des Anfangspunktes der Fallbewegung der Tropfen auszugehen, wonach die Messung eines einzigen, zwischen zwei Reflexen (flachen Ellipsoiden) gelegenen Fallweges genügt.¹⁵⁾ Besondere, photographische Versuche bei intermittierender Beleuchtung der fallenden Tropfen mit Hilfe von Stimmgabeln von gemessenen Schwingungszahlen zeigten mir, daß die Fallbewegung der Tropfen so verläuft, als läge ihr Anfangsort mit der Geschwindigkeit Null sehr nahe dort, wo er eben aufhört durch die Oberflächenspannung vom Rohre getragen zu werden. Der Tropfen hat in diesem Augenblicke, kurz vor seiner Abschnürung, die in Fig. 1 gezeichnete Form. Bis zu dieser



Fig. 1.

Phase hat sich der Tropfen in der Tat nur verhältnismäßig langsam an der äußeren Rohrwand gleitend nach unten bewegt; von hier ab wirkt die Oberflächenspannung kaum mehr verzögernd und die schnelle Fallbewegung beginnt. Der Tropfen selbst ist in diesem Augenblicke langgestreckt ellipsoidisch und er geht nach oben in einen ihn mit dem Rohre verbindenden Flüssigkeitszylinder über. Die Höhe dieses Zylinders, auf deren Ermittlung es ankommt, beträgt bei den hier benutzten engen Röhren stets nur wenige Zehntel Millimeter, und da es genügt, die Höhe des An-

¹⁴⁾ l. c., 1887, p. 233.

¹⁵⁾ Von diesen Gesichtspunkten aus hat bereits Herr O. JAHNKE im Kieler und dann im Heidelberger physikalischen Institut die Methode benutzt (Dissert. Heidelberg, 20. Sept. 1909).

fangpunktes der Fallbewegung auf etwa $\frac{1}{10}$ mm zu kennen, ist die hier benützte Ermittlungsart zulässig. Es kann diese Höhe des Flüssigkeitszylinders nach meinen bisherigen Beobachtungen mit genügender Genauigkeit $= 0,8 (0,2 + 2\rho)$ mm gesetzt werden, wenn 2ρ der Durchmesser des Abtropfrohrs in mm ist; der Summand 0,2 hat dabei die Bedeutung der doppelten Dicke der Flüssigkeitsschicht, welche als Rest des herabgeglittenen Tropfens die Röhrenwand außen noch umgibt; die Höhe des Flüssigkeitszylinders kurz vor seiner Abschnürung ist danach gleich dem 0,8fachen seines Basisdurchmessers gesetzt. Da es auf den Abstand b des Tropfenschwerpunktes vom Rohrende ankommt, addiert sich zur Höhe des Flüssigkeitszylinders noch die halbe vertikale große Achse des Tropfenellipsoides, welche nach meinen Beobachtungen $= r (1 + 2\rho)$ gesetzt werden kann, wenn r der Radius des kugelförmigen Tropfens ist. Der Anfangsort der Fallbewegung liegt danach in der Entfernung $b = 0,8 (0,2 + 2\rho) + r (1 + 2\rho)$ mm unter dem Niveau des Rohrendes. Die Formel gilt selbstverständlich nur für die hier benützten Rohrdurchmesser $2\rho = 0,2$ bis $0,5$ mm.¹⁶⁾ Es genügt zur Berechnung von b , den Durchmesser 2ρ des Rohres auf ganze Zehntel Millimeter zu kennen; der Tropfenradius r wird aus dem Tropfengewicht berechnet.

Da bei der jetzigen Form des Apparates nur ganz kurze Fallwege benutzt werden, um zu schnelle Bewegungen der Tropfen und damit störende Strömungen in den Tropfen zu vermeiden, kann die Berechnung der Fallzeiten aus den Fallwegen unter Außerachtlassung des Luftwiderstandes nach den einfachen Fallformeln erfolgen.¹⁷⁾ Die Stellen der flachen Ellipsoide markieren sich, wie aus der früheren Untersuchung (1887) bekannt, auf den Fallwegen der Tropfen durch helle Lichtreflexe. Hat man die Höhe des obersten (0^{ten}) und eines tieferen (n^{ten}) Reflexes an der Skala des Apparates abgelesen, außerdem an derselben Skala das Niveau des Rohrendes, so berechnet man mit Hilfe der angegebenen Größe b leicht die Fallwege, vom Orte der Anfangsgeschwindigkeit

¹⁶⁾ Eine von Herrn O. JAHNKE (l. c.) benützte, ähnliche Formel gibt, wie ich finde, den Anfangsort des Falles etwas zu tief, was bei den hier benutzten kleineren Fallhöhen zu merklichen Fehlern Anlaß gäbe.

¹⁷⁾ Es entspricht dies der früheren Untersuchung über den Luftwiderstand (l. c., 1887, p. 225) und wurde auch durch die obenerwähnten photographischen Versuche bestätigt. Vgl. auch A. BECKER, *Ann. d. Phys.*, 24, p. 889, 1907.

keit 0 gerechnet, bis zum 0^{ten} und bis zum n^{ten} Reflex. Sind diese Fallwege = S_0 bzw. S_n und ist das Tropfengewicht durch Wägung

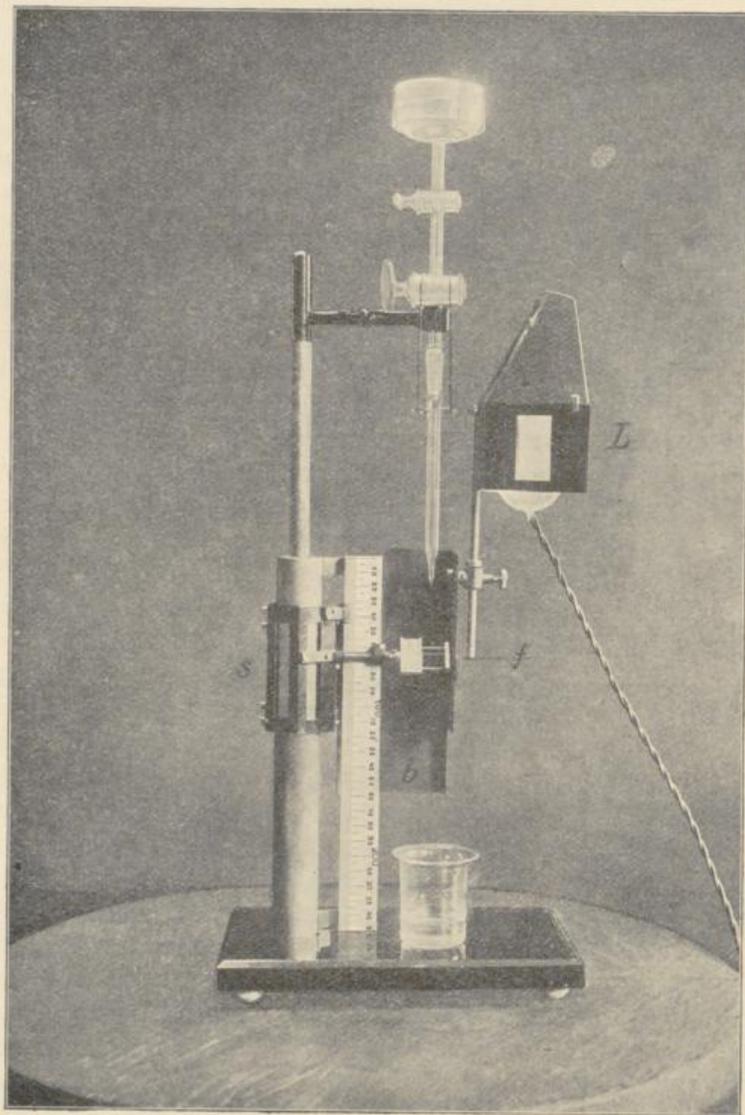


Fig. 2.

von etwa 100 in einem verschließbaren Gläschen aufgefangenen Tropfen zu p mgr ermittelt, so gilt für Berechnung der Oberflächenspannung die Gleichung

$$\alpha = \frac{3}{16} \pi n^2 \frac{p}{S_o + S_n - 2\sqrt{S_o S_n}}.$$

Der Apparat selbst ist in Fig. 2 dargestellt. Er bedarf zu einer Messung nur weniger ccm der betreffenden Flüssigkeit, welche in das obere Gläschen gegossen werden. Der erste darunter befindliche Hahn dient zum völligen Abschließen, der zweite zum feineren Regulieren der Abtropfgeschwindigkeit. Dieser Hahn hat keine Bohrung, sondern nur eine feine allmählich sich abflachende Kerbung längs des Umfanges seines Kegels. Man läßt am vorteilhaftesten 1—2 Tropfen in der Sekunde fallen.¹⁸⁾ Eine kleine elektrische Glühlampe L sorgt für geeignete Beleuchtung der Tropfen, so daß man von der Lage des Fensters unabhängig ist und die Reflexe stets gut erscheinen. Zur Ablesung von deren Höhen visiert man schräg nach unten¹⁹⁾, gegen das untere Ende des als Hintergrund dienenden geschwärzten Bleches b sehend, den betreffenden Reflex an und bringt den Schieber S in solche Höhe, daß der Faden f in die Mitte des Reflexes zu stehen kommt. Der kleine Spiegel links von f wird dabei so gestellt, daß auch das Spiegelbild der Pupille in ihm am Faden steht, so daß Parallaxe vermieden ist. In derselben Weise wird auch der andere Reflex und das Rohrende abgelesen. Die Resultate fallen befriedigend aus, wenn die Bildung der Tropfen völlig regelmäßig erfolgt, wozu völlige Reinheit des Ausflußrohres durchaus nötig ist. Ich habe es am besten gefunden, das Rohrende für kurze Zeit in verdünnte Flußsäure zu tauchen, um gute Benetzung auch bei Wasser zu sichern. Es ist am vorteilhaftesten, den 5., 6., 7. oder 8. Reflex — soweit sie wohl ausgebildet und deutlich erscheinen — mit dem obersten (0^{ten}) zu kombinieren; der 1.—4. Reflex ist wegen ungünstigen Zusammenfallens mit der maximalen Amplitude der ersten Partialschwingung zu vermeiden, wie bereits früher (l. c. 1887, p. 221 ff.) auseinandergesetzt.

¹⁸⁾ Da während der Bildung des Tropfens und auch während seines letzten Herabgleitens am Rohre bis zum Augenblicke der Abschnürung immer noch frische Flüssigkeitsoberfläche gebildet wird, zählt die Bildungszeit des Tropfens nur mit geringem Betrage zum Alter der Tropfenoberfläche hinzu. Sehr schnelleres Abtropfen ist wegen der damit verbundenen Störungen undurchführbar.

¹⁹⁾ Zu wenig schräges Visieren läßt die Reflexe verschwinden, zu sehr schräges macht die Ablesungen ungenauer.

Folgendes sind Beispiele von Messungen mit dem Apparat. Die Resultate mit Wasser sind zur besseren Vergleichbarkeit mit Hilfe des Temperaturkoeffizienten ($1-0,0021 t$) auf 12° C. reduziert.

Wasser.

| Versuch 1 | Ablesung | α 23° C. | α 12° C. |
|-----------|----------|--------------------|--------------------|
| | mm | mgr/mm | mgr/mm |
| Rohrende | 9.1 | | |
| Reflex 0 | 12.5 | | |
| " 5 | 37.8 | 7.75 | 7.93 |
| " 6 | 47.1 | 7.67 | 7.85 |
| " 7 | 57.6 | 7.64 | 7.82 |

$p = 8.61$ mgr, $2\rho = 0.39$ mm,
Zeitintervall der Tropfen 0.7 Sek.

| Versuch 2 | Ablesung | α 18° C. | α 12° C. |
|-----------|----------|--------------------|--------------------|
| | mm | mgr/mm | mgr/mm |
| Rohrende | 4.5 | | |
| Reflex 0 | 7.5 | | |
| " 6 | 32.0 | 8.38 | 8.48 |
| " 7 | 39.4 | 8.00 | 8.10 |
| " 8 | 47.9 | 7.90 | 8.00 |

$p = 5.93$ mgr, $2\rho = 0.24$ mm,
Zeitintervall der Tropfen 0.9 Sek.

| Versuch 3 | Ablesung | α 18° C. | α 12° C. |
|-----------|----------|--------------------|--------------------|
| | mm | mgr/mm | mgr/mm |
| Rohrende | 5.7 | | |
| Reflex 0 | 9.0 | | |
| " 5 | 30.3 | 7.87 | 7.97 |
| " 6 | 37.7 | 7.84 | 7.94 |

$p = 6.71$ mgr, $2\rho = 0.24$ mm,
Zeitintervall der Tropfen 0.6 Sek.

Alkohol.

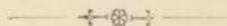
Sp. G. bei 23° C. 0·804 (93 Gew. pc.).

| Versuch 1 | Ablesung | | α 23° C. | Versuch 2 | Ablesung | | α 18° C. |
|-----------|----------|--------|--------------------|-----------|----------|--------|--------------------|
| | mm | mgr/mm | | | mm | mgr/mm | |
| Rohrende | 7·0 | | | Rohrende | 2·6 | 0·7 | |
| Reflex 0 | 10·2 | | | Reflex 0 | 5·2 | 3·1 | |
| " 5 | 36·6 | 2·52 | | " 5 | 23·9 | 21·7 | 2·51 |
| " 6 | 45·8 | 2·52 | | " 6 | 30·4 | 28·5 | 2·51 |
| " 7 | 56·5 | 2·52 | | " 7 | 38·2 | 36·3 | 2·47 |
| " 8 | 68·3 | 2·53 | | | | | |
| " 9 | 82·8 | 2·51 | | | | | |

$p = 2·85$ mgr, $2\rho = 0·39$ mm,
Zeitintervall d. Tropfen 0·4 Sek.

(Die Ablesungen sind hier bei zwei
verschiedenen Spiegelstellungen
gemacht.) $p = 1·95$ mgr, 2ρ
 $= 0·24$ mm, Zeitintervall der
Tropfen 1 Sek.

Die Werte von α sind überall als auf etwa 1 pc. sicher zu betrachten. Man sieht, daß diese jetzt so leicht durchführbare Methode von Wert ist zum weiteren Studium und überhaupt zur schnellen Ermittlung der Anfangsspannungen von Flüssigkeitsoberflächen. Diese Anfangsspannungen beanspruchen ein noch größeres Interesse als die bisher fast ausschließlich betrachteten Endspannungen alter Oberflächen, welche letztere, wie wir sahen, in ihrer molekularen Konstitution gegenüber dem Flüssigkeitsinneren verändert sein können.



C. F. Wintersche Buchdruckerei.