

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

KAPILLARITÄT UND BENETZUNGS-  
ERSCHEINUNGEN

Dr. Domke

III. HEFT

 Springer

WISSENSCHAFTLICHE ABHANDLUNGEN  
DER  
KAISERLICHEN NORMAL-AICHUNGS-  
KOMMISSION

(FORTSETZUNG DER „METRONOMISCHEN BEITRÄGE“)



III. HEFT

SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1902

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

KAPILLARITÄT UND BENETZUNGS-  
ERSCHEINUNGEN

KAPILLARITÄTS-UNTERSUCHUNGEN NACH DER METHODE DER STEIGHÖHEN VON  
DR. DOMKE.

EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DER OBERFLÄCHENSPANNUNG VON FLÜSSIGKEITEN  
DURCH MESSUNG DER WELLENLÄNGE DER AUF IHNEN ERZEUGTEN KAPILLARWELLEN  
VON PROFESSOR DR. L. GRUNMACH.

BENETZUNGSRÜCKSTÄNDE BEI INHALTSERMITTELUNG VON MASSEN VON DR. BEIN.

MIT 20 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN FIGUREN.

SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1902



ISBN 978-3-642-51786-0      ISBN 978-3-642-51826-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-51826-3

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1902

# INHALTSVERZEICHNISS.

	Seite
<b>Vorwort</b> . . . . .	VII
<b>Kapillaritäts-Untersuchungen nach der Methode der Steighöhen. Von Dr. Domke</b> . . . . .	1
Einleitung . . . . .	1
1. Bedeutung der Kapillaritätsdifferenzen bei der Untersuchung von Aräometern . . . . .	2
2. Die bei den Kapillaritätsbestimmungen verwendeten Materialien . . . . .	7
3. Die benutzten Apparate und Instrumente . . . . .	9
4. Anordnung und Ausführung der Versuche . . . . .	13
5. Die Messung kapillarer Steighöhen von Mineralölen . . . . .	15
6. Destillirtes Wasser . . . . .	32
7. Glycerin-Wasser-Mischungen . . . . .	41
8. Mischungen aus reinem Glycerin und Spiritus von 62,50 Gewichtsprozent . . . . .	45
9. Mischungen aus Schwefeläther und Alkohol . . . . .	53
10. Natronlauge . . . . .	58
11. Ammoniak . . . . .	63
12. Mischungen von konzentrirter Schwefelsäure und Alkohol von 80 Gewichtsprozent . . . . .	66
Nachtrag . . . . .	76
Literatur-Nachweis betreffend theoretische und experimentelle Arbeiten über die Form der Flüssigkeits-Oberfläche und über die Bestimmung von Kapillaritätskonstanten . . . . .	81
<b>Experimentelle Bestimmung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Kapillarwellen. Von Prof. Dr. Leo Grunmach</b> . . . . .	101
1. Einleitung . . . . .	103
2. Erzeugung von Kapillarwellen und Theorie derselben . . . . .	104
3. Beschreibung der Apparate und der Versuchsanordnung . . . . .	103
4. Die eigentlichen Versuche . . . . .	122
I. Quecksilber . . . . .	124
II. Destillirtes Wasser . . . . .	147
III. Absoluter Alkohol . . . . .	155
IV. Russisches Leuchtöl . . . . .	166
V. Amerikanisches Mineralöl . . . . .	167
VI. Wässerige Zuckerlösungen . . . . .	167
VII. Vorversuche mit verdünnter Schwefelsäure . . . . .	174
VIII. Versuche mit verdünnter Schwefelsäure bei Anwendung des Doppeltrichterapparats und der Stimmgabel P. T. R. II. 189 . . . . .	183
Schlussresultate . . . . .	191

	Seite
<b>Benetzungsrückstände bei Inhaltsermittlung von Massen. Von Dr. Bein . . . . .</b>	<b>199</b>
Einleitung . . . . .	201
1. Erste Versuchsreihe über den Verlust beim Uebermessen von Massen . . . . .	204
2. Versuchsreihe über die Grösse des Rückstandes in Massen. . . . .	208
3. Versuche über das Uebermessen von 1 l- und 2 l-Massen nach verschiedenen Verfahren . . . . .	212
4. Ueber die Nothwendigkeit der Berücksichtigung des Rückstandes . . . . .	224
5. Die Vorgänge beim Uebermessen . . . . .	225

## VORWORT.

Das vorliegende Heft fasst eine Reihe von Untersuchungen zusammen, welche in der Normal-Aichungs-Kommission über die Kapillarität von Flüssigkeiten und Lösungen, sowie über die Benetzung von Hohlgeräthen im Laufe der letzten Jahre ausgeführt worden sind.

Anlass zu den Untersuchungen über Kapillarität haben die Arbeiten der Behörde auf dem Gebiete der Aräometrie gegeben. Frühere Untersuchungen dieser Art sind schon in den voraufgegangenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen der Normal-Aichungs-Kommission bekannt gemacht. Die gegenwärtige Arbeit bildet theils eine Erweiterung der früheren Untersuchungen, theils eine Wiederholung nach neuen und schärferen Methoden. Bei dem erhöhten Interesse, welches die Wissenschaft den Erscheinungen und der Theorie der Kapillarität aus Anlass gewisser Fragen auf dem Gebiete der physikalischen Chemie und der Lehre von den Zustandsgleichungen der Substanzen zuwendet, darf erwartet werden, dass die in diesem Hefte mitgetheilten Ergebnisse auch für die reine Wissenschaft von einigem Werthe sein werden. Ihre Bedeutung für Dichteermittelungen mit Hülfe der Aräometer ist bei früheren Gelegenheiten dargethan und wird auch aus der vorliegenden Veröffentlichung erhellen.

Bei der Zusammenstellung des Literatur-Nachweises ist möglichste Vollständigkeit erstrebt worden.

Die Untersuchungen über Benetzungserscheinungen sind gelegentlich der Ausarbeitung von Methoden zur Prüfung von Hohlgeräthen, wie Massen, Kolben, Büretten u. s. f. begonnen und ausgeführt worden. Obgleich die gegenwärtige Veröffentlichung nur einen Theil dieser Untersuchungen zum Gegenstande hat, dürften ihre Ergebnisse doch auch für die Kreise der metronomisch beschäftigten Physiker und Chemiker Interesse bieten.

Berlin, im Juli 1902.

**W. Foerster,**  
Geheimer Regierungsrath.

# KAPILLARITÄTS-UNTERSUCHUNGEN

NACH DER

## METHODE DER STEIGHÖHEN

VON

DR. DOMKE

# Kapillaritäts-Untersuchungen nach der Methode der Steighöhen.

Von Dr. Domke.

---

Die nachstehend mitgetheilten Kapillaritäts-Bestimmungen sind in den Jahren 1891 bis 1897 ausgeführt worden; sie bilden einen Haupttheil der von der Normal-Aichungs-Kommission auf dem Gebiete der Aräometrie zur Förderung und Vertiefung dieser Hilfswissenschaft unternommenen experimentellen Arbeiten. Die Untersuchung der kapillaren Eigenschaften von Alkohol-Wasser-Mischungen liegt schon längere Zeit zurück und ist in dem Metronomischen Beitrag No. 6 ausführlich behandelt worden. Es folgten alsdann die Versuche mit Mineralölen in den Jahren 1891 und 1892 und ferner diejenigen mit wässrigen Rohrzuckerlösungen vom Jahre 1895. Die letzteren Bestimmungen sind gleichfalls schon veröffentlicht, und zwar im 2. Heft der Wissenschaftlichen Abhandlungen der Kaiserl. Normal-Aichungs-Kommission 1900. Neben diesen drei ausgedehnten Gruppen von Flüssigkeiten sind dann noch andere untersucht worden, so wie es das Interesse der aräometrischen Prüfungsarbeiten erheischte. Entscheidend war dabei der Gesichtspunkt, die vorhandenen Normalaräometer bei der Prüfung möglichst vielartiger, für die verschiedensten Flüssigkeiten bestimmter Senkwaagen benutzen zu können und dadurch ihren Werth zu verallgemeinern. Des Weiteren ergab sich aus der Kenntniss der Kapillaritäts-Konstanten der Vortheil, verschiedenartige Normale, die mit verschiedenen Hilfsmitteln und zu verschiedenen Zeiten bestimmt waren, unter einander vergleichen und kontroliren zu können. Diese Vergleichen haben stets zu durchaus befriedigenden Resultaten geführt und damit eine werthvolle Bestätigung der Theorie geliefert. Mit Hilfe der Kapillaritätszahlen ist man demnach im Stande, die Angaben, welche ein Spindel in einer bestimmten Flüssigkeit macht, auf eine andere Flüssigkeit derselben Dichte umzurechnen. Eine Folge hiervon ist, dass man bei der Prüfung von Aräometern nicht an eine in jedem Einzelfalle bestimmte Flüssigkeit gebunden ist, vielmehr eine solche wählen kann, welche möglichst günstige Eigenschaften, besonders aber eine durchaus einwandfreie Benetzung aufweist. Von diesem Standpunkt aus betrachtet hat sich eine Mischung von konzentrirter Schwefelsäure und Spiritus von 80 Gewichtsprozent

als ausserordentlich vortheilhaft bewährt, da sie vorzüglich benetzt, so gut wie geruchlos ist und ferner den grossen Dichtenbereich von 0,85 (80 prozentiger Spiritus) bis 1,84 (konzentrirte Schwefelsäure) umfasst. Sie wird seit mehreren Jahren auf der Normal-Aichungs-Kommission neben Spiritus und leichten Mineralölen fast ausschliesslich zur Vergleichung von Aräometern benutzt.

### 1. Bedeutung der Kapillaritätsdifferenzen bei der Untersuchung von Aräometern.

Es mögen nunmehr die Formeln für die Beziehung der Angaben von Aräometern in verschiedenen Flüssigkeiten abgeleitet werden.

Bezeichnet

- $\alpha^*$ ) die Kapillaritäts-Konstante einer Flüssigkeit,
- $s$  ihre Dichte bei der Beobachtungstemperatur,
- $U$  den Umfang des Spindelstengels an der Ablesestelle,
- $q$  den Querschnitt des Stengels,
- $V_0$  das Volumen des Spindelkörpers bis zum ersten Theilstriche,
- $l$  die Entfernung der Ablesestelle von diesem Strich,
- $G$  das Gewicht der Spindel in Luft,
- $\gamma$  die Dichte der umgebenden Luft,

so liefert das Archimedische Prinzip die Fundamentalgleichung:

$$\alpha U s + G = (V_0 + l q) (s - \gamma).$$

In einer zweiten Flüssigkeit, welche die Kapillaritäts-Konstante  $\alpha'$ , aber dieselbe Dichte  $s$  besitzt, möge das Aräometer bis zu dem Punkte  $l'$  einsinken; man hat dann analog

$$\alpha' U s + G = (V_0 + l' q) (s - \gamma).$$

Die Differenz beider Gleichungen lautet

$$(\alpha - \alpha') U s = (l - l') q (s - \gamma).$$

Da die Grösse  $l - l'$  stets einen kleinen Betrag darstellt, so darf man die Luftdichte  $\gamma$  vernachlässigen und erhält dann

$$4(\alpha - \alpha') = (l - l') d,$$

wenn mit  $d$  der Durchmesser des Stengels an der Ablesestelle bezeichnet wird. Die gesuchte Reduktionsformel lautet demnach

$$l - l' = \frac{4(\alpha - \alpha')}{d}.$$

---

\*) Es soll hier die im Metr. Beitrag No. 6 gewählte Bezeichnung für die spezifische Kohäsion in qmm beibehalten werden; man hat dabei zu beachten, dass die gewöhnlich mit  $a^2$  bezeichnete Grösse dem Werthe  $2\alpha$  gleichzusetzen ist. Die Oberflächenspannung  $T$  in absolutem Masse (*C. G. S.*) ist dann  $T = \frac{\alpha s g}{100}$  Dynen, wo  $g$  die Gravitationskonstante bedeutet (für Berlin  $g = 981,28$ ).

$l - l'$  ist der Betrag, um welchen die Spindel in der einen Flüssigkeit tiefer einsinkt wie in der anderen und zwar ebenso wie  $d$  in Millimeter ausgedrückt. Will man diese Grösse bei einem Prozentaräometer in Einheiten des Prozents ermitteln, so hat man sie noch durch die Länge eines Prozents an der betreffenden Skalenstelle zu dividiren und erhält zum Schluss

$$\Delta p = \frac{4 \Delta \alpha}{p d}.$$

Es ist nothwendig, dass man sich über das Vorzeichen dieser Reduction klar wird, da die letzte Formel hierüber nicht Aufschluss giebt. Ein Irrthum kann kaum entstehen, wenn man sich gegenwärtig hält, dass die Spindel in derjenigen Flüssigkeit am tiefsten eintaucht, welche die grössere Kapillarität besitzt.

Die abgeleitete Formel hat den Nachtheil, dass sie den Unregelmässigkeiten in der Theilung der Skale einer Spindel nicht strenge Rechnung trägt, da die Reduction mit Hilfe der durch Theilfehler verfälschten Prozentlänge ermittelt wird. Man kann aber noch zu einer anderen Gleichung gelangen, welche auf wesentlich verschiedenem Wege zu einem genauen Resultat führt.

Wir gehen wiederum von der Fundamentalgleichung aus:

$$\alpha U s + G = (V_0 + lq) (s - \gamma).$$

Taucht das gleiche Instrument in einer anderen Flüssigkeit von dem Koeffizienten  $\alpha'$  bis zur nämlichen Stelle  $l$  ein, so ist ihre Dichtigkeit  $s'$  bestimmt durch

$$\alpha' U s' + G = (V_0 + lq) (s' - \gamma),$$

also wird durch Division beider Gleichungen:

$$\frac{\alpha U s + G}{\alpha' U s' + G} = \frac{s - \gamma}{s' - \gamma} \text{ oder}$$

$$s' - s = \frac{U}{G} \left[ \alpha' s' (s - \gamma) - \alpha s (s' - \gamma) \right]$$

Hier darf wieder das Luftgewicht vernachlässigt werden, und es ergibt sich

$$s' - s = \frac{U}{G} s s' (\alpha' - \alpha)$$

oder hinreichend genau, wenn man rechts beide Dichten gleich setzt:

$$s' - s = \frac{U}{G} s^2 (\alpha' - \alpha).$$

Diese Reductionsformel kann für alle Zwecke der Praxis als streng richtig angenommen werden, denn es lässt sich leicht nachweisen, dass selbst in ganz ungünstigen Fällen der durch die Vernachlässigungen entstandene Fehler den Betrag von 0,000 01 nicht erreicht. Bei sehr genauen Instrumenten, bei welchen das Verhältniss  $U:G$  sehr klein ist, pflegt der Fehler weit unter 0,000 001 zu bleiben, sodass man ihn auch in diesen Fällen überall vernachlässigen darf.

Die zweite Formel, welche in erster Linie für Aräometer mit Dichtenskale gilt, lässt sich auch für Prozentspindeln mit Vortheil benutzen, wenn

man eine Tafel besitzt, welche den Uebergang von Prozent auf Dichte oder umgekehrt vermittelt.

Eine weitere Verwendung finden die Kapillaritäts-Konstanten bei der Prüfung von Aräometern mittelst Belastungskörper. Die Methode besteht darin, dass man das Instrument in einer spezifisch möglichst schweren Flüssigkeit mit einem Normal vergleicht und dasselbe dann successive mit Glaskörpern von verschiedenem Gewichte, die auf die Spindel ausserhalb der Flüssigkeit aufgesetzt werden können, belastet. Auf diese Weise kann die Prüfung verschiedener Stellen des Instruments in einer einzigen Flüssigkeit bewirkt werden. Zum Schluss derselben wird man selbstverständlich die Dichte der Flüssigkeit mit dem Normal abermals bestimmen, um event. eine Veränderung dieser Dichte infolge Temperaturschwankung oder Verdunstung u. dgl. in Rechnung ziehen zu können. Ein Vorzug dieser Beobachtungsmethode besteht darin, dass man zur Prüfung einer Spindel nur eine Flüssigkeit herzustellen hat und ferner, dass die Spindel während der ganzen Untersuchung in derselben verbleibt, also keine neue Temperirung für jede Prüfung nothwendig ist. Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Verfahrens ist natürlich, dass die Spindel bei jeder Belastung in senkrechter Lage schwimmt. Im Allgemeinen wird man finden, dass Spindeln von grossem Gewicht und dünnem Stengel, die also nur einen beschränkten Dichtenbereich umfassen, die Maximalbelastung aushalten werden, während dies bei Instrumenten mit dicken Stengeln und geringem Gewichte häufig nicht zutrifft. Die Anwendung des Verfahrens bei Spindeln der letzteren Art ist unzulässig.

Es mögen nunmehr die zur Berechnung der besprochenen Beobachtungen nöthigen Formeln abgeleitet und in eine für die numerische Auswerthung geeignete Gestalt gebracht werden.

Die Gleichung für ein belastetes Aräometer lautet:

$$\alpha U s + P + G = (V_0 + lq) (s - \gamma),$$

wo  $P$  das Gewicht des Beschwerungskörpers in Luft bedeutet. Soll das gleiche Instrument ohne Belastung in einer anderen Flüssigkeit vom Koeffizienten  $\alpha'$  bis zur nämlichen Stelle einsinken, so gilt für die Dichtigkeit  $s'$  die frühere Formel

$$\alpha' U s' + G = (V_0 + lq) (s' - \gamma),$$

also wird durch Division

$$\frac{\alpha U s + P + G}{\alpha' U s' + G} = \frac{s - \gamma}{s' - \gamma}.$$

Mittelst einer leichten Zwischenrechnung findet man

$$\frac{s - s'}{s - \gamma} = \frac{P - \alpha' s' U + \alpha s U}{P + G + \alpha s U},$$

wofür man auch schreiben kann

$$\frac{s - s'}{s - \gamma} = \frac{\frac{P}{P + G} + \frac{U}{P + G} (\alpha s - \alpha' s')}{1 + \frac{U}{P + G} \alpha s}$$

oder nach Entwicklung des Nenners in eine Reihe

$$\begin{aligned} \frac{s-s'}{s-\gamma} &= \left[ \frac{P}{P+G} + \frac{U}{P+G} (\alpha s - \alpha' s') \right] \left[ 1 - \frac{U}{P+G} \alpha s + \dots \right] \\ &= \frac{P}{P+G} + \frac{U}{P+G} (\alpha s - \alpha' s') - \frac{U P \alpha s}{(P+G)^2} - \frac{U^2 \alpha s}{(P+G)^2} (\alpha s - \alpha' s') \dots \end{aligned}$$

Das letzte Glied ist sehr klein und kann daher vernachlässigt werden. Setzt man ferner in dem dritten Korrections-Gliede rechts den angenäherten Werth

$$P = \frac{s-s'}{s-\gamma} (P+G),$$

so ergibt sich:

$$\frac{s-s'}{s-\gamma} = \frac{P}{P+G} + \frac{U}{P+G} (\alpha s - \alpha' s') - \frac{\alpha s U (s-s')}{(s-\gamma)(P+G)}$$

und wenn schliesslich noch in dem letzten Gliede die Luftdichte  $\gamma$  vernachlässigt wird:

$$\frac{s-s'}{s-\gamma} = \frac{P}{P+G} + \frac{U s'}{P+G} (\alpha - \alpha').$$

Diese Endformel reicht für alle praktischen Fälle vollständig aus, denn es lässt sich leicht nachweisen, dass die beiden grössten vernachlässigten Glieder:

$$\begin{aligned} \frac{P (\alpha U s)^2}{(P+G)^3} \quad \text{und} \\ \frac{\alpha s U^2 (\alpha s - \alpha' s')}{(P+G)^2} \end{aligned}$$

selbst in den ungünstigsten Fällen nur Beträge liefern, welche nicht entfernt an die Ungenauigkeiten der aräometrischen Messung heranreichen. Bemerkenswerth ist bei der Formel, dass sie in dem Korectionsgliede

$$\frac{U s'}{P+G} (\alpha - \alpha')$$

bereits die Kenntniss eines Nährungswerths für die gesuchte Dichte  $s'$  voraussetzt. Es wird meist genügen, als solchen Nährungswerth die Angabe des belasteten Instruments anzunehmen. Ist dies jedoch mit erheblichen Fehlern behaftet und wird dabei die äusserste Genauigkeit erstrebt, so hat man zunächst näherungsweise zu rechnen

$$\frac{s - (s')}{s - \gamma} = \frac{P}{P+G}$$

und das so erhaltene ( $s'$ ) mit einem dazugehörigen ( $\alpha'$ ) in das Korrectionsglied einzusetzen. Dadurch ergibt sich dann ein genauerer Werth für  $s'$ , mit welchem man das Verfahren zu wiederholen hat.

Die Rechnung vereinfacht sich, wenn eine längere Beobachtungsreihe vorliegt, da man dann das Kapillaritätsglied nicht für jeden Punkt einzeln zu ermitteln braucht. Es genügt meist in solchen Fällen nur für einige wenige Stellen, etwa die erste, mittelste und letzte, dieses Glied zu berechnen und seinen Betrag für die Zwischenpunkte zu interpoliren.

Die Prüfungsmethode mag nunmehr an einem Beispiel erläutert werden,

Es sei beobachtet, wie folgt, in Sulfosprit; die zu ermittelnden Fehler sollen ebenfalls für diese Flüssigkeit gelten.

Zu Beginn der Reihe  $s = 1,017\ 47$ ,  $s - \gamma = 1,016\ 26$ .  $G = 40\ 048\ \text{mg}$

Zum Schluss „ „  $s = 1,017\ 48$ ,  $s - \gamma = 1,016\ 27$ .  $d = 4,55$  also  $U = 14,29$ .

P	Lesung des Instruments	P + G	$\log P$ $\log (s - \gamma)$ $\log 1:(P + G)$	$\log \frac{P (s - \gamma)}{P + G}$ $\frac{P (s - \gamma)}{P + G}$	(s') Kapill. Korr.	Berechnete Dichte s' für die Eintauchstelle
0	1,019 43					
200,28	1,014 20	40 248	2,30 164 0,00 700 5,39 526	7,70 390 0,005 06	1,012 41 0	1,012 41
400,61	1,009 06	40 449	2,60 272 0,00 700 5,39 309	8,00 281 0,010 06	1,007 41 0	1,007 41
600,04	1,004 03	40 648	2,77 818 0,00 700 5,39 096	8,17 614 0,015 00	1,002 47 0	1,002 47
800,56	0,999 02	40 849	2,90 339 0,00 700 5,38 882	8,29 921 0,019 92	0,997 55 0	0,997 55
999,85	0,994 17	41 048	2,99 994 0,00 700 5,38 671	8,39 365 0,024 75	0,992 72 0	0,992 72
1200,18	0,989 42	41 248	3,07 925 0,00 700 5,38 460	8,47 085 0,029 57	0,987 90 0	0,987 90
1399,93	0,984 50	41 448	3,14 611 0,00 701 5,38 250	8,53 562 0,034 33	0,983 15 — 1	0,983 14
1599,74	0,979 74	41 648	3,20 405 0,00 701 5,38 041	8,59 147 0,039 04	0,978 44 — 1	0,978 43
1800,39	0,975 02	41 848	3,25 537 0,00 701 5,37 833	8,64 071 0,043 72	0,973 76 — 1	0,973 75
1999,65	0,970 43	42 048	3,30 095 0,00 701 5,37 625	8,68 421 0,048 33	0,969 15 — 1	0,969 14
2200,15	0,965 82	42 248	3,34 245 0,00 701 5,37 419	8,72 365 0,052 92	0,964 56 — 1	0,964 55
2400,41	0,961 17	42 448	3,38 029 0,00 701 5,37 214	8,75 944 0,057 47	0,960 01 — 1	0,960 00
2599,24	0,956 60	42 647	3,41 485 0,00 701 5,37 011	8,79 197 0,061 94	0,955 54 — 1	0,955 53

## Berechnung des Kapillaritätsgliedes für 3 Punkte.

P	800,56	1800,39	2599,24
$\alpha$	2,93	2,93	2,93
$\alpha'$ entspr. ( $s'$ )	2,92	2,91	2,91
$\alpha' - \alpha$	— 0,01	— 0,02	— 0,02
$\log s$	0,01	0,01	0,01
$\log (s')$	0,00	9,99	9,98
$\log U$	1,16	1,16	1,16
$\log (\alpha' - \alpha)$	8,00 <i>n</i>	8,30 <i>n</i>	8,30 <i>n</i>
$\log 1 : (P + G)$	5,39	5,38	5,37
$\Sigma$	4,56 <i>n</i>	4,84 <i>n</i>	4,82 <i>n</i>
Num.	— 0,000 002	— 0,000 007	— 0,000 007

## 2. Die bei den Kapillaritätsbestimmungen verwendeten Materialien.

Es wurden im Ganzen 13 Versuchsreihen und zwar mit folgenden Flüssigkeiten ausgeführt:

1. amerikanische Mineralöle,
2. russische " ,
3. deutsche " ,
4. Vaseline-Oele,
5. Braunkohlentheerdestillate,
6. Steinkohlentheerdestillate,
7. Destillirtes Wasser,
8. Glycerin-Wasser-Mischungen,
9. Glycerin-Spiritus-Mischungen,
10. Aether-Alkohol-Mischungen,
11. Natronlauge,
12. Ammoniakwasser,
13. Schwefelsäure-Alkohol-Mischungen.

Die amerikanischen Mineralöle wurden von der Petroleum-Raffinerie von Aug. Korff in Bremen geliefert; es sind 7 verschiedene Destillate in dem Dichtenbereich 0,63 bis 0,91 verwendet worden. Die russischen Oele, 8 Flüssigkeiten von der Dichte 0,66 bis 0,90, sind von der Deutsch-russischen Naphta-Import-Gesellschaft in Berlin bezogen. Von den deutschen Mineralölen stammt ein Theil aus den Pechelbronner Petroleum-Werken in Schiltigheim bei Strassburg i. E., der andere aus Oelheim, geliefert von den „Vereinigten Deutschen Petroleum-Werken“ in Peine (Hannover). Die Vaseline-Oele, zwei weisse und zwei gelbe Oele, wurden bezogen aus der Fabrik von Th. Steinkauler in Frank-

furt a./M., die Braunkohlentheerdestillate von der Sächsisch-Thüringischen Actien-Gesellschaft für Braunkohlenverwerthung (5 verschiedene Destillate), während die 7 untersuchten Steinkohlentheerproducte von der Chemischen Fabriks-Actien-Gesellschaft in Hamburg dargestellt waren. Die anderen benutzten Flüssigkeiten sind chemisch möglichst reine Producte des Handels oder aus solchen durch Mischung gewonnen. Das destillirte Wasser wurde durch zweimalige Destillation gewonnen und darf als einwandfrei gelten. Von Glycerin-Wasser-Mischungen wurden neben dem reinen Glycerin von der Dichte 1,228 noch zwei Flüssigkeiten von 1,096 und 1,179 spez. Gewicht untersucht. Die Mischungen aus Glycerin und Spiritus von 62,5 Gewichtsprozent wurden früher bei alkoholometrischen Vergleichen in wasserreichem Spiritus (von 0 bis etwa 33 Gewichtsprozent) allgemein benutzt und sind im Jahre 1883 einer sorgfältigen Untersuchung unterworfen worden. Da Grund für die Annahme vorhanden war, dass das in neuerer Zeit dargestellte Glycerin infolge seiner grösseren Reinheit und Säurefreiheit eine etwas veränderte Oberflächenspannung besitzt, so wurde eine ausgedehnte Beobachtungsreihe mit 7 Glycerin-Spiritus-Mischungen von der Dichte 0,953 bis 1,060 ausgeführt, deren Ergebniss in der That eine nicht unwesentliche Aenderung der Kapillaritäts-Konstanten erkennen lässt. Die als Aether-Alkohol-Mischung bezeichnete Flüssigkeitsreihe umfasst neben reinem Schwefeläther von der Dichte 0,726 nur noch die Mischung von 0,769 spezifischem Gewicht. Bei der Auswerthung der Ergebnisse ist noch der schon früher im Jahre 1883 bestimmte Kapillaritäts-Koeffizient von absolutem Alkohol als Schlusszahl der Reihe mitgenommen worden. Die Lösungen von Aetznatron in destillirtem Wasser sind mit aller nöthigen Vorsicht unter Abschluss der Luft dargestellt worden; auch wurde den Flüssigkeiten lange Zeit gelassen, bis sie sich völlig geklärt hatten. Bestimmt wurden 5 Lösungen mit den Dichten 1,06, 1,17, 1,22, 1,24 und 1,39. Der Ammoniak wurde aus der chemischen Fabrik von Merck in Darmstadt bezogen, er hatte eine Dichte von 0,920. Durch Hinzufügen von destillirtem Wasser wurden dann noch zwei Lösungen von der Dichte 0,955 und 0,978 hergestellt und untersucht. Die Schwefelsäure-Alkohol-Mischungen, kurz mit Sulfospirt bezeichnet, sind aus chemisch reiner konzentrirter Schwefelsäure von der Dichte 1,845 und Spiritus von 80 Gewichtsprozent zusammengesetzt. Da diese Flüssigkeit bei allen aräometrischen Vergleichen für Dichten über 1,00 und auch zuweilen bei solchen für den Dichtenbereich 0,85 bis 1,00 Verwendung findet, so wurde auf die Kapillaritätsmessung derselben besonders viel Mühe und Zeit verwendet. Dargestellt und untersucht wurden im Ganzen 11 Mischungen von den Dichten 1,000, 1,085, 1,178, 1,304, 1,356, 1,414, 1,483, 1,555, 1,700, 1,716 und die konzentrirte Säure (1,845) selbst,

### 3. Die benutzten Apparate und Instrumente.

Zur Ausführung der Beobachtungen war in erster Linie eine grössere Anzahl gut kalibrirter Röhren erforderlich. Es sind zwei Arten von Röhren zur Verwendung gelangt, von denen die eine mit einer feinen 200 mm langen Millimetertheilung versehen war, während die andere Art ausser einer aufgezätzten Unterscheidungsnummer eine völlig glatte Oberfläche zeigte. Die Kalibrirung der Röhren wurde mit kurzen, meist etwa 20 mm langen Quecksilberfäden in der gewöhnlichen und deshalb hier nicht näher beschriebenen Weise ausgeführt und die Berechnung der Radien erfolgte nach der im Metr. Beitrag No. 6 pag. 10 angegebenen Formel:

$$\log r = \frac{1}{2} \left[ \log G - 1,630\ 53 - \log l \right] - 0,29 \frac{r}{l}.$$

Zur Wägung der Quecksilberfäden diente eine kleine Wage von Bunge in Hamburg, welche für 1 mg einen Ausschlag von 3 Skalentheilen ergab, also das Gewicht der Fäden bis auf etwa 0,03 mg richtig erkennen liess. Als Gewichtssatz wurde ein Normalsatz aus vergoldetem Messing benutzt, dessen Stücke von Zeit zu Zeit mit grosser Genauigkeit auf Hundertstel des Milligramm bestimmt waren und sich im Laufe der Jahre vorzüglich konstant gehalten haben. Zur Kalibrirung der getheilten Röhren diente ein gewöhnlicher Thermometerkalibrirapparat mit zwei parallel verschiebbaren Mikroskopen, während bei den Röhren ohne Theilung die Länge der Quecksilberfäden auf einem Schraubenkomparator von Sommer & Runge in Berlin auf 0,01 mm genau gemessen wurde.

Für eine geringe Anzahl von Röhren ist nur ein mittleres Kaliber durch einen möglichst langen Quecksilberfaden bestimmt worden. Dieselben sind bei den Beobachtungen möglichst in ihrem ganzen Umfange benutzt worden, sodass bei den Mittelbildungen die Kaliberänderungen so gut wie unschädlich gemacht sind.

Die mit Theilung versehenen Röhren wurden auf dem Sommer & Rungeschen Schraubenkomparator einer sorgfältigen Theilfehlerbestimmung unterworfen; es zeigte sich jedoch, dass die Fehler der Skalen sich überall in sehr engen Grenzen (0,03 mm) hielten und aus diesem Grunde ohne Bedenken vernachlässigt werden konnten, um so mehr, als nur die Differenz der Theilfehler zweier nicht weit von einander liegender Striche in die Rechnung eingeht.

Die Ergebnisse der Röhrenkalibrirung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt,

Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm	
1	23,4	0,3801	14	22,1	0,3932	29	48,1	1,1420	
	35,8	3798		22,8	3933		68,2	1463	
	43,0	3798		34,7	3938		75,5	1460	
	64,4	3798		51,4	3943				
	80,8	3789		74,0	3936		31	1,1343	
	98,6	3780		95,4	3935				
	121,5	3769		118,0	3942		33	0,5178	
	134,8	3774		140,5	3936				
	149,6	3782		163,2	3931		36	10	0,7659
	164,9	3786		188,2	3922			30	7679
	182,3	3784		209,6	3921			50	7704
	204,0	3777		226,7	3924			70	7692
	225,4	3778						90	7624
8	28,8	0,3802	19	19,7	0,3668	38		0,5585	
	54,0	3809		41,6	3672				
	76,2	3809		55,5	3679		39	0,7506	
	101,1	3803		73,6	3689				
	123,8	3794		89,9	3703		40	0,4614	
	149,0	3781		106,8	3707				
	170,1	3772		126,7	3716		42	0,5064	
	193,0	3771		145,6	3715				
	212,6	3757		150,6	3712		43	0,4724	
				170,0	3714				
		181,9	3714						
9	21,4	0,3928	27	206,3	3717	46	23,7	0,7897	
	32,1	3920		231,2	3729		30,4	7864	
	54,6	3915					44,9	7793	
	77,4	3909					48,9	7775	
	103,2	3902					51,7	7762	
	118,7	3892					65,9	7693	
	129,0	3882					70,4	7672	
	153,5	3866					90,4	7574	
	176,0	3858							
	198,2	3840							
225,1	3820								
12	26,6	0,3714	28	19,5	0,9335	47	22,8	1,0959	
	27,5	3715		25,6	9343		33,3	0950	
	47,7	3718		32,5	9350		47,9	0940	
	71,9	3717		45,6	9356		53,0	0935	
	101,1	3732		45,9	9356		68,1	0924	
	128,7	3748		59,4	9356		73,4	0920	
	152,5	3761		75,5	9349		91,0	0905	
	176,6	3753		91,0	9342				
	200,6	3752							
	225,0	3761							
					29		20,6	1,1272	50
				29,4	1316				
				46,3	1411				

Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm	
51	10,2	0,1388	55	50,0	0,3212	60	89,9	0,3448	
	30,2	1387		70,0	3208		109,9	3423	
	50,1	1389		89,9	3210		130,0	3397	
	70,1	1389		110,0	3208		149,9	3398	
	90,1	1388		129,9	3210		170,0	3410	
	109,9	1392		149,9	3211		189,9	3411	
	130,2	1396		169,9	3220				
	150,1	1404		189,0	3232		61	10,3	0,2414
	170,0	1408						29,9	2407
189,9	1409			50,0	2398				
52	10,5	0,2645	56	11,0	0,1470		69,8	2392	
	29,8	2649		30,0	1471	90,0	2380		
	49,7	2647		49,9	1470	110,0	2375		
	69,7	2653		70,0	1471	129,9	2375		
	89,7	2664		89,9	1477	150,0	2371		
	109,7	2680		109,8	1475	170,0	2374		
	129,6	2693		129,9	1473	189,5	2377		
	149,8	2698		149,9	1482				
	169,6	2708		169,9	1484	63	10,3	0,2110	
	189,8	2719		189,1	1477		30,1	2103	
			58	10,2	0,2244		50,1	2103	
		30,0		2233	69,9	2095			
53	10,0	0,3026		50,0	2228		90,0	2091	
	30,0	3024		69,9	2218		110,0	2088	
	49,9	3027		90,0	2211		129,9	2080	
	70,0	3020		110,1	2203		149,9	2064	
	90,0	3025		129,9	2195		170,0	2049	
	109,8	3023		150,0	2191		189,0	2050	
	130,1	3023		170,1	2182	64	10,0	0,2155	
	150,0	3027		189,6	2177		30,0	2159	
	169,9	3021	59	10,0	0,4519		49,9	2167	
189,9	3017	30,0		4509	69,9	2161			
54	10,5	0,2246		50,2	4497		89,9	2162	
	29,9	2255		69,9	4505		110,0	2168	
	49,9	2262		90,0	4484		129,9	2171	
	69,9	2249		110,1	4485		149,9	2172	
	89,9	2244		129,9	4491		170,0	2175	
	109,9	2238		150,0	4488		190,0	2161	
	130,0	2234		170,0	4474	65	10,5	0,2159	
	150,0	2231		190,0	4466		30,1	2166	
	170,1	2231	60	10,0	0,3448		50,1	2166	
	189,3	2226		30,0	3459	69,9	2165		
55	11,2	0,3213		49,9	3463		90,0	2157	
	30,1	3218		70,0	3456		110,0	2142	

Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm	Röhre No.	Stelle	Radius mm
65	129,9	0,2132	70		0,377	81	10	0,8510
	150,0	2127		30			8520	
	170,0	2128		50			8526	
	189,1	2135		70			8512	
			76		0,586		90	8521
66	10,8	0,1878	78		0,701	85		0,388
	29,9	1886						
	49,9	1883						
	69,9	1896	78		0,379	92	10	0,7881
	90,0	1895		30			7927	
	110,0	1900	80	10	0,8087		50	7939
	129,9	1906		30	8064		70	7928
	149,9	1912		50	8097		90	8019
	170,1	1922		70	8124			
	189,5	1940		90	8134			

Zur Ausmessung der Steighöhen diente ein grosses Kathetometer von 2 m Höhe mit dreiseitigem Prisma. Der das Ablesefernrohr und das mit letzterem verbundene Niveau tragende Schlitten enthält eine Mikrometervorrichtung, mittelst deren die in die eine Ebene des Prismas eingelegte Skale auf 0,001 mm abgelesen werden kann.

Die zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienenden Gläser hatten Cylindergestalt und etwa 10 cm Höhe. Sie wurden so weit gefüllt, dass der in der eintauchenden Kapillarröhre sich bildende Meniskus den Glasrand überragte. Die Gläser standen auf einer kreisförmigen eisernen Scheibe, welche um eine vertikale Mittelaxe drehbar war, sodass ein Glas nach dem anderen in die Visirlinie des Ablesefernrohres gebracht werden konnte. Zur Einstellung des Niveaus von undurchsichtigen Flüssigkeiten diente eine vergoldete, an einem Stahlcylinder befindliche Spitze, welche sich mittelst einer Feinbewegung in vertikaler Richtung auf und nieder bewegen liess. Der Cylinder war an seinem mittleren Theile bis auf die Längsaxe ausgefräst und trug in der Axenebene eine kurze Millimetertheilung. Von dieser ist stets nur der unterste, der Spitze zunächst stehende Strich benutzt worden. Der Abstand dieses Striches von der Spitze wurde sorgfältig und wiederholt gemessen, er betrug im Mittel 40,28 mm.

Zur Bestimmung der Flüssigkeitsdichten wurde eine Mohr'sche Waage benutzt, welche die Einheiten der dritten Dezimale des spezifischen Gewichtes sicher angiebt.

Die äussere Anordnung der Beobachtungsapparate entspricht im Wesentlichen der im II. Heft der „Wissenschaftlichen Abhandlungen“ auf S. 114 und 115 gegebenen Darstellung, vgl. die dort befindliche Abbildung.

#### 4. Anordnung und Ausführung der Versuche.

Die Messung der Steighöhen erfolgte auf drei verschiedene Arten. Bei der ersten wurde die Flüssigkeitskuppe in der Röhre sowie das Niveau direkt mit dem Kathetometer eingestellt und die Ablesungen am Schlittenmikrometer notirt. Dies Verfahren konnte naturgemäss nur bei durchsichtigen Flüssigkeiten Anwendung finden, da im anderen Fall der sich im Glascylinder bildende kapillare Wulst eine Einstellung des Niveaus unmöglich macht. Bei undurchsichtigen Flüssigkeiten musste die Lage des Niveaus mit Hilfe der Spitze festgelegt werden. Beide Beobachtungsmethoden sind lediglich bei der Untersuchung von Mineralölen unter Benutzung von ungetheilten Röhren angewendet worden. Ihnen gegenüber steht die Beobachtung mit blossem Auge unter Verwendung der mit Theilung versehenen Röhren. Diese dritte Methode hat den Vortheil, dass sie bequem und schnell von einer Person ausgeführt werden kann. Die Ablesung des Niveaus an der getheilten Röhre geschieht genau in der Art der aräometrischen Ablesung, d. h. man hebt von unten gegen das Niveau blickend langsam das Auge so weit, bis die an der Röhre erscheinende Ellipse sich zu einer feinen Linie auseinander zieht, und schätzt die Lage des Schnittes in der Theilung der Röhre. Unmittelbar darauf erfolgt dann die Ablesung des tiefsten Punktes der Flüssigkeitskuppe. Ein Nachtheil dieser Messungsart besteht darin, dass die durch Schätzung gewonnenen Ablesungen beträchtlich ungenauer sind, als die mit dem Kathetometer erhaltenen. Jedoch wird man aus dem beigefügten Beobachtungsmaterial ersehen, dass diese Schätzungsfehler sich bei einiger Uebung des Beobachters dennoch in recht engen Grenzen halten. Dabei ist zu bemerken, dass die zu messenden Steighöhen selbst mit beträchtlichen Fehlern behaftet sind und zwar in Folge unvollkommener oder ungleichmässiger Benetzung, sodass also selbst eine absolut genaue Messung der Höhe im Allgemeinen doch noch zu einem ungenauen Resultate führen muss. Eine Anhäufung der Beobachtungen ist aber bei der Messung mit blossem Auge sehr leicht und schnell zu erreichen, während sie bei der Benutzung des Kathetometers sehr viel Zeit kostet.

Bei der Beobachtung selbst wurde in erster Linie darauf gesehen, dass die Benetzung in der Röhre einwandfrei war, im anderen Fall wurde die letztere von vorn herein von der Messung ausgeschlossen. Eine gute Benetzung lässt sich durch die Erfüllung zweier Bedingungen erreichen: zunächst muss die Innenwandung der Röhre völlig rein sein und ferner muss die Röhre am Meniskus und noch ein wenig oberhalb desselben schon mit der Flüssigkeit in Berührung gebracht sein.

Die Reinigung der Röhren geschah bei der Beobachtung mit Mineralölen und Aether-Alkohol-Mischungen genau auf die im II. Heft der „Wiss. Abh.“ erörterte Art. Bei den Untersuchungen der anderen Flüssigkeiten erwies sich eine andere Reinigungsmethode als sehr zweckmässig. Die Röhren wurden nämlich durch starkwandigen Gummischlauch mit einem kleinen Dampfkessel in Verbindung gebracht, sodass sie von Dampf oder heissem Kondenswasser unter dem Drucke von etwa  $\frac{1}{4}$  Atmosphäre durchströmt wurden. Da die mit solchen Röhren untersuchten Flüssigkeiten sämmtlich in Wasser löslich waren, so wurden alle Unreinlichkeiten auf diese Art bei einer halbstündlichen Einwirkung des Dampfes entfernt. Die Austrocknung der Röhren geschah an der Wasserstrahl-Saugpumpe, nachdem sie mit Alkohol nachgespült waren. Selbstverständlich war die zum Trocknen verwendete Luft durch Chlorcalcium-Vorlagen von jeder Feuchtigkeit befreit. Die auf diese Art gereinigten Röhren zeigten mit ganz wenigen Ausnahmen bei der Beobachtung eine gute Benetzung. Letztere wurde dadurch unterstützt, dass die die Flüssigkeit enthaltenden Gläser vor jeder Messung ein wenig angehoben wurden, während die Lage der Röhre selbst sich nicht änderte. Dabei muss der Meniskus gleichfalls ansteigen und aus der Art und Weise, in welcher dies geschieht, kann man stets ein zutreffendes Urtheil über die Güte der Benetzung gewinnen. Ist die letztere mangelhaft, so findet der Anstieg ruckweise statt, und es empfiehlt sich, das Glas noch einmal anzuheben. Erfolgt der Anstieg jetzt ohne irgend welches Hinderniss, so darf man, wenn das Gefäss wieder gesenkt ist, auf eine brauchbare Benetzung rechnen. Der Meniskus geht langsam abwärts, bis er an die Gleichgewichtslage gelangt ist, und die Messung kann von Statten gehen. Diese Art der Beobachtung führt zu verhältnissmässig günstigen Resultaten und zwar auch bei wasserreichen, also schwer zur Benetzung zu bringenden Flüssigkeiten, wie die Versuche mit destillirtem Wasser, Natronlauge und Glycerin-Wasser-Mischungen erkennen lassen.

Die Kapillaritätsmessungen sind stets bei der Zimmertemperatur ausgeführt, da die abzuleitenden Konstanten zum Zweck der Reduction aräometrischer Angaben nur für mittlere Temperaturen in Frage kommen. Hieraus erklärt es sich, dass in den mitgetheilten Beobachtungsergebnissen die Temperaturangabe öfter fehlt oder nur unvollständig vorhanden ist. Die Resultate innerhalb der einzelnen Versuchsreihen sind ohne Rücksicht auf die geringen Temperaturschwankungen als gleichartig betrachtet und ohne weitere Reduction, für welche irgend welche Anhaltspunkte nicht vorhanden waren, einer graphischen Ausgleichung unterzogen. Von einer analytischen Ausgleichung wurde Abstand genommen, weil ausreichende Formeln hierfür noch nicht bekannt sind.

## 5. Die Messung kapillarer Steighöhen von Mineralölen.

## Amerikanisches Mineralöl.

Im Ganzen wurden 7 Oele bei einer Temperatur von rund 18° C. untersucht und zwar mit 4 verschiedenen, nicht getheilten Röhren, deren Durchmesser etwa  $\frac{3}{4}$  mm betragen. Niveau und Kuppe sind direct mit dem Kathetometer eingestellt. Die Beobachtungen waren folgende:

Dichte $\frac{s}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe				
0,63	18,0	19	638,829	652,807	13,978	45,8	0,3673	5,179
	18,0	"	638,156	652,072	13,916	38,4	0,3671	5,155
	17,1	"	632,617	646,733	14,116	24,7	0,3669	5,224
0,66		1	634,351	648,514	14,163	44,2	0,3798	5,430
		"	638,879	652,811	13,932	42,6	0,3798	5,339
		"	634,692	648,732	14,040	29,8	0,3799	5,383
0,72		12	637,546	653,785	16,239	43,8	0,3717	6,082
		"	631,577	647,721	16,144	31,3	0,3715	6,044
		"	630,848	646,817	15,969	21,8	0,3712	5,974
0,76		19	634,697	651,903	17,206	52,9	0,3678	6,374
		"	631,947	649,028	17,081	38,3	0,3671	6,315
		"	631,828	648,876	17,048	36,1	0,3671	6,304
0,80		8	637,280	655,801	18,521	62,8	0,3809	7,104
		"	635,774	654,313	18,539	46,8	0,3807	7,107
		"	635,942	654,315	18,373	44,4	0,3806	7,042
0,85		12	634,976	653,624	18,648	60,6	0,3717	6,977
		"	635,018	653,309	18,291	44,3	0,3717	6,845
		"	634,467	653,068	18,601	42,0	0,3716	6,958
0,91		1	650,590	669,011	18,421	76,8	0,3792	7,034
		"	650,672	669,369	18,697	64,2	0,3798	7,148
		"	650,312	668,994	18,682	60,7	0,3798	7,143

Durch Bildung der Mittelwerthe erhält man folgende Tabelle:

Dichte	$2\alpha$ Beob.	$2\alpha$ Curve	$\Delta$
0,63	5,186	5,15	- 0,036
0,66	5,384	5,43	+ 0,046
0,72	6,033	5,99	- 0,043
0,76	6,331	6,33	- 0,001
0,80	7,084	6,62	- 0,464
0,85	6,927	6,93	+ 0,003
0,91	7,108	7,11	+ 0,002

Trägt man diese Beträge als Ordinaten zu den Abscissen der Dichte graphisch auf, so ergibt sich die Kurve für amerikanisches Mineralöl:

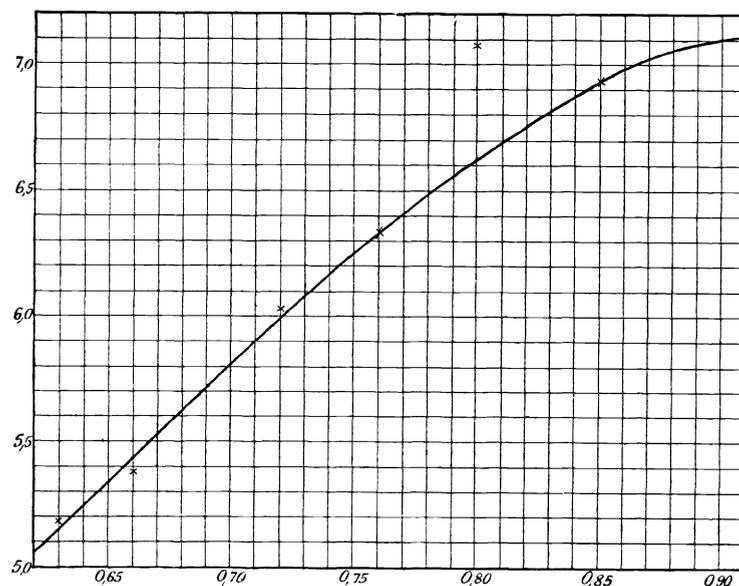


Fig. 1.

Der Punkt 7,084 bei der Dichte 0,80 fällt sehr stark aus dem Gange heraus, sodass Grund vorhanden ist, ein Versehen zu vermuthen und ihn auszuschliessen.

Die Kurve zeigt dann einen durchweg glatten Verlauf und entfernt sich von den einzelnen Punkten um Beträge, welche den zu erwartenden Beobachtungsfehler nicht überschreiten.

Durch Ablesung der Kurve erhält man die nachfolgende Tabelle, gültig für eine mittlere Temperatur von 18° C. Die Umrechnung auf absolutes Maass ist mit der Konstanten  $g = 981,28$  (vgl. pag. 2 unten) ausgeführt.

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner	Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
0,62	5,06	15,4	0,77	6,41	24,2
63	5,15	15,9	78	6,48	24,8
64	5,24	16,5	79	6,55	25,4
65	5,34	17,0	80	6,62	26,0
0,66	5,43	17,6	0,81	6,69	26,6
67	5,53	18,2	82	6,76	27,2
68	5,62	18,8	83	6,82	27,8
69	5,71	19,4	84	6,88	28,4
70	5,81	20,0	85	6,93	28,9
0,71	5,90	20,6	0,86	6,98	29,5
72	5,99	21,2	87	7,02	30,0
73	6,08	21,8	88	7,06	30,5
74	6,17	22,4	89	7,09	31,0
75	6,25	23,0	90	7,11	31,4
0,76	6,33	23,6	0,91	7,11	31,7

Die Vergleichung der so gewonnenen Ergebnisse mit denjenigen anderer Beobachter stösst in sofern auf Schwierigkeiten, als im Allgemeinen keine Angaben darüber gemacht sind, welcher Herkunft die untersuchten Flüssigkeiten waren. Da jedoch in Deutschland die Verwendung von amerikanischen Oelen sehr stark überwiegt und früher noch mehr überwog, so wird man den thatsächlichen Verhältnissen am nächsten kommen, wenn man bei der Vergleichung die Annahme macht, dass es sich im Allgemeinen um derartige Mineralöle handelt. Die nachstehende Tabelle enthält eine Anzahl von Beobachtungsergebnissen und deren Umrechnung auf absolutes Mass. Die Reduktion auf 18° C ist nach den Beobachtungen von Frankenheim ermittelt: aus dessen Zahlen für 0° und 25° C ergibt sich

$$\frac{dT}{dt} = -0,096 \text{ oder abgerundet}$$

$$\frac{dT}{dt} = -0,1$$

ein Werth, der für kleine Temperaturintervalle ausreichend erscheint.

Beobachter	t	Dichte	a <sup>2</sup> qmm	α mg	T <sub>t</sub> Dynen	T <sub>18</sub> Dynen	T <sub>18</sub> N. A. K. Dynen	T-T'
Frankenheim <sup>1)</sup>	0	0,8467	6,95		28,9	27,2	28,1	- 0,9
	25	0,8274	6,52		26,5			
„ <sup>2)</sup>	13	0,787	6,75		26,1	25,6	25,2	+ 0,4
„ <sup>3)</sup>	25	0,840	6,60		27,2	27,9	28,9	- 1,0
Rodenbeck <sup>4)</sup>		0,767	6,75		25,4	(25,4)	24,0	(+ 1,4)
Magie <sup>5)</sup>	18	0,773	6,32		24,0	24,0	24,4	- 0,4
„ <sup>6)</sup>	16,3	0,808	6,75		26,8	26,6	26,5	+ 0,1
„ <sup>7)</sup>	22-23	0,782	6,76		25,9	26,4	25,4	+ 1,0
„ <sup>8)</sup>	20	0,698	5,68		19,5	19,7	20,0	- 0,3
Engler <sup>9)</sup>	17	0,805		2,60	25,5	25,4	26,4	- 1,0
Worthington <sup>10)</sup>	20	0,7977		2,91	28,6	28,8	26,0	+ 2,8
Watson <sup>11)</sup>	0	0,7875			26,6	24,8	25,2	- 0,4
Bartoli <sup>12)</sup>								

1) Pogg. Ann. 72. 177. 1847.

2) Die Lehre von der Cohäsion. Breslau 1835.

3) Pogg. Ann. 72. 177. 1847.

4) Ueber Kapillaritätsbestimmungen von Flüssigkeitsgemischen. Diss. Bonn 1879.

5) Ueber Kapillaritätskonstanten. Diss. Berlin 1885.

6) Sill. J. (3) 31. 189. 1886.

7) Phil. Mag. (5) 26. 162. 1888.

8) Phil. Mag. (5) 26. 162. 1888.

9) Dingler 261. 77. 1886.

10) Phil. Mag. (5) 20. 51. 1885.

11) Phys. Rev. 12. 257. 1901.

12) Vgl. pag. 32.

Der Werth von Engler ist der einzige, welcher sich ausdrücklich auf amerikanisches Mineralöl bezieht. Die Beträge der letzten Kolumne halten sich in leidlich engen Grenzen, sie sind zur Hälfte positiv, zur Hälfte negativ, sodass sich die hier mitgetheilten Zahlen als gute Mittelwerthe darstellen.

#### Russisches Mineralöl.

Es sind 8 Oele russischer Herkunft von der Dichte 0,66 bis 0,90 untersucht worden und zwar mit denselben 4 Röhren, wie bei den amerikanischen Producten, zu welchen dann noch zwei andere von nahezu derselben Weite hinzugenommen wurden. Die Beobachtungen sind ebenfalls durch directe Einstellung des Niveaus und der Kuppe mit dem Bambergischen Kathetometer ausgeführt. Die Messungen sind in der folgenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt.

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe				
0,66		8	629,549	643,498	13,949	35,0	0,3803	5,353
		„	614,033	628,119	14,086	19,7	0,3799	5,400
		„	613,951	627,995	14,044	19,7	0,3799	5,384
		„	633,805	648,228	14,423	25,7	0,3801	5,529
0,68		9	637,460	651,622	14,162	41,6	0,3918	5,600
		„	631,779	645,927	14,148	28,7	0,3921	5,597
		„	630,335	644,320	13,985	18,8	0,3930	5,547
0,72		14	635,814	650,629	14,815	44,1	0,3941	5,890
		„	638,578	653,682	15,104	40,4	0,3939	6,003
		„	637,826	652,573	14,747	30,6	0,3936	5,857
0,76		14	636,000	651,645	15,645	33,6	0,3938	6,213
		„	634,561	650,023	15,462	32,5	0,3937	6,140
		„	642,254	657,839	15,585	26,8	0,3935	6,184
0,78		12	636,828	653,853	17,025	44,3	0,3717	6,374
		„	635,400	652,322	16,922	43,1	0,3717	6,336
		„	635,446	652,240	16,794	29,2	0,3715	6,285
0,82	18,0	1	635,668	653,000	17,332	47,0	0,3798	6,631
		„	635,084	652,430	17,346	46,9	0,3798	6,634
		„	635,092	652,503	17,411	32,0	0,3798	6,664
0,84		19	637,070	655,387	18,317	43,9	0,3672	6,772
		„	636,337	654,483	18,146	43,6	0,3673	6,710
		„	636,684	654,962	18,278	30,3	0,3670	6,753
0,90		8	636,230	654,957	18,727	51,5	0,3809	7,181
		„	635,526	654,216	18,690	44,2	0,3806	7,163
		„	635,508	654,025	18,517	35,2	0,3805	7,094

Eine Mittelbildung der für die einzelnen Flüssigkeiten erhaltenen Ergebnisse führt zu der folgenden Tabelle, in welcher  $\Delta$  den nach der Ausgleichung übrig bleibenden Betrag bezeichnet:

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
0,66	5,417	5,43	+ 0,013
0,68	5,581	5,58	- 0,001
0,72	5,917	5,89	- 0,027
0,76	6,179	6,20	+ 0,021
0,78	6,332	6,34	+ 0,008
0,82	6,643	6,62	- 0,023
0,84	6,745	6,75	+ 0,005
0,90	7,146	7,14	- 0,006

Die Mittelwerthe werden als Ordinaten zu den Abscissen der Dichten graphisch aufgetragen und durch eine ausgleichende Kurve verbunden; dann erhält man folgende Darstellung:

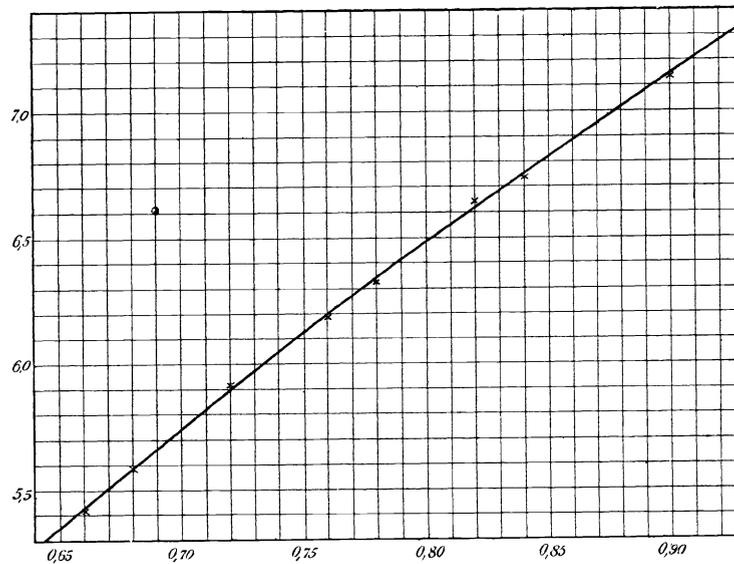


Fig. 2.

Die erhaltene Kurve schliesst sich recht gut den Beobachtungswerthen an, denn die Maximalabweichung bei der Dichte 0,72 im Betrage von 0,03 liegt innerhalb der zu befürchtenden Messungsfehler. Uebrigens ist anzunehmen, dass die Differenzen nicht lediglich den beobachteten Kapillaritätskonstanten zur Last fallen, dass vielmehr ein Theil derselben auf die Unsicherheit

der Argumente, der Dichtenangaben zurückzuführen ist, welche nur auf Einheiten der zweiten Dezimalstelle angegeben sind. Die Kurve ist eine ganz schwach gekrümmte Linie, die sich der Geraden beträchtlich mehr nähert, als es bei den amerikanischen Oelen der Fall ist. Die Ablesung der Kurvenordinaten führt zu der folgenden Tabelle, die für eine Temperatur von rund 18° C. gilt.

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
0,65	5,35	17,1	0,80	6,48	25,4
66	5,43	17,6	81	6,55	26,0
67	5,51	18,1	82	6,62	26,6
68	5,58	18,6	83	6,68	27,2
69	5,66	19,2	84	6,75	27,8
0,70	5,74	19,7	0,85	6,82	28,4
71	5,82	20,3	86	6,88	29,0
72	5,89	20,8	87	6,95	29,7
73	5,97	21,4	88	7,02	30,3
74	6,05	22,0	89	7,08	30,9
0,75	6,12	22,5	0,90	7,15	31,6
76	6,20	23,1	91	7,21	32,2
77	6,27	23,7	92	7,28	32,9
78	6,34	24,3			
79	6,41	24,8			
0,80	6,48	25,4			

Zur Vergleichung mit diesen Zahlen kann nur eine einzige Beobachtung von Engler<sup>1)</sup> herangezogen werden. Derselbe fand bei 17° C.  $T = 26,1$  für ein russisches Mineralöl der Dichte 0,82. Der aus obiger Tabelle hervorgehende Werth von 26,6 stimmt ganz gut damit überein.

#### Deutsches Mineralöl.

Es sind 11 Flüssigkeiten untersucht, von denen die spezifisch leichteren von 0,65 bis 0,84 elsässische Producte aus Pechelbronn darstellen, während die übrigen Schmieröle aus Oelheim sind.

<sup>1)</sup> Dingler 261. 77. 1886.

Dichte $S_{\frac{15}{4}}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe					
0,65	19,3	14	642,665	656,466	13,801	47,5	0,3942	5,492	
		„	638,277	651,944	13,667	38,2	0,3939	5,436	
		„	634,965	648,668	13,703	21,8	0,3933	5,440	
0,70		9	648,135	662,823	14,688	48,8	0,3917	5,805	
		„	640,911	655,466	14,555	37,1	0,3920	5,756	
		„	640,313	654,876	14,563	23,4	0,3928	5,773	
0,74		8	642,309	658,611	16,302	49,6	0,3808	6,256	
		„	640,329	656,683	16,354	44,8	0,3807	6,275	
		„	640,415	656,840	16,425	32,0	0,3803	6,294	
0,80		19	643,721	661,967	18,246	51,0	0,3677	6,755	
		„	643,143	661,091	17,948	48,2	0,3676	6,644	
		„	643,147	661,014	17,867	48,2	0,3676	6,613	
		„	643,084	661,178	18,094	35,5	0,3671	6,686	
0,84		12	645,013	663,930	18,917	54,9	0,3718	7,080	
		„	644,588	663,397	18,809	52,5	0,3718	7,039	
		„	644,327	663,201	18,874	38,7	0,3716	7,060	
0,875	16,5	19	631,383	650,366	18,983	60,6	0,3682	7,035	
	16,7	„	× 671,056	650,183	19,407	47,4	0,3675	7,177	
	16,7	„	× 670,959	650,093	19,414	47,4	0,3675	7,180	
	15,0	„	630,771	649,885	19,114	47,8	0,3675	7,070	
	15,0	„	630,962	650,069	19,107	47,8	0,3675	7,067	
	15,0	„	× 670,992	650,069	19,357	47,8	0,3675	7,159	
0,89		1	651,545	670,306	18,761	58,7	0,3798	7,173	
		„	650,663	669,686	19,023	50,5	0,3798	7,273	
		„	650,883	669,766	18,883	41,3	0,3798	7,219	
0,915		8	× 675,986	654,463	18,757	59,0	0,3809	7,193	
		16,8	„	× 675,560	654,042	18,762	35,1	0,3804	7,185
		15,3	„	× 675,592	653,960	18,648	35,1	0,3804	7,142
0,93		12	× 672,014	650,807	19,073	64,5	0,3717	7,136	
		16,7	„	× 671,600	650,439	19,119	53,6	0,3718	7,154
		15,0	„	× 671,699	650,306	18,887	53,5	0,3718	7,068
		16,6	1	× 683,587	661,675	18,368	66,1	0,3797	7,023
		16,8	„	× 682,965	661,256	18,571	54,8	0,3798	7,101
		16,8	„	× 683,127	661,430	18,583	54,8	0,3798	7,106
		15,2	„	× 683,047	661,191	18,424	54,7	0,3798	7,046
0,94		9	× 674,161	651,285	17,404	57,9	0,3913	6,861	
		„	× 674,021	651,566	17,825	43,6	0,3918	7,034	
		15,7	„	× 673,746	651,844	18,378	43,8	0,3918	7,252

Bem. Ein Kreuz × bedeutet, dass das Niveau mit der Spitze eingestellt ist.

Durch Vereinigung der für die einzelnen Flüssigkeiten erhaltenen Werthe zu Mitteln erhält man die folgende Zusammenstellung, in welcher  $\Delta$  wieder die nach der Ausgleichung übrigbleibenden Fehler bezeichnet.

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
0,65	5,456	5,41	- 0,046
0,70	5,778	5,86	+ 0,082
0,74	6,275	6,22	- 0,055
0,80	6,675	6,76	+ 0,085
0,84	7,060	7,04	- 0,020
0,875	7,115	7,17	+ 0,055
0,89	7,222	7,19	- 0,032
0,915	7,173	7,16	- 0,013
0,93	7,091	7,10	+ 0,009
0,94	7,049	7,03	- 0,019

Für die graphische Ausgleichung ergibt sich die folgende Kurve:

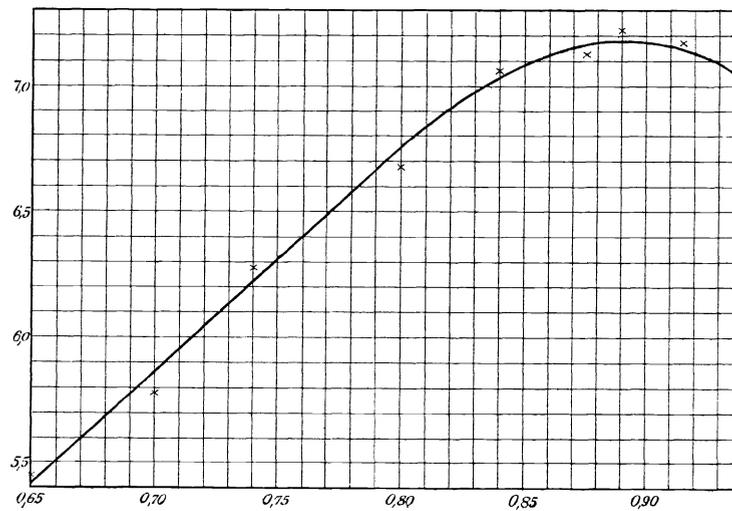


Fig. 3.

Bemerkenswerth ist, dass die Werthe für die norddeutschen Schmieröle sich sehr gut an diejenigen für die süddeutschen Leuchtöle anschliessen.

Die Kurve liefert folgende Kapillaritätstabelle für deutsche Mineralöle, gültig für eine Temperatur von rund  $17^{\circ}$  C.

Dichte	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	Dichte	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
0,65	5,41	17,3	0,80	6,76	26,5
66	5,50	17,8	81	6,84	27,2
67	5,59	18,4	82	6,91	27,8
68	5,68	18,9	83	6,98	28,4
69	5,77	19,5	84	7,04	29,0
0,70	5,86	20,1	0,85	7,09	29,6
71	5,95	20,7	86	7,13	30,1
72	6,04	21,3	87	7,16	30,6
73	6,13	21,9	88	7,18	31,0
74	6,22	22,6	89	7,19	31,4
0,75	6,31	23,2	0,90	7,18	31,7
76	6,40	23,9	91	7,17	32,0
77	6,49	24,5	92	7,15	32,3
78	6,58	25,2	93	7,10	32,4
79	6,67	25,9	94	7,03	32,4
0,80	6,76	26,5			

Vergleicht man diese Zahlen mit den für amerikanisches und russisches Mineralöl erhaltenen, so findet man, dass sie durchweg etwas grösser sind; die amerikanischen Oele weisen im Allgemeinen Mittelwerthe auf und nähern sich in den höheren Dichten den russischen. Im Uebrigen ist die Abweichung der Kapillaritätskonstanten der drei Arten von Mineralölen so gering, dass sie in der aräometrischen Praxis meist zu vernachlässigen ist, um so mehr, als die Annahme gerechtfertigt erscheint, dass diese Zahlen nicht als völlig konstant zu betrachten sind; denn die Zusammensetzung der Oele ist sicher im Laufe der Zeit Veränderungen unterworfen, die sich wahrscheinlich auch auf die Oberflächenspannung erstrecken werden.

#### Vaseline-Oele.

Die Beobachtungen der Steighöhen sind in der nachstehenden Tabelle wiedergegeben.

Dichte $S_{15}^4$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe				
0,863 (weiss)	15	14	634,614	652,829	18,215	50,3	0,3943	7,234
		„	634,663	652,790	18,127	36,5	0,3939	7,192
		„	634,716	652,729	18,013	31,7	0,3937	7,143
0,873 (gelb)	15	8	637,239	655,652	18,413	64,9	0,3809	7,062
		„	637,269	655,886	18,617	50,3	0,3808	7,138
		„	636,993	655,675	18,682	43,3	0,3806	7,159

Dichte $S_{\frac{15}{4}}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe				
0,883 (weiss)	15	9	637,477	656,018	18,541	65,8	0,3912	7,304
		„	637,524	655,912	18,388	50,6	0,3916	7,252
		„	637,500	655,850	18,350	44,8	0,3918	7,241
0,908 (gelb)	19	19	641,717	661,407	19,690	61,5	0,3682	7,295
		„	641,393	661,249	19,856	52,7	0,3678	7,348
		„	641,223	661,158	19,935	49,0	0,3676	7,373

Durch Mittelbildung der für die einzelnen Flüssigkeiten erhaltenen Konstanten erhält man die folgende Tabelle, in welcher  $\Delta$  wie früher die nach der Ausgleichung übrigbleibenden Beträge bezeichnet:

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
0,863	7,189	7,13	− 0,059
0,873	7,120	7,20	+ 0,080
0,883	7,266	7,25	− 0,016
0,908	7,339	7,34	+ 0,001

Die 4 Punkte werden graphisch aufgetragen und es ergibt sich die folgende Darstellung:

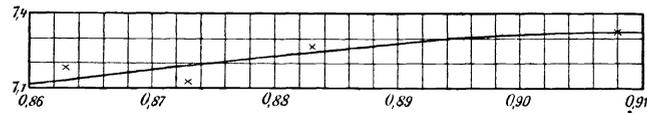


Fig. 4.

Die Kurve liefert dann diese Tabelle, gültig für die Temperatur 15° C.

Dichte $S_{\frac{15}{4}}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
0,86	7,11	30,0
0,87	7,18	30,7
0,88	7,24	31,3
0,89	7,29	31,8
0,90	7,32	32,3
0,91	7,34	32,8

Eine Vergleichung mit den Zahlen für die anderen Oele scheint nicht zulässig.

**Braunkohlentheerdestillate.**

Es sind 5 verschiedene Destillate untersucht worden, und zwar

Photogen	von der Dichte	0,797
Solaröl	" " "	0,830
Gelböl	" " "	0,854
Paraffinöl	" " "	0,886
"	" " "	0,917.

Die drei ersten Flüssigkeiten sind durchsichtig, die Paraffinöle dagegen nicht. Temperaturangaben finden sich nur bei einer Flüssigkeit vor; da jedoch die Beobachtungen innerhalb weniger Tage vollendet wurden, so darf angenommen werden, dass die Temperatur in allen Fällen nahezu die gleiche, 16°, gewesen ist.

Die einzelnen Messungen der Steighöhen und ihre unmittelbaren Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
		Niveau	Kuppe				
0,797 (Photogen)	12	629,687	647,302	17,615	47,0	0,3718	6,595
	"	636,784	654,488	17,704	54,5	0,3718	6,628
	"	636,796	654,368	17,572	59,0	0,3718	6,579
	"	637,337	654,824	17,487	34,7	0,3715	6,543
0,830 (Solaröl)	1	632,996	650,818	17,822	50,0	0,3798	6,817
	"	641,086	659,174	18,088	49,7	0,3798	6,918
	"	640,814	658,794	17,980	55,3	0,3798	6,877
	"	640,806	658,871	18,065	38,2	0,3798	6,909
0,854 (Gelböl)	19	630,042	648,896	18,854	38,0	0,3671	6,966
	"	636,711	655,833	19,122	45,8	0,3675	7,072
	"	638,715	657,478	18,763	52,0	0,3678	6,947
	"	638,731	657,499	18,768	38,9	0,3672	6,936
0,886 (Paraffinöl)	14	682,726	660,242	17,796	37,9	0,3939	7,061
	"	682,787	659,669	17,162	32,1	0,3937	6,808
	"	682,758	659,445	16,967	28,7	0,3935	6,728
	"	682,756	660,200	17,724	32,6	0,3937	7,029
0,917 (Paraffinöl)	8	682,511	661,129	18,898	40,3	0,3806	7,241
	"	682,436	661,033	18,877	32,4	0,3603	7,227
	"	682,364	660,889	18,805	33,4	0,3804	7,202
	"	682,450	660,944	18,774	37,2	0,3805	7,193

Durch Bildung der Mittelwerthe erhält man für die einzelnen Flüssigkeiten:

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$d$
0,797	6,586	6,62	+ 0,034
0,830	6,880	6,85	- 0,030
0,854	6,980	6,99	+ 0,010
0,886	6,907	7,07	+ 0,163
0,917	7,217	7,06	- 0,157

und es ergibt sich folgende graphische Darstellung:

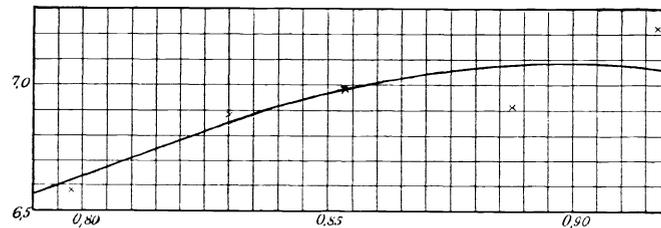


Fig. 5.

Die Kurve ist in ihrer zweiten Hälfte nur unsicher festgelegt, es hat dies seinen Grund in der Trägheit der schweren Paraffinöle, welche erst nach längerer Zeit in der Röhre zur Gleichgewichtslage kommen. So zeigt die Zusammenstellung der Beobachtungen bei dem dichtesten Oele ( $s = 0,917$ ) einen ausgesprochenen Gang in der Kolumne der Steighöhen, und zwar werden die letzteren stetig kleiner von 18,90 bis auf 18,77 mm. Das spricht dafür, dass bei einer thatsächlichen Gleichgewichtslage die Steighöhe noch geringer ausgefallen wäre, und die Lage der Kurve in Bezug auf die Abscisse 0,917 erscheint durch diesen Umstand gerechtfertigt.

Bringt man die Ordinatenwerthe der Kurve in Tabellenform, so ergibt sich folgende Zusammenstellung, giltig für eine mittlere Temperatur von etwa  $16^{\circ}$  C.

$\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
0,79	6,56	25,4
0,80	6,64	26,1
81	6,71	26,7
82	6,78	27,3
83	6,85	27,9
84	6,92	28,5
0,85	6,97	29,1
86	7,01	29,6
87	7,04	30,1
88	7,06	30,5
89	7,08	30,9
0,90	7,08	31,3
91	7,07	31,6
92	7,65	31,8

Die Zahlen entsprechen sehr genau denen für amerikanische Petroleumdestillate.

#### Steinkohlentheerdestillate.

Untersucht wurden 7 verschiedene Flüssigkeiten in dem Dichtenintervall 0,87 bis 1,09 und zwar:

Xylol	von der Dichte	0,868
Toluol	" "	0,873
Benzol	" "	0,883
"	" "	0,900
Kreosotöl	" "	1,02
Schweröl	" "	1,05
Anthracenöl	" "	1,09

Bei den ersten vier Destillaten konnte das Niveau direct mit dem Kathetometer eingestellt werden, während bei den drei letzten, die zähe und undurchsichtig waren und häufig Ausscheidungen an der Oberfläche zeigten, zur Messung der Niveauhöhe die Spitze benutzt werden musste. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass die Beobachtungen bei den dichten Oelen mit erheblichen Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten verbunden waren und deshalb an Schärfe zu wünschen übrig lassen. So differiren z. B. bei dem Schweröl (1,05) die mit der Röhre Nr. 19 erhaltenen Kapillaritäts-Konstanten zwischen 7,425 und 7,705, also um 0,28 oder 4 %.

In der nachstehenden Tabelle sind die einzelnen Beobachtungen übersichtlich zusammengestellt.

Dichte $\rho_{\frac{15}{4}}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Stelle der Kuppe in der Röhre	Radius $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe				
0,868 (Xylol)	14,5	12	643,864	662,441	18,577	67,6	0,3717	6,951
	15,5	"	644,000	662,448	18,448	47,0	0,3718	6,905
	15	"	644,010	662,437	18,427	40,7	0,3717	6,896
0,873 (Toluol)	15	9	646,524	664,255	17,731	77,1	0,3909	6,982
	15,5	"	646,418	663,994	17,576	58,8	0,3914	6,930
		"	645,641	663,280	17,639	49,0	0,3916	6,959
0,883 (Benzol)	15	14	633,919	651,515	17,596	65,7	0,3939	6,983
	15,5	"	633,940	651,247	17,307	49,7	0,3943	6,876
	15	"	631,211	648,724	17,513	36,0	0,3938	6,948
	15	"	631,566	648,851	17,285	36,0	0,3938	6,859
0,900 (Benzol)	15	1	632,811	650,823	18,012	53,6	0,3798	6,889
	15	"	632,658	650,744	18,086	53,6	0,3798	6,917
	15	"	632,457	650,435	17,978	47,2	0,3798	6,876
1,02 (Kreosotöl)	15	1	684,678	663,603	19,205	76,5	0,3791	7,328
	15,5	"	672,352	651,076	19,004	49,0	0,3798	7,266
	15,5	"	672,255	651,213	19,238	37,2	0,3798	7,355
1,05 (Schweröl)	15,5	19	884,893	864,628	20,015	69,2	0,3587	7,425
	15,5	"	685,929	665,760	20,111	55,7	0,3579	7,446
	15,5	"	677,189	657,527	20,619	36,0	0,3671	7,612
		"	677,233	657,533	20,580	36,0	0,3671	7,600
		"	677,126	657,712	20,866	36,2	0,3671	7,705
1,09 (Anthracenöl)	15,5	8	888,963	868,292	19,609	73,8	0,3809	7,517
	15,5	"	676,744	656,041	19,577	46,5	0,3807	7,501
	15,5	"	678,038	657,398	19,640	36,5	0,3804	7,519

Durch Berechnung der Mittelwerthe erhält man für die einzelnen Flüssigkeiten die folgenden Kapillaritätskonstanten:

Dichte $\rho_{\frac{15}{4}}$	$2\alpha$ Beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
0,868	6,917	6,87	- 0,047
0,873	6,957	6,89	- 0,067
0,883	6,917	6,93	+ 0,013
0,900	6,894	7,00	+ 0,106
1,02	7,316	7,44	+ 0,124
1,05	7,558	7,50	- 0,058
1,09	7,512	7,53	+ 0,018

Beim graphischen Aufzeichnen dieser Zahlen findet man, dass ihre innere Uebereinstimmung mit einer glatten Kurve weniger gut ist, als bei den Mineralölen selbst. Das liegt offenbar daran, dass sich die Steinkohlentheerdestillate, namentlich diejenigen mit hohem spezifischen Gewichte wegen ihrer Zähflüssigkeit und ihres Bestrebens, an der Oberfläche feste Bestandtheile auszuscheiden, als für derartige Beobachtungen nicht günstig erweisen.

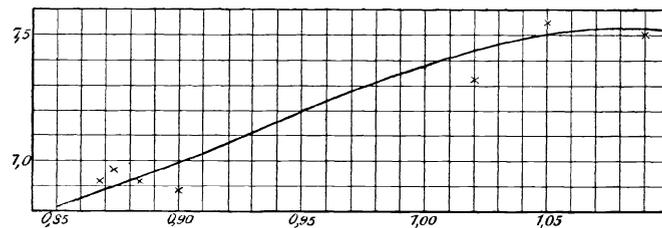


Fig. 6.

Die Kurve liefert folgende Tabelle für die Kapillaritätskonstanten bei einer Temperatur von rund 15° C.

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
0,85	6,82	28,4	1,00	7,38	36,2
86	6,85	28,9	01	7,41	36,7
87	6,88	29,4	02	7,44	37,2
88	6,92	29,9	03	7,46	37,7
89	6,96	30,4	04	7,48	38,2
0,90	7,00	30,9	1,05	7,50	38,6
91	7,04	31,4	06	7,51	39,1
92	7,08	32,0	07	7,52	39,5
93	7,12	32,5	08	7,53	39,9
94	7,16	33,0	09	7,53	40,3
0,95	7,20	33,6			
96	7,24	34,1			
97	7,28	34,6			
98	7,32	35,2			
99	7,35	35,7			

Die Zahlen schliessen sich nach unten den russischen, nach oben den amerikanischen Petroleumdestillaten an.

Von den Steinkohlentheerdestillaten sind besonders Benzol und Toluol vielfach von anderen Beobachtern untersucht worden. Die von denselben erhaltenen Resultate seien hier zusammengestellt.

Beobachter	Flüss.	$t$	Dichte $s$	$a^2$	$\alpha$	$T_t$	$T_{15}$	$T'_{15}$ N. A. K.	$T - T'$																																																																																																																																																																									
Volkman <sup>1)</sup>	Toluol	12,5	0,8696	6,81			28,8	29,2	- 0,4																																																																																																																																																																									
	"	17,5	0,8651	6,72						" <sup>1)</sup>	Benzol	12,5	0,8870	6,86			29,5	30,1	- 0,6	"	17,5	0,8817	6,74			Cantor <sup>2)</sup>	Benzol	22,5	0,880		3,00	29,4	30,3	30,2	+ 0,1	"	72,5	0,830		2,41		Wilhelmy <sup>3)</sup>	Benzol	18,6	0,8767		3,00	29,4	29,8	29,7	+ 0,1	Sutherland <sup>4)</sup>	Benzol	15	0,878	7,3	3,2	31,4	31,4	29,8	+ 1,6	Schiff <sup>5)</sup>	Benzol	6,7		6,97		30,2	29,2	(30)	(- 0,8)	"	33,6		6,35		"	79,9		5,25		" <sup>5)</sup>	Toluol	5,8		6,96		29,0	28,0	(29)	(- 1,0)	"	109,8		4,75		Mendelejeff <sup>6)</sup>	Benzol	15	0,8441	6,82		28,2	28,2	28,1	+ 0,1	Toluol	15	0,8564	6,65		28,6	28,6	28,7	- 0,1	Xylol	15	0,8306	6,63		27,0	27,0	27,4	- 0,4	Linebarger <sup>7)</sup>	Toluol	25	0,8568			26,74	27,8	28,9	- 1,1	"	Benzol	25	0,8766			27,29	28,5	29,9	- 1,4	Guthrie <sup>8)</sup>	Benzol				3,04		(29,8)	(30)	(0)	Ramsay-Aston <sup>9)</sup>	Toluol	15,2	0,8682			28,18	28,2	29,3	- 1,1	"	46,6	0,8380			24,60	"	78,4	0,8080			20,93	"	132,5
" <sup>1)</sup>	Benzol	12,5	0,8870	6,86			29,5	30,1	- 0,6																																																																																																																																																																									
	"	17,5	0,8817	6,74						Cantor <sup>2)</sup>	Benzol	22,5	0,880		3,00	29,4	30,3	30,2	+ 0,1	"	72,5	0,830		2,41		Wilhelmy <sup>3)</sup>	Benzol	18,6	0,8767		3,00	29,4	29,8	29,7	+ 0,1	Sutherland <sup>4)</sup>	Benzol	15	0,878	7,3	3,2	31,4	31,4	29,8	+ 1,6	Schiff <sup>5)</sup>	Benzol	6,7		6,97		30,2	29,2	(30)	(- 0,8)	"	33,6		6,35		"		79,9		5,25		" <sup>5)</sup>					Toluol	5,8		6,96		29,0	28,0	(29)	(- 1,0)	"	109,8		4,75		Mendelejeff <sup>6)</sup>	Benzol	15	0,8441	6,82		28,2	28,2	28,1	+ 0,1	Toluol		15	0,8564	6,65		28,6	28,6	28,7	- 0,1	Xylol	15	0,8306	6,63		27,0	27,0	27,4	- 0,4	Linebarger <sup>7)</sup>	Toluol	25	0,8568			26,74	27,8	28,9	- 1,1	"	Benzol	25	0,8766			27,29	28,5	29,9	- 1,4	Guthrie <sup>8)</sup>	Benzol				3,04		(29,8)	(30)	(0)	Ramsay-Aston <sup>9)</sup>	Toluol	15,2	0,8682			28,18	28,2	29,3	- 1,1		"	46,6	0,8380			24,60				"	78,4	0,8080			20,93	"	132,5	0,7535			15,53		
Cantor <sup>2)</sup>	Benzol	22,5	0,880		3,00	29,4	30,3	30,2	+ 0,1																																																																																																																																																																									
	"	72,5	0,830		2,41					Wilhelmy <sup>3)</sup>	Benzol	18,6	0,8767		3,00	29,4	29,8	29,7	+ 0,1	Sutherland <sup>4)</sup>	Benzol	15	0,878	7,3	3,2	31,4	31,4	29,8	+ 1,6	Schiff <sup>5)</sup>	Benzol	6,7		6,97		30,2	29,2	(30)	(- 0,8)	"	33,6		6,35		"		79,9		5,25		" <sup>5)</sup>					Toluol	5,8		6,96		29,0	28,0	(29)	(- 1,0)	"	109,8		4,75		Mendelejeff <sup>6)</sup>	Benzol	15	0,8441	6,82		28,2	28,2	28,1	+ 0,1	Toluol	15	0,8564	6,65		28,6		28,6	28,7	- 0,1	Xylol	15	0,8306	6,63		27,0	27,0	27,4	- 0,4	Linebarger <sup>7)</sup>	Toluol	25	0,8568			26,74	27,8	28,9	- 1,1	"	Benzol	25	0,8766			27,29	28,5	29,9	- 1,4	Guthrie <sup>8)</sup>	Benzol				3,04		(29,8)	(30)	(0)	Ramsay-Aston <sup>9)</sup>	Toluol	15,2	0,8682			28,18	28,2	29,3	- 1,1	"	46,6	0,8380			24,60		"	78,4	0,8080			20,93				"	132,5	0,7535			15,53																		
Wilhelmy <sup>3)</sup>	Benzol	18,6	0,8767		3,00	29,4	29,8	29,7	+ 0,1																																																																																																																																																																									
Sutherland <sup>4)</sup>	Benzol	15	0,878	7,3	3,2	31,4	31,4	29,8	+ 1,6																																																																																																																																																																									
Schiff <sup>5)</sup>	Benzol	6,7		6,97		30,2	29,2	(30)	(- 0,8)																																																																																																																																																																									
	"	33,6		6,35																																																																																																																																																																														
	"	79,9		5,25																																																																																																																																																																														
" <sup>5)</sup>	Toluol	5,8		6,96		29,0	28,0	(29)	(- 1,0)																																																																																																																																																																									
	"	109,8		4,75																																																																																																																																																																														
Mendelejeff <sup>6)</sup>	Benzol	15	0,8441	6,82		28,2	28,2	28,1	+ 0,1																																																																																																																																																																									
	Toluol	15	0,8564	6,65		28,6	28,6	28,7	- 0,1																																																																																																																																																																									
	Xylol	15	0,8306	6,63		27,0	27,0	27,4	- 0,4																																																																																																																																																																									
Linebarger <sup>7)</sup>	Toluol	25	0,8568			26,74	27,8	28,9	- 1,1																																																																																																																																																																									
"	Benzol	25	0,8766			27,29	28,5	29,9	- 1,4																																																																																																																																																																									
Guthrie <sup>8)</sup>	Benzol				3,04		(29,8)	(30)	(0)																																																																																																																																																																									
Ramsay-Aston <sup>9)</sup>	Toluol	15,2	0,8682			28,18	28,2	29,3	- 1,1																																																																																																																																																																									
	"	46,6	0,8380			24,60																																																																																																																																																																												
	"	78,4	0,8080			20,93																																																																																																																																																																												
	"	132,5	0,7535			15,53																																																																																																																																																																												

1) Wied. Ann. 56. 457. 1895.

2) Wied. Ann. 47. 399.

3) Pogg. Ann. 121. 44. 1864.

4) Phil. Mag. (5) 38. 188. 1894.

5) Lieb. Ann. 223. 47. 1883, Mem. Att. Ac. Linc. (3) 19. 393. 1884.

6) C. R. 51. 97. 1860.

7) Amer. Journ. Sc. (4) 2. 226. 1896.

8) Pogg. Ann. 131. 129. 1867.

9) Zeitschr. phys. Chemie 15. 89. 1894.

Beobachter	Flüss.	$t$	Dichte $s$	$a^2$	$\alpha$	$T_t$	$T_{15}$	$T'_{15}$ N. A. K.	$T - T'$
Ramsay-Aston <sup>9)</sup>	Benzol	11,2	0,8771			29,21	28,7	29,6	- 0,9
	"	46,0	0,8500			24,71			
	"	78,0	0,8147			20,70			
Frankenheim <sup>10)</sup>	Kreosot	26	1,037	8,0		40,7	(42)	38,1	(+ 4)
Timberg <sup>11)</sup>	Benzol	4,1	0,8952	6,871	3,075				
	"	6,4	0,8930	6,842	3,055				
	"	7,0	0,8923	6,821	3,005				
	"	10,5	0,8884	6,643	2,951				
	"	15,5	0,8831	6,577	2,904	28,5	28,6	30,1	- 1,5
	"	22,5	0,8756	6,418	2,809				
	"	29,0	0,8682	6,298	2,734				

Die Temperatur-Reduction ergibt sich nach den Beobachtungen von

Ramsay und Aston für Toluol  $d T = - 0,108 dt$

" Benzol  $d T = - 0,127 dt$

Ramsay u. Shields<sup>12)</sup> für "  $d T = - 0,113 dt$  (bei 80°)

Timberg " "  $d T = - 0,134 dt$

Cantor " "  $d T = - 0,116 dt$

Schall<sup>13)</sup> " "  $d T = - 0,095 dt$

Schiff<sup>14)</sup> " "  $d T = - 0,103 dt.$

Es genügt zu setzen für Toluol  $d T = - 0,11 dt$

" Benzol  $d T = - 0,12 dt,$

da die Reduction für höchstens 10° zu ermitteln ist. Ein Blick auf die letzte Kolumne der Tabelle lehrt, dass sich die Differenzen gegen die hier mitgetheilten Ergebnisse in ziemlich engen Grenzen halten mit Ausnahme des Werthes für Kreosot; jedoch ist die sehr alte Beobachtung von Reichenbach  $a^2 = 8,0$  wohl kaum sehr zuverlässig, sodass die Abweichung von 4 nicht ins Gewicht fällt. Im Uebrigen überwiegt in der Differenzenspalte das negative Vorzeichen, woraus hervorgeht, dass die Werthe der N. A. K. im Durchschnitt etwas höher sind, als diejenigen der anderen Beobachter, ein bei Kapillaritätsbestimmungen nicht ungünstiges Zeichen.

<sup>9)</sup> Ztschr. phys. Chemie 15. 89. 1894.

<sup>10)</sup> Die Lehre von der Kohäsion. Breslau 1835. (Beobachter Reichenbach.)

<sup>11)</sup> Wied. Ann. 30. 545. 1887.

<sup>12)</sup> Ztschr. phys. Chemie. 12. 433. 1893.

<sup>13)</sup> Ber. Chem. Ges. 17. 2555. 1884.

<sup>14)</sup> Mem. Att. Ac. Linc. (3) 19. 393. 1884.

Zur Vergleichung mag noch eine Reihe von Versuchen mit Kohlenwasserstoffen (dargestellt aus amerikanischem Petroleum) von Bartoli (Mem. Att. Ac. Linc. (3) 19. 643. 1884, Nuov. Cim. (3) 16. 83. 1884) herangezogen werden. Die Ergebnisse sind als relativ zu betrachten und mit dem Faktor 0,945 multipliziert worden.

Zusammensetzung	Dichte $s_{18}$	Temp.	$a^2$	$a^2$ bei 18°	N. A. K. pag. 16	Diff.
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,623	11	4,90	4,67	5,09	— 0,42
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,680	11	5,61	5,40	5,62	— 0,22
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	0,716	12	6,27	6,10	5,95	+ 0,15
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0,732	11	6,34	6,15	6,10	+ 0,05
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0,748	14	6,38	6,28	6,23	+ 0,05
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	0,758	13	6,52	6,38	6,31	+ 0,07
C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	0,769	14	6,58	6,48	6,40	+ 0,08
C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	0,778	13	6,71	6,58	6,47	+ 0,11
C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	0,789	14	6,79	6,69	6,54	+ 0,15
C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	0,800	13	6,85	6,72	6,62	+ 0,10
C <sub>15</sub> H <sub>32</sub>	0,810	13	6,96	6,84	6,69	+ 0,15
C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	0,817	14	7,00	6,90	6,74	+ 0,16

## 6. Destillirtes Wasser.

Die Beobachtungen sind im Jahre 1895 ausgeführt. Benutzt wurden die genau kalibrierten Röhren Nr. 28, 29, 36, 46, 47, 80, 81 und 92; dieselben sind im Flüssigkeitsniveau sowie an der Kuppe mit blossem Auge abgelesen. Bei jeder Röhre wurden 30 korrespondirende Ablesungen gemacht, von denen je 10 zu Gruppen vereinigt sind. Es wurde beobachtet, wie folgt:

## 1. Röhre No. 28.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,5	81,00	96,49	15,49
17,5	78,45	93,99	54
17,8	76,97	92,47	50
17,8	74,79	90,22	43
17,9	72,91	88,34	43
17,9	70,80	86,19	39
18,0	68,57	84,08	51
18,0	66,26	81,92	66
18,1	64,27	79,98	71
18,1	61,00	76,82	82
17,86	Mittel		15,548

## 2. Röhre No. 29.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,5	83,00	95,80	12,80
17,5	80,47	93,03	56
17,8	79,00	91,70	70
17,8	77,00	89,50	50
17,9	74,98	87,57	59
17,9	72,92	85,53	61
18,0	70,80	83,49	69
18,0	68,48	81,11	63
18,1	66,49	79,21	72
18,1	63,17	75,95	78
17,86	Mittel		12,658

18,2	58,27	73,96	15,69
18,3	55,46	71,22	76
18,5	52,48	68,23	75
18,2	49,02	64,75	73
18,1	47,00	62,69	69
18,1	43,52	59,30	78
18,3	41,00	56,64	64
18,3	38,30	53,93	63
18,3	35,47	50,95	48
18,2	32,52	48,07	55
18,25	Mittel		15,670

18,2	60,44	73,13	12,69
18,3	57,53	70,30	77
18,5	54,75	67,34	59
18,2	51,16	63,94	78
18,1	49,05	61,86	81
18,1	45,85	58,47	62
18,3	43,09	55,88	79
18,3	40,51	53,15	64
18,3	37,68	50,28	60
18,2	34,70	47,25	55
18,25	Mittel		12,684

18,1	29,60	45,15	15,55
18,0	26,70	42,26	56
18,2	24,00	39,75	75
18,2	21,51	37,09	58
18,4	19,02	34,62	60
18,5	16,00	31,80	80
18,7	14,32	30,09	77
18,8	11,41	27,03	62
18,9	8,17	23,87	70
18,9	5,53	21,19	66
18,47	Mittel		15,659

18,1	31,87	44,51	12,64
18,0	28,95	41,55	60
18,2	26,11	38,89	78
18,2	23,68	36,41	73
18,4	21,15	33,91	76
18,5	18,13	30,91	78
18,7	16,51	29,19	68
18,8	13,77	26,39	62
18,9	10,43	23,08	65
18,9	7,90	20,56	66
18,47	Mittel		12,690

## 3. Röhre No. 36.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,5	76,38	95,71	19,33
17,5	74,00	93,00	00
17,8	72,37	91,64	27
17,8	70,10	89,30	20
17,9	68,27	87,34	07
17,9	66,19	85,39	20
18,0	64,05	83,19	14
18,0	61,88	81,03	15
18,1	59,90	79,03	13
18,1	56,55	75,79	24
17,86	Mittel		19,173

## 4. Röhre No. 46.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,4	78,53	98,05	19,52
17,6	75,97	95,43	46
17,7	74,48	93,93	45
17,9	72,27	91,77	50
17,9	70,45	89,87	42
18,0	68,38	87,79	41
18,0	66,19	85,59	40
18,0	63,98	83,27	29
18,0	62,00	81,35	35
18,2	58,70	78,05	35
17,87	Mittel		19,415

18,2	53,80	72,95	19,15
18,3	51,00	70,07	07
18,5	47,98	67,02	04
18,2	44,52	63,73	21
18,1	42,42	61,53	11
18,1	39,09	58,12	03
18,3	36,48	55,56	08
18,3	34,00	52,95	18,95
18,3	31,01	50,01	19,00
18,2	28,00	47,01	01
18,25	Mittel		19,065

18,2	55,98	75,17	19,19
18,3	53,01	72,37	36
18,3	50,00	69,23	23
18,1	46,79	65,84	05
18,1	44,53	63,71	18
18,2	41,16	60,25	09
18,3	38,58	57,72	14
18,4	36,02	54,97	18,95
18,4	33,09	51,99	90
18,3	30,09	48,98	89
18,26	Mittel		19,097

18,1	25,12	44,14	19,02
18,0	22,15	41,23	08
18,2	19,52	38,62	10
18,2	17,00	36,03	03
18,4	14,48	33,61	13
18,5	11,40	30,60	20
18,7	9,83	28,86	03
18,8	7,02	26,10	08
18,9	3,94	22,84	18,90
18,9	1,12	20,27	19,15
18,47	Mittel		19,072

18,3	27,25	46,12	18,87
18,1	24,30	43,02	72
18,1	21,62	40,42	80
18,3	19,16	37,93	77
18,4	16,65	35,37	72
18,6	13,78	32,24	46
18,6	12,04	30,70	66
18,8	9,14	27,79	65
18,8	5,98	24,42	44
18,9	3,26	21,73	47
18,49	Mittel		18,656

## 5. Röhre No. 47.

Temp	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,5	84,48	97,85	13,37
17,5	82,00	95,13	13
17,8	80,40	93,71	31
17,8	78,24	91,57	33
17,9	76,26	89,62	36
17,9	74,25	87,58	33
18,0	72,09	85,47	38
18,0	70,00	83,14	14
18,1	68,00	81,24	24
18,1	64,80	78,06	26
17,86	Mittel		13,285

## 6. Röhre No. 80.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,4	79,00	97,14	18,14
17,6	76,30	94,41	11
17,7	74,98	92,98	00
17,9	72,90	90,92	02
17,9	70,95	89,01	06
18,0	68,62	86,95	33
18,0	66,65	84,79	14
18,0	64,38	82,45	07
18,0	62,45	80,48	03
18,2	59,08	77,29	21
17,87	Mittel		18,111

18,2	61,98	75,33	13,35
18,3	59,04	72,40	36
18,5	56,07	69,49	42
18,2	52,85	66,02	17
18,1	50,59	63,96	37
18,1	47,30	60,71	41
18,3	44,80	57,99	19
18,3	42,12	55,37	25
18,3	39,24	52,58	34
18,2	36,33	49,55	22
18,25	Mittel		13,308

18,2	56,27	74,44	18,17
18,3	53,50	71,69	19
18,3	50,49	68,74	25
18,1	47,10	65,21	11
18,1	45,00	63,15	15
18,2	41,70	59,88	18
18,3	39,06	57,24	18
18,4	36,48	54,71	23
18,4	33,60	51,87	27
18,3	30,60	48,85	25
18,26	Mittel		18,198

18,1	33,45	46,74	13,29
18,0	31,51	43,84	33
18,2	27,95	41,05	10
18,2	25,33	38,60	27
18,4	22,95	36,08	13
18,5	19,97	33,05	08
18,7	18,27	31,50	23
18,8	15,40	28,62	22
18,9	12,15	25,42	27
18,9	9,52	22,72	20
18,47	Mittel		13,212

18,3	27,80	45,99	18,19
18,1	25,00	42,99	17,99
18,1	22,14	40,27	18,13
18,3	19,83	37,95	12
18,4	17,16	35,32	16
18,6	14,14	32,28	14
18,6	12,55	30,73	18
18,8	9,85	27,95	10
18,8	6,50	24,69	19
18,9	4,00	21,99	17,99
18,49	Mittel		18,119

## 7. Röhre No. 81.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,4	76,96	93,99	17,03
17,6	74,28	91,30	02
17,7	72,85	89,95	10
17,9	70,52	87,80	28
17,9	68,59	85,91	32
18,0	66,51	83,89	38
18,0	64,40	81,71	31
18,0	62,04	79,28	24
18,0	60,09	77,29	20
18,2	56,98	74,12	14
17,87	Mittel		17,202

## 8. Röhre No. 92.

Temp.	Ablesung		Steighöhe
	Niveau	Kuppe	
17,4	76,52	95,00	18,48
17,6	74,00	92,25	25
17,7	72,47	90,92	45
17,9	70,25	88,73	48
17,9	68,40	86,88	48
18,0	66,33	84,72	39
18,0	64,08	82,67	59
18,0	62,00	80,39	39
18,0	60,00	78,47	47
18,2	56,75	75,17	42
17,87	Mittel		18,440

18,2	54,05	71,43	17,38
18,3	51,25	68,51	26
18,3	48,30	65,55	25
18,1	45,00	62,05	05
18,1	42,96	59,99	03
18,2	39,48	56,68	20
18,3	36,97	53,99	02
18,4	34,23	51,49	26
18,4	31,38	48,50	12
18,3	28,44	45,52	08
18,26	Mittel		17,165

18,2	53,96	72,48	18,52
18,3	51,03	69,68	65
18,3	48,08	66,64	56
18,1	44,79	63,22	43
18,1	42,59	61,01	42
18,2	39,20	57,81	61
18,3	36,75	55,06	31
18,4	34,03	52,54	51
18,4	31,14	49,65	51
18,3	28,20	46,69	49
18,26	Mittel		18,501

18,3	25,55	42,79	17,24
18,1	22,60	39,90	30
18,1	20,00	37,03	03
18,3	17,50	34,68	18
18,4	15,03	32,07	04
18,6	12,03	29,08	05
18,6	10,36	27,49	13
18,8	7,49	24,69	20
18,8	4,23	21,43	20
18,9	1,70	18,88	18
18,49	Mittel		17,155

18,3	25,37	43,90	18,53
18,1	22,40	40,95	55
18,1	19,79	38,07	28
18,3	17,25	35,78	53
18,4	14,90	33,19	29
18,6	11,80	30,11	31
18,6	10,14	28,69	55
18,8	7,28	25,84	56
18,8	4,12	22,64	52
18,9	1,48	20,04	56
18,49	Mittel		18,468

## Zusammenstellung der Ergebnisse

Röhre Nr.	Temp.	Mittlere Ablesestelle der Kuppe	Steighöhe $h$	Radius $r$	$\alpha$
28	17,86	87,1	15,548	0,9344	7,409
..	18,25	61,0	15,670	0,9356	7,476
..	18,47	33,4	15,659	0,9351	7,467
29	17,86	86,3	12,658	1,1452	7,467
..	18,25	60,2	12,684	1,1458	7,485
..	18,47	32,6	12,690	1,1332	7,404
36	17,86	86,2	19,173	0,7644	7,425
..	18,25	59,9	19,065	0,7700	7,439
..	18,47	32,3	19,072	0,7696	7,438
46	17,87	88,5	19,415	0,7583	7,457
..	18,26	62,1	19,098	0,7712	7,463
..	18,49	34,0	18,656	0,7846	7,421
47	17,86	88,3	13,285	1,0907	7,443
..	18,25	62,3	13,308	1,0929	7,471
..	18,47	34,8	13,212	1,0349	7,433
80	17,87	87,7	18,111	0,8134	7,476
..	18,26	61,6	18,198	0,8115	7,493
..	18,49	34,0	18,119	0,8067	7,417
81	17,87	84,5	17,202	0,8515	7,445
..	18,26	58,6	17,165	0,8521	7,434
..	18,49	30,8	17,155	0,8523	7,432
92	17,87	85,5	18,440	0,7982	7,465
..	18,26	59,5	18,501	0,7937	7,448
..	18,49	31,9	18,468	0,7928	7,425

Die Gesamtmittel für die einzelnen Röhren sind:

Röhre 28	$t_m = 18,19$	$\alpha_m = 7,451$	Abw. v. Mittel	+ 0,004
.. 29	18,19	7,453		+ 0,006
.. 36	18,19	7,434		- 0,013
.. 46	18,21	7,447		0,000
.. 47	18,19	7,449		+ 0,002
.. 80	18,21	7,462		+ 0,015
.. 81	18,21	7,437		- 0,010
.. 92	18,21	7,446		- 0,001
Gesamtmittel	18,20	7,447		

Das Schlussergebniss dieser Untersuchungen ist demnach folgendes: Aus 240 Einzelmessungen von Steighöhen in Röhren, deren Radien zwischen 0,76 und 1,15 mm variiren, ergibt sich die Kapillaritätskonstante des Wassers bei 18,20° C.

$$\alpha = 7,447 \text{ qmm} \left( = \frac{\alpha^2}{2} \right)$$

oder  $T = 72,98$  Dynen.

Die Arbeiten über Oberflächenspannung des Wassers sind ausserordentlich zahlreich und die hier folgenden Litteraturnachweise sollen keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Ausführliche aber auch keineswegs vollständige Zusammenstellungen der von den einzelnen Beobachtern erhaltenen Resultate findet man bei Hall <sup>1)</sup> und Weinberg <sup>2)</sup>. Die von uns zur Vergleichung heranzuziehenden Arbeiten theilen wir in solche, in denen eine Kapillaritätsformel (die Kapillarität als Funktion der Temperatur darstellend) gegeben ist oder sich eine solche leicht ableiten lässt, und in solche, in denen sich einzelne Werthe der Oberflächenspannung für bestimmte Temperaturen vorfinden.

#### A. Formeln.

nach Brunner <sup>3)</sup> . . . . .	$T = 75,2 - 0,1405 t$	daraus $T_{20} = 72,4$
Frankenheim <sup>4)</sup> . . . . .	75,4	0,141
Frankenheim u. Sondhauss <sup>5)</sup>	75,6	0,146
Jäger <sup>6)</sup> . . . . .	77,1	0,179
Simon <sup>7)</sup> . . . . .	79,7	0,204
Sondhauss <sup>8)</sup> . . . . .	75,4	0,144
Volkman <sup>9)</sup> . . . . .	75,8	0,143
Wolf <sup>10)</sup> . . . . .	76,5	0,144
Wolf <sup>11)</sup> . . . . .	77,3	0,1406
Hall <sup>1)</sup> . . . . .	75,48	0,140
Sentis <sup>12)</sup> . . . . .	76,09	0,154
Weinberg <sup>2)</sup> . . . . .	80,27	0,177
„ <sup>2)</sup> . . . . .	80,07	0,164

<sup>1)</sup> Phil. Mag. (5) 36. 385. 1893.

<sup>2)</sup> Ztschr. phys. Ch. 10. 34. 1892.

<sup>3)</sup> Pogg. Ann. 70. 481. 1847.

<sup>4)</sup> Pogg. Ann. 72. 177. 1847.

<sup>5)</sup> J. pr. Chem. 23. 401. 1841.

<sup>6)</sup> Wien. Ak. Ber. 1891. 99.

<sup>7)</sup> Ann. chim. phys. 32. 5. 1851.

<sup>8)</sup> Pogg. Ann. Erg. 8. 266. 1878.

<sup>9)</sup> Wied. Ann. 17. 361. 1882.

<sup>10)</sup> Pogg. Ann. 102. 571. 1857.

<sup>11)</sup> Ann. chim. phys. 49. 269. 1857.

<sup>12)</sup> Tension superficielle de l'eau. . . Grenoble 1897.

nach Cantor <sup>13)</sup> . . . . .		0,157	
Sohet <sup>14)</sup> . . . . .	74,86	0,147	71,9
N. A. K. <sup>15)</sup> . . . . .	71,14	0,134 ( $t - 20$ )	71,1
Holtzmann <sup>16)</sup> . . . . .	$T_0$	0,141 $t$	
Buliginsky <sup>17)</sup> . . . . .	$T_0$	0,143	
Eötvös <sup>18)</sup> . . . . .	74,4	0,157	71,3
Humphreys <sup>19)</sup> . . . . .	$T_0$	0,151	
Knipp <sup>20)</sup> . . . . .	$T_0$	(0,216)	
Décharme <sup>21)</sup> . . . . .	75,1	0,167	71,8
de Heen <sup>22)</sup> . . . . .	71,4	0,158	68,2
Ramsay und Shields <sup>23)</sup> . . . . .	73,2	0,141	70,6
Monti <sup>24)</sup> . . . . .	$T_0$	0,14	
Timberg <sup>25)</sup> . . . . .	$T_0$	0,147	
Magie <sup>26)</sup> . . . . .	75,9	0,12	73,5
Schall <sup>27)</sup> . . . . .	$T_0$	(0,08)	

Die Formel von Weinstein<sup>15)</sup> ist auf folgende Weise von der im Metr. Beitr. No. 6 gegebenen abgeleitet: es findet sich dort die Gleichung

$$a^2 = 14,987 (1 - 0,001453 t) s$$

und man erhält hieraus:  $T_0 = 73,51$

$$T_0 - T_{20} = 2,37$$

$$T_{20} = 71,14$$

$$T_{20} - T_{40} = 2,97$$

$$T_{40} = 68,17$$

In der Nähe von 20° hat man dann

$$T_t = 71,14 - 0,134 (t - 20)$$

Das Mittel aus allen oben aufgeführten Temperaturkoeffizienten ist 0,151, sodass man zur Reduction der nachfolgenden Einzelwerthe auf 20° setzen darf:

$$dT = - 0,151 dt.$$

<sup>13)</sup> Wied. Ann. 47. 399. 1892.

<sup>14)</sup> Bull. Inst. Liège 1897 (1) — (56)

<sup>15)</sup> Metr. Beitr. der Kais. Norm. Aichungs-Komm. No. 6.

<sup>16)</sup> Pogg. Ann. 71. 463. 1847.

<sup>17)</sup> Pogg. Ann. 134. 440. 1868.

<sup>18)</sup> Wied. Ann. 27. 449. 1886.

<sup>19)</sup> Phys. Rev. 2. 387. 1895.

<sup>20)</sup> Phys. Rev. 11. 129. 1900.

<sup>21)</sup> Ann. chim. phys. (5) 1. 145. 318. 1873.

<sup>22)</sup> Recherches touchant la physique. 1888. pag. 77.

<sup>23)</sup> Ztschr. phys. Ch. 12. 471. 1893.

<sup>24)</sup> Nuov. Cim. (4) 5. 5. 186. 1897.

<sup>25)</sup> Wied. Ann. 30. 145. 1887.

<sup>26)</sup> Sill. J. (3) 31. 189. 1886.

<sup>27)</sup> Ber. Chem. Ges. 17. 2555. 1884, Ber. Chem. Ges. 18. 2032. 1885.

## B. Einzelwerthe.

Beobachter	$t$	$a_t^2$	$a_t$	$T_t$	$T_{20}$
Volkman <sup>1)</sup>	20,2	14,79		72,45	72,46
„ <sup>2)</sup>	20	14,833		72,65	72,65
Magie <sup>3)</sup>	19	15,09		73,92	73,77
„ <sup>4)</sup>	19,25	14,453		70,80	70,68
„ <sup>5)</sup>	22,5	14,99		73,37	73,76
Timberg <sup>6)</sup>	9,00	16,06	8,03		
„	19,35	15,54	7,77	76,12	76,02
Quincke <sup>7)</sup>	16,2		7,235	70,98	70,41
Worthington <sup>8)</sup>	20		7,35	72,12	72,12
Sutherland <sup>9)</sup>	15	14,9	7,45	73,04	72,28
Dorsey <sup>10)</sup>	0			75,98	72,96
Traube <sup>11)</sup>	15	14,77		72,40	71,64
„ <sup>12)</sup>	15	14,60		71,57	70,81
Rodenbeck <sup>13)</sup>	17,5	14,64		71,74	71,36
Mellberg <sup>14)</sup>	20		7,531	73,90	73,90
Norm. Aich. Kom. <sup>15)</sup>	14,6	14,92		73,14	72,32
Rother <sup>16)</sup>	15	14,714		72,13	71,37
Schiff <sup>17)</sup>	8,9	15,09		74,02	72,34
Artur <sup>18)</sup>	0	15,17		74,43	71,41
Bède <sup>19)</sup>	13,5	14,54		71,28	70,30
„ <sup>20)</sup>	15	13,89		68,10	(67,34)
Désains <sup>21)</sup>	0	15,11		74,13	71,11
Dupré <sup>22)</sup>	0	15,27		74,92	71,90
Frankenheim <sup>23)</sup>	0			75,0	71,98
Gay-Lussac <sup>24)</sup>	8,5			74,2	72,5
„	11			73,7	72,3
Goldstein <sup>25)</sup>	22	14,77		72,32	72,62
Hagen <sup>26)</sup>	10	14,88		73,00	71,49
Kalähne <sup>27)</sup>	18		7,52	73,77	73,47
Kasankin <sup>28)</sup>	16,5	15,51		76,02	75,49
Klupathy <sup>29)</sup>	20	14,80		72,48	72,48
Mendenhall <sup>30)</sup>	0	15,29		75,02	72,00
v. Obermayer <sup>31)</sup>	12	15,29		74,98	73,77
Ochsé <sup>32)</sup>	0	15,91		78,05	75,03
„	0	16,46		80,76	(77,74)
Poleni <sup>33)</sup>	16	14,87		72,90	72,30
Raleigh <sup>34)</sup>	18	15,09		73,93	73,63
Valson <sup>35)</sup>	15	15,15		74,27	73,51
Watson <sup>36)</sup>	20			74,0	74,0

1) Wied. Ann. 53. 633. 1894.

2) Wied. Ann. 56. 457. 1895.

3) Beibl. X. 555.

4) Wied. Ann. 25. 421. 1885. und „Ueber Kapill.-Konstanten. Diss. Berlin, 1885.

5) Phil. Mag. (5) 26. 162. 1888.

6) Wied. Ann. 30. 545. 1887.

7) Pogg. Ann. 131. 1. 1870.

8) Phil. Mag. (5) 20. 51. 1885.

9) Phil. Mag. (5) 38. 188. 1894.

10) Phil. Mag. (5) 44. 134. 369. 1897.

11) J. pr. Ch. 139. 177. 1885.

12) Lieb. Ann. 265. 27. 1891.

13) Ueber Kapillaritätsbest. von Flüssigkeitsgemischen. Diss. Bonn, 1879.

14) Act. Soc. Scient. Fenn. 22 No. 6. Helsingfors 1897.

Wir hatten gefunden  $T_{18,2} = 72,98$  oder  $T_{20} = 72,71$ : Dieser Werth weicht von dem Gesamtmittel der oben angeführten Zahlen 72,56 nur um 0,15 Dynen ab, d. i. 0,2% des Betrages. Wie weit es gestattet ist, die nach verschiedenen Methoden erhaltenen Werthe mit gleichem Gewichte zu einem Mittel zu vereinigen, soll hier nicht erörtert werden. Es würde dies eine besondere umfangreiche Arbeit bedeuten, welche den Rahmen dieser Abhandlung weit überschreitet. Der Zweck dieser Diskussion war lediglich zu zeigen, dass sich der von uns ermittelte Wasserwerth sehr gut den Resultaten anderer Beobachter anschliesst.

### 7. Glycerin-Wasser-Mischungen.

Untersucht wurden zwei Mischungen der Dichte 1,096 und 1,179, sowie reines Glycerin vom spez. Gew. 1,228. Die Beobachtungen sind mit getheilten Röhren vom Radius 0,59 bis 1,13 ausgeführt und zwar wurden Niveau und Meniskus mit freiem Auge abgelesen. Besondere Schwierigkeiten machte das Glycerin selbst, da es stark hygroskopisch ist und infolge des Ansaugens von Wasser an seiner Oberfläche leicht Schlieren bildet, die einer genauen Ableseung sehr hinderlich sind und ausserdem die Steighöhe vergrössern. Infolge dessen weichen auch die Einzelbeobachtungen zuweilen ziemlich stark von einander ab, namentlich bei der engsten Röhre Nr. 76.

Die Messungen der Steighöhen und ihre unmittelbaren Ergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt.

- 
- 15) Metron. Beiträge der Kais. Norm. Aich. Komm. No. 6. Berlin. 1889.  
 16) Wied. Ann. 21 576. 1884.  
 17) Lieb. Ann. 223. 47. 1883.  
 18) Théorie de la capill. 1842. pag. 104.  
 19) Mém. cour. Belg. 25. 3. 1852.  
 20) Bull. Belg. (2) 19. 2. 470. 1852.  
 21) Ann. chim. phys. (3) 51. 385. 1857.  
 22) Ann. chim. phys. (4) 11. 194. 1867.  
 23) Pogg. Ann. 37. 409. 1836.  
 24) Poisson, Nouv. théorie. pag. 113.  
 25) Ztschr. phys. Ch. 5. 233. 1890.  
 26) Pogg. Ann. 67. 1. 152. 1846.  
 27) Drud. Ann. 7. 462. 1902.  
 28) J. Russ. Phys. 23. (2) 463. 1891.  
 29) Math. Ber. Ung. 5. 101. 1886.  
 30) Sill. J. (3) 5. 129. 1873.  
 31) Sitz.-Ber. Wien. Akad. (II) 59. 207. 1869.  
 32) Exner Rep. 26. 641. 1890.  
 33) Nuov. Cim. (3) 7. 16. 1880.  
 34) Phil. Mag. (5) 30. 386. 1890.  
 35) C. R. 70. 1040. 1870.  
 36) Phys. Rev. 12. 257. 1901.

Dichte $\frac{\rho_{16}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe				
1,096	18,0	39	39,09	55,54	16,45	0,751	12,54	
		"	38,04	54,48	16,44	"	12,53	
		"	37,02	53,44	16,42	"	12,52	
		28	41,10	54,48	13,38	0,936	12,82	
		"	40,00	53,28	13,28	"	12,72	
		"	39,00	52,24	13,24	"	12,68	
		"	38,02	51,10	13,08	"	12,54	
		"	37,00	50,12	13,12	"	12,57	
		27	36,04	49,45	13,41	0,914	12,54	
		1,179	18,5	31	18,03	27,13	9,10	1,134
"	16,02			25,18	9,16	"	10,82	
"	15,09			24,27	9,18	"	10,84	
"	14,00			23,18	9,18	"	10,84	
50	15,04			32,52	17,48	0,608	10,75	
"	14,00			31,47	17,47	"	10,75	
"	13,02			30,50	17,48	"	10,75	
1,228	17,4	28	44,00	55,13	11,13	0,936	10,71	
		"	43,16	54,48	11,32	"	10,89	
		"	43,05	54,28	11,23	"	10,80	
		"	43,05	54,18	11,13	"	10,71	
		"	42,00	53,25	11,25	"	10,82	
		"	42,00	53,22	11,22	"	10,79	
		47	37,00	46,40	9,40	1,094	10,68	
	17,8	"	36,00	45,37	9,37	"	10,64	
		"	36,00	45,33	9,33	"	10,60	
		"	35,00	44,38	9,38	"	10,66	
		"	35,00	44,40	9,40	"	10,68	
		"	34,00	43,43	9,43	"	10,71	
		"	34,00	43,44	9,44	"	10,72	
		18,3	76	25,00	43,23	18,23	0,586	10,80
			"	25,00	43,19	18,19	"	10,78
			"	24,00	41,97	17,97	"	10,65
			"	24,00	41,95	17,95	"	10,64
	"		23,00	41,16	18,16	"	10,76	
	"		22,00	39,88	17,88	"	10,59	
	18,4	"	21,00	38,95	17,95	"	10,64	
		78	25,00	40,00	15,00	0,701	10,68	
		"	24,00	39,00	15,00	"	10,68	
		"	23,00	38,06	15,06	"	10,72	
		"	23,00	37,98	14,98	"	10,67	
		"	23,00	37,96	14,96	"	10,65	
		"	23,00	37,97	14,97	"	10,66	

Vereinigt man die Ergebnisse, welche die einzelnen Röhren liefern, zu Mittelwerthen und fügt eine Spalte mit den nach der graphischen Ausgleichung übrig bleibenden Abweichungen  $\Delta$  hinzu, so ergibt sich die folgende Tabelle:

Dichte	Röhre Nr.	Radius	$2\alpha$	$\Delta$	Zahl der Messungen
1,096	39	0,75	12,53	+ 0,08	3
„	27	0,91	12,54	+ 0,07	1
„	28	0,94	12,67	- 0,06	5
1,179	50	0,61	10,75	+ 0,07	3
„	31	1,13	10,81	+ 0,01	4
1,228	76	0,59	10,69	+ 0,01	7
„	78	0,70	10,67	+ 0,03	6
„	28	0,94	10,79	- 0,09	6
„	47	1,09	10,67	+ 0,03	7

Bei der graphischen Ausgleichung wird der früher für Wasser gefundene Werth 14,895 gleichfalls aufgetragen und es ergibt sich dann die folgende Kurve unter Berücksichtigung der nach der Anzahl der Einzelmessungen abzuschätzenden Gewichte:

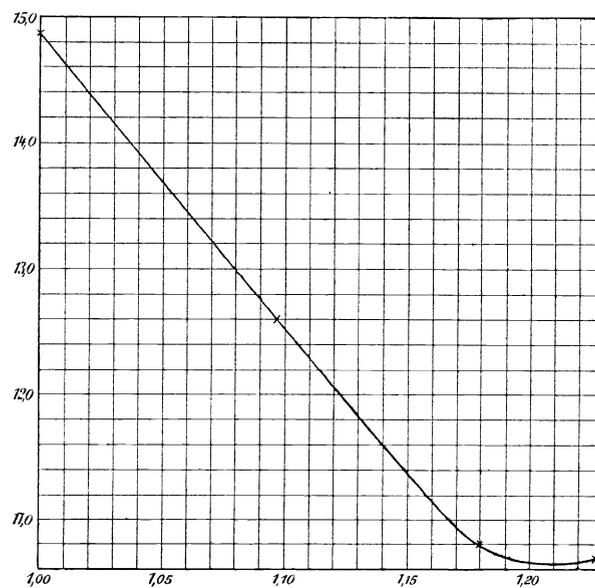


Fig. 7.

Die Kurve verläuft von der Dichte 1,00 bis 1,15 geradlinig, hat bei 1,18 ihre stärkste Krümmung und ändert dann bis zur Dichte des reinen Glycerins ihre Ordinaten nur wenig. Die Ablesung der letzteren führt zu folgender Tabelle, gültig für eine mittlere Temperatur von 18° C.:

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
1,00	14,89	73,1	1,10	12,52	67,6
01	14,65	72,6	11	12,30	67,0
02	14,41	72,1	12	12,07	66,3
03	14,18	71,7	13	11,84	65,6
04	13,94	71,1	14	11,61	64,9
1,05	13,70	70,6	1,15	11,39	64,3
06	13,47	70,1	16	11,17	63,6
07	13,23	69,5	17	10,97	63,0
08	12,99	68,8	18	10,80	62,5
09	12,75	68,2	19	10,67	62,3
1,10	12,52	67,6	1,20	10,63	62,6
			21	10,63	63,1
			22	10,66	63,8
			23	10,71	64,7

Glycerin und Glycerin-Wasser-Mischungen sind von anderen Beobachtern nur in wenigen Fällen untersucht worden. Als zuverlässige Resultate seien die nachfolgenden angeführt.

Beobachter	$t$	$s$	$a_t^2$	$\alpha_t$	$T_t$
Mendelejeff <sup>1)</sup>	13	1,264	10,765		66,8
Traube <sup>2)</sup>	15	1,010	14,551	7,350	72,1
"	"	1,021	14,401	7,349	72,1
"	"	1,040	14,034	7,300	71,6
Weinstein <sup>3)</sup>	15,5	1,228	10,60		63,9
ders.	15	1,228	10,70		64,5

Eine längere Reihe giebt:

Beobachter	$t$	$s$	$a^2$	N. A. K. 18°	Diff.
Bartoli <sup>4)</sup>	20	1,227	10,56	10,70	- 0,14
	20,7	1,172	11,53	10,94	+ 0,59
	22,3	1,138	12,31	11,66	+ 0,65
	20,4	1,117	12,83	12,14	+ 0,69
	19,8	1,085	13,27	12,87	+ 0,40
	19,3	1,025	14,42	14,30	+ 0,12

Eine genaue Vergleichung dieser Resultate mit den von uns gefundenen stösst insofern auf Schwierigkeiten, als die Temperaturen nicht übereinstimmen und der Betrag des Temperaturkoeffizienten lediglich für reines Glycerin

1) C. R. 50. 52. 1860.

2) J. f. pr. Ch. 139. 177. 1885.

3) Metr. Beitr. der Kais. Norm.-Aichungs-Komm. Nr. 6. Berlin 1889.

4) Nuov. Cim. (3) 16. 83. 1884. (Relative Werthe, vgl. pag. 31.)

bekannt ist. Dann aber ist noch zu berücksichtigen, dass das reine Glycerin des Handels stets Spuren von Säuren enthält, die höchst wahrscheinlich einen grossen Einfluss auf den Betrag der Oberflächenspannung ausüben. Im Allgemeinen darf angenommen werden, dass in neuerer Zeit das Glycerin weniger fremde Bestandtheile enthält als früher, und aus diesem Grunde die jüngeren Beobachtungen der Wahrheit näher kommen. Nach Weinstein (l. c.) ist für reines Glycerin

$$2\alpha = 10,765 - 0,00342 t - 0,0000416 t^2$$

also:

$$\frac{2 d\alpha}{dt} = \frac{d\alpha^2}{dt} = - 0,0034 - 0,000083 t.$$

Reducirt man mit Hilfe dieser Formel die Werthe von Schiff, Weinstein und Bartoli auf 18° C., so ergibt sich nach

Schiff	$2\alpha = 10,74$
Weinstein	10,60
„	10,69
Bartoli	10,57

Hier war gefunden

$$2\alpha = 10,71,$$

also in guter Uebereinstimmung mit den reducirten Zahlen.

### 8. Mischungen aus reinem Glycerin und Spiritus von 62,50 Gewichtsprozent.

Diese Mischungen wurden früher bei der Vergleichung von Alkoholometern in dem Bereich von 0 bis 30 Gewichtsprozent an Stelle der schlecht benetzenden Alkohol-Wasser-Mischungen auf der Normal-Aichungs-Kommission benutzt und haben sich zu diesem Zwecke gut bewährt. In dem schon öfter citirten Metr. Beitrag Nr. 6 sind umfangreiche Untersuchungen über die Kapillarität dieser Flüssigkeiten angestellt, aus welchen hervorging, dass in dem bezeichneten Dichtenintervall die spezifische Kohäsion eine so gut wie unveränderliche Grösse ( $2\alpha = 6,25$  qmm) darstellt. Etwa 10 Jahre nach diesen Messungen wurden erneute Untersuchungen angestellt und es ergab sich, dass die Kapillaritätskonstante etwas geringer war. Der Grund dieser Erscheinung liegt ohne Zweifel darin, dass das benutzte Glycerin in dem zweiten Falle infolge der fortgeschrittenen Herstellungsmethoden reiner war und weniger säurehaltig.

Um den Betrag der Aenderung der Oberflächenspannung genauer zu ermitteln, sind dann weitere Beobachtungsreihen genau in der Art der Glycerin-Wasser-Untersuchungen ausgeführt worden, deren Ergebnisse aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich sind.

Dichte $\rho_{\frac{15}{4}}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe				
0,953	16,8	70	61,00	76,70	15,70	0,377	5,97	
		„	60,05	75,80	15,75	„	5,99	
		„	59,00	74,75	15,75	„	5,99	
		„	26,03	41,67	15,64	„	5,94	
		„	25,04	40,71	15,67	„	5,96	
		„	13,00	28,62	15,62	„	5,94	
		„	2,00	17,58	15,58	„	5,92	
		„	2,00	17,54	15,54	„	5,91	
	16,6	36	54,03	61,45	7,42	0,770	5,91	
		„	53,00	60,46	7,46	„	5,94	
		„	53,00	60,48	7,48	„	5,96	
		„	21,18	28,90	7,72	0,768	6,13	
		„	20,05	27,60	7,55	„	6,00	
		„	19,02	26,55	7,53	„	5,98	
		„	4,02	11,58	7,56	0,766	5,99	
		„	2,97	10,50	7,53	„	5,97	
	16,5	16,4	55	60,12	78,62	18,50	0,321	5,97
			„	59,06	77,53	18,47	„	5,96
			„	58,08	76,54	18,46	„	5,96
			„	23,07	41,60	18,53	„	5,98
			„	22,00	40,45	18,45	„	5,96
	16,3	16,3	„	4,00	22,50	18,50	0,322	5,99
			„	3,03	21,57	18,54	„	6,00
			46	58,04	65,58	7,54	0,769	6,00
			„	57,00	64,48	7,48	0,770	5,96
	16,4	16,3	„	31,11	38,50	7,39	0,782	5,98
			„	30,04	37,48	7,44	0,783	6,03
			„	5,00	12,37	7,37	0,795	6,07
			„	4,00	11,35	7,35	0,795	6,05
			60	33,00	50,08	17,08	0,346	5,95
	15,9	16,3	„	32,00	49,10	17,10	„	5,96
			„	31,04	48,15	17,11	„	5,96
„			30,06	47,20	17,14	„	5,97	
„			30,05	47,22	17,17	„	5,98	
„			29,04	46,14	17,10	„	5,96	
72			53,00	68,03	15,03	0,390	5,91	
16,0	16,0	„	52,07	67,17	15,10	„	5,94	
		„	27,93	43,00	15,07	„	5,93	
		„	27,05	42,17	15,12	„	5,95	
		„	3,03	18,17	15,14	„	5,96	
		„	2,03	17,30	15,27	„	6,01	

Dichte $\frac{S_{16}}{4}$	Temp.	Röhre No.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe				
0,977	17,3	53	62,03	81,52	19,49	0,302	5,92	
		"	61,00	80,46	19,46	"	5,91	
		"	61,04	80,54	19,50	"	5,92	
		"	59,98	79,52	19,54	"	5,93	
		"	30,08	49,62	19,54	0,303	5,95	
		"	29,05	48,44	19,39	"	5,91	
		"	12,05	31,48	19,43	0,302	5,90	
		"	11,04	30,50	19,46	"	5,91	
	17,4	47	61,09	66,13	5,04	1,093	5,91	
			"	61,05	66,23	5,18	"	6,06
			"	30,07	35,26	5,19	1,095	6,08
			"	28,96	34,08	5,12	"	6,01
			"	13,06	18,13	5,07	1,096	5,96
			"	12,04	17,12	5,08	"	5,97
			17,4	28	47,13	53,28	6,15	0,936
	"	46,20			52,40	6,20	"	6,10
	"	21,08			27,21	6,13	0,934	6,02
	"	20,09			26,19	6,10	"	5,99
	"	19,14			25,26	6,12	"	6,01
	"	5,10			11,16	6,06	0,933	5,94
	"	6,05			12,12	6,07	"	5,95
	17,5	78	63,00	71,21	8,21	0,701	5,92	
			"	63,00	71,07	8,07	"	5,82
			"	62,07	70,14	8,07	"	5,82
			"	33,16	41,30	8,14	"	5,88
			"	32,06	40,27	8,21	"	5,92
			"	3,09	11,29	8,20	"	5,91
			"	2,00	10,22	8,22	"	5,93
	17,6	85	57,06	72,36	15,30	0,388	5,99	
			"	57,06	72,30	15,24	"	5,96
			"	56,00	71,07	15,07	"	5,90
			"	27,00	42,11	15,11	"	5,91
			"	26,05	41,29	15,24	"	5,96
"			2,00	17,04	15,04	"	5,89	
"			0,97	16,14	15,17	"	5,94	
17,7	61	67,00	91,96	24,96	0,238	5,96		
		"	66,26	91,07	24,81	"	5,92	
		"	65,00	89,85	24,85	"	5,93	
		"	65,00	89,82	24,82	"	5,92	
		"	40,06	65,00	24,94	0,239	5,98	
		"	40,07	64,95	24,88	"	5,97	
		"	39,08	63,90	24,82	"	5,95	
		"	2,02	26,67	24,65	0,241	5,96	
		"	1,06	25,63	24,57	"	5,94	
		"	1,00	25,53	24,53	"	5,93	

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$		
			Niveau	Kuppe					
1,000	15	56	33,65	73,71	40,06	0,147	5,90		
		"	29,91	70,02	40,11	"	5,90		
		"	29,92	69,96	40,04	"	5,89		
		"	26,08	66,30	40,22	"	5,92		
		"	26,10	66,27	40,17	"	5,91		
		"	65	53,16	80,64	27,48	0,216	5,95	
		"	"	49,48	76,87	27,39	"	5,93	
		"	"	49,42	76,88	27,46	"	5,95	
		"	"	45,83	73,02	27,19	"	5,89	
		"	"	45,90	73,08	27,18	"	5,89	
		"	"	76	33,00	42,68	9,68	0,586	5,79
		"	"	"	22,27	32,36	10,09	"	6,03
		"	"	"	22,26	32,41	10,15	"	6,07
		"	"	"	15,04	24,99	9,95	"	5,95
		"	"	"	8,90	18,89	9,99	"	5,97
		"	"	78	46,13	54,28	8,15	0,701	5,87
	"	"	"	35,88	44,00	8,12	"	5,85	
	"	"	"	35,91	44,00	8,09	"	5,83	
	"	"	"	28,37	36,71	8,34	"	6,01	
	"	"	"	22,05	30,31	8,26	"	5,95	
	"	16,7	76	57,00	66,93	9,93	0,586	5,94	
	"		"	54,00	63,67	9,67	"	5,78	
	"		"	52,00	61,72	9,72	"	5,81	
	"		"	40,03	50,00	9,97	"	5,96	
	"		"	38,00	48,00	10,00	"	5,98	
	"		"	35,00	44,77	9,77	"	5,84	
	"		"	34,00	43,93	9,93	"	5,94	
	"		"	"	6,03	15,98	9,95	"	5,95
	"	"	"	6,09	16,04	9,95	"	5,95	
	"	17,0	78'	50,00	65,62	15,62	0,379	5,97	
	"		"	49,06	64,77	15,71	"	6,00	
	"		"	49,07	64,75	15,68	"	5,99	
"	"		26,14	41,96	15,82	"	6,05		
"	"		25,00	40,64	15,64	"	5,98		
"	"		5,00	20,63	15,63	"	5,97		
"	"		4,03	19,62	15,59	"	5,96		
"	"		42	6,87	18,46	11,59	0,506	5,95	
"	"		"	6,98	18,50	11,52	"	5,92	
"	"		"						

Dichte $\frac{S}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe				
1,000	21	58	30,12	56,42	26,30	0,223	5,88	
		"	27,08	53,30	26,22	"	5,86	
		"	25,83	52,02	26,19	"	5,86	
		"	25,03	51,31	26,28	"	5,88	
		"	23,13	49,43	26,30	"	5,88	
		"	53	14,22	33,42	19,20	0,3025	5,84
		"	"	11,23	30,48	19,25	"	5,85
		"	"	9,98	29,14	19,16	"	5,83
		"	"	9,16	28,42	19,26	"	5,86
		"	"	7,41	26,60	19,19	"	5,82
	"	"	59	45,16	58,07	12,91	0,450	5,88
	"	"	"	44,55	57,46	12,91	"	5,88
	"	"	"	43,94	56,75	12,81	"	5,83
	"	"	"	41,97	54,87	12,90	"	5,87
	"	"	"	40,00	52,86	12,86	"	5,85
1,009	22	55	36,07	54,35	18,28	0,321	5,90	
		"	35,23	53,50	18,27	"	5,90	
		"	34,59	52,92	18,33	"	5,92	
		"	32,72	50,98	18,26	"	5,90	
		"	30,66	48,95	18,29	"	5,91	
1,009		43	1,09	13,71	12,62	0,472	6,03	
		"	1,02	13,43	12,41	"	5,93	
1,019		38	24,39	34,88	10,49	0,5585	5,96	
		"	24,40	34,94	10,54	"	5,99	
1,039	22	52	15,46	37,34	21,88	0,265	5,82	
		"	12,97	34,75	21,78	"	5,80	
		"	11,00	32,80	21,80	"	5,81	
		"	9,27	31,15	21,88	"	5,82	
		"	28,54	50,42	21,88	"	5,82	
	"	61	11,73	36,05	24,32	0,241	5,88	
	"	"	9,26	33,50	24,24	"	5,86	
	"	"	7,29	31,52	24,23	"	5,86	
	"	"	5,66	29,93	24,27	"	5,87	
	"	"	24,60	48,90	24,30	0,240	5,85	
	"	22	60	14,32	31,05	16,73	0,346	5,83
	"	"	"	11,06	27,88	16,82	"	5,86
	"	"	"	7,50	24,20	16,70	"	5,82
	"	"	"	6,89	23,48	16,59	"	5,78
	"	"	"	5,98	22,58	16,60	0,345	5,77

Dichte $\rho_{15}^4$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,060	22	53	10,88	29,77	18,89	0,302	5,73
		"	7,06	26,05	18,99	"	5,77
		"	5,38	24,44	19,06	"	5,79
		"	29,03	48,04	19,01	0,303	5,79
		"	28,00	47,00	19,00	"	5,79
		"	24,15	43,18	19,03	"	5,80
		"	7,12	26,22	19,10	0,302	5,80
	22	59	20,00	32,62	12,62	0,451	5,76
		"	18,68	31,40	12,72	"	5,80
		"	17,47	30,11	12,64	"	5,77
		"	17,32	30,06	12,74	"	5,81
		"	16,70	29,38	12,68	"	5,79
		"	13,06	25,72	12,66	"	5,78
	22	58	22,0	47,9	25,9	0,223	5,79
		"	19,9	45,6	25,7	"	5,75
		"	15,2	41,0	25,8	"	5,77
		"	7,2	32,9	25,7	"	5,75
		"	1,2	27,0	25,8	"	5,77
	22	55	28,05	46,00	17,95	0,322	5,82
		"	15,05	33,00	17,95	"	5,82
"		2,15	20,20	18,05	"	5,85	
1,082		44	24,02	36,47	12,45	0,4805	6,06
		"	24,02	36,61	12,59	"	6,13
		"	24,03	36,48	12,45	"	6,06
		"	14,21	26,70	12,49	"	6,08
1,128		39	31,93	39,85	7,92	0,7506	6,13
		"	31,84	39,92	8,08	"	6,25
		"	31,82	39,95	8,13	"	6,29
		"	21,91	30,09	8,18	"	6,33
		"	21,97	30,17	8,20	"	6,34
1,178		47	29,05	35,40	6,35	1,0949	7,35
		"	29,06	35,43	6,37	"	7,37
		"	29,08	35,42	6,34	"	7,34
		"	19,28	25,62	6,34	1,0956	7,35

Vereinigt man die mit den einzelnen Röhren gewonnenen Messungsergebnisse zu Mittelwerthen, so ergibt sich die folgende Zusammenstellung, gültig für eine mittlere Temperatur von rund 18° C.

Dichte	Röhre Nr.	Radius	$2\alpha$	$d$	Zahl der Messungen
0,953	55	0,32	5,98	0,00	7
"	60	0,35	5,96	+ 0,02	6
"	70	0,38	5,95	+ 0,03	8
"	72	0,39	5,95	+ 0,03	6
"	36	0,77	5,98 <sub>5</sub>	- 0,00 <sub>5</sub>	8
"	46	0,78	6,01 <sub>5</sub>	- 0,03 <sub>5</sub>	6
0,977	61	0,24	5,95	+ 0,01	10
"	53	0,30	5,92	+ 0,04	8
"	85	0,39	5,94	+ 0,02	7
"	78	0,70	5,88	+ 0,08	7
"	28	0,93	6,01	- 0,05	7
"	47	1,09	5,99	- 0,03	6
1,000	56	0,15	5,90	+ 0,04	5
"	65	0,22	5,92	+ 0,02	5
"	58	0,22	5,87	+ 0,07	5
"	53	0,30	5,84	+ 0,10	5
"	55	0,32	5,91	+ 0,03	5
"	78'	0,38	5,99	- 0,05	7
"	59	0,45	5,86	+ 0,08	5
"	42	0,51	5,93 <sub>5</sub>	+ 0,00 <sub>5</sub>	2
"	76	0,59	5,93	+ 0,01	14
"	78	0,70	5,90	+ 0,04	5
1,009	43	0,47	5,98	- 0,04	2
1,019	38	0,56	5,97 <sub>5</sub>	- 0,04 <sub>5</sub>	2
1,039	61	0,24	5,86	+ 0,06	5
"	52	0,27	5,81	+ 0,11	5
"	60	0,35	5,81	+ 0,11	5
1,060	58	0,22	5,77	+ 0,16	5
"	53	0,30	5,78	+ 0,15	7
"	55	0,32	5,83	+ 0,10	3
1,082	44	0,48	6,08	- 0,09	4
1,128	39	0,75	6,27	0,00	5
1,178	47	1,10	7,35	0,00	4

Die Gesamtmittel aus allen Röhren sind für die einzelnen Flüssigkeiten die folgenden (unter Berücksichtigung der Gewichte):

Dichte $\frac{8_{15}}{4}$	$2\alpha$ beob.	Zahl der Messungen	$2\alpha$ aus- geglichen	$d$
0,953	5,97	41	5,98	+ 0,01
0,977	5,95	45	5,96	+ 0,01
1,000	5,91	58	5,94	+ 0,03
1,009	5,98	2	5,94	- 0,04
1,019	5,97 <sub>5</sub>	2	5,93	- 0,04 <sub>5</sub>
1,039	5,83	15	5,92	+ 0,09
1,060	5,79	15	5,93	+ 0,14
1,082	6,08	4	5,99	- 0,19
1,128	6,27	5	6,27	0,00
1,178	7,35	4	7,35	0,00

Bei der graphischen Ausgleichung dieser Werthe ist die Kapillaritätskonstante des reinen Glycerins mit aufzutragen; es war nach pag. 45  $2\alpha = 10,71$  zur Dichte 1,228 gehörig.

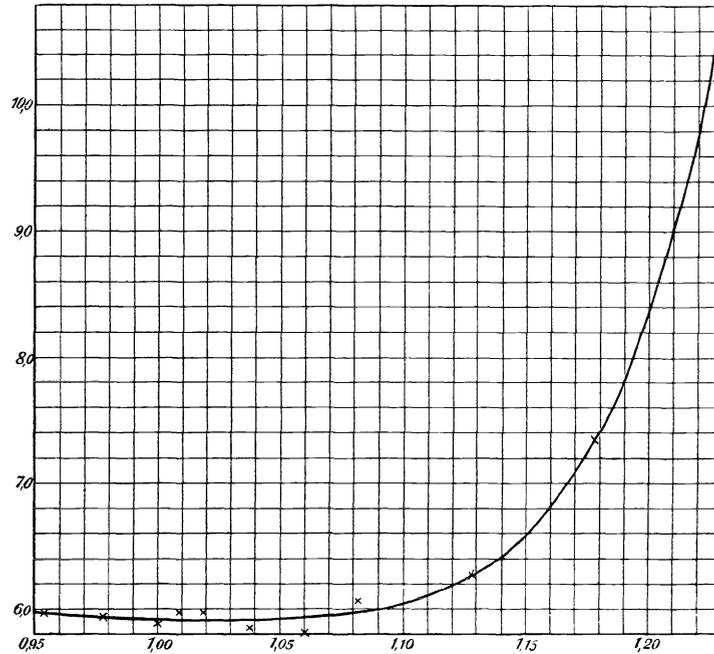


Fig. 8.

Die Kurve verläuft bis zur Dichte 1,05 nahezu geradlinig und wendet sich dann nach oben immer steiler werdend. Durch Ablesung der Ordinaten erhält man die nachstehende Tabelle, gültig für eine mittlere Temperatur von etwa 22° C.

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$\tau$ Dyner	Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$\tau$ Dyner
0,95	5,98	27,9	1,10	6,05	32,7
96	5,97	28,1	11	6,11	33,3
97	5,97	28,4	12	6,19	34,0
98	5,96	28,7	13	6,29	34,9
99	5,95	28,9	14	6,41	35,9
1,00	5,94	29,2	1,15	6,58	37,1
01	5,94	29,4	16	6,80	38,7
02	5,93	29,7	17	7,09	40,7
03	5,93	30,0	18	7,41	42,9
04	5,92	30,2	19	7,81	45,6
1,05	5,92	30,5	1,20	8,35	49,2
06	5,93	30,8	21	9,00	53,4
07	5,95	31,2	22	9,80	58,6
08	5,98	31,7	23	11,00	66,4
09	6,01	32,2			
1,10	6,05	32,7			

Die früheren Beobachtungen, von denen oben die Rede war, ergaben für das Intervall der Dichten 0,95 bis 1,00 den Werth  $2\alpha = 6,25$ , welcher etwa um 0,3 höher ist, als der von uns gefundene. Die geringe Aenderung des letzteren zwischen 5,98 und 5,94 fällt dabei wenig ins Gewicht.

### 9. Mischungen aus Schwefeläther und Alkohol.

Neben dem reinen Aether der Dichte 0,726 ist nur eine Mischung dieser Flüssigkeit mit Alkohol von der Dichte 1,769 untersucht worden und zwar mit Röhren vom Radius 0,22 und 0,77.

Die Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Dichte $\frac{\rho_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$		
			Niveau	Kuppe					
0,726 (Aether)	16	36	23,09	29,31	6,22	0,768	4,98		
		„	16,07	22,30	6,23	0,767	4,98		
		„	14,65	21,00	6,35	0,767	5,07		
		„	14,68	21,00	6,32	0,767	5,05		
		„	40,27	46,55	6,28	0,770	5,04		
		„	38,30	44,54	6,24	0,770	5,00		
		65	54,39	77,38	22,99	0,216	4,98		
		„	50,00	72,73	22,73	0,216	4,92		
		„	46,90	69,56	22,66	0,217	4,93		
		„	45,20	68,10	22,90	0,217	4,98		
		„	39,39	62,30	22,91	0,217	4,99		
		58	26,90	48,97	22,07	0,223	4,94		
		„	21,04	43,09	22,05	„	4,93		
		„	16,98	39,02	22,04	„	4,93		
		„	13,88	35,92	22,04	„	4,93		
		0,769	16	36	31,00	37,62	6,62	0,769	5,29
				„	24,13	31,07	6,94	0,768	5,53
				„	22,00	28,65	6,65	0,768	5,31
„	18,13			25,02	6,89	0,767	5,48		
„	60,44			67,17	6,73	0,769	5,38		
65	38,05			62,96	24,91	0,217	5,42		
„	33,96			58,60	24,64	„	5,36		
„	32,72			57,52	24,80	„	5,40		
„	26,94			51,73	24,79	„	5,39		
„	22,74			47,63	24,89	„	5,42		
58	52,19			76,30	24,11	0,222	5,37		
„	47,10			71,18	24,08	„	5,36		
„	43,15			67,31	24,16	„	5,38		
„	40,00			64,11	24,11	„	5,37		
„	31,48			55,57	24,09	0,223	5,39		

Nach den Röhren geordnet ergeben sich folgende Mittelwerthe:

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	Röhre Nr.	Radius	$2\alpha$ beob.	$\Delta$	Zahl d. Beob.
0,726	65	0,22	4,96	+ 0,01	5
"	58	0,22	4,93	+ 0,04	4
"	36	0,77	5,02	- 0,05	5
0,769	65	0,22	5,40	- 0,01	5
"	58	0,22	5,37	+ 0,02	5
"	36	0,77	5,40	- 0,01	5

Für die Flüssigkeiten erhält man ferner die Mittel:

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
0,726	4,97	4,97	0
0,769	5,39	5,39	0

Zu diesen Zahlen ist noch der Werth  $2\alpha$  für Alkohol hinzuzufügen; derselbe ist nach den Metr. Beitr. Nr. 6 zu setzen: 5,78 mit dem Dichtenargument 0,794. Die graphische Interpolation führt auf folgende Kurve:

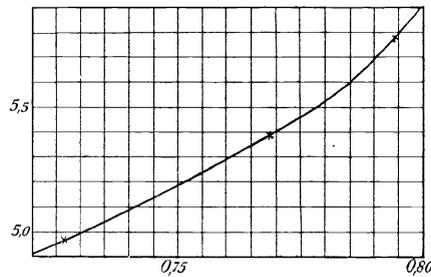


Fig. 9.

Eine durch diese 3 Punkte hindurchgehende Linie bildet eine schwach nach oben gekrümmte Kurve. Von einer Ausgleichung ist natürlich hier keine Rede, sondern es handelt sich lediglich um eine graphische Interpolation. Diese liefert die folgende kleine Tabelle, gültig für die Temperatur von rund 16° C.

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
0,72	4,92	17,4
73	5,00	17,9
74	5,09	18,5
75	5,19	19,1
76	5,29	19,7
77	5,40	20,4
78	5,53	21,2
79	5,69	22,1
(0,80)	(5,91)	(23,2)

Die Kapillaritätskonstanten von Aether sowohl wie von Alkohol sind häufig von anderen Beobachtern gemessen worden, auch sind die Temperaturkoeffizienten für beide Flüssigkeiten hinreichend genau ermittelt. In den folgenden Tabellen sind die wichtigsten Ergebnisse übersichtlich zusammengestellt.

### A. Schwefeläther.

Vollständige Formeln geben:

Brunner <sup>1)</sup>  $a^2 = 5,354 - 0,0280 t$

Jäger <sup>2)</sup>  $T = 20,65 - 0,125 t$ .

Einzelne Beobachtungswerthe finden sich bei:

Beobachter	$t$	$s_t$	$a^2$	$\alpha$	$T_t$	$T_{16}$	$T'_{16}$ N. A. K	$T - T'$
Frankenheim <sup>3)</sup>	0	0,737	5,40		19,5	17,6	17,6	0,0
	25	0,716	4,77		16,8	17,6		
Wilhelmy <sup>4)</sup>	14,2	0,725		1,985	19,5	19,3	17,6	+ 1,7
Timberg <sup>5)</sup>	2,6	0,7564	5,142	1,945	19,1	17,5		
	4,3	0,7544	5,100	1,923	18,9	17,5		
	7,9	0,7502	5,017	1,881	18,5	17,5		
	13,0	0,7446	4,846	1,804	17,7	17,3	18,5	- 1,0
	20,2	0,7357	4,741	1,744	17,1	17,6		
25,7	0,7269	4,589	1,668	16,4	17,5			
Sutherland <sup>6)</sup>	15	0,723	5,4	1,95	19,1	19,0	17,6	+ 1,4
Magie <sup>7)</sup>	19	0,725	4,977		17,7	18,1	17,6	+ 0,5
Ramsay Shields <sup>8)</sup>	20	0,7143			16,49	17,0	17,4	- 0,4
	40	0,6894			14,05	16,9		
	50	0,6764			12,94	17,0		
Schiff <sup>9)</sup>	5,8		5,19		(19,1)	17,9	17,6	+ 0,3
	34,6		4,52		(15,7)	17,9		

1) Pogg. Ann. 70. 481. 1847.

2) Wiener Ak. Ber. 100. 245. 1891.

3) Pogg. Ann. 72. 177. 1847.

4) Pogg. Ann. 121. 44. 1864.

5) Wied. Ann. 30. 545. 1887.

6) Phil. Mag. (5) 38. 188. 1894.

7) Phil. Mag. (5) 26. 162. 1888.

8) Phil. Trans. 1893. p. 647.

9) Lieb. Ann. 223. 47. 1883.

Beobachter	$t$	$s_t$	$d^2$	$\alpha$	$T_t$	$T_{16}$	$T'_{16}$ N. A. K.	$T - T'$
Linebarger <sup>10)</sup>	25	0,7094			16,35	17,4	17,4	0,0
Sieg <sup>11)</sup>	20	0,725	4,84		17,2	17,7	17,6	+ 0,1
Rodenbeck <sup>12)</sup>	17,5?	0,74	5,03		18,3	18,5	18,5	0,0
Frankenheim <sup>13)</sup>	19	0,728	5,10		18,2	18,6		
	14,5	0,732	5,37		19,3	19,1	18,0	+ 1,1
Kasterin <sup>14)</sup>	16,2			1,745	17,1	17,1	17,6	- 0,5
	20,7			1,684	16,5	17,1		
	41,8			1,424	14,0	17,1		
Hierzu nach obigen Formeln								
Brunner	16		4,91		17,4	17,4	17,6	- 0,2
Jäger	16				18,65	18,65	17,6	+ 1,0

Der Temperatur-Koeffizient  $\frac{dT}{dt}$  ergibt sich

nach Brunner <sup>1)</sup>	$\frac{dT}{dt} = - 0,130$
Jäger <sup>2)</sup>	- 0,125
Frankenheim <sup>3)</sup>	- 0,108
Timberg <sup>5)</sup>	- 0,117
Ramsay Shields <sup>8)</sup>	- 0,118
Schiff <sup>9)</sup>	- 0,118
Kasterin <sup>14)</sup>	- 0,121

Als Mittelwerth darf angenommen werden:

$$\frac{dT}{dt} = - 0,12$$

Mit dieser Zahl sind die Einzelbeträge auf 16° C., diejenige Temperatur, für welche unsere Tabelle gilt, reducirt. Zu bemerken ist, dass die Umwandlung in absolutes Mass da, wo keine spezifischen Gewichte angegeben sind, mit mittleren Dichten ausgeführt ist. Durch Vergleichung der auf 16°

1) 2) 3) 5) 8) 9) siehe Seite 55.

<sup>10)</sup> Amer. J. Se. (4) 2. 226. 1896.

<sup>11)</sup> Ueber die Bestimmung von Kapillaritäts-Konstanten. . Diss. Berlin, 1887.

<sup>12)</sup> Ueber Kapillaritätsbestimmungen von Flüssigkeitsgemischen. Diss. Bonn, 1879.

<sup>13)</sup> Die Lehre von der Kohäsion. Breslau, 1835.

<sup>14)</sup> J. russ. phys. chem. Ges. 24 (2). 196. 1892.

„ „ „ „ „ 25 (2). 51. 1893.

reducirten Zahlen mit den von uns ermittelten ergeben sich die in der letzten Kolumne aufgeführten Differenzen. Letztere geben indessen nicht immer die thatsächlichen Abweichungen, da in unseren Tabellen den Dichten über 0,726 nicht Aether, sondern Aether-Alkohol-Mischungen entsprechen. Im Wesentlichen befriedigt die Uebereinstimmung.

### B. Alkohol (Aethylalkohol).

Die einzelnen Beobachtungswerthe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Beobachter	$t$	Dichte	$a^2$	$\alpha$	$T_t$	$T_{16}$
Worthington <sup>1)</sup>	20	0,7906		2,36	23,2	23,5
Magie <sup>2)</sup>	22—23	0,7934	5,652		22,0	22,5
„ <sup>2a)</sup>	15	0,7934	5,764		22,4	22,3
Ramsay Shields <sup>3)</sup>	20	0,7926			22,03	22,3s
	40	0,7754			20,20	
Schiff <sup>4)</sup>	5,5		5,956		23,3	22,5
	78	0,7381	4,782		17,3	
Traube <sup>5)</sup>	15—16	0,7969	5,743	2,288	22,5	22,5
„ <sup>5a)</sup>	17,5	0,7906	5,68		22,0	22,1
Mendelejeff <sup>6)</sup>	78		5,12		18,5	
	15	0,7958	5,944		23,2	23,1
Rodenbeck <sup>7)</sup>	17,5			2,392	23,5	23,6
Sohet <sup>8)</sup>	0,9	(0,8089)	6,07		24,1	22,9
	9,3		5,97			
	20,3		5,82			
	33,0		5,63			
	44,7	(0,7711)	5,48		20,7	23,0
Weinstein <sup>9)</sup>	15	0,7943	5,76	2,288	22,5	22,4
Hall <sup>10)</sup>	17,20				23,95	
	16,23				24,19	24,2
Dupré and Page <sup>11)</sup>	16	(0,7906)	5,69		22,1	22,1

1) — 11) siehe Seite 58.

Das Mittel aus den auf  $16^\circ$  umgerechneten Zahlen ist  $T_{16} = 23,0$ , ein Werth, der mit dem aus unserer Tabelle entlehnten  $T_{16} = 22,9$  sehr gut übereinstimmt. Als Temperaturkoeffizienten findet man nach den Beobachtungen

von Ramsay-Shields	$\frac{dT}{dt} = - 0,091$
Schiff	$- 0,083$
Mendelejeff	$- 0,075$
Sohet	$- 0,078.$

Der Mittelwerth  $\frac{dT}{dt} = - 0,08$  ist bei der Reduction der einzelnen Zahlen auf  $16^\circ$  zu Grunde gelegt.

### 10. Natronlauge.

Untersucht wurden 6 verschiedene Flüssigkeiten von den Dichten 1,06, 1,17, 1,22, 1,24, 1,34 und 1,39. Die Beobachtungen sind mit blossem Auge ausgeführt an getheilten Röhren, deren Radien zwischen 0,21 und 0,93 mm differiren. Ist eine Messung schon mit reinem Wasser mit Schwierigkeiten verbunden, so war letzteres in erhöhtem Masse bei den stärkeren Laugen der Fall, wo zu der schlechten Benetzung noch eine die Beobachtung sehr störende Zähflüssigkeit hinzukam. So gelang es z. B. bei der vorletzten Flüssigkeit nur mit einer Röhre günstige Benetzungsverhältnisse zu erlangen, während die Versuche mit fünf anderen zu keinem befriedigenden Resultate führten und deshalb von vorn herein zu verwerfen waren. Eine Abhängigkeit des erhaltenen Kapillaritätswerths von der Weite der benutzten Röhre, wie man sie häufig findet, lässt sich aus unseren Beobachtungen kaum herauslesen.

In der nachstehenden Tabelle sind die einzelnen Messungen übersichtlich zusammengestellt.

- 
- 1) Phil. Mag. (5) 20. 51. 1885.
  - 2) Phil. Mag. (5) 26. 162. 1888.
  - 2a) Sill. J. (3) 31. 189. 1886.
  - 3) Phil. Trans. 1893. p. 647.
  - 4) Lieb. Ann. 223. 47. 1883.
  - 5) J. pr. Ch. 31. 177. 1885.
  - 5a) J. pr. Ch. 34. 292. 515. 1886.
  - 6) C. R. 50. 52. 1860.
  - 7) Ueber Kapillaritätsbestimmungen von Flüssigkeitsgemischen. Diss. Bonn, 1879.
  - 8) Bull. Inst. Liège, 1897. (1)–(56).
  - 9) Metr. Beiträge der Kais. Norm.-Aichungs-Komm. No. 6, Berlin, 1889.
  - 10) Phil. Mag. (5) 36. 385. 1893.
  - 11) Phil. Trans. 159. 591. 1870.

Dichte $s \frac{15}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$	
			Niveau	Kuppe				
1,060	18,8	28	15,06	30,31	15,25	0,935	14,55	
		53	7,08	54,35	47,27	0,303	14,35	
		59	7,12	38,66	31,54	0,451	14,29	
	18,9	28	14,51	29,85	15,34	0,935	14,63	
		53	6,78	53,65	46,87	0,303	14,23	
		59	6,58	38,05	31,47	0,450	14,23	
	19,0	28	11,02	26,36	15,34	0,934	14,63	
		53	3,06	50,37	47,31	0,303	14,37	
		59	3,05	34,65	31,60	0,450	14,29	
		28	10,46	25,55	15,09	0,934	14,40	
		53	2,66	49,68	47,02	0,303	14,28	
	19,2	59	2,62	34,03	31,41	0,450	14,20	
	1,174	18,9	50	33,05	56,08	23,03	0,608	14,12
			"	28,05	50,88	22,83	"	14,00
			"	27,07	49,85	22,78	"	13,97
"			26,32	49,07	22,75	"	13,95	
"			17,27	40,30	23,03	"	14,12	
52			18,53	71,30	52,77	0,265	14,01	
"			15,70	69,38	53,68	"	14,25	
"			14,88	68,53	53,65	"	14,24	
"			1,38	55,20	53,82	"	14,29	
60			18,56	59,52	40,96	0,346	14,21	
"			17,04	58,10	41,06	"	14,25	
"			14,38	55,90	41,52	"	14,41	
64			14,00	79,50	65,50	0,216	14,17	
"			6,70	72,37	65,67	"	14,20	
"			6,07	71,63	65,56	"	14,18	
"			5,08	70,94	65,86	"	14,24	
1,221			17,7	28	12,02	27,07	15,05	0,934
	33	10,21		37,92	27,71	0,518	14,44	
	28	11,98		27,00	15,02	0,934	14,32	
	33	10,23		37,91	27,68	0,518	14,43	
	28	10,91		25,95	15,04	0,934	14,34	
	33	9,10		36,83	27,73	0,518	14,45	
	28	4,37		19,61	15,24	0,934	14,52	
	33	2,97		30,72	27,75	0,518	14,46	
	28	4,26		19,53	15,27	0,934	14,55	
	33	3,03		30,47	27,44	0,518	14,30	
	50	7,46		30,50	23,04	0,608	14,13	
	"	7,50		30,55	23,05	"	14,14	
	"	6,48		29,55	23,07	"	14,15	

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,235	20,5	39	9,05	28,02	18,97	0,751	14,43
		"	35,88	54,54	18,66	"	14,20
		"	34,43	53,37	18,94	"	14,41
		"	33,04	51,94	18,90	"	14,38
		50	28,23	51,50	23,27	0,608	14,27
		"	27,04	50,45	23,41	"	14,35
		"	26,03	49,38	23,35	"	14,32
		"	22,28	45,93	23,65	"	14,50
		"	15,00	38,58	23,58	"	14,46
		"	15,00	38,42	23,42	"	14,36
		"	11,03	34,38	23,35	"	14,32
		"	9,96	33,04	23,08	"	14,15
		"	9,05	32,20	23,15	"	14,20
		59	32,16	63,92	31,76	0,450	14,36
		"	30,02	61,55	31,53	"	14,25
		"	28,98	60,53	31,55	"	14,27
		"	27,17	59,04	31,87	"	14,41
		"	26,28	58,10	31,82	"	14,38
		"	18,44	50,34	31,90	"	14,42
		1,335	20,3	44	24,98	55,00	30,02
"	24,80			54,62	29,82	"	14,40
"	7,90			38,55	30,65	"	14,79
1,389	20,6	63	2,30	73,00	70,70	0,210	14,86
		"	1,70	71,65	69,95	"	14,70
		39	4,60	24,12	19,52	0,751	14,84
		"	1,98	21,16	19,18	"	14,59
		"	8,86	28,15	19,29	"	14,67
		"	8,84	27,98	19,14	"	14,56
		"	20,10	39,28	19,18	"	14,59
		"	3,37	22,90	19,53	"	14,85
		63	2,45	72,72	70,27	0,210	14,77
		"	2,47	72,55	70,08	"	14,73
		27	28,45	44,40	15,95	0,913	14,84
		"	27,95	43,60	15,65	"	14,56
		"	27,90	43,52	15,62	"	14,53
		"	25,53	41,33	15,80	"	14,70
		"	25,06	40,50	15,44	"	14,37

Hiernach erhält man durch Mittelbildung für die einzelnen Röhren die nachstehende Zusammenstellung:

Dichte	Röhre Nr.	Radius der Röhre	$2\alpha$	$\Delta$	Zahl d. Beob.
1,060	53	0,30	14,31	+ 0,07	4
"	59	0,45	14,25	+ 0,13	4
"	28	0,93	14,55	- 0,17	4
1,174	64	0,22	14,20	- 0,02	4
"	52	0,27	14,20	- 0,02	4
"	60	0,35	14,29	- 0,11	3
"	50	0,61	14,03	+ 0,15	5
1,221	33	0,52	14,42	- 0,15	5
"	50	0,61	14,14	+ 0,13	3
"	28	0,93	14,42	- 0,15	5
1,235	59	0,45	14,35	- 0,00 <sub>5</sub>	6
"	50	0,61	14,33	+ 0,01 <sub>5</sub>	9
"	39	0,75	14,36	- 0,01 <sub>5</sub>	4
1,335	44	0,48	14,56	- 0,00	3
1,389	63	0,21	14,76 <sub>5</sub>	- 0,07 <sub>5</sub>	4
"	39	0,75	14,68	+ 0,01	6
"	27	0,91	14,60	+ 0,09	5

Bei der ferneren Mittelbildung für die einzelnen Flüssigkeiten ist es zweckmässig, den Ergebnissen für alle Röhren gleiches Gewicht zu geben, denn bei diesen schlecht benetzenden Flüssigkeiten sind die Beobachtungen bei denjenigen Röhren gehäuft, wo wegen ungünstiger Benetzung eine grössere Unsicherheit der Einzeleinstellung zu befürchten war. Man erhält alsdann folgende Tabelle:

Dichte $\frac{8 \frac{15}{4}}$	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ Kurve	$\Delta$
1,060	14,37	14,38	+ 0,01
1,174	14,18	14,18	0,00
1,221	14,33	14,27	- 0,06
1,235	14,35	14,34 <sub>5</sub>	- 0,00 <sub>5</sub>
1,335	14,56	14,56	0,00
1,389	14,68	14,69	+ 0,01

Bei der graphischen Ausgleichung wird der auf pag.41 für Wasser ermittelte Werth  $T = 72,71$  oder  $2\alpha = 14,84$  für  $20^\circ \text{C.}$  gleichfalls aufgetragen und man erhält die nachstehende Kurve:

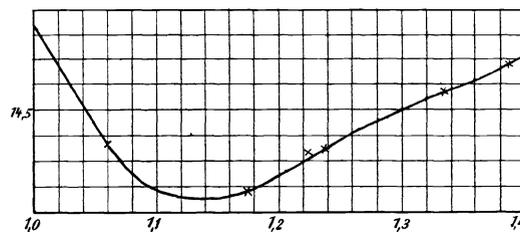


Fig. 10.

Es fällt auf, dass die Kapillaritätskonstanten mit wachsender Konzentration erst fallen, dann wieder ansteigen. Die Ordinaten dieser Kurve ergeben die folgende Tabelle der Kapillaritätskonstanten  $2\alpha$  für eine mittlere Temperatur von  $20^\circ \text{ C}$ .

Dichte $\rho_{\frac{15}{4}}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner	Dichte $\rho_{\frac{15}{4}}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
1,00	14,84	72,8	1,20	14,24	83,8
01	76	73,1	21	27	84,7
02	68	73,5	22	30	85,6
03	60	73,8	23	33	86,5
04	52	74,1	24	36	87,4
1,05	14,45	74,4	1,25	14,39	88,3
06	38	74,8	26	42	89,1
07	31	75,1	27	44	90,0
08	25	75,5	28	46	90,8
09	21	76,0	29	48	91,6
1,10	14,18	76,5	1,30	14,50	92,5
11	17	77,2	31	52	93,3
12	16	77,8	32	54	94,2
13	15	78,4	33	55	95,0
14	15	79,1	34	57	95,8
1,15	14,15	79,8	1,35	14,59	96,6
16	16	80,6	36	61	97,5
17	17	81,3	37	64	98,4
18	19	82,1	38	66	99,3
19	21	83,0	39	69	100,2
1,20	14,24	83,8	1,40	14,71	101,0

Zur Vergleichung können wir die Beobachtungen von Frankenheim<sup>1)</sup> heranziehen. Derselbe fand bei der Temperatur  $16^\circ \text{ C}$ .

für die Dichte 1,338  $a^2 = 12,07$   $T = 79,2$

„ „ „ 1,239  $a^2 = 13,70$   $T = 83,3$ .

Aus unserer Tabelle folgt für  $20^\circ$  und die entsprechenden Dichten: 95,3 und 87,3, das sind Werthe, welche mit den Frankenheim'schen schlecht übereinstimmen. Welches der Grund dieser Differenzen ist, lässt sich nicht angeben. Erheblich besser ist die Uebereinstimmung mit den Beobachtungen von Röntgen und Schneider<sup>1)</sup>. Hieraus ergeben sich für die Dichten

1,032  $T = 77,0$

1,066  $T = 78,7$ ,

<sup>1)</sup> Wied. Ann. 29. 165. 1886.

denen wir die Werthe 73,9 und 75,0 gegenüberstellen. Leider ist hier das Vergleichsintervall nur ein beschränktes, sodass eine Bestätigung der für konzentrierte Lösungen ermittelten Zahlen nicht zu erlangen ist.

### 11. Ammoniak.

Es sind drei Ammoniaklösungen von den Dichten 0,92, 0,95, 0,98 untersucht worden mit Röhren vom Radius 0,21 bis 0,94. Die Messungen, welche mit blossem Auge ausgeführt wurden, zeigen nicht immer eine befriedigende Uebereinstimmung. Die Abweichungen sind aber sicherlich nicht in erster Linie auf Ableseunsicherheiten zurückzuführen, der Grund scheint vielmehr in der starken Verdunstung an der Oberfläche zu liegen, wodurch sich am Meniskus die Konzentration und Temperatur schnell ändert. Die Beobachtungen sind in folgender Tabelle enthalten:

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
0,920	19,2	33	36,80	61,76	24,96	0,518	13,02
		"	32,52	57,46	24,94	"	13,01
		"	24,33	49,44	25,11	"	13,10
		"	19,93	44,87	24,94	"	13,01
		50	43,14	64,18	21,04	0,608	12,91
		"	41,15	62,26	21,11	"	12,96
		"	33,07	54,07	21,00	"	12,89
		"	28,30	49,40	21,10	"	12,95
		53	28,95	71,46	42,51	0,302	12,87
		"	26,85	69,44	42,59	"	12,89
		"	21,12	63,98	42,86	"	12,97
		"	5,10	48,00	42,90	0,303	13,03
		28	37,64	51,25	13,61	0,936	13,03
		"	35,42	49,22	13,80	"	13,21
		"	31,24	45,02	13,78	"	13,19
		"	11,88	25,64	13,76	0,934	13,14
0,955	16,6	28	39,68	53,91	14,23	0,936	13,61
		"	31,98	46,00	14,02	"	13,41
		"	28,38	42,55	14,17	0,935	13,54
		"	36,13	50,22	14,09	0,936	13,48
		"	47,89	62,05	14,16	0,935	13,53

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$		
			Niveau	Kuppe					
0,955	16,6	50	34,91	56,65	21,74	0,608	13,34		
		"	31,21	53,04	21,83	"	13,39		
		"	28,21	50,22	22,01	"	13,50		
		"	23,11	45,08	21,97	"	13,48		
		"	6,35	28,25	21,90	"	13,44		
		"	13,67	35,50	21,83	"	13,39		
		"	53	29,02	73,18	44,16	0,302	13,37	
		"	"	27,80	72,04	44,24	"	13,39	
		"	"	25,10	69,55	44,45	"	13,45	
		"	"	15,30	59,72	44,42	"	13,44	
		"	"	7,55	51,90	44,35	0,303	13,47	
		0,978	17,9	33	31,20	57,74	26,54	0,518	13,84
				"	28,92	55,42	26,50	"	13,82
				"	28,82	55,38	26,56	"	13,85
"	25,40			52,00	26,60	"	13,87		
"	63			47,13	112,73	65,60	0,209	13,73	
"	"			45,90	111,60	65,70	"	13,75	
"	"			43,77	109,54	65,77	"	13,76	
"	"			41,98	108,00	66,02	"	13,81	

Nach Vereinigung der mit den einzelnen Röhren erhaltenen Zahlen zu Mittelwerthen erhält man die folgende Zusammenstellung:

Dichte	Röhre Nr.	Radius	$2\alpha$	$\Delta$	Zahl der Beob.
0,920	53	0,30	12,94	+ 0,07	4
"	33	0,52	13,03 <sub>5</sub>	- 0,02 <sub>5</sub>	4
"	50	0,61	12,93	+ 0,08	4
"	28	0,94	13,14	- 0,13	4
0,955	53	0,30	13,42	+ 0,02	5
"	50	0,61	13,42	+ 0,02	6
"	28	0,94	13,51	- 0,07	5
0,978	63	0,21	13,76	+ 0,07	4
"	33	0,52	13,85	- 0,02	4

Die Gesamtmittel für die 3 Flüssigkeiten ergeben sich, wenn man den Beobachtungen für alle Röhren dasselbe Gewicht beilegt, folgendermassen:

Dichte	$2\alpha$	$2\alpha$ Kurve	$A$
0,920	13,01	13,01	0,00
0,955	13,45	13,44	- 0,01
0,978	13,80 <sub>5</sub>	13,83	+ 0,02 <sub>5</sub>

Als mittlere Temperatur ist für diese Messungen  $18^\circ \text{C}$ . zu setzen. Fügt man noch den für Wasser erhaltenen Werth 14,89 hinzu und trägt die 4 Punkte graphisch auf, so erhält man folgende Darstellung:

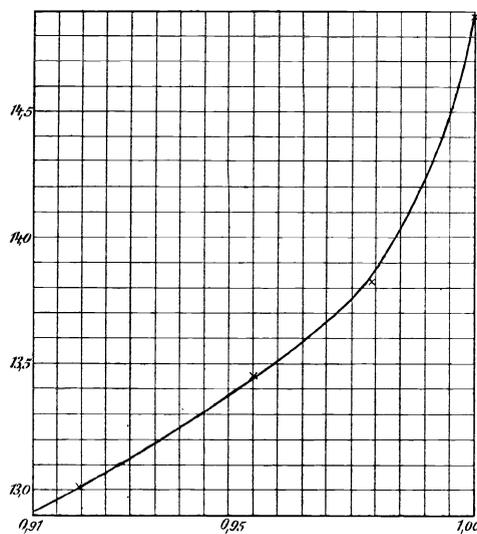


Fig. 11.

Durch Ablesung der Kurvenordinaten erhält man die nachstehende Tabelle der Kapillaritätskonstanten von Ammoniak für eine mittlere Temperatur von  $18^\circ \text{C}$ .

Dichte $s_{15}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
0,91	12,93	57,7
92	13,01	58,7
93	13,11	59,8
94	13,23	61,0
95	13,37	62,3
0,96	13,51	63,6
97	13,67	65,1
98	13,87	66,7
99	14,22	69,1
1,00	14,89	73,0

Zur Vergleichung ziehen wir eine Beobachtungsreihe von Quincke<sup>1)</sup> heran. Letzterer fand bei einer Temperatur zwischen 15° und 20° C. für die

Dichte	0,9985	$\alpha = 7,275$	$T = 71,4$	$T' = 72,5$
	0 9976	7,207	70,7	72,1
	0,9800	6,807	66,8	66,7
	0,9496	6,344	62,3	62,3
	0,9390	6,246	61,2	60,9

Fügt man hierzu die aus der oben ermittelten Tabelle hervorgehenden Beträge als  $T'$  hinzu, so ergeben sich die Differenzen + 1,1, + 1,4, - 0,1, 0,0 und - 0,3, das sind Beträge, welche eine recht gute Uebereinstimmung feststellen. Die beiden ersten Abweichungen fallen überhaupt nicht ins Gewicht, da sich bei den schwachen Lösungen die Kapillaritätskonstanten sehr stark mit der Dichte ändern, letztere aber als Argument nicht mit der erforderlichen Sicherheit angegeben sind. Der erste Quincke'sche Werth bezieht sich offenbar auf reines Wasser und es ist bereits früher erörtert worden, dass der hier ermittelten Grösse eine hinlängliche Sicherheit zugeschrieben werden darf.

## 12. Mischungen von konzentrierter Schwefelsäure und Alkohol von 80 Gewichtsprozent.

Bei der Wichtigkeit dieser, kurz als Sulfosprit bezeichneten Flüssigkeitsreihe für die Zwecke der Aräometrie sind die Beobachtungen möglichst gehäuft worden. Zur Untersuchung gelangten im Ganzen 10 Mischungen und ferner die konzentrierte Schwefelsäure selbst. Die Beobachtungen sind mit blossem Auge ausgeführt unter Benutzung von getheilten Röhren, deren Radien zwischen 0,14 und 0,56 mm variiren. Sie zeigen sämtlich eine befriedigende Uebereinstimmung, wie es bei den günstigen Benetzungsverhältnissen des Sulfosprits nicht anders zu erwarten war. In der nachstehenden Tabelle sind die Messungen übersichtlich zusammengestellt.

Dichte $\frac{8}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,000	15	59	44,52	57,40	12,88	0,450	5,86
		..	82,02	94,88	12,86	0,4485	5,84
		..	79,19	92,00	12,81	„	5,81
		..	75,12	87,99	12,87	0,449	5,85

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. 160. 337. 1877.

## Mischungen von konzentrierter Schwefelsäure und Alkohol von 80 Gewichtsprozent. 67

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,000	15	53	58,14	77,36	19,22	0,3025	5,84
		"	56,07	75,20	19,13	"	5,82
		"	54,13	73,32	19,19	"	5,83
		"	50,37	69,49	19,12	"	5,81
	15	65	62,12	89,30	27,18	0,216	5,89
		"	60,87	87,93	27,06	"	5,86
		"	58,96	86,02	27,06	"	5,86
		"	56,40	83,48	27,08	"	5,86
	15	66	80,93	111,50	30,57	0,190	5,82
		"	79,00	109,65	30,65	"	5,83
		"	64,97	95,58	30,61	"	5,83
		"	63,68	94,39	30,71	"	5,84
	15	60	36,38	53,05	16,67	0,346	5,81
		"	34,46	51,09	16,63	"	5,80
		"	31,75	48,46	16,71	"	5,82
		"	30,33	47,03	16,70	"	5,82
1,085	15	60	52,41	69,74	17,33	0,346	6,03
		"	50,32	67,68	17,36	"	6,04
		"	48,98	66,22	17,24	"	6,00
		"	46,92	64,09	17,17	"	5,98
		"	47,33	64,66	17,33	"	6,03
	15	59	63,03	76,17	13,14	0,450	5,98
		"	62,37	75,47	13,10	"	5,96
		"	61,27	74,45	13,18	"	6,00
		"	59,90	73,00	13,10	"	5,96
	15	66	75,48	107,46	31,98	0,190	6,09
		"	73,69	105,58	31,89	"	6,07
		"	71,74	103,82	32,08	"	6,11
		"	70,53	102,48	31,95	"	6,08
	15	65	80,10	108,26	28,16	0,214	6,04
		"	77,00	104,97	27,97	0,215	6,03
		"	75,30	103,46	28,16	"	6,07
		"	73,20	101,31	28,11	"	6,06
	15	53	62,63	82,47	19,84	0,302	6,02
		"	61,06	80,94	19,88	"	6,04
		"	60,02	79,90	19,88	"	6,04
"		58,21	77,96	19,75	"	5,99	
"		55,95	75,81	19,86	"	6,03	

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,178	15	52	53,54	77,93	24,39	0,266	6,51
		"	45,50	69,88	24,38	0,265	6,48
		"	48,98	73,13	24,15	"	6,45
		"	53,48	77,89	24,41	0,266	6,47
		"	41,02	65,30	24,28	0,265	6,46
		"	36,52	60,95	24,43	"	6,50
	15	54	57,39	86,15	28,76	0,224	6,46
		"	59,95	88,74	28,79	"	6,46
		"	49,40	78,12	28,72	0,225	6,48
		"	53,05	81,79	28,74	"	6,48
	15	59	57,38	71,46	14,08	0,450	6,40
		"	54,97	69,02	14,05	"	6,39
		"	52,96	67,00	14,04	"	6,39
		"	49,55	63,80	14,25	"	6,48
		"	47,37	61,66	14,29	"	6,50
		"	44,73	58,75	14,02	"	6,38
	15	55	68,23	88,26	20,03	0,321	6,46
		"	60,00	80,02	20,02	"	6,46
		"	59,03	79,07	20,04	"	6,47
		"	58,06	78,10	20,04	"	6,47
	15	58	64,70	93,88	29,18	0,221	6,46
		"	63,98	93,02	29,04	"	6,43
		"	63,00	92,04	29,04	"	6,43
	1,304	15	59	43,05	57,77	14,72	0,450
"			41,31	56,06	14,75	"	6,71
"			40,49	55,24	14,75	"	6,70
"			39,02	53,78	14,76	"	6,71
15		40	51,25	65,55	14,30	0,4614	6,67
		"	49,21	63,50	14,29	"	6,66
		"	45,10	59,38	14,28	"	6,66
		"	43,90	58,06	14,16	"	6,60
		"	42,56	56,79	14,23	"	6,64
15		55	21,01	41,83	20,82	0,321	6,72
		"	19,00	39,78	20,78	0,322	6,73
		"	16,59	37,32	20,73	"	6,71
		"	15,02	35,88	20,86	"	6,75
15		52	35,04	60,40	25,36	0,265	6,74
		"	34,05	59,42	25,37	"	6,75
		"	32,07	57,34	25,27	"	6,72
		"	29,97	55,25	25,28	"	6,72

## Mischungen von konzentrierter Schwefelsäure und Alkohol von 80 Gewichtsprozent. 69

Dichte $\frac{s_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,356	15	64	42,03	72,50	30,47	0,216	6,60
		"	41,02	71,53	30,51	"	6,61
		"	40,03	70,50	30,47	"	6,60
		"	38,00	68,50	30,50	"	6,60
	15	44	38,02	51,57	13,55	0,4805	6,59
		"	37,02	50,58	13,56	"	6,59
		"	36,17	49,80	13,63	"	6,63
		"	35,08	48,63	13,55	"	6,59
	15	56	27,24	72,40	45,16	0,147	6,65
		"	24,47	69,52	45,05	"	6,63
		"	22,04	67,01	44,97	"	6,62
		"	21,03	66,08	45,05	"	6,63
1,414	15	53	62,16	83,48	21,32	0,3024	6,48
		"	60,98	82,27	21,29	"	6,47
		"	58,52	79,88	21,36	"	6,49
		"	57,00	78,24	21,24	"	6,45
	15	65	94,44	124,70	30,26	0,2135	6,48
		"	93,03	123,40	30,37	"	6,50
		"	92,03	122,32	30,29	"	6,48
		"	91,28	121,63	30,35	"	6,49
	15	40	72,02	85,76	13,74	0,4614	6,41
		"	71,02	84,77	13,75	"	6,41
		"	68,98	82,74	13,76	"	6,42
		"	65,08	78,80	13,72	"	6,40
15	38	78,10	89,47	11,37	0,5585	6,46	
	"	77,15	88,52	11,37	"	6,46	
	"	75,16	86,51	11,35	"	6,45	
	"	74,24	85,58	11,34	"	6,44	
1,483	15	55	83,60	103,11	19,51	0,321	6,30
		"	82,22	101,88	19,66	"	6,35
		"	80,13	99,74	19,61	"	6,33
		"	79,13	98,75	19,62	"	6,33
	15	63	69,97	100,33	30,36	0,209	6,36
		"	69,03	99,32	30,29	"	6,35
		"	68,17	98,48	30,31	"	6,35
		"	67,00	97,29	30,29	"	6,35
	15	60	71,64	89,90	18,26	0,345	6,34
		"	71,10	89,43	18,33	"	6,36
		"	70,06	88,39	18,33	"	6,36

Dichte $\rho \frac{15}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,483	15	58	71,00	99,78	28,78	0,221	6,36
		"	69,98	98,86	28,88	"	6,40
		"	69,39	98,20	28,81	"	6,38
1,555	15	63	57,95	87,20	29,25	0,209	6,13
		"	55,96	85,23	29,27	"	6,13
		"	54,98	84,22	29,24	"	6,13
		"	53,96	83,15	29,19	"	6,12
	15	64	63,07	91,55	28,48	0,216	6,17
		"	62,07	90,57	28,50	"	6,17
		"	61,18	89,64	28,46	"	6,16
		"	60,17	88,73	28,56	"	6,18
	15	53	48,02	68,18	20,16	0,302	6,12
		"	47,18	67,42	20,24	"	6,14
		"	44,94	65,05	20,11	"	6,10
		"	43,07	63,36	20,29	"	6,16
15	65	63,97	92,43	28,46	0,216	6,16	
	"	61,44	89,94	28,50	"	6,17	
	"	60,42	88,91	28,49	"	6,17	
	"	59,03	87,50	28,47	"	6,16	
1,700	15	33	29,03	40,34	11,31	0,518	5,95
		"	28,00	39,33	11,33	"	5,96
		"	26,61	37,98	11,37	"	5,98
	15	53	30,53	50,35	19,82	0,303	6,04
		"	30,06	49,86	19,80	"	6,03
		"	29,10	48,83	19,73	"	6,01
		"	28,19	48,00	19,81	"	6,03
	15	55	30,02	48,54	18,52	0,321	5,98
		"	26,50	45,00	18,50	"	5,97
		"	26,03	44,58	18,55	"	5,99
	15	61	34,03	58,87	24,84	0,240	5,99
		"	33,00	57,94	24,94	"	6,01
"		32,03	56,94	24,91	"	6,00	
1,716	15	52	16,34	38,79	22,45	0,265	5,97
		"	14,07	36,47	22,40	"	5,96
		"	13,23	35,63	22,40	"	5,96
		"	13,06	35,45	22,39	"	5,96

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	Temp.	Röhre Nr.	Lesung		Steighöhe $h$	Radius der Röhre $r$	$2\alpha$
			Niveau	Kuppe			
1,716	15	61	11,04	35,60	24,56	0,240	5,91
		"	9,48	34,22	24,74	"	5,96
		"	1,32	25,97	24,65	0,241	5,96
		"	22,90	47,58	24,68	0,240	5,94
	15	59	31,00	43,98	12,98	0,450	5,91
		"	19,00	32,00	13,00	0,451	5,92
		"	13,33	26,38	13,05	"	5,94
		"	11,04	24,08	13,04	"	5,94
1,845	15	60	24,40	42,50	18,10	0,346	6,30
		"	21,60	39,68	18,08	"	6,30
		"	14,48	32,52	18,04	"	6,28
		"	11,80	29,78	17,98	"	6,26
	15	51	33,3	77,9	44,6	0,139	6,21
		"	25,1	70,3	45,2	"	6,29
		"	21,4	66,1	44,7	"	6,22
		"	16,7	61,8	45,1	"	6,28
	15	53	43,1	63,3	20,2	0,302	6,13
		"	37,4	57,9	20,5	"	6,22
		"	32,5	53,1	20,6	0,303	6,27
		"	30,6	50,7	20,1	"	6,12
	15	65	40,0	68,6	28,6	0,217	6,22
		"	31,4	60,2	28,8	"	6,26
		"	27,6	56,2	28,6	"	6,22
		"	22,5	51,3	28,8	"	6,26

Nach der Vereinigung der Messungsergebnisse an jeder Röhre zu Mittelwerthen erhält man folgende Zusammenstellung:

Dichte	Röhre Nr.	Radius der Röhre	$2\alpha$	$\Delta$	Zahl d. Beob.
1,000	66	0,19	5,83	0,00	4
"	65	0,22	5,87	- 0,04	4
"	53	0,30	5,82 <sub>5</sub>	+ 0,00 <sub>5</sub>	4
"	60	0,35	5,81	+ 0,02	4
"	59	0,45	5,84	- 0,01	4
1,085	66	0,19	6,09	- 0,06 <sub>5</sub>	4
"	65	0,21	6,05	- 0,02 <sub>5</sub>	4
"	53	0,30	6,02	+ 0,00 <sub>5</sub>	5
"	60	0,35	6,02	+ 0,00 <sub>5</sub>	5
"	59	0,45	5,97 <sub>5</sub>	+ 0,05	4

Dichte	Röhre Nr.	Radius der Röhre	$2\alpha$	$\Delta$	Zahl d. Beob.
1,178	58	0,22	6,44	+ 0,01	3
"	54	0,22	6,47	- 0,02	4
"	52	0,27	6,48	- 0,03	6
"	55	0,32	6,46 <sub>5</sub>	- 0,01 <sub>5</sub>	4
"	59	0,45	6,42	+ 0,03	6
1,304	52	0,26	6,73	- 0,02 <sub>5</sub>	4
"	55	0,32	6,73	- 0,02 <sub>5</sub>	4
"	59	0,45	6,70	+ 0,00 <sub>5</sub>	4
"	40	0,46	6,65	+ 0,05 <sub>5</sub>	5
1,356	56	0,15	6,63	- 0,02	4
"	64	0,22	6,60	+ 0,01	4
"	44	0,48	6,60	+ 0,01	4
1,414	65	0,21	6,49	- 0,02	4
"	53	0,30	6,47	0,00	4
"	40	0,46	6,41	+ 0,06	4
"	38	0,56	6,45	+ 0,02	4
1,483	63	0,21	6,35	- 0,05	4
"	58	0,22	6,38	- 0,08	3
"	55	0,32	6,33	- 0,03	4
"	60	0,34	6,35	- 0,05	3
1,555	63	0,21	6,13	+ 0,01	4
"	64	0,22	6,17	- 0,03	4
"	65	0,22	6,16 <sub>5</sub>	- 0,02 <sub>5</sub>	4
"	53	0,30	6,13	+ 0,01	4
1,700	61	0,24	6,00	- 0,03	3
"	53	0,30	6,02 <sub>5</sub>	- 0,05 <sub>5</sub>	4
"	55	0,32	5,98	- 0,01	3
"	33	0,52	5,96	+ 0,01	3
1,716	61	0,24	5,94	+ 0,04 <sub>5</sub>	4
"	52	0,26	5,96	+ 0,02 <sub>5</sub>	4
"	59	0,45	5,93	+ 0,05 <sub>5</sub>	4
1,845	51	0,14	6,25	- 0,01	4
"	65	0,22	6,24	0,00	4
"	53	0,30	6,18 <sub>5</sub>	+ 0,05 <sub>5</sub>	4
"	60	0,35	6,28 <sub>5</sub>	- 0,04 <sub>5</sub>	4

Die Generalmittel für die einzelnen Flüssigkeiten, mit welchen die graphische Ausgleichung vorzunehmen ist, sind, wenn man den Beobachtungen in allen Röhren das gleiche Gewicht beilegt, die folgenden:

Dichte	$2\alpha$ beob.	$2\alpha$ ausge- glichen	$\Delta$
1,000	5,83 <sub>5</sub>	5,83	- 0,00 <sub>5</sub>
1,085	6,03	6,02 <sub>5</sub>	- 0,00 <sub>5</sub>
1,178	6,45 <sub>5</sub>	6,45	- 0,00 <sub>5</sub>
1,304	6,70	6,70 <sub>5</sub>	+ 0,00 <sub>5</sub>
1,356	6,61	6,61	0,00
1,414	6,45 <sub>5</sub>	6,47	+ 0,01 <sub>5</sub>
1,483	6,35	6,30	- 0,05
1,555	6,15	6,14	- 0,01
1,700	5,99	5,97	- 0,02
1,716	5,94	5,98 <sub>5</sub>	+ 0,04 <sub>5</sub>
1,845	6,24	6,24	0,00

Zu diesen Zahlen ist der Werth für Spiritus von 80 Gewichtsprozent hinzuzufügen; nach Angabe im Metr. Beitrag Nr. 6 ist für diese Flüssigkeit zu setzen:

$$2\alpha = 6,105$$

mit dem Dichtenargument 0,848.

Trägt man nunmehr sämtliche Kapillaritätskonstanten graphisch auf und verbindet die einzelnen Punkte durch eine Kurve, so erhält man die folgende Darstellung:

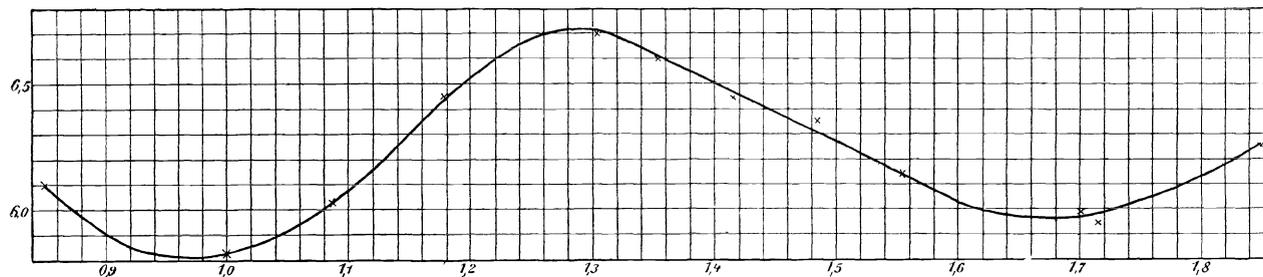


Fig. 12.

Die Kapillaritätskurve zeigt einen eigenthümlichen wellenförmigen Verlauf: zunächst fällt sie bei 0,85, erreicht bei etwa 0,97 ein Minimum mit  $2\alpha = 5,81$  und steigt dann wieder bis zur Dichte 1,30, welche ein Maximum von 6,71 aufweist, fällt dann zum zweiten Mal bis zu dem Minimum 5,96 bei der Dichte 1,67 und wendet sich dann wieder aufwärts. Es ist nicht ausgeschlossen, dass die Kurve auch noch sekundäre Wellen enthalten kann, indessen sind die Beobachtungen nicht zahlreich genug, um dieselben hervortreten zu lassen. Jedenfalls sind aber ihre Amplituden nur gering und für die praktische Verwendung der Kapillaritätszahlen ohne Bedeutung. Bemerkenswerth ist übrigens für die letzteren der Umstand, dass sämtliche Werthe zwischen den engen Grenzen 5,81 und 6,71 liegen und die Aenderungen mit der Dichte überall

gering sind. Es trägt dieser Umstand nicht wenig zur Bequemlichkeit im praktischen Rechnen bei, da die ganze Kapillaritätstafel nur einen verhältnissmässig kleinen Raum einnimmt und trotzdem die Interpolation leicht ausgeführt werden kann. Es mag bei dieser Gelegenheit darauf hingewiesen werden, dass bei der Darstellung des Sulfosprits kein besonderer Werth auf die Verwendung einer genau 80 procentigen Alkohol-Wasser-Mischung zu legen ist, denn es ist durch einige Versuchsreihen, die hier nicht weiter mitgetheilt sind, die interessante und für die Benutzung der Flüssigkeit wichtige Thatsache festgestellt worden, dass die Mischungen von concentrirter Schwefelsäure sowohl mit einem Spiritus von 65 wie auch mit einem solchen von 85 Gewichtsprozent nahezu die gleichen Kapillaritätskonstanten aufweisen.

Die Ablesung der Kurvenordinaten liefert folgende für 15° C. gültige Kapillaritätstafel:

Dichte $s \frac{15}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	Dichte $s \frac{15}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
0,85	6,10	25,4	1,10	6,08	32,8
86	6,06	25,5	11	6,12	33,3
87	6,02	25,7	12	6,17	33,9
88	5,98	25,8	13	6,22	34,5
89	5,94	25,9	14	6,27	35,1
0,90	5,91	26,1	1,15	6,31	35,6
91	5,88	26,3	16	6,36	36,2
92	5,85	26,4	17	6,41	36,8
93	5,83	26,6	18	6,46	37,4
94	5,82	26,8	19	6,50	38,0
0,95	5,82	27,1	1,20	6,54	38,5
96	5,81	27,4	21	6,58	39,1
97	5,81	27,7	22	6,61	39,6
98	5,81	28,0	23	6,63	40,0
99	5,82	28,3	24	6,65	40,5
1,00	5,83	28,6	1,25	6,67	40,9
01	5,84	28,9	26	6,69	41,3
02	5,85	29,3	27	6,70	41,7
03	5,87	29,7	28	6,71	42,1
04	5,89	30,1	29	6,71	42,5
1,05	5,92	30,5	1,30	6,71	42,8
06	5,95	30,9	31	6,70	43,1
07	5,98	31,4	32	6,69	43,3
08	6,01	31,8	33	6,67	43,5
09	6,04	32,3	34	6,65	43,7
1,10	6,08	32,8	1,35	6,63	43,9

Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner	Dichte $\frac{S_{15}}{4}$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dyner
1,35	6,63	43,9	1,60	6,04	47,4
36	6,60	44,0	61	6,02	47,6
37	6,58	44,2	62	6,00	47,7
38	6,56	44,4	63	5,99	47,9
39	6,53	44,5	64	5,98	48,1
1,40	6,50	44,7	1,65	5,97	48,3
41	6,48	44,8	66	5,96	48,5
42	6,46	45,0	67	5,96	48,8
43	6,44	45,2	68	5,96	49,1
44	6,41	45,3	69	5,97	49,5
1,45	6,39	45,5	1,70	5,97	49,8
46	6,36	45,6	71	5,98	50,2
47	6,34	45,7	72	5,99	50,5
48	6,31	45,8	73	6,00	50,9
49	6,29	46,0	74	6,01	51,3
1,50	6,27	46,1	1,75	6,03	51,8
51	6,24	46,2	76	6,05	52,2
52	6,21	46,3	77	6,07	52,7
53	6,19	46,5	78	6,09	53,2
54	6,17	46,6	79	6,11	53,7
1,55	6,15	46,8	1,80	6,13	54,2
56	6,13	46,9	81	6,16	54,7
57	6,10	47,0	82	6,18	55,2
58	6,08	47,1	83	6,20	55,7
59	6,06	47,3	84	6,23	56,2
1,60	6,04	47,4	1,85	6,25	56,7

Zur Vergleichung dieser Zahlen mit den Meßungsergebnissen anderer Beobachter können nur Untersuchungen konzentrierter Schwefelsäure herangezogen werden, da der Sulfosprit vom chemischen Standpunkt aus kaum Interesse beansprucht und daher wohl noch niemals auf seine kapillaren Eigenschaften untersucht ist. Von Beobachtungen mit reiner Schwefelsäure seien die folgenden angeführt.

Beobachter	$t$	$\alpha^2$	$\alpha$	$T_t$	$s_t$
Frankenheim <sup>1)</sup>	0	8,40		75,8	1,840
	25	7,96		70,8	1,813
	50	7,40		64,9	1,788
	75	6,72		58,2	1,764
	100	5,93		50,6	1,738
Quincke <sup>2)</sup>	15—20		5,992	58,8	1,837
Volkman <sup>3)</sup>	15	6,79	6,18	60,6	1,8293
Röntgen <sup>4)</sup>	15			59,9	1,8360
	„			57,5	1,8384
	„			55,8	1,8379
Frankenheim <sup>5)</sup>	14,5	6,85		62,2	1,849

Die zuerst citirten Werthe von Frankenheim sind offenbar zu gross, wie sich durch Vergleichung mit den Resultaten der anderen Beobachter ergibt. Für die von uns benutzte Schwefelsäure, welche bei 15° C. die Dichte 1,845 zeigte, ergab sich der Oberflächendruck  $T = 56,5$ , also eine etwas kleinere Zahl, als die hier mitgetheilten. Letztere zeigen übrigens unter einander auch noch grössere Differenzen, ein Umstand, der z. Th. seinen Grund in der verschiedenen Konzentration der untersuchten Säuren und in dem verschiedenen Grade ihrer Reinheit haben mag.

Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass auch die Oberflächenspannung von Mischungen aus Schwefelsäure und Wasser Gegenstand der Beobachtung gewesen ist. Die Ergebnisse der letzteren werden bei anderer Gelegenheit veröffentlicht werden.

## 12. Nachtrag.

In der folgenden Abhandlung des Herrn Prof. Dr. Grunmach, in welcher über die Resultate der Kapillaritätsbestimmungen nach der Methode der Oberflächenwellen berichtet wird, werden Messungen beschrieben, die u. a. mit destillirtem Wasser und absolutem Alkohol vorgenommen wurden.

Das destillirte Wasser wurde sehr eingehend bei beständig sich erneuernder Oberfläche nach der Methode der Oberflächenwellen untersucht. Das Resultat

<sup>1)</sup> Pogg. Ann. 72. 177. 1847.

<sup>2)</sup> Pogg. Ann. 160. 337. 1877.

<sup>3)</sup> Wied. Ann. 17. 353. 1882.

<sup>4)</sup> Wied. Ann. 29. 165. 1886.

<sup>5)</sup> Die Lehre von der Kohäsion. Breslau, 1835.

der beiden mit verschiedenen Stimmgabeln angestellten Beobachtungsreihen ist folgendes:

$$\text{Temp: } 19,1 \quad T = 77,0.$$

Es wurde auf pag. 39 der Temperaturkoeffizient für die Oberflächenspannung des Wassers

$$\frac{dT}{dt} = - 0,151$$

abgeleitet. Reducirt man mit Hilfe dieser Zahl den obigen Werth auf 20° C., so ergibt sich:

$$T_{20} = 76,9,$$

während die Steighöhenmethode lieferte:

$$T_{20} = 72,7,$$

also einen um 4,2 kleineren Betrag.

Für absoluten Alkohol, welcher von atmosphärischer Luft vollständig abgeschlossen gewesen war, ergab die Wellenmethode für eine ganz frische, sich beständig erneuernde Oberfläche:

$$\text{Temp: } 22,8 \quad T = 19,5,$$

für absoluten Alkohol, dessen Oberfläche etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde lang der Luft ausgesetzt war:

$$\text{Temp: } 18,4 \quad T = 21,3.$$

Als Temperaturkoeffizient wurde auf pag. 58 gefunden:

$$\frac{dT}{dt} = - 0,08.$$

Rechnet man hiermit diese beiden Werthe auf 16° C. um, so folgt:

$$T_{16} = 21,5 \quad 20,0.$$

Die Steighöhenmethode lieferte den Werth:

$$T_{16} = 22,9.$$

Berücksichtigt man den Umstand, dass bei der Steighöhen-Methode der Alkohol längere Zeit mit der Luft in Berührung bleibt, so findet die hier erscheinende Differenz von 2,9 bzw. 1,4 Dynen eine hinreichende Erklärung.

Aus der Gegenüberstellung der nach beiden Methoden erhaltenen Resultate scheint hervorzugehen, dass die Wellenmethode im Allgemeinen nicht die gleichen Werthe ergibt wie diejenige der Steighöhen. Es kann dies nicht befremden, denn die Erfahrung lehrt, dass die Bestimmungen der Oberflächenspannung nicht frei von der Messungsmethode sind, so dass es nur bis zu einem gewissen Grade berechtigt ist, zwei auf verschiedene Art ermittelte Werthe mit einander zu vergleichen. Um das Vorhandensein einer systematischen Differenz der Ergebnisse der Wellen- und derjenigen der Steighöhenmethode mit Sicherheit festzustellen, bedarf es jedoch noch weiterer Untersuchungen.

Tafel der spezifischen Kohäsion und Oberflächenspannung.

Dichte	Amerikan. Mineralöl 18°		Russisches Mineralöl 18°		Deutsches Mineralöl 17°		Vaselineöl 15°		Braunkohlen-theerdestill. 16°		Steinkohlen-theerdestill. 15°		Dichte
	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	
0,62	5,06	15,4											0,62
63	5,15	15,9											63
64	5,24	16,5											64
0,65	5,34	17,0	5,35	17,1	5,41	17,3							0,65
66	5,43	17,6	5,43	17,6	5,50	17,8							66
67	5,53	18,2	5,51	18,1	5,59	18,4							67
68	5,62	18,8	5,58	18,6	5,68	18,9							68
69	5,71	19,4	5,66	19,2	5,77	19,5							69
0,70	5,81	20,0	5,74	19,7	5,86	20,1							0,70
71	5,90	20,6	5,82	20,3	5,95	20,7							71
72	5,99	21,2	5,89	20,8	6,04	21,3							72
73	6,08	21,8	5,97	21,4	6,13	21,9							73
74	6,17	22,4	6,05	22,0	6,22	22,6							74
0,75	6,25	23,0	6,12	22,5	6,31	23,2							0,75
76	6,33	23,6	6,20	23,1	6,40	23,9							76
77	6,41	24,2	6,27	23,7	6,49	24,5							77
78	6,48	24,8	6,34	24,3	6,58	25,2							78
79	6,55	25,4	6,41	24,8	6,67	25,9			6,56	25,4			79
0,80	6,62	26,0	6,48	25,4	6,76	26,5			6,64	26,1			0,80
81	6,69	26,6	6,55	26,0	6,84	27,2			6,71	26,7			81
82	6,76	27,2	6,62	26,6	6,91	27,8			6,78	27,3			82
83	6,82	27,8	6,68	27,2	6,98	28,4			6,85	27,9			83
84	6,88	28,4	6,75	27,8	7,04	29,0			6,92	28,5			84
0,85	6,93	28,9	6,82	28,4	7,09	29,6			6,97	29,1	6,82	28,4	0,85
86	6,98	29,5	6,88	29,0	7,13	30,1	7,11	30,0	7,01	29,6	6,85	28,9	86
87	7,02	30,0	6,95	29,7	7,16	30,6	7,18	30,7	7,04	30,1	6,88	29,4	87
88	7,06	30,5	7,02	30,3	7,18	31,0	7,24	31,3	7,06	30,5	6,92	29,9	88
89	7,09	31,0	7,08	30,9	7,19	31,4	7,29	31,8	7,08	30,9	6,96	30,4	89
0,90	7,11	31,4	7,15	31,6	7,18	31,7	7,32	32,3	7,08	31,3	7,00	30,9	0,90
91	7,11	31,7	7,21	32,2	7,17	32,0	7,34	32,8	7,07	31,6	7,04	31,4	91
92			7,28	32,9	7,15	32,3			7,05	31,8	7,08	32,0	92
93					7,10	32,4					7,12	32,5	93
94					7,03	32,4					7,16	33,0	94
0,95											7,20	33,6	0,95
96											7,24	34,1	96
97											7,28	34,6	97
98											7,32	35,2	98
99											7,35	35,7	99
1,00											7,38	36,2	1,00
01											7,41	36,7	01
02											7,44	37,2	02
03											7,46	37,7	03
1,04											7,48	38,2	04
1,05											7,50	38,6	1,05
06											7,51	39,1	06
07											7,52	39,5	07
08											7,53	39,9	08
09											7,53	40,3	09

Tafel der spezifischen Kohäsion und Oberflächenspannung.

Dichte	Glycerin-Wasser 18°		Glycerin-Spiritus (62,5%) 18°		Aether-Alkohol 16°		Ammoniak 18°		Dichte
	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	
0,72					4,92	17,4			0,72
73					5,00	17,9			73
74					5,09	18,5			74
0,75					5,19	19,1			0,75
76					5,29	19,7			76
77					5,40	20,4			77
78					5,53	21,2			78
79					5,69	22,1			79
0,80					5,91	23,2			0,80
81									81
82									82
83									83
84									84
0,85									0,85
86									86
87									87
88									88
89									89
0,90									0,90
91							12,93	57,7	91
92							13,01	58,7	92
93							13,11	59,8	93
94							13,23	61,0	94
0,95			5,98	27,9			13,37	62,3	0,95
96			5,97	28,1			13,51	63,6	96
97			5,97	28,4			13,67	65,1	97
98			5,96	28,7			13,87	66,7	98
99			5,95	28,9			14,22	69,1	99
1,00	14,89	73,0	5,94	29,2			14,89	73,0	1,00
01	14,65	72,6	5,94	29,4					01
02	14,41	72,1	5,93	29,7					02
03	14,18	71,7	5,93	30,0					03
04	13,94	71,1	5,92	30,2					04
1,05	13,70	70,6	5,92	30,5					1,05
06	13,47	70,1	5,93	30,8					06
07	13,23	69,5	5,95	31,2					07
08	12,99	68,8	5,98	31,7					08
09	12,75	68,2	6,01	32,2					09
1,10	12,52	67,6	6,05	32,7					1,10
11	12,30	67,0	6,11	33,3					11
12	12,07	66,3	6,19	34,0					12
13	11,84	65,6	6,29	34,9					13
14	11,61	64,9	6,41	35,9					14
1,15	11,39	64,3	6,58	37,1					1,15
16	11,17	63,6	6,80	38,7					16
17	10,97	63,0	7,09	40,7					17
18	10,80	62,5	7,41	42,9					18
19	10,67	62,3	7,81	45,6					19
1,20	10,63	62,6	8,35	49,2					1,20
21	10,63	63,1	9,00	53,4					21
22	10,66	63,8	9,80	58,6					22
23	10,71	64,7	11,00	66,4					23

Tafel der spezifischen Kohäsion und Oberflächenspannung.

Dichte	Natronlauge		Sulfosprit		Dichte	Natronlauge		Sulfosprit		Dichte	Sulfosprit	
	20°		15°			20°		15°			15°	
$s_{15}^4$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$s_{15}^4$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen	$s_{15}^4$	$2\alpha$ qmm	$T$ Dynen
0,85			6,10	25,4	1,20	14,24	83,8	6,54	38,5	1,55	6,15	46,8
86			6,06	25,5	21	14,27	84,7	6,58	39,1	56	6,13	46,9
87			6,02	25,7	22	14,30	85,6	6,61	39,6	57	6,10	47,0
88			5,98	25,8	23	14,33	86,5	6,63	40,0	58	6,08	47,1
89			5,94	25,9	24	14,36	87,4	6,65	40,5	59	6,06	47,3
0,90			5,91	26,1	1,25	14,39	88,3	6,67	40,9	1,60	6,04	47,4
91			5,88	26,3	26	14,42	89,1	6,69	41,3	61	6,02	47,6
92			5,85	26,4	27	14,44	90,0	6,70	41,7	62	6,00	47,7
93			5,83	26,6	28	14,46	90,8	6,71	42,1	63	5,99	47,9
94			5,82	26,8	29	14,48	91,6	6,71	42,5	64	5,98	48,1
0,95			5,82	27,1	1,30	14,50	92,5	6,71	42,8	1,65	5,97	48,3
96			5,81	27,4	31	14,52	93,3	6,70	43,1	66	5,96	48,5
97			5,81	27,7	32	14,54	94,2	6,69	43,3	67	5,96	48,8
98			5,81	28,0	33	14,55	95,0	6,67	43,5	68	5,96	49,1
99			5,82	28,3	34	14,57	95,8	6,65	43,7	69	5,97	49,5
1,00	14,84	72,8	5,83	28,6	1,35	14,59	96,6	6,63	43,9	1,70	5,97	49,8
01	14,76	73,1	5,84	28,9	36	14,61	97,5	6,60	44,0	71	5,98	50,2
02	14,68	73,5	5,85	29,3	37	14,64	98,4	6,58	44,2	72	5,99	50,5
03	14,60	73,8	5,87	29,7	38	14,66	99,3	6,56	44,4	73	6,00	50,9
04	14,52	74,1	5,89	30,1	39	14,69	100,2	6,53	44,5	74	6,01	51,3
1,05	14,45	74,4	5,92	30,5	1,40	14,71	101,0	6,50	44,7	1,75	6,03	51,8
06	14,38	74,8	5,95	30,9	41			6,48	44,8	76	6,05	52,2
07	14,31	75,1	5,98	31,4	42			6,46	45,0	77	6,07	52,7
08	14,25	75,5	6,01	31,8	43			6,44	45,2	78	6,09	53,2
09	14,21	76,0	6,04	32,3	44			6,41	45,3	79	6,11	53,7
1,10	14,18	76,5	6,08	32,8	1,45			6,39	45,5	1,80	6,13	54,2
11	14,17	77,2	6,12	33,3	46			6,36	45,6	81	6,16	54,7
12	14,16	77,8	6,17	33,9	47			6,34	45,7	82	6,18	55,2
13	14,15	78,4	6,22	34,5	48			6,31	45,8	83	6,20	55,7
14	14,15	79,1	6,27	35,1	49			6,29	46,0	84	6,23	56,2
1,15	14,15	79,8	6,31	35,6	1,50			6,27	46,1	1,85	6,25	56,7
16	14,16	80,6	6,36	36,2	51			6,24	46,2			
17	14,17	81,3	6,41	36,8	52			6,21	46,3			
18	14,19	82,1	6,46	37,4	53			6,19	46,5			
19	14,21	83,0	6,50	38,0	54			6,17	46,6			
1,20	14,24	83,8	6,54	38,5	1,55			6,15	46,8			

## Literatur-Nachweis

betreffend

### Theoretische und experimentelle Arbeiten über die Form der Flüssigkeits- Oberfläche und über die Bestimmung von Kapillaritätskonstanten.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
v. Arnim	Gilb. Annal. <b>4</b> . 376. 1800.	(Aufstieg von Flüssigkeiten in Capillarröhren).
Artur	(Paris 1842.)	Théorie élémentaire de la capillarité.
„	C. R. <b>46</b> . 1085. 1858.	Indication des principales erreurs sur lesquelles Laplace a basé sa théorie capillaire, suivie du rappel de l'accord entre les expériences de Simon, Gay-Lussac . . . .
Bakker	ZS. phys. Ch. <b>33</b> . 477. 1900.	Zur Theorie der Capillarität.
Barnett	Phys. Rev. <b>6</b> . 257. 1898.	On the surface tension of liquids under the influence of electrostatic induction.
Bartoli u. Stracciati	Il Nuovo Cimento (3) <b>6</b> , 141. 1879.	Relazione fra la coesione specifica, la densità . .
„	Il Nuovo Cimento (3) <b>16</b> , 83. 1884; Memorie dell' Acad. Linc. (3) <b>19</b> . 655. 1884.	Sulla coesistenza di formule empiriche diverse ed in ispecie su quelle che contengono la costante capillare dei liquidi.
Bashfort	(Cambridge. 1883. Univer- sity Press)	An attempt to test the theories of capillarity.
Baumann	ZS. Verein deutsch. In- genieure <b>6</b> . 483. 1862.	Correction, welche die nach der Brisson'schen Methode bestimmten Punkte eines Alkoholo- meters erhalten müssen.
Bède	Bull. Acad. Belg. (2) <b>19</b> . 2. 470. 1852.	Sur l'ascension de l'eau et la dépression du mercure dans les tubes capillaires.
„	Mém. cour. savants Acad. Belg. <b>25</b> . 1854.	„
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>6</b> . 405. 1859. (2) <b>10</b> . 47. 1860. (2) <b>23</b> . 4. 1867.	Recherches sur la capillarité.
„	Mém. cour. savants Acad. Belg. <b>30</b> . 1861; <b>32</b> . 1865. <b>33</b> . 1867.	Recherches sur la capillarité.
Beer	(Leipzig 1869.)	Einleitung in die math. Theorie der Elasticität und Capillarität.
Bellati u. Lussana	Att. Ist. Venet. (6) <b>7</b> . 1169. 1889. Alm. J. de Phys. (2) <b>9</b> . 300. 1900.	Sulla densità et sulla tensione superficiale di CO <sub>2</sub> nell' acqua et nel alcool.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Betti	Il Nuovo Cim. <b>25</b> . 8. 225. 1868.	Teoria della capillarità.
Biot	Gilb. Annal. <b>25</b> . 233—254. 1807. <b>33</b> . 117. 1809.	Darstellung der neueren Untersuchungen von Laplace über die haarröhrenartige Wirkung.
Bode	(Frankf. a. M. 1879.)	Oberflächenspannung von Flüssigkeiten.
Bosscha	Arch. Néerland. <b>11</b> . 467. 1876.	Sur l'équilibre d'une goutte entre deux plaques horizontales.
Braun		Siehe Winkelmann.
Brunner	Monatsber. Berl. Acad. 1846. 181; Pogg. Ann. <b>70</b> . 481. 1847.	Ueber die Cohäsion der Flüssigkeiten.
Buliginsky	Pogg. Ann. <b>134</b> . 440. 1868.	Untersuchung über die Capill. einiger Salzlösungen.
Buys-Ballot	Pogg. Ann. <b>71</b> . 177. 1848.	Einfl. der Temp. auf die Synaphie.
"	(Diss. Utrecht, 1844.)	De synaphia et prosaphia.
Callendar	Memoirs Cambridge Phys. Soc. 1888.	On the method of measuring surface tension by observation of the form of drops.
Canestrini	Rivista Scient. Ind. <b>23</b> . 56. 141. 1891.	Sulla costante capillare dell' acqua a varie temperature.
Cantor	Wied. Ann. <b>47</b> . 399. 1892.	Ueber Capillaritätsconstanten.
"	Drud. Ann. <b>7</b> . 698. 1902.	Zur Bestimmung von Capillaritätsconstanten.
Chervet	Alm. J. de Phys. (2) <b>7</b> . 485. 1888.	Tension superficielle. Sur les constantes capillaires des solutions salines.
"	C. R. <b>101</b> . 235. 1885.	
Christiani	Drud. Ann. <b>5</b> . 439. 1901.	Einfluss der Capillarität auf die Ausströmungsgeschwindigkeit der Flüssigkeiten.
Clark	Phil. Mag. (5) <b>10</b> . 145. 1880.	On the behaviour of liquids and gases near their critical temperatures.
Cohen	Proc. Lit. and. Phil. Soc. Manch. <b>26</b> . 18. 1886/7.	Capillary constants of benzene and its homologues.
Danger	Pogg. Ann. <b>76</b> . 297. 1849.	Ueber die Höhe der Menisken, welche die Oberfläche des Quecksilbers in Glasgefässen darbietet.
"	C. R. <b>27</b> . 381. 1848.	"
"	Ann. Chim. Phys. (3) <b>24</b> . 501. 1848.	"
Davidoff	Bull. des naturalistes Moscou <b>1</b> . 354. 1855; Erman's Archiv für wissensch. Kunde über Russland (Berlin) <b>16</b> . 617. 1857; Fortschr. d. Physik 1855. 20.	Théorie des phénomènes capillaires.
Décharme	Ann. Chim. Phys. (4) <b>27</b> . 228. 1872.	Du mouvement ascendant spontané des liquides dans les tubes capillaires.
"	Ann. Chim. Phys. (4) <b>29</b> . 415. 564. 1872.	"

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Décharme	Ann. Chim. Phys. (5) <b>1</b> . 145. 318. 1873.	Du mouvement ascendant spontané des liquides dans les tubes capillaires.
„	Ann. Chim. Phys. (5) <b>3</b> . 417. 1874.	„
„	Ann. Chim. Phys. (5) <b>3</b> . 236. 1874.	Effets frigorifiques produits par la capill. jointe à l'évaporation.
„	Mém. de la Soc. acad. de Maine et Loire <b>32</b> . 1876.	Mouvements des liquides dans les espaces très-étroites.
„	Lumière électr. <b>19</b> . 289. 341. 395. 444. 1886.	Application de l'électricité à l'étude du mouvement spontané des liquides dans les tubes capillaires.
Delsaulx	Ann. Soc. Scient. Bruxelles <b>11</b> . 43. 1886; <b>12</b> . 18. 1887.	Sur la tension superficielle.
Désains	Pogg. Ann. <b>86</b> . 491. 1852.	Anwendung der Theorie der Capillarerscheinungen.
„	Pogg. Ann. <b>100</b> . 336. 1857.	„
„	C. R. <b>34</b> . 765. 1852.	„
„	C. R. <b>43</b> . 1077. 1856.	„
„	C. R. <b>45</b> . 225. 1857.	Recherches sur les phénomènes capillaires.
„	Ann. Chim. Phys. (3) <b>51</b> . 385. 1857.	„
„	Pogg. Ann. <b>102</b> . 601. 1857.	Ueber das capillare Aufsteigen des Wassers zwischen parallelen Platten.
Donny	Mém. cour. savants de l'Acad. Belg. <b>17</b> . 1845.	Sur la cohésion des liquides.
„	Ann. Chim. Phys. (3) <b>16</b> . 167. 1846.	„
„	Pogg. Ann. <b>67</b> . 562. 1846.	Ueber die Cohäsion der Flüssigkeiten.
Dorsey	Phil. Mag. (5) <b>44</b> . 134. 369. 1897.	Surface tension of water and of dilute aqueous solutions.
„	Phys. Review <b>5</b> . 170. 213. 1897.	„
Drion	Ann. Chim. Phys. (3) <b>56</b> . 221. 1859.	Expériences relatives à l'influence de la chaleur dans les phénomènes capillaires.
„	C. R. <b>48</b> . 950. 1859.	„
Duclaux	Ann. Chim. Phys. (4) <b>21</b> . 378. 1870.	Sur la tension superfic. des liquides. (Sur la formation des gouttes liquides.)
„	Alm. J. de Phys. <b>1</b> , 197. 1872.	De l'influence de la tension superficielle des liquides sur les mesures aréométriques.
„	Ann. Chim. Phys. (4) <b>25</b> . 433. 1871.	Sur les lois des mouvements des liquides dans les espaces capillaires.
„	C. R. <b>78</b> . 951. 1874.	Sur un nouveau procédé pour l'étude et le dosage de l'alcool.
„	Ann. Chim. Phys. (5) <b>13</b> . 76. 1878.	Sur la tension superficielle dans la série des alcools et des acides gras.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Duclaux	C. R. <b>85</b> . 1068. 1877.	Sur la tension superficielle dans la série des alcools et des acides gras.
Duhem	Annal. école norm. (3) <b>2</b> . 207. 1885.	Applications de la thermodynamique aux phénomènes capillaires.
"	Annal. école norm. (3) <b>12</b> . 211. 1895.	Einfluss der Kapillarität auf schwimmende Körper.
Dupré	Ann. Chim. Phys. (4) <b>7</b> . 236. 406. 1866.	Sur la théorie mécanique de la chaleur.
"	C. R. <b>63</b> . 952. 1886.	"
"	Ann. Chim. Phys. (4) <b>9</b> . 328. 1866.	"
"	(Paris 1869. 362 pp.)	Théorie mécanique de la chaleur.
"	Ann. Chim. Phys. (4) <b>11</b> . 194. 1867.	Influence de la température sur les phénomènes capillaires.
"	C. R. <b>64</b> . 741. 1867.	Expériences de vérification d'un théorème fondamental de la capillarité.
Dupré u. Page	Phil. Trans. Roy. Soc. <b>159</b> . 591. 1870;	On the specific heat and other physical characters of mixtures of methylic alcohol and water.
" "	Phil. Mag. (4) <b>35</b> . 464. 1868.	
" "	Pogg. Ann. Ergänz. <b>5</b> . 221. 1871.	Spec. Wärme, Mischungswärme, Ausdehnung, Capillarität von Alkoholwasserlösungen.
" "	Phil. Trans. Roy. Soc. <b>162</b> . 331. 1871.	On the specific heat and other physical characters of mixtures of methylic alcohol and water.
" "	Phil. Mag. (4) <b>38</b> . 158. 1869.	"
Duprez	Mém. Acad. Belg. <b>26</b> . 1851. <b>28</b> . 1854.	Sur un cas particulier de l'équilibre des liquides. (Hängende Tropfen in weiten Röhren.)
"	Bull. Acad. Belg. (2) <b>16</b> . 387. 1863.	Note sur la cause qui s'oppose à l'introduction d'un liquide dans un vase à orifice étroit.
Dutoit u. Friderich	Arch. Genève (4) <b>9</b> . 105. 1900.	Sur la tension superficielle des liquides.
" "	C. R. <b>130</b> . 327. 1900.	"
" "	Arch. Sc. Nat. Genève (4) <b>10</b> . 492. 1900.	Sur les tensions superficielles des dissolutions de liquides normales dans le benzène.
Einstein	Drud. Ann. <b>4</b> . 513. 1901.	Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen.
van Eldigk	Comm. Leiden. <b>39</b> . 1897.	Measurements of the capillary ascension of the liquid phase of a mixture of two substances in equilibrium with the gaseous phase.
Elsworthy	Chem. News. <b>56</b> . 236. 1887.	On a modification of Traube's capillarimeter.
"	J. Chem. Soc. Lond. <b>53</b> . 102. 1888.	"
Emmet	Phil. Mag. (2) <b>1</b> . 115. 332. 1827.	On capillary attraction.
Engler	Dingl. Polyt. J. <b>261</b> . 77. 1886.	Vergleichende Versuche über die Eigenschaften des kaukasischen und amerikanischen Erdöles.
Eschenhagen	(Inaug. Diss. Halle 1880.)	Ueber das Niveau von Flüssigkeiten, in welche 2 parallele vertikale Platten eingetaucht sind.
Eötvös	Wied. Ann. <b>27</b> . 448. 1886; Math. Naturw. Ber. (Ung.) <b>4</b> . 33. 1887	Ueber den Zusammenhang der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten mit ihrem Molecularvolumen.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Felici	Il Nuovo Cim. <b>23</b> . 151. 1866.	Sulle superficie di capillarità.
Fischer	Wied. Ann. <b>68</b> . 414. 1899.	Die geringste Dicke von Flüssigkeitshäutchen.
Fock	ZS. phys. Chem. <b>2</b> . 296. 1888.	Fehlerquellen der Aräometer.
Foley	Phys. Rev. <b>3</b> . 381. 1896.	The surface tension of liquids.
Forch	Wied. Ann. <b>68</b> . 801. 1899.	Ueber die Oberflächensp. wässriger Lösungen.
Frankenheim	(Breslau 1835.)	Die Lehre von der Cohäsion.
„	Pogg. Ann. <b>37</b> . 409. 1836.	Ueber die Cohäsion der flüssigen Körper.
„(u.Sondhauss)	Erdmann u. Marchant Journ. <b>23</b> . 401. 1841.	Ueber die Capill. der flüssigen Körper bei verschiedenen Temperaturen.
„	Pogg. Ann. <b>72</b> . 177. 1847.	Ueber die Abhängigkeit einiger Cohäsionserscheinungen flüssiger Körper von der Temperatur.
„	Pogg. Ann. <b>77</b> . 445. 1849.	Versuche über die Veränderung der Synaphie mit der Temperatur.
„	Pogg. Ann. <b>78</b> . 578. 1849.	
Frankenberg	Pogg. Ann. <b>75</b> . 229. 1848.	Ueber die Veränderungen, welche die Höhe des Quecksilbers in Haarröhren mit der Temp. erleidet.
Gay-Lussac	Gilbert Ann. <b>33</b> . 159. 166. 316. 336. 389. 1809.	Versuche zur Laplace'schen Theorie; siehe auch unter „Laplace“, „Poisson“; ferner Biot, Traité de physique I, 441 (Paris 1816).
Gehler	Physik. Wörterb. <b>2</b> . 35; <b>11</b> . 45. 1826.	Capillarität.
Gilbert	C. R. <b>45</b> . 771. 1857; Pogg. Ann. <b>102</b> . 603. 1857.	Sur la théorie des phénomènes capillaires.
Goldstein	ZS. phys. Ch. <b>5</b> . 233. 1890.	Steighöhe der Lösungen in Capillarrohren.
Goppelsröder	(Basel 1901.)	Capillaranalyse.
Gossart	Ann. Chim. Phys. (6) <b>19</b> . 173. 1890.	Mesure des tensions superficielles dans les liquides en caléfaction.
„	C. R. <b>113</b> . 537. 1891.	Constantes capillaires des solutions d'alcool.
Gradenwitz	Wied. Ann. <b>67</b> . 467. 1899.	Ueber die Bestimmung von Capillaritätsconstanten an erstarrten Tropfen.
„	(Inaug. Diss. Breslau 1902.)	Eine neue Methode zur Bestimmung von Capillarconstanten verdünnter Salzlösungen.
Grunmach	Verh. d. Vers. Deutsch. Naturf. u. Aerzte, Düsseldorf 1898.	Experim. Best. d. Oberflächensp. von Flüssigkeiten und von geschmolzenen Metallen . . .
„	Verh. d. Deutsch. phys. Ges. <b>1</b> . 13. 1899.	„
„	Drud. Ann. <b>3</b> . 660. 1900.	„
„	Szber. Akad. Berlin 1900. 829.	Experimentelle Bestimmung von Kapillaritätsconstanten condensirter Gase.
„	Szber. Akad. Berlin <b>38</b> . 914. 1901.	Experim. Best. d. Oberflächensp. flüssiger Luft.
„	Drud. Ann. <b>4</b> . 559. 1901.	„
Guglielmo	Att. Rend. Linc. (5) <b>9a</b> . 9. 1900.	Intorno ad alcuni modi per corregere e per evitare l'errore di capillarità negli areometri.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Guglielmo	Att. Rend. Linc. (5) <b>9a.</b> 33. 70. 1900.	Intorno ad alcuni nuovi areometri ad immersione totale.
„	Att. Rend. Linc. (5) <b>9b.</b> 261. 1900.	Descrizione d'un apparecchio per la determinazione della densità.
Guthrie	Proc. Roy. Soc. <b>13.</b> 444. 1864.	On drops.
„	Proc. Roy. Soc. <b>14.</b> 22. 1865.	On bubbles.
„	Pogg. Ann. <b>131.</b> 129. 1867.	Ueber Tropfen und Blasen.
Guye u. Perrot	Arch. Sc. Nat. Gen. <b>11.</b> 225. 395. 1901.	Etude critique sur l'emploi des compte-gouttes.
„	C. R. <b>132.</b> 1043. 1901.	„
Guye u. Baud	Arch. Sc. Nat. Gen. <b>11.</b> 449. 537. 1901.	Constantes capillaires de liquides organiques. Contribution à l'étude de la polymérisation.
„	C. R. <b>132.</b> 1481. 1553. 1901.	„
Hagen	Pogg. Ann. <b>67.</b> 1. 152. 1846. <b>77.</b> 449. 1849.	Ueber die Oberfläche der Flüssigkeiten. (Parallele Platten, Tropfen u. s. w.)
„	Monatsber. Berl. Akad. 1845. 166.	„
Hall	Phil. Mag. (5) <b>36.</b> 385. 1893.	New Method of measuring the surface tension of liquids.
Hallström	Gilb. Annal. <b>12.</b> 627. 1803.	(Form der Steighöhencurve.)
Hannay	Proc. Royal Soc. Edinb. <b>9.</b> 526. 1875.	On a method of determining the cohesion of liquids by the size of normal drops.
de Heen	Bull. Acad. Belg. (3) <b>5.</b> 477. 505. 1883.	Détermination (à l'aide de la méthode de l'écoulement par gouttes) des variations que la tension superficielle éprouve avec la température.
„	(Louvain 1888.)	Recherches touchant la physique comparée et la théorie des liquides.
„	(Liège 1894.)	La chaleur.
Héringa	Arch. Néerland. <b>13.</b> 1. 1878; <b>15.</b> 124. 1880.	Considérations sur la théorie des phénomènes capillaires.
Herzfeld	Wied. Ann. <b>62.</b> 450. 1897.	Bestimmung der spec. Cohäsion für Kupfer, Eisen, Nickel, Cobalt.
Heshus und Georgiewski	J. Russ. Phys. Chem. Ges. <b>32.</b> (2) 97. 1900; Alm. J. de Phys. (4) <b>1.</b> 50. 1901.	Dielektricitätsconstanten und Oberflächenspannungen von Alkohol- und Wassermischungen, sowie von Chloroform-Aethermischungen.
Heydweiller	Wied. Ann. <b>62.</b> 694. 1897.	Spec. Cohäsion und Oberflächensp. des erstarrenden Goldes.
„	Wied. Ann. <b>65.</b> 311. 1898.	Ueber die Bestimmung von Capillarconstanten aus Tropfenhöhen.
Hock	Szber. Wien. Akad. <b>108.</b> (II. a). 516. 1899.	Ueber die Abhängigkeit der Capill. Const. von der Temperatur.
Holtzmann	Pogg. Ann. <b>71.</b> 463. 1847.	Ueber die Cohäsion des Wassers.
„	Pogg. Ann. Ergänz. <b>2.</b> 183. 1848.	Wärme und Elastizität der Gase und Dämpfe.
Hübner	Schlömilch ZS. Math. <b>35.</b> (2) 131. 1890.	Zur Entwicklungsgeschichte der Lehre von der Capillarität.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Humphreys and Mohler	Phys. Rev. <b>2</b> . 387. 1895.	Surface tension of water at temperatures below zero degree.
Jäger	Szber. Wien. Ak. (IIa). <b>100</b> . 245. 1891.	Ueber die Abhängigkeit der Capill. Const. von der Temperatur.
„	Szber. Wien. Ak. (IIa). <b>100</b> . 493. 1891.	Das Gesetz der Oberflächensp. von Lösungen.
„	Szber. Wien. Ak. (IIa). <b>101</b> . 954. 1892.	Aenderung der Capill. Const. des Quecksilbers mit der Temperatur.
„	Szber. Wien. Ak. (IIa). <b>101</b> . 158. 1892.	Capill. Const. nicht wässriger Lösungen.
Januschke	(Troppau 1890.)	Die Gesetze des Oberflächendrucks und der Oberflächenspannung.
Jeaucard u. Satie	Bull. Soc. Chim. (3) <b>25</b> . 519. 1901.	Tension superficielle et viscosité de quelques huiles essentielles.
Kablukow	J.Russ.Phys.Chem.Ges. <b>19</b> . 178. 1887. (Fortschr. Phys. 1887. 1. 489.)	Ueber die Beziehungen zwischen dem Ausdehnungscoeff. der Flüssigkeiten und dem Temperaturcoeff. d. Capillarität.
Kalähne	Drud. Ann. (4) <b>7</b> . 440. 1902.	Ueber die Benutzung stehender Capillarwellen auf Flüssigk. als Beugungsgitter und die Oberflächensp. von Quecksilber und Wasser.
Kasankin	J. Russ. Phys. Chem. Ges. <b>23</b> . (2) 122. 463. 1891. (Fortschr. Physik 1891, 1. 332.)	Steighöhenbest. wässriger Lösungen in Capillarrohren.
„	(Kasan 1893.) Fortschr. Physik 1893. 1. 468.	Ueber die capillaren Eigenschaften d. Lösungen.
Kasterin	J. Russ. Phys. Chem. Ges. <b>24</b> . (2) 196. 1892. (Fortschr. Physik 1892. 1. 363.)	Ueber die Oberflächensp. des Aethers bei hohen Temperaturen.
„	J. Russ. Phys. Chem. Ges. <b>25</b> . (2) 203. 1893. (Fortschr. Physik 1893. 1. 477.)	Die Bestimmung der Capillaritätsconst. und des Randwinkels aus der Form von Tropfen.
„	<b>25</b> . (2) 51. 1893. (Fortschr. Physik 1893. 1. 469.)	Ueber die Aenderung der Cohäsion von Flüssigkeiten mit der Temperatur.
Klobukow	ZS. phys. Ch. <b>5</b> . 181. 1890.	Ueber den Einfluss der Capill.- und Diffusionsvorgänge auf die Lösungsenergie von Flüssigkeiten.
Klupathy	Math. Naturw. Ber. (Ung.) <b>5</b> . 101. 1886/7.	Ueber die Oberflächensp. der wässrigen Salzlösungen.
Knipp	Phys. Review <b>11</b> . 129. 1900.	Surface tension of water above 100° C.
„	Physik. ZS. <b>2</b> . 345. 1901.	Die Oberflächensp. des Wassers über 100° C.
„	Phys. Review <b>14</b> . 75. 1902.	The density and surface tension of liquid air.
König	Wied. Ann. <b>16</b> . 1. 1882.	Ueber die Beziehungen zwischen der galvan. Polarisation und der Oberflächensp. des Quecksilbers.
Köppen	Annal. Hydrogr. <b>21</b> . 139. 1893.	Verhalten der Oele und Seifen auf Wasseroberflächen.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Kolacék	Wied. Ann. <b>5</b> . 425. 1878. <b>6</b> . 616. 1879.	Einfluss der Capillarität auf die Fortpflanzung von Wellen.
Krümmel	(Berlin 1890.)	Ueber den Gebrauch des Aräometers an Bord.
"	Wissensch. Meeresunter- suchungen (neue Folge) <b>5</b> . Heft 2. 1901.	Neue Beiträge zur Kenntnis des Aräometers.
Kundt	Wied. Ann. <b>12</b> . 538. 1881.	Ueber den Einfluss des Druckes auf die Ober- flächenspannung.
v. Lang	Szber. Wien. Akad. (1) <b>87</b> . 1060. 1883.	Ueber die Capillarwaage.
"	Exner's Rep. Phys. <b>19</b> . 384. 1884.	"
Langberg	Phys. Meddel. Arndtsen. Christiania 1858.	Om capillaritetens indflydelse paa areometerets angivelser.
"	Pogg. Ann. <b>106</b> . 299. 1859.	Ueber den Einfluss der Capillarattraction auf Aräometermessungen.
Laplace	(Paris 1806.)	Mécanique céleste (10. Buch, Supplement.): Théorie de l'action capillaire.
"	(Paris 1806. 62 pp.)	Théorie de l'action capillaire.
"	(Paris 1807. 78 pp.)	Supplément à la théorie de l'action capillaire.
"	Blainville, J. de Phys. <b>2</b> . 120. 1806.	"
"	Gilb. Annal. <b>33</b> . 1. 141. 275, 293, 373. 1809.	Theorie der Kraft, welche in den Haarröhrchen und bei einigen anderen Erscheinungen wirkt (mit Anmerkungen von Gilbert, in 5 Teilen).
"	(Paris 1845.)	Oeuvres, Bd. IV. 389.
"	(Paris 1880.)	Oeuvres, Bd. IV. 349.
Lasswitz	Pogg. Ann. Erg. <b>6</b> . 441. 1874. (Diss. Breslau 1873.)	Ueber Tropfen an festen Körpern insb. an Cylindern.
Lebraigue	J. Pharm. et Chim. <b>7</b> . 81. 1868.	(Tropfengrösse.)
Lenard	Wied. Ann. <b>30</b> . 209. 1887.	Schwingung fallender Tropfen.
de Lépinay	Alm. J. de Phys. (3) <b>5</b> . 266. 1896.	Influence de la capillarité sur les pesées hydrostatiques.
Linebarger	Amer. J. of Sc. (Silliman) (3) <b>44</b> . 83. 1892. (Grätz, Phys. Revue <b>2</b> . 369. 1892.)	On the relations between the surface tension of liquids and their chemical constitution.
"	Am. J. of Sc. (Silliman) (4) <b>2</b> . 226. 1896.	On the surface tension of mixtures of normal liquids.
"	Am. J. of Sc. (Silliman) (4) <b>2</b> . 108. 1896.	An apparatus for the rapid determination of the surface tension of liquids.
"	J. Am. Chem. Soc. <b>18</b> . 514. 1896.	A rapid method of determining the molecular masses of liquids by means of their surface tensions.
"	J. Am. Chem. Soc. <b>20</b> . 128. 1898.	The surface tensions of aqueous solutions of oxalic, tartaric and citric acids.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Linebarger	J. Am. Chem. Soc. <b>21</b> . 411. 1899.	The surface tensions of aqueous solutions of alkaline chlorides.
„	J. Am. Chem. Soc. <b>22</b> . 5. 1900.	The surface tensions of mixtures of sulphuric acid and water . . . .
Link	Gilb. Annal. <b>47</b> . 1. 1814.	Theorie der Flüssigkeit und Festigkeit.
„	Pogg. Ann. <b>29</b> . 404. 1833; <b>31</b> . 593. 1834.	Neue Versuche über Capillarität. (Einfluss des Materials auf die Steighöhe an Platten.)
„	Pogg. Anr. <b>25</b> . 270. 1832.	(Siehe Poisson, „Nouvelle théorie de l'action capillaire“.)
Lippmann	Alm. J. de Phys. (1) <b>4</b> . 332. 1875.	Démonstration élémentaire de la formule de Laplace.
Lohnstein	Wied. Ann. <b>44</b> . 52. 1891. (Inaug. Diss. Berlin 1891.)	Ueber den Einfluss der Capill. auf die Gleichgewichtsverhältnisse schwimmender Körper.
„	ZS. phys. Chem. <b>10</b> . 504. 1892.	Bemerkungen zu der Arbeit von Weinberg über die Abhängigkeit der Oberflächenspannung von der Temperatur.
„	Wied. Ann. <b>53</b> . 1062. 1894.	Zur Bestimmung der Capill.-Const.
„	Wied. Ann. <b>54</b> . 713. 1895.	Zur Berechnung der Capill.-Const. aus Messungen an Tropfen mittlerer Grösse.
Lüdtge	Pogg. Ann. <b>137</b> . 362. 1869.	Ueber die Ausbreitung der Flüssigkeiten auf einander.
Magie	(Diss. Berlin 1885.)	Ueber Capillaritäts-Constanten.
„	Wied. Ann. <b>25</b> . 421. 1885.	„
„	Amer. J. of Sc. (Silliman) (3) <b>31</b> . 189. 1886.	On a method of measuring the surface tension of liquids.
„	Phil. Mag. (5) <b>26</b> . 162. 1888.	The contact-angle of liquids and solids.
Magnus	Pogg. Ann. <b>26</b> . 463. 1832.	Verdunsten der Flüssigkeiten aus Haarröhrchen.
„	Pogg. Ann. <b>106</b> . 1. 1859.	Ueber die Bäuche von Strahlen aus kreisförmigen Oeffnungen.
Marangoni	Pogg. Ann. <b>143</b> . 337. 1871.	Ueber die Ausbreitung der Tropfen einer Flüssigkeit auf der Oberfläche einer anderen.
„	Il Nuovo Cim. (3) <b>3</b> . 50. 97. 193. 1878.	Difesa della teoria dell' elasticità superficiale dei liquidi.
„	Rivista Scientif. Industr. 1880, 55.	Influenza dell' imbrattamento di superficie sulle misure areometriche.
„	Att. Rend. Linc. (4) <b>3b</b> . 224. 1887.	La staderina dei coseni e le variazioni della costante di capillarità.
„	Att. Rend. Linc. (4) <b>4a</b> . 520. 1888.	Movimenti delle polveri alla superficie dell' acqua.
„	Att. Rend. Linc. (4) <b>5a</b> . 657. 1889.	Sul punto di affioramento negli areometri.
„	Alm. J. de Phys. (3) <b>2</b> . 68. 1893.	Variabilité de la constante capillaire (Saponin).
Matthiessen	Pogg. Ann. <b>134</b> . 107. 1868.	Akustische Versuche, die kleinsten Transversalwellen der Flüssigkeiten betreffend.
„	Pogg. Ann. <b>141</b> . 375. 1870.	Ueber die Transversalschwingungen tönender tropfbarer und elastischer Flüssigkeiten.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Matthiessen	Schlömilch ZS. f. Math. Phys. <b>21</b> . 38. 1876.	Ueber die Klangfiguren einer quadratischen Platte von Flüssigkeit.
„	Wied. Ann. <b>32</b> . 626. 1887.	Ueber die Wanderung der Interferenzkurven zweier mikroskop. Kreiswellensysteme auf der Oberfläche von Flüssigkeiten.
„	Wied. Ann. <b>38</b> . 118. 1889.	Experimentelle Untersuchungen über das Thomson'sche Gesetz der Wellenbewegung auf Flüssigkeiten.
Mathieu	(Paris 1882.)	Théorie de la capillarité.
„	Alm. J. de Phys. (2) <b>3</b> . 203. 1889.	Figure des gouttes d'un liquide.
Maxwell	Encycl. Britt. 1875. (9. Aufl.)	On capillary action.
Melde	Pogg. Ann. <b>124</b> . 87. 1865.	Methoden zur Beobachtung von Luftblasen in mit Flüss. gefüllten cylindr. Röhren.
„	Schrift. Gesellsch. Beförd. Naturw. Marburg <b>9</b> . 7. 1167. 1868.	Experimentaluntersuchung über Blasenbildung in Libellen.
Mellberg	Act. Soc. Scient. Fennicae <b>22</b> . No. 6. Helsingfors 1897.	Recherches sur les liquides.
„	Fortschr. Physik 1897. <b>1</b> . 452.	„
Mendeleeff	Russ. ZS. f. Chemie, herausgegeben v. Sokoloff u. Engelhardt (Petersb. 1858. 1860).	Untersuchungen über Capillarität und über den Zusammenhang physikal. Eigenschaften der Körper mit ihrem Molecularvolumen.
„	C. R. <b>51</b> . 97. 1860. ZS. f. Chemie 1860. 49.	Sur la cohésion de quelques liquides et sur le rôle de la cohésion moléculaire dans les réactions chimiques des corps.
„	C. R. 50. <b>52</b> . 1860. ZS. f. Chemie 1860. 782.	Sur la cohésion moléculaire de quelques liquides organiques.
„	Pogg. Ann. <b>141</b> . 618. 1870.	Ben. zu den Untersuchungen von Andrews über die Compressibilität der Kohlensäure.
Mendeleeff und Gutkowska	Alm. J. de Phys. <b>6</b> . 197. 1877. Soc. de Phys. Petersb. <b>8</b> . 212. 1877.	Sur la dépression capillaire du mercure. „
Mendenhall	Amer. J. Sc. (Silliman) (3) <b>5</b> . 129. 1873.	Determination of the height to which liquids may be heaped above the edge of a vessel.
v. d. Mensbrugge	Bull. Acad. Belg. (2) <b>18</b> . 161. 1864.	Sur quelques effets curieux de forces moléculaires des liquides.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>22</b> . 308. 1866.	Sur la tension des lames liquides.
„	Bull. Acad. Belg. <b>23</b> . 448. 1867.	„
„	Pogg. Ann. <b>134</b> . 455. 1868.	Ueber die Spannung flüssiger Lamellen.
„	Mém. couronnés savants Acad. Belg. <b>34</b> . 1869. (I. Mém.) <b>37</b> . 1873. (II. Mém.)	Sur la tension superficielle des liquides considérée au point de vue de certains mouvements observés à leur surface.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
v. d. Mensbrugge	Pogg. Ann. <b>141</b> . 287. 1870.	Ueber die oberflächliche Zähigkeit der Lamellen aus Saponinlösung.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>29</b> . 368. 1870.	Sur la viscosité superficielle des lames de solution de saponine.
„	Pogg. Ann. <b>141</b> . 608. 1870.	Ueber einen durch Herrn Lüdte angegebenen molekular-statischen Satz.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>30</b> . 322. 1870.	Sur un principe de statique moléculaire avancé par M. Lüdte.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>39</b> . 375. 1875.	La théorie capillaire de Gauss et l'extension d'un liquide sur un autre.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>40</b> . 341. 1875.	Sur les propriétés de la surface de contact d'un solide et d'un liquide.
„	Bull. Acad. Belg. (2) <b>41</b> . 769. <b>42</b> . 21. 1876.	Application de la thermodynamique à l'étude des variations d'énergie potentielle des surfaces liquides.
„	Mém. couronn. savants Acad. Belg. <b>41</b> . 1876.	Sur le problème des liquides superposés dans un tube capillaire.
„	Mém. Acad. Belg. <b>43</b> . 1878.	Etude sur les variations d'énergie potentielle des surfaces liquides.
„	Alm. J. de Phys. <b>8</b> . 52. 1879.	Sur la mesure de la tension superficielle des liquides.
„	Bull. Acad. Belg. (3) <b>4</b> . 176. 1882.	Sur les moyens proposés pour calmer les vagues de la mer.
„	Bull. Acad. Belg. (3) <b>6</b> . 326. 1884.	Sur les actions verticales exercées par les ménisques capillaires des liquides.
„	Bull. Acad. Belg. (3) <b>11</b> . 341. <b>12</b> . 623. 1886.	Sur l'instabilité de l'équilibre de la couche superfic. d'un liquide.
„	Bull. Acad. Belg. (3) <b>16</b> . 31. 1888.	Sur les moyens d'évaluer et de combattre l'influence de la capillarité sans la densimétrie.
„	Congr. Intern. Physique <b>1</b> . 487. Paris 1900.	Sur les phénomènes capillaires.
Merian	Pogg. Ann. <b>73</b> . 485. 1848.	Versuche von Buys-Ballot über den Einfluss der Temperatur auf die Synaphie.
Meritt u. Barnett	Phys. Review <b>10</b> . 65. 1900; Phys. Zeitschr. <b>1</b> . 249. 1900.	The influence of electrification on the surface tension of water and mercury.
Meslin u. Chaudier	Mém. de l'Acad. Montpellier, Sect. Sciences (2) <b>2</b> . 1899.	Sur la vitesse de la propagation des ondes.
Meyer	Wied. Ann. <b>66</b> . 523. 1898.	Die Oberflächensp. des Quecksilbers gegen Gase.
Monti	Il Nuovo Cim. (4) <b>3</b> . 6. 259. 1896. Il Nuovo Cim. (4) <b>5</b> . 5. 186. 1897.	Sulle leggi delle tensioni superficiali delle soluzioni. Intorno all'influenza della temperatura sulla tensione superficiale dell'acqua e di altri liquidi.
Mousson	Pogg. Ann. <b>142</b> . 405. 1871.	Bemerkungen über die Theorie der Capill.-Erscheinungen.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Moutier	C. R. <b>70</b> . 612. 1870.	Sur l'angle de raccordement d'un liquide avec une paroi solide.
Munke	Phys. Wörterbuch.	Siehe Gehler.
Musculus	Chem. Centralbl. 1864. 922. (Recueil de Mémoires de médecine et. . (3) <b>10</b> . 46. 1863.)	Ueber die Veränderungen der Molecularcohesion des Wassers.
Nägeli	Ber. Münch. Akad. 1866 (I) 353. 473.	Die Capillarwirkung bei vermindertem Druck.
"	Ber. Münch. Akad. 1866 (I) 597.	Theorie der Capillarität.
Nansen	Norw. Northpolar Exped. Scient. papers, Heft X Christiania 1900.	On hydrometers and the surface tension of liquids.
Nichols	Phys. Rev. <b>4</b> . 375. 1897.	The influence of a static charge of electricity upon the surface tension of water.
Oberbeck	Wied. Ann. <b>49</b> . 366. 1893.	Eigenschaft dünner Oelschichten auf Wasseroberflächen.
v. Obermayer	Szber. Wien. Akad. (II) <b>59</b> . 207. 1869.	Versuche über einige Capillarerscheinungen.
Ochsé	Exner's Rep. <b>26</b> . 641. 1890.	Exper. Untersuchungen über den Einfluss der Concentration und der Temp. einiger wässr. Salzlösungen auf ihre Oberflächenspannung.
Oerstedt	Ann. Chim. Phys. (3) <b>4</b> . 379. 1842; Pogg. Ann. <b>53</b> . 614. 1841.	Nouvel appareil pour la mesure de la capillarité.
Oettgen	(Diss. Rostock 1899.)	Ueber Oberflächensp. organischer Substanzen.
Pekár	ZS.phys.Chem. <b>39</b> .433.1902.	Ueber die moleculare Oberflächenenergie der Lösungen.
Pellat	C. R. <b>118</b> . 1193. 1894.	Variation de la tension superficielle avec la temp.
Perrot	Arch. Sc. Nat. Genève (4) <b>8</b> . 590. 1899.	Mesure des tensions superficielles par la méthode des compte-gouttes.
Piccard	Arch. Sc. Nat. Genève (3) <b>24</b> . 29. 579. 1890.	Observations sur la veine liquide et les constantes capillaires.
Piltchikoff	J. Russ. Phys. Chem. Ges. (2) <b>20</b> . 83. 1888.	Verallgemeinerung d. Gay-Lussac'schen-Methode zur Bestimmung d. Capillaritätsconstanten.
"	Alm. J. de Phys. (2) <b>8</b> . 538. 1889.	"
Pincherle	Il Nuovo Cim. (1) <b>12</b> . 19—64. 1874.	Sulle superficie di capillarità.
"	Il Nuovo Cim. (2) <b>14</b> . 17. 1875.	Sulle costanti di capillarità.
Plateau	(Paris 1873.)	Statique des liquides soumis aux forces moléculaires.
Plato	Wiss. Abhdl. Norm.-Aich.-Kommission <b>2</b> . 1900.	Dichte, Ausdehnung und Kapillarität von Lösungen reinen Rohrzuckers in Wasser.
Pockels	Nature <b>43</b> . 437. 1891.	Surface tension.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Pockels	Nature <b>46.</b> 418. 1892; <b>48.</b> 152. 1893.	On the relative contamination of the water surface by equal quantities of different substances.
„	Nature <b>50.</b> 223. 1894.	On the spreading of oil upon water.
„	Wied. Ann. <b>67.</b> 668. 1899.	Untersuchung der Grenzflächenspannung mit der Cohäsionswaage.
Poincaré	(Paris 1895.)	La capillarité.
Poloni	Il Nuovo Cim. (3) <b>6.</b> 261. 1880; (3) <b>7.</b> 16. 1880.	(Ueber die Capill. des Wassers in weiten Röhren.)
Poisson	(Paris, 1831.)	Nouvelle théorie de l'action capillaire.
„	Pogg. Ann. <b>25.</b> 270. 1832; <b>27.</b> 193. 1833.	„ (übersetzt von Prof. Link).
Quet	C. R. <b>98.</b> 87. 1887.	Sur l'accord de l'expérience et la théorie dans l'élévation de l'eau entre des plaques verticales.
„	(Paris 1867.)	Rapport sur les progrès dans la science de la capillarité.
Quincke	Pogg. Ann. <b>105.</b> 1. 1858.	Ueber die Capill.-Const. des Quecksilbers.
„	Pogg. Ann. <b>134.</b> 356. 1868.	Ueber die Capill.-Const. fester Körper.
„	Pogg. Ann. <b>135.</b> 621. 1868.	Ueber Capill.-Const. geschmolzener Körper.
„	Pogg. Ann. <b>137.</b> 402. 1869.	Ueber die Entfernung, in welcher die Molecularkräfte der Capillarität noch wirksam sind.
„	Pogg. Ann. <b>138.</b> 141. 1869.	Ueber die Capill.-Const. geschmolzener chem. Verbindungen.
„	Pogg. Ann. <b>139.</b> 1. 1869.	Capillarerscheinungen an der gemeinsamen Grenzfläche von zwei Flüssigkeiten.
„	Pogg. Ann. <b>153.</b> 161. 1874.	Elektrische Ströme bei ungleich eingetauchten 2 Quecksilber-Elektroden in verschiedenen Flüssigkeiten. (Mit Anhang.)
„	Pogg. Ann. <b>160.</b> 337. 560. 1877.	Ueber die Cohäsion von Salzlösungen.
„	Wied. Ann. <b>2.</b> 145. 1877.	Ueber den Randwinkel und die Ausbreitung von Flüssigk. auf festen Körpern.
„	Wied. Ann. <b>27.</b> 219. 1886.	Ueber die Bestimmung der Capill.-Const. von Flüssigkeiten.
„	Wied. Ann. <b>52.</b> 1. 1894.	Ueber die Messung der Oberfl.-Sp. des Wassers und Quecksilbers in Capillarröhren.
„	Wied. Ann. <b>61.</b> 267. 1897.	Moderne Kritik der Messungen der Capill.-Const. von Flüssigk. und specif. Cohäsion geschmolzener Metalle.
„	Wied. Ann. <b>64.</b> 618. 1898.	Ueber die Oberflächensp. des reinen Goldes.
Ramsay und Shields	Phil. Trans. <b>184.</b> A. 647. 1893.	The variation of molecular surface energy with temperature.
„	J. Chem. Soc. London <b>15.</b> 1089. 1893.	The molecular complexity of liquids.
„	ZS. phys. Ch. <b>12.</b> 433. 1893.	Ueber die Moleculargewichte der Flüssigkeiten.
Ramsay u. Aston	Proc. Roy. Soc. Lond. <b>56.</b> 182. 1894.	The molecular surface energy of mixtures.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Ramsay u. Aston	Proc. Roy. Soc. Lond. <b>56</b> . 162. 1894.	The molecular surface energy of esters.
"	ZS. phys. Ch. <b>15</b> . 89. 1894.	Die moleculare Oberflächenenergie von Mischungen sich nicht associirender Flüssigkeiten.
"	ZS. phys. Ch. <b>15</b> . 98. 1894.	Die Complexität und Dissociation von Flüssigkeitsmolekeln.
Rayleigh	(Treatise on sound, second ed., <b>2</b> . 345. London 1893.)	(Wellen.)
"	Proc. Roy. Soc. Lond. <b>29</b> . 71. 1879.	Capillary phenomena of jets.
"	Phil. Mag. (5) <b>30</b> . 285. 457. 1890.	On the theory of surface forces.
"	Phil. Mag. (5) <b>30</b> . 386. 1890.	On the tension of water surfaces clean and contaminated, investigated by the method of ripples.
"	Proc. Roy. Soc. Lond. <b>47</b> . 281. 1890.	On the tension of recently formed liquid surfaces.
"	Proc. Roy. Soc. Lond. <b>47</b> . 364. 1890.	Measurements of the amount of oil, necessary in order to check the motions of campher upon water.
"	Phil. Mag. (5) <b>33</b> . 209. 468. 1892.	Theory of surface forces, effects of slight contaminations.
"	Phil. Mag. (5) <b>33</b> . 363. 1892.	Upon surface films.
"	Phil. Mag. (5) <b>48</b> . 321. 1899.	Investigations in capillarity.
Reggiani	Atti Rend. Linc. (4) <b>6</b> . 99. 1890.	Gli areometri a totale immersione.
Reid	Chem. News. <b>57</b> . 39. 1888.	On measuring liquids by drops.
Reiff	(Inaug. - Diss. Tübingen, 1879.)	Einfluss der Capillarkräfte auf die Form der Oberfläche einer bewegten Flüssigkeit.
Richter	(Berlin, R. Oppenheim 1894.)	Lehre von der Wellenberuhigung.
"	Annal. Hydrogr. <b>22</b> . 250. 1894.	"
Riess	Exner's Repert. <b>26</b> . 102. 1890.	Das Thomson'sche Gesetz der Wellenbewegung auf Wasser.
Rodenbeck	(Diss. Bonn, 1879.)	Capillaritätsbestimmungen von Flüssigkeiten.
Röntgen	Wied. Ann. <b>3</b> . 321. 1878.	Mittheilung einiger Versuche aus dem Gebiete der Capillarität.
"	Wied. Ann. <b>29</b> . 165. 1886.	Ueber Compressibilität und Oberflächensp. von Flüssigkeiten.
"	Wied. Ann. <b>41</b> . 321. 1891.	Dicke cohärenter Oelschichten.
"	Wied. Ann. <b>46</b> . 152. 1892.	Herstellung reiner Oberflächen auf Wasser und Quecksilber.
Roger	(Paris 1887.)	Théorie mécanique des phénomènes capillaires.
"	C. R. <b>62</b> . 134. 1866.	Mémoire sur les phénomènes capillaires.
"	C. R. <b>72</b> . 848. 1871.	"
"	C. R. <b>74</b> . 1510. 1872.	"
"	C. R. <b>76</b> . 816. 1873.	"

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Roger	C. R. <b>90</b> . 908. 1880.	Mémoire sur les phénomènes capillaires.
Roiti	Il Nuovo Cim. <b>7</b> . 181. 1872.	Dell' ascensione dei liquidi nei tubi capillari.
Rosset	Bull. Soc. Chim. (3) <b>23</b> . 245. 1901.	Etude sur l'égouttement; méthode de détermination des poids moléculaires.
Rother	Wied. Ann. <b>21</b> . 576. 1884. (Inaug. Diss. Bresl. 1883.)	Capillaritätsbest. von Salzlösungen.
Runge	Math. Ann. <b>46</b> . 167. 1895.	Numerische Auflösung von Differentialgleichungen (Tropfenkrümmung).
Salleron	J. Pharm. Chim. <b>8</b> . 241. 453. 1868.	(Tropfenbildung)
"	Mondes (2) <b>34</b> . 23. 1874.	Essais des alcools (Tropfenbildung).
Savart	Ann. Chim. Phys. (2) <b>53</b> . 337. 1833.	Sur la constitution des veines liquides.
Schalkwijk	Comm. Leiden, <b>67</b> . <b>70</b> . 1901.	Measurements and calculations on the corrections of the mercury meniscus with standard gasmanometers.
Schall	Ber. Chem. Ges. <b>17</b> . 2555. 1884.	Anziehung gleichartiger Moleküle (Abreissmethode).
"	Ber. Chem. Ges. <b>18</b> . 2032. 1885.	Ueber die bei Erwärmung stattfindende allgemeine Relation der Abnahme der Steighöhe in Capillaren.
"	Ber. Chem. Ges. <b>18</b> . 2042. 1885.	Beziehungen zwischen den Capillarconstanten homologer Reihen.
Schetelig	Nyt Magazin f. Naturvidenskab. (Christiania.) <b>39</b> . 255. 1901.	On the use of the hydrometer of total immersion.
Schiff	Ber. Chem. Ges. <b>15</b> . 2965. 1882.	Capill.-Const. d. Flüssigk. bei ihrem Siedepunkt.
"	Lieb. Ann. <b>223</b> . 47. 1883.	Ueber die Capill.-Const. der Flüss. bei ihrem Siedepunkt.
"	Gazz. Chim. (5) <b>14</b> . 368. 1884.	Equivalenti capillari dei corpi semplici.
"	Memor. Acc. Lincei (3) <b>19</b> . 388. 1884.	"
"	Lieb. Ann. <b>229</b> . 199. 1885.	Zu Herrn Volkmann's Bemerkungen.
Schleiermacher	Wied. Ann. <b>8</b> . 52. 1879.	Ueber die auf einem benetzten Körper verdichtete Flüssigkeitsmenge.
Scholz	(Programme des Gymnas. Glogau 1876, 1881.)	Ueber den Einfluss der Wärme auf die Cohäsion flüssiger Körper.
"	Pogg. Ann. <b>148</b> . 62. 1873.	Synaphie einiger noch nicht untersuchter Stoffe.
Schwedoff	Séances Soc. Phys. Française. 1889. 134. 186.	Recherches expériment. sur la cohésion des liquides.
Selby	Phil. Mag. (5) <b>31</b> . 430. 1891.	On the variation of surface tension with temperature.
Sell	Arb. des Reichsgesundheitsamts. <b>4</b> . 158. 1888.	Ueber Branntwein, seine Darstellung und Beschaffenheit in Hinsicht auf seinen Gehalt an Verunreinigungen, sowie über die Methoden zu deren Erkennung.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Sentis	Alm. J. de Phys. (2) <b>6</b> . 571. 1887.	Méthode pour la détermination de la tension superficielle.
„	Alm. J. de Phys. (2) <b>9</b> . 384. 1890.	Méthode pour la détermination de la tension superficielle.
„	C. R. <b>118</b> . 1132. 1894.	Sur la tension superfic. des solutions salines.
„	Alm. J. de Phys. (3) <b>6</b> . 183. 1897.	La tension superfic. de l'eau et des solutions salines.
„	(Thèse. Grenoble, 1897.)	Tension superfic. de l'eau et de solutions salines.
Siedentopf	Wied. Ann. <b>61</b> . 235. 1897.	Ueber Capill.-Const. geschmolzener Metalle.
Sieg	(Diss. Berlin, 1887.)	Ueber die Bestimmung von Capill.-Const. an Tropfen und Blasen.
„	Vhdl. Phys. Ges. Berl. <b>6</b> . 177. 1887.	„
Simon	C. R. <b>12</b> . 892. 1841.	Recherches sur la capillarité.
„	Ann. Chim. Phys. (3) <b>32</b> . 5. 1851.	„
Smith	Proc. Roy. Soc. Edinb. <b>17</b> . 115. 1890.	The determination of surface tension by the measurements of ripples.
Sohet	Bull. Inst. Phys. Liège 1897. (1)–(56); Mém. Soc. Roy. Sciences Liège (2) <b>20</b> . 1. 1897.	Mém. sur les variations des hauteurs capill. et des tensions superfic. de l'eau, de l'alcool et des solutions d'eau et d'alcool avec la temp.
Sohnke	Wied. Ann. <b>40</b> . 345. 1890.	Dicke eines auf Wasser sich ausbreitenden Oeltropfens.
Sondhauss	(Diss. Breslau, 1841.)	De vi quam calor habet in fluidorum capill.
„	Pogg. Ann. Erg. <b>8</b> . 266. 1878.	Ueber die Spannung flüssiger Lamellen.
Stahl	Pogg. Ann. <b>139</b> . 239. 1870.	Ueber einige Punkte in der Theorie der Capillarscheinungen.
Stamkart	Arch. Néerland. <b>1</b> . 355. 1866.	Sur l'influence de l'action capillaire et la pression de l'air dans la construction et l'emploi des aréomètres.
„	Arch. Néerland. <b>6</b> . 217. 1872.	Ueber eine Bestimmungsweise der Dichte einer Flüssigkeit in einem geschlossenen Raume.
„	Pogg. Ann. <b>144</b> . 470. 1872.	„
Stark	Szber. Akad. Münch. <b>28</b> . 91. 1898.	Ueber Ausbreitung von Flüssigk. und damit zusammenhängende Erscheinungen.
„	Wied. Ann. <b>65</b> . 287. 1898.	„
Stevens	Phys. ZS. <b>2</b> . 233. 1901.	Neue Methode zur Messung der Oberflächenspannung.
„	Amer. J. Sc. (Silliman) (4) <b>10</b> . 245. 1900.	Method of measuring surface tension.
Stöckle	Wied. Ann. <b>66</b> . 499. 1898.	Ueber die Oberflächensp. des Quecksilbers.
Stromei	Il Nuovo Cim. (4) <b>3</b> . 343. 1896.	Sulla tensione superficiale. Esperienze.
Stude	Arch. Pharm. <b>222</b> . 349. 1889.	(Gewicht von Tropfen.)
Sutherland	Phil. Mag. (5) <b>38</b> . 188. 1894.	The surface tension of mixed liquids.
„	Phil. Mag. (5) <b>40</b> . 477. 1895.	Molecular force and the surface tension of solutions.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Thadéeff	Ber.Chem.Ges. <b>28</b> . 195.1895.	Aus dem Gewicht der Tropfen geschmolzener Metalle sich ergebende Gesetzmässigkeiten.
Tait	Proc. Roy. Soc. Edinb. <b>8</b> . 485. 1875.	Determination of the surface tensions of liquids by the ripples produced by a tuning fork.
„	Proc. Roy. Soc. Edinb. <b>17</b> . 110. 1890.	On ripples in a viscous liquid.
Tate	Phil. Mag. 4. <b>27</b> . 176. 1864.	On the magnitude of a drop of liquid formed under different circumstances.
Terquem	Alm. J. de Phys. <b>7</b> . 406. 1878. C. R. <b>86</b> . 1057. 1878. (Paris 1880.)	Emploi des lames planes liquides pour la mesure de la tension superficielle. La capillarité.
Thomson	Phil. Mag. (4) <b>42</b> . 375. 1871.	Hydrokinetic solutions and observations.
„	Proc. Roy. Soc. Edinb. 374. 1870/71.	„
Timberg	Wied. Ann. <b>30</b> . 545. 1887.	Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Capill.-Const. einiger Flüssigkeiten.
Traube	Ber.Chem.Ges. <b>17</b> .2294.1884.	Capill. Erschein. in Beziehung zur Constitution u. zum Mol.-Gewicht.
„	J. pr. Ch. <b>31</b> .(n.F.) 177. 1885.	Best. der Capill.-Const. wässriger und alkoholischer Lösungen durch Beobachtung der Steighöhen.
„	J. pr. Ch. <b>31</b> . 514. 1885.	Einfluss der Temperatur auf den capillaren Randwinkel.
„	J. pr. Ch. <b>34</b> . 292. 515. 1886;	Ueber die Tropfengewichte und deren Beziehung zu den Capill.-Const. und über den capillaren Randwinkel.
„	Ber. Chem. Ges. <b>19</b> . 1672. 1871. 1886.	„
„	Ber. Chem. Ges. <b>19</b> . 1679. 1886; <b>20</b> . 1644. 2824. 1887.	Ueber das Stalagmometer.
„	ZS. analyt. Chem. <b>28</b> . 26. 1889.	Zur Anwendung der capillarimetrischen Methode auf die Best. des Fuselöls.
„	Lieb. Ann. <b>265</b> . 27. 1891.	Ueber Capill.-Const. organischer Stoffe in wässrigen Lösungen.
„	Ber.Chem.Ges. <b>24</b> .3074.1891.	Ueber d. Capill.-Const. von Salzen beim Schmelzpunkt.
Trouton	Nature <b>58</b> . 191. 1893; <b>62</b> . 562. 1894.	Method of measuring the surface tension of liquids.
Valson	C. R. <b>45</b> . 10; 101. 1857; C. R. <b>46</b> . 95. 1858.	Sur la théorie de l'action capillaire.
„	C. R. <b>69</b> . 1140. 1869.	Sur les actions moléculaires dans le chlore, le brome et le jode.
„	Ann.Chim.Phys. (4) <b>20</b> . 361. 1870.	Etude sur les actions moléculaires fondée sur la théorie de l'action capillaire.
„	C. R. <b>70</b> . 1040. 1870.	„
„	C. R. <b>74</b> . 103. 1872.	Sur une relation entre les actions capillaires et les densités dans les solutions.
Verschaffelt	Comm. Leiden. <b>18</b> . 1895.	Measurements concerning the capillary ascension of liquefied gases.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Verschaffelt	Comm. Leiden. <b>28</b> . 1896.	Measurements on capillary ascension of liquefied carbonic acid near the critical temperature.
„	Comm. Leiden. <b>32</b> . 1896.	On capillary ascension between two cylindrical tubes.
de Vries	Comm. Leiden. <b>6</b> . 1893; Arch. Néerl. <b>28</b> . 210. 1894.	Measurements of the influence of temperature on the capillary elevation of ether.
Volkmann	Wied. Ann. <b>11</b> . 177. 1880.	Ueber den Einfluss der Krümmung der Wand auf die Const. der Capill. bei benetzenden Flüssigkeiten.
„	„ „ <b>16</b> . 321. 1882.	Ueber die Molekular-Anziehung von Flüssigkeiten auf einander.
„	„ „ <b>17</b> . 353. 1882.	Ueber die Cohäsion von Salzlösungen.
„	„ „ <b>53</b> . 664. 1894.	Bemerkungen zu meinen beiden Arbeiten über Capill. aus den Jahren 1880 u. 1882.
„	Lieb. Ann. <b>228</b> . 96. 1885.	Bem. zu den Arbeiten des Herrn Schiff über die Capill.-Const. der Flüssigkeiten.
„	Wied. Ann. <b>28</b> . 135. 1886.	Notiz zu Herrn Quincke's Bem.: „Ueber die Bestimmung der Capill.-Const. von Flüssigk.“
„	„ „ <b>53</b> . 633. 1894.	Ueber die Messung der Oberflsp. des Wassers in Capill. Röhren aus verschiedenen Gläsern.
„	„ „ <b>56</b> . 457. 1895.	Zur Feststellung der wahren Oberflächenspannung des reinen Wassers zwischen 0° und 40°.
„	„ „ <b>62</b> . 507. 1897.	Bemerkungen zu meinen Arbeiten der Jahre 1894/1895.
„	„ „ <b>66</b> . 194. 1898.	Studien über die Oberflächensp. des Wassers in engen Capillar-Röhren.
Warrington	Phil. Mag. (5) <b>48</b> . 498. 1899.	On hydrometers of total immersion.
Waterston	Phil. Mag. (4) <b>15</b> . 1. 1858.	On capillarity and its relation to latent heat.
Watson	Phys. Review <b>12</b> . 257. 1901.	Surface tension at the interface of two liquids determined experimentally by the method of ripples.
Weber	Drud. Ann. <b>4</b> . 718. 1901.	Ueber die Oberflächenspannung mit Oel bedeckter Wasseroberflächen.
Weinberg	ZS. phys. Ch. <b>10</b> . 34. 1892.	Ueber den Zusammenhang der Oberflächensp. des Wassers mit der Temperatur.
Weinstein	Wied. Ann. <b>27</b> . 544. 1886.	Untersuchungen über Kapillarität.
„	(Metr. Beitr. <b>6</b> . Berlin. 1889.)	Kapillaritäts-Untersuchungen.
„	ZS. phys. Chem. <b>7</b> . 71. 1891.	Ueber Aräometer und deren Prüfung.
Wertheim	C. R. <b>44</b> . 1022. 1857.	Sur la capillarité.
„	Pogg. Ann. <b>102</b> . 595. 1857.	Ueber die Capillarität.
„	Ann. Chim. Phys. ( <b>3</b> ) 63. 129. 1861.	Sur la capillarité.
Whatmough	ZS. phys. Chem. <b>39</b> . 129. 1901.	Eine neue Methode zur Bestimmung der Oberflächenspannung.

Verfasser	Ort d. Veröffentlichung	Titel
Wilhelmy	Pogg. Ann. <b>119</b> . 177. 1863.	Ueber die Abhängigkeit der Capill.-Const. des Alkohols von Substanz und Gestalt der benetzten festen Körper.
"	" " <b>121</b> . 44. 1864.	Ueber die Abhängigkeit der Capill.-Coeff. der Flüssigkeiten von ihrer Zusammensetzung.
"	" " <b>122</b> . 1. 1864.	Abhängigkeit der Capill.-Coeff. der Flüssigkeiten von der chem. Beschaffenheit und Gestalt der festen Wand.
Winkelmann	(Breslau, 1891.)	Handbuch der Physik. Bd. I. 197.
Wolf	Ann. Chim. Phys. (3) <b>49</b> . 230. 1857.	De l'influence de la temp. sur les phénomènes qui se passent dans les tubes capillaires.
"	Pogg. Ann. <b>101</b> . 550. 1857; <b>102</b> . 571. 1857.	Einfluss der Temp. auf die Erscheinungen in Haarröhrchen.
Worthington	Proc. Roy. Soc. London <b>25</b> . 261. 498. 1876.	On the forms assumed by drops of liquids falling vertically on a horizontal plane.
"	Proc. Roy. Soc. London <b>32</b> . 362. 1881.	On a point in the theory of pendant drops.
"	Proc. Roy. Soc. London <b>33</b> . 347. 1882; <b>34</b> . 217. 1882.	On impact with a liquid surface.
"	Phil. Mag. (5) <b>15</b> . 198. 1883.	Motion of floating bodies.
"	Proc. Roy. Soc. London <b>36</b> . 351. 1883.	On the surface forces of fluids.
"	Chem. News <b>50</b> . 257. 1884.	On a new capillary multiplier.
"	Phil. Mag. (5) <b>19</b> . 33. 1885.	"
"	Phil. Mag. (5) <b>19</b> . 46. 1885.	On a point in the theory of pendent drops.
"	Phil. Mag. (5) <b>20</b> . 51. 1885.	On the error in Quincke's method of calculating surface tensions from the dimensions of flat drops and bubbles.
Young	Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. 1805.	Essay on the cohesion of fluids.
Zantedeschi	Atti Ist. Venet. (3) <b>1</b> . 3. 1856.	Ricerche sulle leggi della capillarità.

Literatur über spezielle Kapillaritätserscheinungen vgl.

Gehler's Phys. Wörterbuch, 1826. Bd. 2 pag. 35. Brewster, Edinb. Encycl. 1830. (Capillary action.)

Winkelmann, Handbuch der Physik, 1891. Bd. 1 pag. 197. (bis 1887).

EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG

DER

OBERFLÄCHENSPANNUNG  
VON FLÜSSIGKEITEN

DURCH MESSUNG DER WELLENLÄNGE DER  
AUF IHNEN ERZEUGTEN KAPILLARWELLEN

VON

PROF. DR. LEO GRUNMACH

# Experimentelle Bestimmung der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten durch Messung der Wellenlänge der auf ihnen erzeugten Kapillarwellen.

Von Prof. Dr. Leo Grunmach.

---

## 1. Einleitung.

Bei den Kapillaritäts - Untersuchungen, welche in den letzten beiden Decennien von der Normal-Aichungs-Kommission im Anschluss an ihre aräometrischen Fundamentalversuche ausgeführt worden sind, um bei der Feststellung der deutschen Urnormale für Aräometer die von den Kapillaritätserscheinungen herrührenden Unsicherheiten in aller Strenge zu berücksichtigen<sup>1)</sup>, war ausschliesslich die Steighöhenmethode zur Anwendung gekommen, bei welcher die Kapillarkonstante einer Flüssigkeit bestimmt wird aus der Höhe, bis zu welcher sie in einer Kapillarröhre von bekannter Weite ansteigt.

Eine zweite Reihe von solchen Messungen ist in der voraufgehenden Abhandlung „Kapillaritätsuntersuchungen nach der Methode der Steighöhen“ mitgetheilt.

Nun gehören Präcisionsmessungen auf dem Gebiete der Kapillarität zu den schwierigsten der Physik, und es ist bekannt, dass die von den geübtesten Forschern ermittelten Werthe der Kapillarkonstante einer und derselben Flüssigkeit nicht unerhebliche Schwankungen zeigen je nach der Wahl der von ihnen angewendeten Messungsmethode. Deshalb und wegen der erhöhten Bedeutung, welche die sichere Kenntniss der Kapillarkonstanten in neuerer Zeit in Folge der Untersuchungen von van der Waals, von Eötvös, Ramsay und Shields u. a. für die Molekularphysik gewonnen hat, erschien es wünschenswerth und wichtig, noch eine zweite Messungsmethode zur Anwendung zu bringen, welche unabhängig von jeder Annahme über die Grösse

---

<sup>1)</sup> Vergl. Metronomische Beiträge No. 6: Kapillaritätsuntersuchungen und ihre Verwerthung bei der Bestimmung der alkoholometrischen Normale von Dr. B. Weinstein, Berlin 1889; ferner: Metronomische Beiträge No. 7: Ueber die Bestimmung von Aräometern von Dr. B. Weinstein, Berlin 1890 und Wissenschaftliche Abhandlungen der Kaiserlichen Normal-Aichungs-Kommission, II. Heft. Die Dichte, Ausdehnung und Kapillarität von Lösungen reinen Rohrzuckers in Wasser von Dr. F. Plato, Berlin 1900.

des Randwinkels und unabhängig von der Natur und der Benetzungsart der Gefäßwände überdies auch noch da mit Erfolg anwendbar zu sein schien, wo die Steighöhenmethode fast oder ganz versagt, nämlich, wenn es sich um die Untersuchung zäherer Flüssigkeiten, wie konzentrierter Zuckerlösungen, konzentrierter Glycerin- oder Schwefeläure-Mischungen u. s. f. handelt. Als solche Methode erschien die Kapillarwellenmethode besonders geeignet, bei welcher die Kapillarkonstante einer Flüssigkeit bestimmt wird aus der Wellenlänge der Kapillarwellen, die auf der Flüssigkeitsoberfläche durch Schwingungen bekannter Periode erzeugt werden können. Die Mittheilung der nach dieser Methode bei der Normal-Aichungs-Kommission während der letzten Jahre von mir ausgeführten Untersuchungen und deren Ergebnisse soll den Gegenstand der vorliegenden Abhandlung bilden<sup>1)</sup>.

## 2. Erzeugung von Kapillarwellen und Theorie derselben.

Wird eine Chladni'sche Klangscheibe, deren Oberfläche mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht bedeckt ist, zum Tönen erregt, so zeigt die Flüssigkeit in der Nachbarschaft der Vibrationsmittelpunkte eigenthümliche, in ihrer Feinheit von der Tonhöhe abhängige „Kräuselungen“ (crispations), deren Formen und Zustände zuerst von Faraday<sup>2)</sup> für verschiedene Flüssigkeiten und bei mannigfachster Abänderung der Versuchsanordnung beobachtet und beschrieben worden sind. Diese unter der Wirkung des Molekulardruckes auf Flüssigkeitsoberflächen zu Stande kommenden Kräuselungen sind dann später von Scott Russel<sup>3)</sup> eingehender in ihrem Entstehen, insbesondere auf ruhenden Wasserflächen, die durch einen sanften Wind erregt werden, untersucht und „Kapillarwellen“ genannt und in neuerer Zeit durch Herrn L. Matthiessen<sup>4)</sup> an mehreren Flüssigkeiten nach verschiedenen Erregungsmethoden, unter anderen durch Schwingungen mit feinen Spitzen versehener Stimmgabeln studirt worden.

---

<sup>1)</sup> Verfasser hat die Methode auch zur Bestimmung der Oberflächenspannung von geschmolzenen Metallen angewendet und darüber zuerst auf der Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte am 20. September 1898 und dann in der Sitzung der Deutschen Physikal. Gesellschaft zu Berlin am 6. Januar 1899 berichtet. L. Grunmach, Verhandl. d. Deutsch. Physikal. Gesellsch. **1**. Nr. I. p. 13. 1899; Annal. d. Phys. IV, Band 3, p. 659. 1900. Vergl. ferner L. Grunmach, Experimentelle Bestimmung von Kapillaritätskonstanten condensirter Gase. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, Gesamtsitzung vom 26. Juli 1900; Annal. der Phys. IV, Band 4, p. 367. 1901 und L. Grunmach, Experimentelle Bestimmung der Oberflächenspannung flüssiger Luft. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, Gesamtsitzung vom 25. Juli 1901. Annal. d. Phys. IV, Band 6, p. 559. 1901.

<sup>2)</sup> M. Faraday, Philos. Trans. 1831. Pogg. Ann. **26**. p. 193. 1832.

<sup>3)</sup> Scott Russel, Rep. Brit. Assoc. **7**. 1834; **12**. 1842.

<sup>4)</sup> L. Matthiessen, Pogg. Ann. **134**, p. 107. 1868; **141**, p. 375. 1870.

Lord Kelvin<sup>1)</sup> hat dann gelegentlich einer Untersuchung über den Einfluss des Windes auf Wasserwellen unter der Voraussetzung, dass keine Reibung stattfindet, ausgehend von hydrokinetischen Betrachtungen, für Flüssigkeitswellen, welche in hinreichend weiten und hinreichend tiefen Gefäßen unter der gemeinsamen Wirkung der Schwere und der Oberflächenspannung erzeugt werden können, eine Beziehung abgeleitet zwischen ihrer Fortpflanzungsgeschwindigkeit und ihrer Wellenlänge, welche lautet:

$$v^2 = g \frac{\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\alpha}{\sigma}.$$

Hierin bedeuten  $v$  die Fortpflanzungsgeschwindigkeit,  $g$  die Beschleunigung in Folge der Schwere,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $\sigma$  die Dichte und  $\alpha$  die Oberflächenspannung der Flüssigkeit.

Die Diskussion dieser Gleichung führte Lord Kelvin zu der auch experimentell von ihm bestätigten Folgerung, dass es ein Minimum der Fortpflanzungsgeschwindigkeit geben müsse, welches man erhält, wenn man die vorstehende Gleichung nach  $\lambda$  differenziert und hernach  $\frac{dv}{d\lambda}$  gleich Null setzt. Alsdann ergibt sich:

$$\frac{g}{2\pi} - \frac{2\pi}{\lambda^2} \frac{\alpha}{\sigma} = 0$$

und hieraus

$$\lambda_{\min.} = 2\pi \sqrt{\frac{\alpha}{g\sigma}}.$$

Setzt man diesen Werth für  $\lambda$  in die ursprüngliche Gleichung ein, so erhält man für das Minimum der Fortpflanzungsgeschwindigkeit

$$v_{\min.} = \sqrt{2\sqrt{\frac{g\alpha}{\sigma}}}.$$

In diesem Fall werden die beiden Summanden auf der rechten Seite der Gleichung einander gleich, das Glied also, welches  $g$  enthält, gleich dem Gliede, welches  $\alpha$  enthält. Lord Kelvin wendete nun diese Gleichung zunächst nur auf Wasserwellen an und fand, indem er für  $\alpha$  den Gay-Lussac'schen Werth 0,074 in Gramm/Centimeter annahm, für  $\lambda_{\min.} = 1,71$  cm und dementsprechend die kleinste Fortpflanzungsgeschwindigkeit für Wasserwellen gleich 23,11 cm/sec.

Wellen, deren Wellenlänge kleiner ist, als die dem Minimum der Fortpflanzungsgeschwindigkeit entsprechende Wellenlänge, nennt Lord Kelvin „ripples“ (Kräuselungen, Kräuselwellen); sie werden in ihrem Entstehen und

<sup>1)</sup> W. Thomson, Phil. Mag. 42. p. 368. 1871. Von der Thomson'schen Entwicklung, welche in einigen an Prof. Tait gerichteten Briefen enthalten ist, ist am Schlusse dieser Abhandlung eine Uebersetzung als Anhang gegeben.

Fortbestehen nur in geringem Masse durch die Schwere beeinflusst. Mit „capillary ripples“ (Kapillarwellen)<sup>1)</sup> bezeichnet er Wellen von noch kleinerer Wellenlänge. Diese sind von der Schwere fast gänzlich unabhängig und nur durch die Oberflächenspannung bedingt.<sup>2)</sup>

Jeder der beiden Theile, aus denen die rechte Seite der Thomson'schen Gleichung besteht, hat demgemäss eine bestimmte physikalische Bedeutung: Der erste  $g$  enthaltende Summand entspricht Wellen, welche fast nur von der Schwere abhängen, deren Wellenlänge für Wasser grösser als 10 cm ist, während der zweite  $\alpha$  enthaltende Summand Wellen entspricht, welche fast ausschliesslich von der Oberflächenspannung, nicht aber von der Schwere abhängen, und deren Wellenlänge für Wasser kleiner als 0,3 cm ist. Zwischen diesen beiden Werthen der Wellenlänge 0,3 und 10 cm liegen die Wellen, für welche die ganze Formel gilt, welche von der gemeinsamen Wirkung der Schwere und der Oberflächenspannung abhängen. Für ein gegebenes  $v$  liefert die Thomson'sche Gleichung zwei reelle Werthe für  $\lambda$ , welche für den Minimalwerth  $v_{\min.}$  in einander übergehen, so dass das entsprechende  $\lambda_{\min.}$  die natürliche Grenze bildet zwischen den beiden von der Schwere, beziehungsweise von der Oberflächenspannung abhängigen Wellenarten.

Für Kapillarwellen kann man demnach das erste von der Schwere abhängige Glied auf der rechten Seite der Thomson'schen Gleichung vernachlässigen, und man erhält, wenn man

$$v^2 = n^2 \lambda^2$$

setzt, wo  $n$  die Anzahl der Schwingungen der Flüssigkeit in der Sekunde bedeutet,

$$v^2 = n^2 \lambda^2 = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\alpha}{\sigma}, \text{ also}$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \sigma n^2 \lambda^3.$$

<sup>1)</sup> Um „ripples“ auf Quecksilber zu erzeugen, muss die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde mindestens 16 betragen, bei etwa 200 Schwingungen in der Sekunde werden sie zu „capillary ripples“.

<sup>2)</sup> Scott Russel bezeichnet in seiner vorhin citirten Abhandlung „report on waves“ (Brit. Assoc. 12, 1842) Kapillarwellen, welche wesentlich von der Oberflächenspannung abhängen, mit „Wellen III. Ordnung“, während er mit „Wellen II. Ordnung“ die dem ersten Summanden der Thomson'schen Formel entsprechenden, nur von der Schwere abhängigen Wellen bezeichnet. Zweckmässiger dürfte es sein, wofern man die Wellenarten nach Ordnungszahlen eintheilen will, die nur von der Oberflächenspannung abhängigen Kapillarwellen „Wellen III. Ordnung“ zu nennen, „Wellen II. Ordnung“ dagegen solche, die unter der gemeinsamen Wirkung der Schwere und der Oberflächenspannung zu Stande kommen und „Wellen I. Ordnung“ endlich solche, die ausschliesslich von der Schwere abhängen. Den wesentlichen Unterschied zwischen diesen langen Wellen und den Kapillarwellen oder Wellen III. Ordnung hat Scott Russel treffend dahin charakterisirt, dass Wellen III. Ordnung nur unter dem Einfluss einer kontinuierlich wirkenden äusseren Kraft (abgesehen von der Schwere) fortbestehen können und sofort erlöschen, sobald die äussere Kraft zu wirken aufhört, während die Wellen II. Ordnung, wenn einmal erregt, unter der Einwirkung der Schwere allein fortbestehen und fortschreiten.

Mittelst dieser Formel lässt sich also die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit (und zwar in Dynen pro Centimeter) bestimmen, wenn ihre Dichte, die Anzahl ihrer Schwingungen pro Sekunde und deren Wellenlänge (in Centimeter) bekannt sind.

Zur Reduktion auf Gramm/Centimeter ist  $\alpha$  durch  $g_{\text{Berlin}} = 981,28$  zu dividieren, zur Reduktion auf Milligramm/Millimeter noch mit 100 zu multipliciren. In Folgendem soll die Oberflächenspannung stets, wofern nichts Anderes bemerkt ist, in Gramm/Centimeter angegeben werden; dann lautet also die Formel

$$\alpha = \frac{1}{2\pi g} \sigma n^2 \lambda^3.$$

Will man das erste von der Schwere herrührende Glied in der Thomson'schen Formel nicht vernachlässigen, sondern in Rechnung ziehen, was bei Anwendung von Stimmgabeln geringerer Schwingungszahl sogar nothwendig ist, so erhält man als allgemeine Gleichung für die Oberflächenspannung

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \sigma n^2 \lambda^3 - \frac{g \lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} \text{ dynen/cm,}$$

beziehungsweise

$$\alpha = \frac{1}{2\pi g} \sigma n^2 \lambda^3 - \frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} \text{ g/cm.}$$

Um eine Vorstellung von dem Einfluss und der Grösse des von der Schwere herrührenden Korrektionsgliedes  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2}$  zu gewinnen, seien einige numerische Werthe desselben in g/cm, wie sie sich bei Anwendung zweier Stimmgabeln von 157, beziehungsweise 253 Schwingungen pro Sekunde<sup>1)</sup> für Quecksilber, Wasser und Alkohol ergeben, hier mitgetheilt:

Quecksilber $\sigma = 13,552$	Wasser $\sigma = 0,999$	Alkohol $\sigma = 0,796$
für	für	für
$\lambda^2 = 0,209 \text{ cm}$ ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0150 \text{ g/cm}$	$\lambda = 0,272 \text{ cm}$ ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0019 \text{ g/cm}$	$\lambda = 0,186 \text{ cm}$ ist $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0007$
$\lambda = 0,200$ „ „ „ = 0,0137 „		
$\lambda = 0,154$ „ „ „ = 0,0081 „		
$\lambda = 0,143$ „ „ „ = 0,0070 „	$\lambda = 0,193$ „ „ „ = 0,0009 „	$\lambda = 0,138$ „ „ „ = 0,0004

Die experimentelle Bestätigung der Richtigkeit der Thomson'schen Gleichung sowie den Nachweis ihrer Anwendbarkeit zur Bestimmung der

<sup>1)</sup> Stimmgabeln von diesen Schwingungszahlen kamen nämlich bei den im Folgenden zu beschreibenden Versuchen in Anwendung.

<sup>2)</sup> Diese Werthe von  $\lambda$  entsprechen den beobachteten Grenzwerten der Wellenlängen bei Anwendung der beiden Stimmgabeln.

Oberflächenspannung hat nun zuerst Herr L. Matthiessen<sup>1)</sup> geliefert durch sinnreiche, von ihm angegebene und angewendete Messungsmethoden, unter denen uns an dieser Stelle ausschliesslich diejenigen interessiren, bei welchen Kapillarwellen auf Flüssigkeitsoberflächen durch die Schwingungen tönender Stimmgabeln, an deren Zinken feine Spitzen befestigt waren, erregt wurden. Zu diesem Zwecke taucht man eine in einem festen Stative gelagerte Stimmgabel von nicht zu geringer Schwingungsanzahl mit den an ihren beiden Zinken befindlichen Stiften in ein genügend weites und tiefes, mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefülltes Gefäss etwa 1 bis 2 Millimeter tief ein und bringt sie zum Tönen. Es entstehen alsdann auf der Niveaufläche um die Spitzen als Erregungscentren zwei fortschreitende Kreiswellensysteme<sup>2)</sup> und zwischen den Spitzen ein System stehender Interferenzwellen, hyperbelförmiger, in der Axe äquidistanter Rippungen, deren Knoten und Bäuche sich durch die Spiegelwirkung der gekrümmten Flüssigkeitsoberfläche als scharfe, dunkle und helle Linien abheben. In einer früheren Arbeit hatte Herr Matthiessen<sup>3)</sup> mittelst einer von Lissajous angegebenen Methode die Isoperiodicität der Schwingungen der erregenden Stimmgabel mit denen der Flüssigkeitstheilchen experimentell nachgewiesen, so dass die Voraussetzung, welche wir vorhin bei der Besprechung der Thomson'schen Formel machten, nämlich dass zur Berechnung der Oberflächenspannung die Kenntniss der Schwingungszahl der Flüssigkeit in der Sekunde bekannt sei, gleichbedeutend ist mit der leicht zu erfüllenden Bedingung, dass die Schwingungsanzahl der erregenden Stimmgabel bekannt sei. Dieselbe lässt sich aber mit grosser Genauigkeit bequem bestimmen.

Fast gleichzeitig mit Herrn Matthiessen hat Lord Rayleigh<sup>4)</sup> eine sehr sinnreiche, aber complicirtere, auf stroboskopischen Erscheinungen beruhende Erregungsmethode mittelst tönender Stimmgabeln angewendet, um die Veränderungen zu studiren, welche die Oberflächenspannung des Wassers erfährt, wenn dies durch äusserst dünne Fettschichten bedeckt ist. Aus der Wellenlänge der erzeugten Kapillarwellen lässt sich die Reinheit der Flüssigkeit beurtheilen; je grösser die Wellenlänge, desto reiner ist die Wasseroberfläche, weil eben reines Wasser die grösste Oberflächenspannung aufweist.

Herr C. Michie Smith<sup>5)</sup> hat dann bald darauf photographische Aufnahmen von Kapillarwellen, die ebenfalls durch tönende, auf elektromagnetischem

<sup>1)</sup> L. Matthiessen, *Wied. Ann.* **38**, p. 118, 1889. Vergl. auch O. Riess, *Exner's Repert.* **26**, p. 102, 1890; ferner W. Ochsé, *Exner's Repert.* **26**, p. 641, 1890.

<sup>2)</sup> Vergl. L. Matthiessen, *Wied. Ann.* **32**, p. 635, 1887.

<sup>3)</sup> L. Matthiessen, *Wied. Ann.* **32**, S. 626, 1887.

<sup>4)</sup> Lord Rayleigh, *Phil. Mag.* (5), **30**, p. 336, 1890; *Proc. Roy. Soc.* **47**, p. 367, 1890. Vergl. ferner die älteren Untersuchungen desselben Autors über diesen Gegenstand *Phil. Mag.* April und Juli 1883.

<sup>5)</sup> C. Michie Smith, *Proc. Roy. Soc. Edinb.* **17**, p. 115, 1890.

Wege erregte Stimmgabeln auf Quecksilber und auf Wasser erzeugt worden waren, gemacht und durch Ausmessung derselben Werthe für die Oberflächenspannung dieser Flüssigkeiten abgeleitet, welche indessen starke Abweichungen unter einander zeigen, so dass der Verfasser selbst sie nur als vorläufige bezeichnen zu dürfen glaubt. Herr Smith hat auch Wellen dadurch erzeugt, dass er das die zu untersuchende Flüssigkeit enthaltende Gefäss auf den Resonanzkasten der tönenden Stimmgabel setzte und den Einfluss auf die Wellen untersuchte, wenn er Material, Grösse und Form des Gefässes änderte. Diese Erzeugungsart erwies sich indessen als sehr unsicher, während er übereinstimmendere (bis zu 6 Procent) Resultate erhielt, wenn er eine Kante des Gefässes (am zweckmässigsten eine flache Entwicklungsschale aus Ebonit) den unteren Theil einer Zinke der tönenden Stimmgabel berühren liess und das Gefäss so weit mit der zu untersuchenden Flüssigkeit füllte, bis die Wellen möglichst scharf erschienen. Solche photographische Aufnahmen von Kapillarwellen auf Quecksilber sind endlich noch vor einigen Jahren ausgeführt worden von Herrn I. H. Vincent<sup>1)</sup>, aber weniger in der Absicht, um durch deren Ausmessung Werthe für die Oberflächenspannung des Quecksilbers zu erhalten, als um an ihnen die Erscheinungen der Spiegelung, der Interferenz und der Beugung zu studiren und darzustellen.

Herr Matthiessen<sup>2)</sup> hatte bei seinen Versuchen, die sich auf Quecksilber, Wasser, Alkohol, Schwefeläther und Schwefelkohlenstoff bezogen, die Stifte an den Zinken der erregenden Stimmgabeln einfach mit Klebwachs befestigt und die Wellenlängen  $\lambda$  der erzeugten Kapillarwellen gemessen, indem er über der Flüssigkeitsoberfläche einen Stangenzirkel hielt, dessen Spitzen auf zwei beliebige Knotenlinien einstellte und die Anzahl der zwischen den Spitzen liegenden Knotenlinien der Interferenzwellen direkt abzählte. Ist  $d$  der Abstand der Zirkelspitzen,  $m$  die Anzahl der zwischen ihnen liegenden Knotenlinien, so ist die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2 d}{m + 1}.$$

Abgesehen von der Schwierigkeit dieser Abzählung bei hohen Tönen, bei welchen die Knotenlinien sehr dicht an einander liegen, erscheint die Art der Wellenlängenmessung mittelst des Stangenzirkels für Präcisionsmessungen nicht ausreichend. Ebenso ist die von Herrn Matthiessen gemachte Voraussetzung, dass die Tonhöhe der Stimmgabel durch Anbringung der Spitzen nicht merklich geändert werde, für feinere Messungen nicht zulässig. Die

<sup>1)</sup> J. H. Vincent, Phil. Mag. (5) 43, p. 411. 1897. Vergl. ferner Dorsey, Phil. Mag. (5) 44, p. 369. 1898.

<sup>2)</sup> L. Matthiessen, Wied. Ann. 38, p. 124. 1889.

Befestigung der Spitzen muss ferner eine genauere und sicherere sein, weil deren Lockerung eine Quelle der Unsicherheit in der Bestimmung der Schwingungsdauer bilden kann. Da in der Gleichung für die Oberflächenspannung die Schwingungsanzahl in der zweiten und die Wellenlänge in der dritten Potenz vorkommt, so hat eine Unsicherheit in der Bestimmung dieser beiden Grössen eine zweimal, beziehungsweise dreimal so grosse Unsicherheit in der Bestimmung der Oberflächenspannung zur Folge. Um numerisch den Einfluss festzustellen, welchen die Unsicherheit in der Kenntniss der Schwingungsanzahl, beziehungsweise der Wellenlänge oder der Dichte der zu untersuchenden Flüssigkeit auf die Genauigkeit der Bestimmung ihrer Oberflächenspannung hat, differenzirt man die Gleichung

$$\alpha = \frac{n^2 \lambda^3 \sigma}{2 \pi}$$

der Reihe nach partiell nach  $n$ , beziehungsweise nach  $\lambda$  und nach  $\sigma$ . Man erhält alsdann

$$\partial \alpha = \frac{2n \lambda^3 \sigma \partial n}{2 \pi},$$

$$\partial \alpha = \frac{3n^2 \lambda^2 \sigma \partial \lambda}{2 \pi}$$

und

$$\partial \alpha = \frac{n^2 \lambda^3 \partial \sigma}{2 \pi}.$$

Nimmt man nun an, dass die Unsicherheit in der Bestimmung von  $n$  eine Schwingung in der Sekunde, in der Bestimmung von  $\lambda$  0,01 mm und in der Bestimmung von  $\sigma$  eine Einheit der dritten Decimale betrage, so ergibt sich, dass bei Anwendung einer Stimmgabel von 157 Schwingungen in der Sekunde<sup>1)</sup> die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung beeinflusst wird durch

		bei Quecksilber,	bei Wasser
einen Fehler von $\partial n = 1$		um etwa 1,3 Procent	1,3 Procent
" " " $\partial \lambda = 0,01 \text{ mm}$		" 1,4 "	1,1 "
" " " $\partial \sigma = 0,001$		" 0,01 "	0,1 " ,

und dass bei Anwendung einer Stimmgabel von 253 Schwingungen in der Sekunde<sup>2)</sup> die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung beeinflusst wird durch

		bei Quecksilber,	bei Wasser
einen Fehler von $\partial n = 1$		um etwa 0,8 Procent	0,8 Procent
" " " $\partial \lambda = 0,01 \text{ mm}$		" 2,0 "	1,5 "
" " " $\partial \sigma = 0,001$		" 0,01 "	0,1 "

<sup>1)</sup> Hierbei ist für Quecksilber  $\lambda = 2,09$  und für Wasser  $\lambda = 2,71 \text{ mm}$

<sup>2)</sup> " " " " "  $\lambda = 1,52$  " " "  $\lambda = 1,98$  "

Die Stimmgabeln, welche bei den im Folgenden mitgetheilten Versuchen zur Anwendung kamen, hatten abgerundet die Schwingungszahlen 253, beziehungsweise 157, vergl. Seite 112 u. 113.

Man erkennt hieraus, dass die Genauigkeit der Bestimmung der Oberflächenspannung vorzugsweise von der Sicherheit abhängig ist, mit welcher die Schwingungszahl der erregenden Stimmgabel bekannt ist, und von der Genauigkeit, mit welcher die Wellenlänge der Kapillarwellen gemessen werden kann.

### 3. Beschreibung der Apparate und der Versuchsanordnung.

#### a. Die Stimmgabeln und Stative.

Die Hauptanforderung, welche man an eine Stimmgabel zur Erzeugung bequem und sicher messbarer Kapillarwellen zu stellen hat, ist die, dass ihr Ton ein starker und möglichst lange andauernder ist. Auf die Dauer des Tönens sind aber nicht nur die Natur und die Behandlungsweise des Materials und die Dämpfung der Flüssigkeit, sondern auch Form und Dimensionen der Stimmgabel von grösstem Einflusse. Dass die Gabel mit ihrem Stiel aus einem Stücke nicht gehärteten Gussstahles bestehen und durchaus symmetrisch gebaut sein soll, dass ihre Zinken prismatisch sein, überall gleichen rechteckigen Querschnitt haben, einander parallel stehen und beim Uebergang zu ihrem Verbindungsstücke, dem Sattel, dessen innerer Theil halbkreisförmig zu wählen ist, keine Knicke haben sollen, sind Bedingungen, von deren Erfüllung die Physikalisch-Technische Reichsanstalt Prüfung und Beglaubigung abhängig macht. Durch sehr lange Dauer des Tönens zeichnen sich die von Herrn Mechaniker C. Reichel konstruirten Stimmgabeln aus, deren Zinken einen quadratischen Querschnitt und sehr geringen Abstand von einander haben; sie eignen sich indessen nicht für diese Versuche, weil wegen der grossen Nähe der Zinken nur eine sehr geringe Anzahl der Interferenzkurven zwischen ihnen erzeugt werden kann. Bei den in Folgendem mitzutheilenden Versuchen kamen zwei von Herrn Mechaniker Hans Heele aus bestem Dannemora-Gussstahle hergestellte Stimmgabeln zur Verwendung, deren Formen durch Fig. 1 und Fig. 3 dargestellt sind, und deren Massverhältnisse sich nach vielen mit verschieden dimensionirten Stimmgabeln ausgeführten Vorversuchen als die günstigsten ergeben hatten.

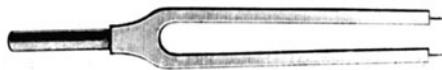


Fig. 1.

Bei der durch Fig. 1 dargestellten, mit P. T. R. II. 38 bezeichneten Stimmgabel beträgt die Länge der Zinken 15 cm, die Breite des rechteckigen Querschnitts derselben 1,4 cm und die Dicke 0,7 cm. Der innere Abstand der unteren

Zinkenenden beträgt 1,4 cm, der weiteste oben am Sattel 1,9 cm. In die unteren Flächen der Zinken, und zwar genau in die Mitten derselben, sind feine Gewinde gebohrt, in welche die beiden genau gleich langen (1,3 cm), mit Gewinden versehenen Stahlspitzen fest eingeschraubt sind. Sie liegen in einer Ebene, ihr Abstand beträgt abgerundet 2,05 cm. Die Schwingungszahl ist von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt mit grösster Genauigkeit bestimmt und durch die Gleichung gegeben

$$n_t = 253,13 - 0,0025 (t - 19^\circ,1) \pm 0,05,$$

wo  $n_t$  die Anzahl der ganzen (Doppel-) Schwingungen ist, die die Stimmgabel bei einer Temperatur von  $t^\circ$  C. ausführt, wenn sie auf dem zugehörigen, gleich zu beschreibenden Stative mit kleiner Amplitude und mit nach unten hängenden Zinken schwingt. Mit ihrem Stiel ist die Stimmgabel in einen starken prismatischen eichenen Halter von quadratischem Querschnitt unverrückbar

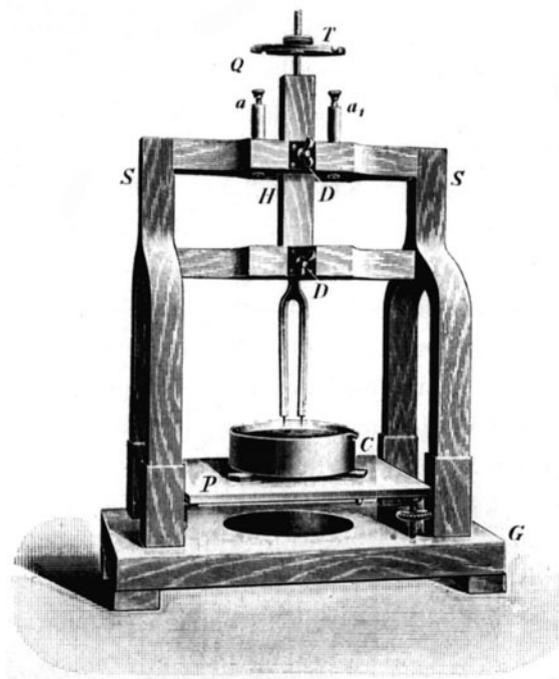


Fig. 2.

fest eingeschraubt und wird bei den Versuchen in vertikaler Lage in einem Stative von folgender Form (Fig. 2) befestigt. Eine starke mittelst (in der Figur nicht sichtbarer) Stellschraube nivellirbare Grundplatte  $G$  trägt zwei solide vertikale Säulen  $S$ , welche durch zwei starke, parallele, in derselben Vertikalebene liegende horizontale Querbalken mit einander verbunden sind. In der Mitte dieser Querbalken befinden sich quadratische Oeffnungen, welche

genau gleich gross sind und vertikal unter einander liegen, so dass durch sie hindurch der quadratisch geformte Stimmgabelhalter  $H$  mit sanfter Reibung geführt und durch zwei Druckschrauben  $D$  festgeklemmt werden kann. Eine Feinverstellung der Stimmgabel in vertikaler Richtung kann nach Lösen der beiden Druckschrauben  $D$  und nach Festklemmung des Querstückes  $Q$  bei  $a$  und  $a_1$ , mittelst des am oberen Ende des Stimmgabelhalters befindlichen Schraubengewindes  $T$  bewirkt werden.

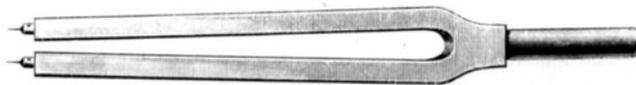


Fig. 3.

Bei der zweiten, grösseren, durch Fig. 3 dargestellten, mit P. T. R. II. 189 bezeichneten Stimmgabel beträgt die Länge der Zinken bis zum Sattel 24 cm, der rechteckige Querschnitt derselben hat 2,6 cm Breite und 1,2 cm Dicke, der innere Abstand der Zinken ist am unteren Ende 0,7 cm, der weiteste am Sattel 1,8 cm. Anstatt der Stahlspitzen sind in die unteren Flächen, und zwar wieder in die Mitten derselben, auf das Sorgfältigste gearbeitete Platinspitzen eingeschraubt, die in einer Ebene liegen, und deren Abstand 1,8 cm beträgt. Mit ihrem Stiel ist die Gabel wieder in einen sehr starken prismatischen Halter von gleichseitig dreieckigem Querschnitte fest eingeschraubt, welcher in einem dem vorhin beschriebenen ähnlichen, nur bei weitem stärker gebauten Stativ auf- und abbewegt und befestigt werden kann. Die Vertikalbewegung wird mittelst Trieb und Zahnstange bewirkt. Vergl. Fig. 5, S. 116.

Die Anzahl der ganzen oder Doppelschwingungen, welche die Stimmgabel bei der Temperatur  $t^\circ$  C. in der Sekunde ausführt, wenn sie in dem dazu gehörigen Stative mit nach unten hängenden Zinken eingespannt mit kleiner Amplitude schwingt, ist nach Bestimmungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt durch die Formel gegeben:

$$n_t = 156,94 - 0,016 (t - 19) \pm 0,03.$$

### b. Die Flüssigkeitsgefässe.

Die zu untersuchenden Flüssigkeiten befanden sich in hinreichend tiefen und weiten Gefässen, um störende Einfüsse, welche durch Reflexion der Wellen an den Wänden, sowie durch Reibung an der Bodenfläche hervorgerufen werden könnten, auszuschliessen, und zwar anfänglich in einem cylindrischen Porzellangefässe  $C$  von 15,5 cm Durchmesser und 4,5 cm Tiefe, welches auf einer starken, durch drei Stellschrauben zu horizontirenden Eisenplatte  $P$

ruhte, die auf die Grundplatte des Stativs aufgesetzt war (vergl. Fig. 2). Im Laufe der Versuche erwies sich indessen diese Aufstellung nicht ausreichend, um fremde störende Erschütterungen der Flüssigkeitsoberfläche auszuschliessen.

Durch die Schwingungen der erregenden Stimmgabel wurden nämlich, wenn auch kleine, so doch merkbare Vibrationen des Stimmgabelstativs und also auch der Grundplatte hervorgerufen, die auch auf die Flüssigkeitsoberfläche störend einwirkten. Zur Beseitigung derselben wurde deshalb bei den

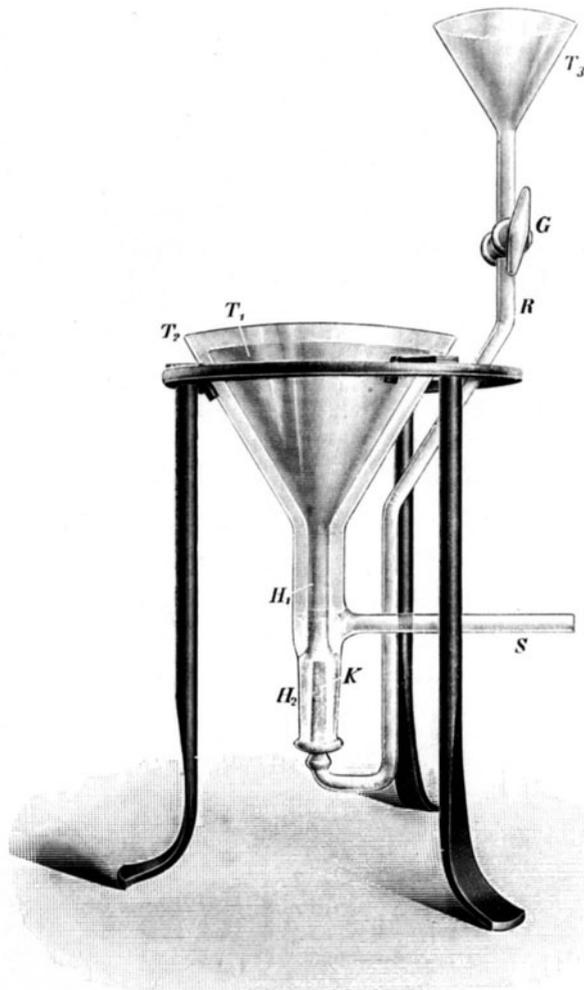


Fig. 4.

späteren Versuchen in der Grundplatte des Stativs ein grosser kreisförmiger Ausschnitt gemacht, durch welchen hindurchragend das Flüssigkeitsgefäss auf einem besonderen dreifussartigen Untersatze ruhte, sodass also Flüssigkeitsgefäss und Stimmgabelstativ, beide unabhängig von einander, fest aufgestellt waren. Um schliesslich aber auch noch von gewissen, die Oberflächenspannung in hohem Maasse beeinflussenden Nachwirkungserscheinungen

unabhängig zu werden, welche zuerst von Herrn Quincke<sup>1)</sup> als „elastische Nachwirkung“ bei Flüssigkeitsoberflächen bezeichnet und in eingehender Weise untersucht worden sind, und die darin bestehen, dass die Oberflächenspannung der Flüssigkeiten, wenn letztere mit der atmosphärischen Luft in Berührung stehen, — vielleicht durch allmähliche Verunreinigung durch dieselbe — mit der Zeit stark abnimmt, und zwar für verschiedene Flüssigkeiten um verschiedene Beträge, die bis zu 30 Procent und mehr ansteigen, so ist als Flüssigkeitsgefäß ein Doppeltrichterapparat angewendet worden, welcher es ermöglicht, in jedem beliebigen Zeitmoment eine frische neue Flüssigkeitsoberfläche herzustellen und unmittelbar darauf, so zu sagen in statu nascendi die Oberflächenspannung derselben zu bestimmen.

Fig. 4 stellt eine einfache Form des Doppeltrichterapparats<sup>2)</sup> dar, welcher im Laufe der Untersuchungen noch zweckmässige Abänderungen und Verbesserungen erfahren hat (vergl. S. 116). Der Trichter  $T_1$ , dessen oberer Rand eben geschliffen ist und einen Durchmesser von etwa 10 cm hat, ist mit seinem Halse  $H_1$  genau in den Hals  $H_2$  eines ihn concentrisch umgebenden weiteren Trichters  $T_2$  eingeschliffen. In den Hals  $H_1$  des ersten Trichters ist wieder genau eingeschliffen der Konus  $K$ , welcher den kürzeren Schenkel einer U-förmigen Glasröhre  $R$  bildet, die nach oben abbiegt und in den Trichter  $T_3$  endigt, von dem sie durch den Glashahn  $G$  abgeschlossen werden kann. Der Doppeltrichter ruht auf drei mit Kautschuk überzogenen Nasen eines Dreifusses, welcher mittelst der drei Stellschrauben der Grundplatte, auf welcher er ruht, so eingestellt wird, dass der obere Rand des Trichters  $T_1$  genau horizontal steht. Wird nun die zu untersuchende Flüssigkeit aus einem in geeigneter Weise aufgestellten Behälter in den Trichter  $T_3$  geleitet, so ist ersichtlich, dass man mittelst des Hahnes  $G$  in jedem Moment eine frische Oberfläche im Trichter  $T_1$  herstellen kann, während die überfliessende Flüssigkeit durch das seitlich am Trichter  $T_2$  angebrachte Abflussrohr  $S$  abfließt. Es braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden, dass auf die Reinigung der Flüssigkeitsgefässe die grösste Sorgfalt verwendet wurde. Zu diesem Zwecke wurden sie mit reiner concentrirter Schwefelsäure, welcher etwas Salpetersäure zugesetzt worden war, ausgespült, mit reinem destillirten Wasser abgewaschen, hierauf in destillirtem siedenden Wasser stundenlang erhitzt, auf das sorgfältigste getrocknet und geraume Zeit von der zu untersuchenden Flüssigkeit durchströmt, bevor mit den Messungen derselben begonnen ward.

Der soeben beschriebene Doppeltrichterapparat kam ausschliesslich bei den Versuchen mit Quecksilber zur Verwendung. Bei den Messungen der

<sup>1)</sup> G. Quincke, Pogg. Ann. **160**, p. 568, 1877; ferner Wied. Ann. **52**, p. 4 1894.

<sup>2)</sup> Das Verfahren, auf diese Weise reine Wasser- und Quecksilberoberflächen herzustellen, ist zuerst von Herrn W. C. Röntgen, Wied. Ann. **46**, p. 152 angegeben worden.

anderen Flüssigkeiten wurde der grössere, in Fig. 5 dargestellte Apparat angewendet, welcher nach demselben Principe konstruirt ist. Die zu untersuchende Flüssigkeit wird bei Anwendung des Pressluftballs  $D$  aus der Woolf'schen Flasche  $F$  durch das drei Mal rechtwinklig gebogene Steigrohr  $S$ , welches, wenn es mit Flüssigkeit angefüllt ist, wie ein Heber wirkt, unter Vermittelung zweier federnder Glasspiralen in die innere trichterförmige Schale  $T_1$  geleitet, deren oberer Rand eben geschliffen ist und einen Durchmesser von etwa

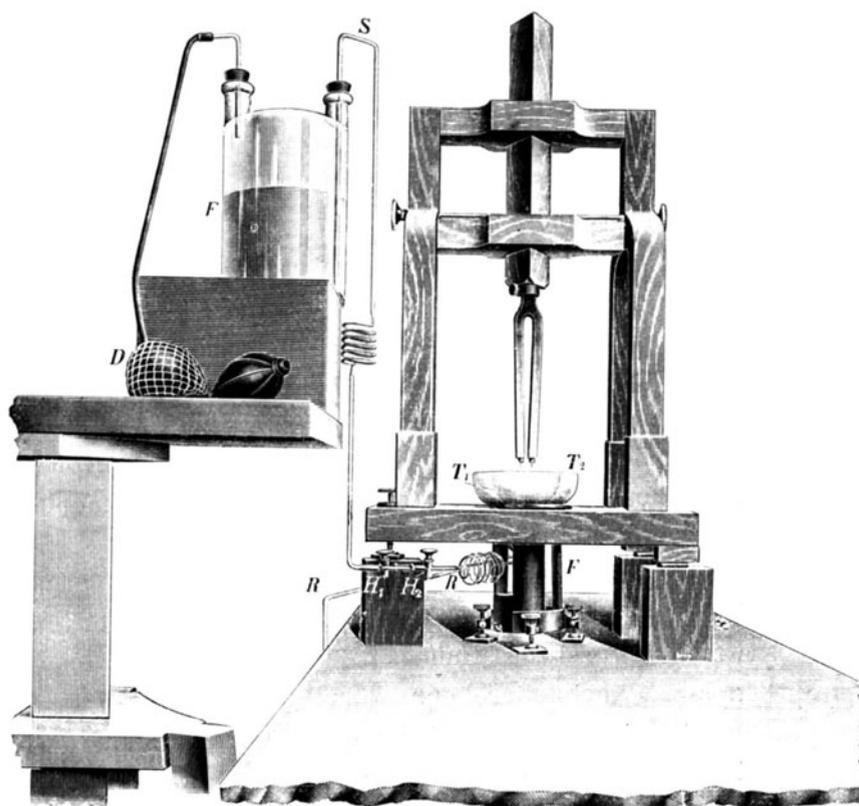


Fig. 5

11 cm hat. Durch die Hähne  $H_1$  und  $H_2$  kann der Zufluss regulirt, beziehungsweise abgeschlossen werden, während die über den Rand von  $T_1$  überfliessende Flüssigkeit durch das seitlich am Halse des  $T_1$  umschliessenden Trichtergefässes  $T_2$  angeschmolzene Abflussrohr  $R$  abfliesst. Der Doppeltrichter ruht wieder auf einem starken Dreifusse, der mittelst seiner auf Gummipplatten stehenden drei Stellschrauben so eingestellt wird, dass der obere eben geschliffene Rand von  $T_1$  genau horizontal steht.

### c. Mikrometermikroskop zur Messung der Wellenlängen.

Bei der Genauigkeit, mit welcher die Tonhöhen, beziehungsweise die Schwingungszahlen der beiden beschriebenen Stimmgabeln bestimmt sind, hängt die Genauigkeit der ganzen Messungsmethode, wie aus der auf Seite 110 durchgeführten Diskussion der Fehlerquellen ersichtlich ist, fast ausschliesslich von der Sicherheit und Genauigkeit ab, mit welcher die Wellenlängen der Kapillarwellen gemessen werden können. Das zuerst angewendete, nach meinen Angaben von Herrn Mechaniker Hans Heele ausgeführte Ablesemikroskop hatte folgende Einrichtung (Fig. 6):



Fig. 6.

Eine solide, mittelst dreier Stellschrauben horizontal zu stellende Grundplatte *G* trägt eine starke vertikale Hülse *H*, in welcher sich die Säule *S* auf- und abbewegen, drehen und durch die Flügelschraube *D* festklemmen lässt. An ihrem oberen Ende trägt die Säule eine horizontale Axe, um welche sich das eigentliche Mikrometermikroskop *F* drehen lässt. Durch eine oben befindliche, in der Figur nicht sichtbare Klemmschraube kann es in jeder

Neigung festgestellt werden. Unmittelbar hinter dem Okulare befindet sich der Mikrometerschlitten  $M$ , der zwei in derselben Ebene liegende Fadenkreuzpaare enthält, welche einzeln durch besondere Schrauben  $T_1$  und  $T_2$  relativ gegen einander bewegt und in einer beliebigen gegenseitigen Entfernung, die im Maximum dem Abstände (2,05 cm) der beiden Stimmgabelspitzen entspricht, eingestellt werden können. Unabhängig von diesen Fadenkreuzpaaren lässt sich in einer zu ihrer Ebene parallelen und von ihr um die Fadendicke entfernten Ebene ein (dritter) vertikaler Spinnwebfaden mittelst der feinen Mikrometerschraube  $A$  bewegen, welche an ihrem Ende mit einer in 100 Theile getheilten Messtrommel versehen ist. Mittelst der Schraube  $B$  wird das Ablesemikroskop auf die richtige Sehweite eingestellt.

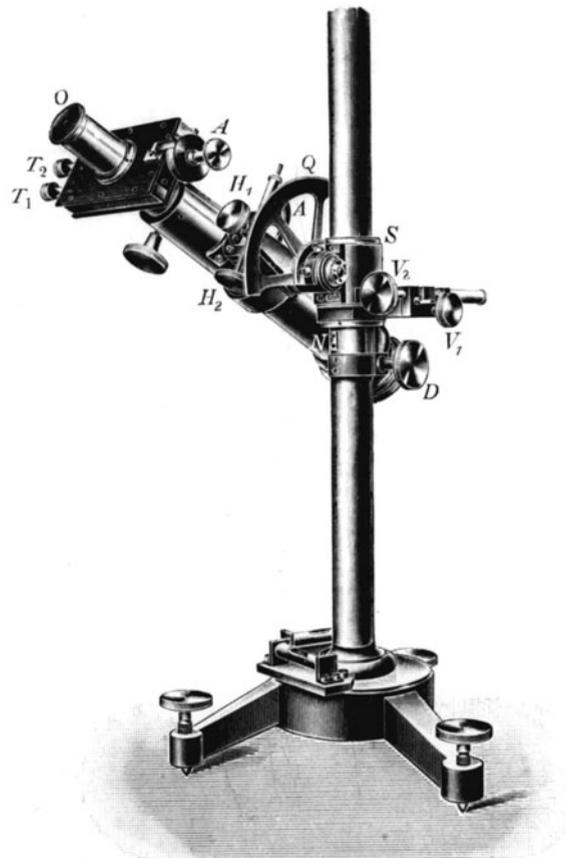


Fig. 7.

Im Laufe der Versuche ist das Ablesemikroskop mit mehrfachen Verbesserungen und Justirungsvorrichtungen versehen worden und hat schliesslich die durch Fig. 7 dargestellte, nach meinen Angaben von der Firma Schmidt und Hänsch ausgeführte Form gewonnen, in der es als Universalinstrument, als Ablesemikroskop oder -Fernrohr und als Kathetometer verwendet werden kann. Nach Lösen der Druckschraube  $D$  kann der das Messinstrument

tragende Schlitten  $S$  längs der vertikalen Säule auf- und abbewegt und in jeder Höhe durch sie festgeklemmt werden. Das Schraubenpaar  $V_1$  und  $V_2$  vermittelt die gröbere und mikrometrische Drehung um die Vertikalaxe, das Schraubenpaar  $H_1$  und  $H_2$  um die horizontale Axe; die Neigung gegen letztere kann durch die Alhidade  $A$  an dem getheilten Quadranten  $Q$  abgelesen werden. Da die vertikale Säule eine feine Millimetertheilung enthält, und der Schlitten  $S$  mit einem Nonius versehen ist, kann das Instrument auch als Kathetometer benutzt werden. Die Bedeutung und Wirkungsweise der anderen Schrauben ist dieselbe, wie bei dem einfacheren Instrumente. Das Okular  $O$  kann durch eine Abbe'sche Autokollimationsvorrichtung ersetzt werden, welche es ermöglicht, die optische Axe des Mikrometermikroskops senkrecht zur Stimmgabelachse und zu der durch die beiden Stimmgabelspitzen bestimmten Ebene zu stellen. Zu diesem Zwecke wird ein geeignet gefasster Planspiegel unten an den Stimmgabelzinken derart befestigt, dass seine Spiegelfläche sanft gegen die Stimmgabelspitzen drückt und, ähnlich wie beim Gauss'schen Okulare, das Koincidiren des seitlich beleuchteten Fadensystems mit dem vom Planspiegel reflektirten Bilde desselben bewirkt.

#### d. Beleuchtungsvorrichtung.

Beleuchtet wurde die Flüssigkeitsoberfläche in folgender Weise: Hinter dem Stimmgabelstative befand sich in einem besonderen Stative verstellbar ein schwarzer Metallschirm, in und um dessen Mitte sich eine kreisförmige Scheibe drehen lässt. Diese ist diametral durchschnitten, und ihre eine Hälfte lässt sich mittelst eines Knopfes schieberartig parallel zur Schnittlinie verschieben, sodass ein mehr oder weniger breiter, während der Beobachtungen vertikal (oder horizontal) gestellter Spalt gebildet werden kann, welcher durch eine hinter ihm befindliche Lichtquelle — Naphtalingasflamme oder elektrische Glühlampe oder Auer'sche Gasglühlichtlampe — nebst Beleuchtungslinse beleuchtet ward. Um — für die Messung des Abstandes der Stimmgabelspitzen — diffuses Licht zu erhalten, wurde vor dem Spalt eine dünne mattgeschliffene Glasplatte oder ein Schirm von transparentem Papier angebracht. Die optische Axe des Ablesemikroskops, die Stimmgabelaxe und der Spalt liegen in einer und derselben Vertikalebene, und zwar befinden sich Lichtquelle, Beleuchtungslinse und Spalt in solcher Entfernung und Höhe hinter dem Flüssigkeitsgefäße, dass das von der Flüssigkeitsoberfläche reflektirte Spaltbild genau in der Mitte des Gesichtsfeldes des passend geneigten Mikrometermikroskops erscheint.

### e. Messverfahren.

Zur Ausführung der eigentlichen Messungen verfährt man nun in folgender Weise: Nachdem Ablesemikroskop, Stimmgabelstativ und Spalt vertikal gestellt und deren Axen, wie vorhin angegeben, in eine und dieselbe Vertikalebene gebracht sind, wird das Ablesemikroskop auf solche Sehweite eingestellt, dass sowohl die Stimmgabelspitzen, wenn sie bis zur Berührung mit der Flüssigkeitsoberfläche gesenkt sind, bei diffuser Beleuchtung scharf in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheinen, als auch die Kapillarwellen, welche auftreten, wenn die Stimmgabel mit ihren Spitzen 1 bis 2 mm tief in die Flüssigkeit getaucht, fest eingespannt und hierauf zum Tönen erregt wird. Von der ursprünglichen Absicht, die Stimmgabel auf elektromagnetischem Wege zu erregen, habe ich später Abstand genommen, nachdem mehrere mit anderen Stimmgabeln nach dieser Richtung hin angestellte Versuche ergeben hatten, dass die Schwingungszahl der Stimmgabel durch deren abwechselnde Magnetisierung und Entmagnetisierung, sowie durch Aenderung der jeweiligen Einstellung des elektrischen Kontakts, welcher das Forttönen veranlasst, und

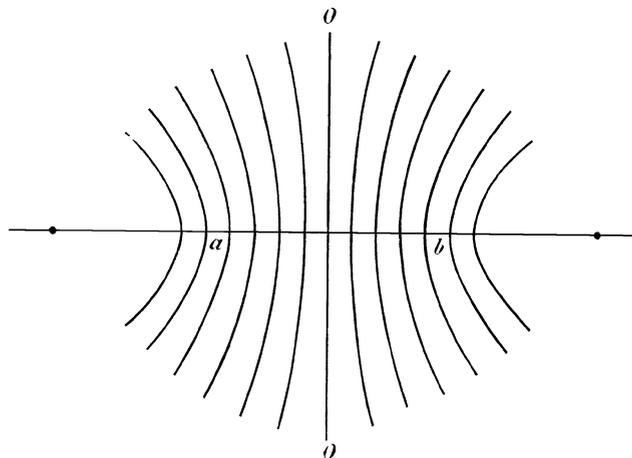


Fig. 8.

wahrscheinlich auch der Stärke des erregenden Stromes nicht unerhebliche Aenderungen erfahren kann. Deshalb erfolgte die Erregung der Stimmgabel stets durch Anschlagen der unteren Zinkenenden mittelst eines Kork- oder Gummihammers. Sobald sich die Interferenzwellen scharf ausgebildet haben, werden die Kreuzungspunkte der durch die beiden Schrauben  $T_1$  und  $T_2$  zu bewegendes Fadenkreuzpaare des Ablesemikroskops (Fig. 6 und 7) auf die in der Axe der Hyperbeln liegenden Punkte  $a$  und  $b$  zweier symmetrisch zur Mittelachse  $00$  liegenden Interferenzkurven (Fig. 8) eingestellt, hierauf die Anzahl der zwischen  $a$  und  $b$  liegenden Intervalle mittelst des durch die Messschraube  $A$  zu bewegendes Vertikalfadens abgezählt und dann die Entfernung  $\overline{ab}$  gemessen

durch die Differenz der beiden Ablesungen, die man an der Trommel der Messschraube erhält, einmal, wenn der Vertikalfaden auf  $a$  und dann, wenn er auf  $b$  eingestellt wird. Diese Ablesung kann — und darin liegt der Vorzug dieser Messanordnung — in aller Ruhe ausgeführt werden, auch wenn die Schwingungen der Gabel und also auch die Kapillarwellen erloschen sind, da die Punkte  $a$  und  $b$  fixirt sind. Man erhält auf diese Weise die Entfernung  $\overline{ab}$  ausgedrückt in Theilen der Messschraube. Zur Reduktion derselben auf Millimeter, beziehungsweise zur Auswerthung der Mikrometerschraube selbst, wird mittelst derselben vor und nach jeder Wellenlängenmessung die Entfernung der Stimmgabelspitzen, während sie die Flüssigkeitsoberfläche berühren, gemessen und diese Entfernung andererseits von Zeit zu Zeit auf das Sorgfältigste mittelst eines Horizontalkomparators bestimmt. Denn da die Mikrometerschraube am Okulare liegt, ändert sich ihr Schraubenwerth mit ihrer Entfernung vom Messobjekt und muss daher bei jeder Messungsreihe besonders auf die angegebene Art bestimmt werden.

Da die hyperbolischen Interferenzkurven nur in ihrer Achse, d. i. in der Verbindungslinie der beiden Erregungscentren, äquidistant sind, so müssen die Einstellungen genau in dieser Linie erfolgen. Da ferner in nächster Umgebung der Erregungscentren störende Strömungen der Flüssigkeit in der Richtung der Wellenbewegung auftreten können, welche die Wellenlänge der Interferenzwellen daselbst zu gross erscheinen lassen, so darf man nicht die in unmittelbarer Nähe der Stimmgabelspitzen, sondern erst die in einiger Entfernung von denselben sich ausbildenden Kurven zum Gegenstande der Messung machen, zumal auch die Knotenlinien in nächster Nähe der Spitzen stets mehr oder weniger unscharf erscheinen.

#### f. Die untersuchten Flüssigkeiten.

Der Untersuchung unterworfen worden sind: Quecksilber, welches im Vakuum destillirt worden war, destillirtes Wasser, und zwar sowohl käuflich bezogenes wie solches, welches kurz vor den Versuchen in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destillirt worden war, ferner absoluter Alkohol, wässerige Zuckerlösungen verschiedener Konzentration, welche aus chemisch reinem Rohrzucker und destillirtem Wasser hergestellt und hernach unter Erwärmung von der absorbirten Luft mittelst einer Wasserstrahlluftpumpe möglichst vollständig befreit worden waren, russisches Leuchtöl und amerikanisches Mineralöl und endlich wässerige Schwefelsäuremischungen verschiedener Konzentration, welche aus chemisch reiner konzentrirter Schwefelsäure und destillirtem

Wasser in grossen Mengen bei möglichst geringer Wärmeentwicklung hergestellt worden waren. Die Dichten der Flüssigkeiten wurden vor und nach den Versuchen auf das Sorgfältigste aräometrisch bestimmt. Einige dieser Flüssigkeiten sind auch zur Ermittlung ihrer Kapillarkonstanten nach der Methode der Steighöhen untersucht worden.

#### 4. Die eigentlichen Versuche.

Die gesammten Beobachtungen sind der Versuchsanordnung gemäss in zwei Hauptgruppen zu theilen: Die erste, bei weitem umfangreichere Hauptgruppe umfasst die während der Jahre 1896 bis 1900 an Quecksilber, Wasser, absolutem Alkohol, Leuchtöl, Mineralöl, wässerigen Zuckerlösungen und verdünnter Schwefelsäure verschiedener Konzentration gemachten Beobachtungen.

Bei diesen Versuchen, die im grossen auf konstanter Temperatur zu erhaltenden Komparatorsaale des alten Dienstgebäudes der Normal-Aichungskommission ausgeführt worden sind, diente zur Aufnahme der Flüssigkeiten die einfache cylindrische Porzellanschale C (vergl. Fig. 2, S. 112), in welche die zu untersuchende Flüssigkeit entweder hineinfltrirt, wie z. B. Quecksilber, oder direkt aus den zur Aufbewahrung dienenden Flaschen hineingegossen wurde, sodass die Flüssigkeitsoberfläche eine verhältnissmässig lange Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung war, bevor mit den Messungen begonnen werden konnte. Die ganze Versuchsanordnung befand sich auf einer grossen starken Eichenholzplatte, die mit starken Eisenzwingen auf einer grossen kreisrunden Eisenplatte festgeklammert war, die ihrerseits in den östlichen isolirten Pfeiler des Komparatorsaals eingegypst war. Wenn auch diese Versuche für einige Flüssigkeiten trotz aller Mühe und Sorgfalt, die darauf verwendet wurde, sie und ihr Aufnahmegefäss rein zu erhalten, insofern nicht ganz zufriedenstellende Ergebnisse lieferten, als sie für Quecksilber wegen der „elastischen Nachwirkung“ seiner Oberfläche zu kleine Werthe der Kapillarkonstante ergaben, und bei Zuckerlösungen und besonders bei verdünnter Schwefelsäure je nach dem Grade der Reinheit der umgebenden Luft grössere Abweichungen in den einzelnen Beobachtungsreihen zu Tage traten, so sollen dieselben doch im Folgenden in extenso mitgetheilt werden, einmal um zu zeigen, was sich bei dieser Versuchsanordnung erreichen lässt, und dann im Gegensatze dazu die Vorzüge der bei der zweiten Hauptgruppe von Beobachtungen angewendeten Versuchsanordnung erkennen zu lassen.

Die zweite Hauptgruppe umfasst die im Jahre 1901 ausgeführten Beobachtungen, bei welchen sich die Versuchsanordnung auf einer starken, durch eiserne Streben getragenen Wandkonsole im westlichen Eckzimmer der oberen

Etage des neuen Dienstgebäudes der Normal-Aichungs-Kommission befand. Bezüglich der Stabilität ist zwar diese Aufstellung nicht so günstig, wie die im Komparatorsaale; von wesentlicher Bedeutung ist aber die Anwendung der auf Seite 114 und 116 beschriebenen Doppeltrichterapparate, welche es ermöglichen, in jedem Zeitmoment eine reine frische Flüssigkeitsoberfläche zur Bestimmung der Kapillarkonstante herzustellen und bei nicht zu leicht beweglichen Flüssigkeiten, wie z. B. bei Wasser und bei verdünnter Schwefelsäure die Beobachtungen sogar bei beständig sich erneuernder Oberfläche auszuführen, d. h. also vollständig unabhängig zu werden von den sogenannten „elastischen Nachwirkungen“ und an Oberflächen zu beobachten, wie sie reiner und frischer nicht hergestellt werden können. Versuche mit dieser Anordnung sind bereits für Quecksilber, Wasser, Alkohol und verdünnte Schwefelsäure verschiedener Konzentration ausgeführt worden und werden auch auf die anderen Flüssigkeiten ausgedehnt werden.

In Folgendem sollen nun die Originalbeobachtungen nebst ihren Ergebnissen, nach den einzelnen Flüssigkeiten geordnet, mitgetheilt werden. Zur Erläuterung derselben ist noch zu bemerken: Die am Anfang jeder Beobachtungsreihe mitgetheilten Werthe der Spitzenentfernung der Stimmgabel in Mikrometerpartes sind die Mittelwerthe der Messungen, welche vor und nach den Messungen der Wellenlängen  $\lambda$  (vergl. S. 120) ausgeführt worden sind. Die mittlere Temperatur  $t$  ist der Mittelwerth aus mehreren Temperaturbestimmungen, welche während jeder Beobachtungsreihe an zwei in gleicher Höhe mit der Flüssigkeitsoberfläche befindlichen, in  $0,1^\circ$  C. getheilten Quecksilberthermometern gemacht worden sind.  $n_t$  ist die für die Beobachtungstemperatur  $t$  nach den auf Seite 112 bez. 113 gegebenen Formeln berechnete Schwingungsanzahl der benutzten Stimmgabel;  $\sigma_t$  giebt die Dichten der Flüssigkeiten bei den Beobachtungstemperaturen  $t$ , bezogen auf die Dichte von Wasser von  $4^\circ$  C. als Einheit. Für Quecksilber sind sie den von Broch (Trav. et Mém. 2, 1883 II), für destillirtes Wasser den von Marek, Thiesen und Schœel gegebenen Tabellen entnommen, während sie für die anderen Flüssigkeiten vor und nach jeder Messungsreihe aräometrisch bestimmt und unter Benutzung ihrer bei der Normal-Aichungs-Kommission ermittelten thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf die Normaltemperatur von  $4^\circ$  C. reducirt sind. Die Erdbeschleunigung  $g$  ist für Berlin gleich  $981,28$  cm/sec<sup>2</sup> angenommen. Aus diesen Daten berechnet sich die unkorrigirte Oberflächenspannung  $\alpha$  nach der auf Seite 107 gegebenen Formel. Fügt man zu diesem  $\alpha$  noch das von der Schwere herrührende Korrektionsglied  $-\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2}$  hinzu, dessen Werth für jede Messungsreihe besonders angegeben ist, so erhält man die endgültige Oberflächenspannung  $\alpha_{\text{korr.}}$  in g/cm.

### I. Quecksilber.

Die Versuche an Quecksilber beziehen sich nicht nur auf sorgfältigst gereinigtes, im Vakuum destillirtes und von Luft möglichst abgeschlossenes frisches Quecksilber, sondern auch aus rein praktischen Gründen auf solches Quecksilber, welches mehr oder weniger lange Zeit offen an der Luft gestanden hat. Es ist bereits vorhin darauf hingewiesen worden, wie schnell und stark der Werth der Kapillarkonstante von Quecksilber, das mit der atmosphärischen Luft in Berührung ist, mit der Zeit abnimmt. Herr Quincke, der zuerst diese zeitliche Abnahme beobachtet und experimentell bestimmt hat, giebt an, dass sie 5 bis 10 Procent des ursprünglichen Werthes betragen könne, während sich aus den vorliegenden systematisch angestellten Messungen für sie, auch wenn das Quecksilber vor gröberer Verunreinigung, wie Staub etc. geschützt ist, noch ein beträchtlich höherer Werth ergibt. Nun arbeitet man aber in der physikalischen Praxis, z. B. bei barometrischen Vergleichen oder manometrischen Untersuchungen fast niemals mit ganz frisch ausgebildeten Quecksilberoberflächen, sondern in der Regel mit solchen, welche längere oder kürzere Zeit mit der atmosphärischen Luft oder mit anderen Gasen oder Dämpfen in Berührung sind. Soll daher bei solchen Messungen die Kapillardepression des Quecksilbers in Rechnung gezogen werden, so dürfte für dieselbe nicht ein Werth angesetzt werden, wie er einer eben hergestellten frischen Quecksilberoberfläche entspricht, sondern ein Werth, welcher einer Oberfläche entspricht, die eine gewisse Zeit lang mit der Luft in Berührung gewesen ist. Aus diesem Gesichtspunkt erschien es wünschenswerth, durch messende Versuche festzustellen, ob sich der Werth der Oberflächenspannung von Quecksilber, welches vor gröberer Verunreinigung zwar geschützt, aber direkt längere Zeit der atmosphärischen Luft ausgesetzt ist, einem konstanten Grenzwerte nähert, welcher bei manometrischen Messungen z. B. zu Grunde zu legen wäre, um die Kapillardepression des Quecksilbers in Rechnung zu ziehen. Deshalb ist in den betreffenden Beobachtungsreihen stets ausdrücklich vermerkt, ob und wann das dem Versuch unterworfenene Quecksilber frisch gereinigt war, und wie lange es offen an der Luft gestanden hatte. Eine natürliche Grenze wird solcher Dauerbeobachtung allerdings dadurch gesteckt, dass schliesslich die Quecksilberoberfläche mit der Zeit doch zu stark verunreinigt wird; die Interferenzkurven werden dann verzerrt; anstatt festzustehen, scheinen sie zu wandern und sind nicht mehr geeignet, als Objekt für feinere Messungen zu dienen.

Es sind im Ganzen vier umfangreiche Beobachtungsreihen mit Quecksilber ausgeführt worden, zwei mit dem einfachen Flüssigkeitsgefäss und der Stimmgabel *P. T. R. II. 38* und zwei mit dem Doppeltrichterapparat und den beiden Stimmgabeln *P. T. R. II. 38* und *189*. Dieselben sollen nunmehr ausführlich mitgetheilt werden:

**1. Versuchsreihe mit Quecksilber.**

(Cylindrische Porzellanschale von 15,5 cm Durchmesser; Stimmgabel P. T. R. II. 38.)

11. 9. 96.	Spitzenentfernung = 2252,56 p (Mikrometerpartes) = 2,0474 cm.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 770,9$ p	Bemerkung: Vorversuch mit durch
Mittlere Temper. $t = 16,0^\circ$ C.	768,9	Filteren gereinigtem Quecksilber.
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5562$	768,0	
Schwingungszahl $n_t = 253,21$	769,3	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	<u>769,3</u>	
	Mittel = 769,28 p;	
	$\alpha = 0,3856$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3789$ g/cm	
22. 9. 96.	Spitzenentfernung = 2387,5 p.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 841,7$ p	Bemerkungen: Das Quecksilber war
	840,2	Tags zuvor destilliert und in einer auf das
	839,7	Sorgfältigste gereinigten und verschlossenen
	840,4	Flasche aufbewahrt worden, aus welcher es
	839,0	unmittelbar vor den Versuchen durch Filter
Mittlere Temper. $t = 16,0^\circ$ C.	839,5	in das Porzellengefäß hinein filtriert wurde.
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5562$	835,2	Dies Filteren dauerte etwa 20 Minuten.
Schwingungszahl $n_t = 253,21$	838,7	Nach den Versuchen wurde das Queck-
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0071$	840,4	silber mittelst Filter wieder in die Flasche
	<u>838,8</u>	zurück gegossen.
	Mittel = 839,36 p;	
	$\alpha = 0,4206$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,4135$ g/cm	
29. 9. 96.	Spitzenentfernung = 2318,7 p.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 794,7$ p	Bemerkung: Das Quecksilber wurde
	790,15	aus der bis an den Hals gefüllten ver-
	790,7	schlossenen Flasche, in welcher es sich seit
	793,5	den vorigen Messungen befand, unmittelbar
	793,3	vor Beginn der Versuche durch Filter in die
	794,4	Porzellanschale hinein filtriert.
Mittlere Temper. $t = 16,0^\circ$ C.	794,4	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5562$	793,9	
Schwingungszahl $n_t = 253,21$	790,8	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	794,45	
	<u>793,1</u>	
	Mittel = 792,9 p;	
	$\alpha = 0,3870$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3803$ g/cm	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 793,2$ p	
Mittlere Temper. $t = 16,0^\circ$ C.	790,9	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5562$	792,4	
Schwingungszahl $n_t = 253,21$	789,9	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	<u>791,9</u>	
	Mittel = 791,65 p;	
	$\alpha = 0,3856$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3789$ g/cm	

2. 10. 96.

Spitzenentfernung = 2300,30 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 771,0$ p	Bemerkung: Das Quecksilber blieb
772,8	seit der vorhergehenden Beobachtungsreihe
772,6	in der Porzellanschale und wurde unmittel-
774,9	bar vor den Versuchen frisch filtrirt.
775,6	
775,3	
773,2	
771,3	
772,4	
Mittlere Temper. $t = 14,86$ C.	772,8
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5590$	771,7
Schwingungszahl $n_t = 253,23$	770,2
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0065$	770,1
	771,0
	<u>770,0</u>

Mittel = 772,33 p;

$$\alpha = 0,3665 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3600 \text{ g/cm}$$

6. 10. 96.

Spitzenentfernung = 2297,21 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 774,50$ p	Bemerkung: Wie bei der vorigen
778,0	Beobachtungsreihe.
778,7	
774,0	
774,7	
775,5	
777,6	
778,6	
776,9	
773,0	
774,3	
774,5	
773,5	
Mittlere Temper. $t = 15,09$ C.	774,4
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5584$	778,1
Schwingungszahl $n_t = 253,23$	777,8
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0066$	776,0
	778,0
	776,7
	<u>776,6</u>

Mittel = 776,07 p;

$$\alpha = 0,3733 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3667 \text{ g/cm}$$

9. 10. 96.	Spitzenentfernung = 2568,75 p.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 899,4$ p	Bemerkung: Das Quecksilber war
	900,1	Tags zuvor destilliert und in einer bis zum
	899,6	Halse gefüllten, verschlossenen Flasche auf-
	900,9	bewahrt worden. Unmittelbar vor den Ver-
	900,2	suchen wurde es durch Filter in die Porzellan-
Mittlere Temper. $t = 15,03$ C.	902,2	schale hinein filtrirt. Nach den Versuchen
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5585$	898,2	wurde es durch Filter wieder in die Flasche
Schwingungszahl $n_t = 253,23$	900,5	zurückgegossen.
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0071$	899,1	
	<u>901,7</u>	
	Mittel = 900,24 p;	
	$\alpha = 0,4168$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,4097$ g/cm	
6. 11. 96.	Spitzenentfernung = 2488,51 p.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 844,9$ p	Bemerkung: Das Quecksilber be-
	844,1	fund sich seit den letzten Messungen, also
	846,1	etwa vier Wochen lang, in der verschlossenen
	844,6	Flasche; unmittelbar vor den Messungen
	845,9	wurde es wieder durch Filter in die Por-
Mittlere Temper. $t = 10,60$ C.	845,7	zellanschale hineinfltrirt und nach denselben
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5695$	845,8	in die Flasche zurückgegossen.
Schwingungszahl $n_t = 253,34$	846,6	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0066$	846,7	
	<u>842,8</u>	
	Mittel = 845,32 p;	
	$\alpha = 0,3801$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3735$ g/cm	
10. 11. 96.	Spitzenentfernung 2486,37 p.	
	10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 852,7$ p	Bemerkung: Wie bei den vorigen
	851,6	Messungen.
	850,2	
	848,2	
	852,5	
	848,9	
	849,0	
	852,1	
	849,6	
Mittlere Temper. $t = 15,05$ C.	850,2	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5585$	851,0	
Schwingungszahl $n_t = 253,23$	852,7	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	851,5	
	848,0	
	<u>851,9</u>	
	Mittel = 850,67 p;	
	$\alpha = 0,3878$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3811$ g/cm	

13. 11. 96.

Spitzenentfernung = 2484,29 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 851,5$ p	Bemerkung: Wie bei der vorhergehenden Messungsreihe.
850,8	
851,6	
849,8	
851,5	
851,9	
852,3	
849,6	
852,1	
851,4	
848,1	
849,7	
850,9	
849,2	
850,2	
850,7	
Mittlere Temper. $t = 16,35$ C.	849,9
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5553$	850,2
Schwingungszahl $n_t = 253,20$	849,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	<u>849,6</u>
Mittel = 850,53 p;	
$\alpha = 0,3884$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3817$ g/cm	

17. 11. 96.

Spitzenentfernung = 2487,32 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 860,4$ p	Bemerkung: Das für diese Messungsreihe verwendete Quecksilber war frisch destilliert und bei den Versuchen noch nicht benutzt worden. Es wurde, wie immer, unmittelbar vor den Messungen durch Filter in die Porzellanschale hineinfltrirt und nach denselben wieder in die Flasche durch Filter zurückgegossen.
859,6	
861,8	
861,4	
859,9	
861,5	
860,1	
861,4	
860,9	
860,4	
863,4	
Mittlere Temper. $t = 20,14$ C.	862,1
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5460$	859,4
Schwingungszahl $n_t = 253,11$	862,2
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0069$	<u>862,4</u>
Mittel = 861,13 p;	
$\alpha = 0,4010$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3941$ g/cm	

20. 11. 96.

Spitzenentfernung = 2486,08 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 853,4$ p	852,7	Bemerkung: Für diese wie für die folgenden Messungsreihen bis zum 18. Dezember 1896 gilt die Schlussbemerkung der vorhergehenden Messungsreihe.
	852,1	
	852,3	
	851,0	
	851,9	
Mittlere Temper. $t = 16,78$ C.	852,6	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5542$	854,1	
Schwingungszahl $n_t = 253,19$	851,3	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0068$	<u>850,8</u>	
Mittel = 852,22 p;		
	$\alpha = 0,3898$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3830$ g/cm	

8. 12. 96.

Spitzenentfernung = 2492,87 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 850,3$ p	851,5
	850,2
	852,2
	852,1
Mittlere Temper. $t = 8,33$ C.	850,9
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5751$	853,3
Schwingungszahl $n_t = 253,40$	851,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	849,0
	<u>852,1</u>
Mittel = 851,31 p;	
	$\alpha = 0,3866$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3799$ g/cm

11. 12. 96.

Spitzenentfernung = 2487,65 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 849,8$ p	850,0
	850,0
	850,8
	851,8
Mittlere Temper. $t = 8,65$ C.	848,8
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5743$	852,6
Schwingungszahl $n_t = 253,39$	849,6
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$	850,2
	<u>849,6</u>
Mittel = 850,32 p;	
	$\alpha = 0,3876$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3809$ g/cm

15. 12. 96.

Spitzenentfernung = 2490,85 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	835,7 p	Bemerkung; Das Quecksilber blieb seit dem 11. December, vor Staub sorgfältigst geschützt, in der Porzellanschale und wurde auch vor den Messungen nicht filtrirt.
	830,1	
	833,4	
	836,5	
	835,0	
Mittlere Temper. $t = 8,45^\circ$ C.	833,9	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5748$	834,9	
Schwingungszahl $n_t = 253,40$	830,5	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0064$	829,1	
	<u>831,2</u>	
Mittel =	833,03 p;	
	$\alpha = 0,3631$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3567$ g/cm	

18. 12. 96.

Spitzenentfernung = 2489,24 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	844,9 p	Bemerkung: Das Quecksilber war in der Schale geblieben, wird aber vor den Messungen filtrirt.
	842,5	
	842,1	
	844,2	
	841,1	
Mittlere Temper. $t = 22,39^\circ$ C.	842,1	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5405$	842,4	
Schwingungszahl $n_t = 253,05$	843,2	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0066$	841,0	
	<u>840,8</u>	
Mittel =	842,43 p;	
	$\alpha = 0,3743$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3677$ g/cm	

5. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2478,32 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	863,1 p	Bemerkung: Das Quecksilber war durch mehrfache Filtration gereinigt worden. Vor den Messungen wurde es in die Porzellanschale und nach denselben aus dieser in die Aufbewahrungsflasche zurückfiltrirt. Dies gilt auch für alle folgenden Messungsreihen bis zum 26. Februar 1897.
Mittlere Temper. $t = 6,27^\circ$ C.	864,6	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5801$	863,0	
Schwingungszahl $n_t = 253,45$	861,0	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0070$	<u>860,4</u>	
Mittel =	862,42 p;	
	$\alpha = 0,4094$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,4024$ g/cm	

9. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2490,22 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 847,4 \text{ p}$$

847,3

849,1

843,5

843,4

Mittlere Temper.  $t = 7,59^\circ \text{C}$ .

847,6

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5769$ 

844,4

Schwingungszahl  $n_t = 253,42$ 

846,8

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$ 

848,6

848,7

Mittel = 846,68 p;

$$\alpha = 0,3816 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3749 \text{ g/cm}$$

12. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2476,11 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 842,1 \text{ p}$$

845,2

845,1

845,8

842,2

Mittlere Temper.  $t = 6,17^\circ \text{C}$ .

843,5

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5804$ 

844,4

Schwingungszahl  $n_t = 253,45$ 

845,5

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0067$ 

842,4

842,6

Mittel = 843,88 p;

$$\alpha = 0,3846 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3779 \text{ g/cm}$$

16. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2477,12 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 854,7 \text{ p}$$

855,7

854,0

854,3

855,4

Mittlere Temper.  $t = 14,80^\circ \text{C}$ .

852,7

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5591$ 

852,8

Schwingungszahl  $n_t = 253,24$ 

854,2

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0068$ 

850,3

850,8

Mittel = 853,49 p;

$$\alpha = 0,3961 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3893 \text{ g/cm}$$

23. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2485,45 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 853,3 \text{ p}$$

854,8

854,2

852,4

850,4

850,0

853,3

852,1

854,5

854,4

Mittlere Temper.  $t = 22,16^\circ \text{ C}$ .

854,3

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5410$ 

854,5

Schwingungszahl  $n_t = 253,06$ 

853,9

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0068$ 

850,2

854,7

Mittel = 853,13 p;

 $\alpha = 0,3905 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3837 \text{ g/cm}$ 

26. 2. 97.

Spitzenentfernung = 2482,52 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 850,5 \text{ p}$$

851,3

850,6

851,3

853,8

851,6

852,0

853,2

850,3

851,9

854,2

853,0

851,6

851,8

Mittlere Temper.  $t = 20,91^\circ \text{ C}$ .

851,2

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5441$ 

851,6

Schwingungszahl  $n_t = 253,08$ 

850,9

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0068$ 

854,1

854,2

852,7

Mittel = 852,09 p;

 $\alpha = 0,3906 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3838 \text{ g/cm}$

### Quecksilber.

#### Zusammenstellung der Ergebnisse der ersten Versuchsreihe mit Stimmgabel P. T. R. II. 38.

(Das Quecksilber befand sich bei diesen Messungen in einer cylindrischen Porzellanschale von 15,5 cm Durchmesser.)

Datum.	Temperatur in ° C.	Oberflächenspannung in g/cm.	Bemerkungen über die Behandlung und Beschaffenheit des Quecksilbers.
1896. 11. IX.	16,0	0,3789	Vorversuch mit durch Filtriren gereinigtem Quecksilber.
„ 22. IX.	16,0	0,4135*)	Das Quecksilber war Tags zuvor destillirt worden.
„ 29. IX.	16,0	0,3803	Dasselbe Quecksilber filtrirt.
„ „	16,0	0,3789	
„ 2. X.	14,86	0,3600	Quecksilber war in Schale geblieben, vor den Messungen filtrirt.
„ 6. X.	15,09	0,3657	Quecksilber war in Schale geblieben, vor den Messungen filtrirt.
„ 9. X.	15,03	0,4097*)	Quecksilber Tags zuvor destillirt.
„ 6. XI.	10,60	0,3735	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 10. XI.	15,05	0,3811	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 13. XI.	16,35	0,3817	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 17. XI.	20,14	0,3941*)	Frisch destillirtes Quecksilber, vor den Messungen filtrirt.
„ 20. XI.	16,78	0,3830	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 8. XII.	8,33	0,3799	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 11. XII.	8,65	0,3809	Dasselbe Quecksilber war in verschlossener Flasche geblieben und wurde vor den Messungen filtrirt.
„ 15. XII.	8,45	0,3567	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, nicht filtrirt.
„ 18. XII.	22,39	0,3677	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, wurde aber vor den Messungen filtrirt.
1897. 5. II.	6,27	0,4024*)	Quecksilber war durch mehrfache Filtration gereinigt worden.
„ 9. II.	7,59	0,3749	Dasselbe Quecksilber vor den Messungen filtrirt.

Datum.	Temperatur in °C.	Oberflächenspannung in g/cm.	Bemerkungen über die Behandlung und Beschaffenheit des Quecksilbers.
1897. 12. II.	6,17	0,3779	Dasselbe Quecksilber vor den Messungen filtrirt.
„ 16. II.	14,80	0,3893	Dasselbe Quecksilber vor den Messungen filtrirt.
„ 23. II.	22,16	0,3837	Dasselbe Quecksilber vor den Messungen filtrirt.
„ 26. II.	20,91	0,3838	„ „ „

Mittel\*) = **0,4049** bei im Mittel  $14^{\circ},4$  C.

Mittel (aus den anderen Beobachtungen) <sup>1)</sup> = **0,3807** „  $14^{\circ},1$  „

<sup>1)</sup> mit Ausschluss der ersten Beobachtung sowie der Beobachtungen, bei denen das Quecksilber in der Schale geblieben war.

## 2. Versuchsreihe mit Quecksilber.

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38.)

14. 12. 97.

Spitzenentfernung = 2373,81 p = 2,047 cm.

10 Intervalle =  $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 820,8$  p

823,4

821,1

824,5

826,8

814,0

822,2

815,1

816,0

814,0

Mittlere Temper.  $t = 18,62^{\circ}$  C.

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5497$

Schwingungszahl  $n_t = 253,14$

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0069$

Bemerkung: Das Quecksilber war von neuem zwei Mal im Vakuum destillirt worden und befand sich einen Tag lang vor Beginn der Versuche in einer auf das Sorgfältigste gereinigten und bis zum (engen) Halse gefüllten Flasche. Unmittelbar vor der Messungsreihe wurde es aus derselben in die sorgfältig gereinigte Porzellanschale durch Filter hineinfltrirt. Dies dauerte etwa 20 Minuten. Nach Beendigung der Messungsreihe wurde es wieder in die Flasche zurückfltrirt.

Die Spitzenentfernung der Stimmgabel Mittel = 819,79 p; war auf dem Reichel'schen Komparator von neuem bestimmt und gleich 2,047 cm gefunden worden.

$\alpha = 0,3980$  g/cm

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3911$  g/cm

17. 12. 97.

Spitzenentfernung = 2365,45 p.

12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 973,6$  p

976,0

977,1

977,6

975,6

974,9

970,0

970,8

970,3

975,8

Mittlere Temper.  $t = 18,64^{\circ}$  C.

Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5497$

Schwingungszahl  $n_t = 253,14$

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0068$

Bemerkung: Das Quecksilber wurde aus der Flasche in die Porzellanschale hineinfltrirt und verblieb nach den Messungen in derselben.

Mittel = 974,17 p;

$\alpha = 0,3906$  g/cm

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3838$  g/cm

21. 12. 97.

Spitzenentfernung = 2334,22 p.

9 Intervalle = $9 \cdot \frac{\lambda}{2} = 696,3$ p	Bemerkung: Das Quecksilber war
Mittlere Temper. $t = 18,54$ C.	seit der vorigen Messungsreihe in der Porzellan- schale, vor Staub geschützt, geblieben
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5499$	und wurde vor den Messungen nicht filtrirt.
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^3 \sigma}{4\pi^2} = 0,0063$	

Mittel = 696,34 p;

$$\alpha = 0,3519 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3456 \text{ g/cm}$$

4. 1. 98.

Spitzenentfernung = 2349,78 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 951,7$ p	Bemerkung: Das Quecksilber war
Mittlere Temper. $t = 18,17$ C.	in der Schale geblieben, wurde aber vor
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5508$	Beginn der Messungsreihe filtrirt.
Schwingungszahl $n_t = 253,15$	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^3 \sigma}{4\pi^2} = 0,0065$	

Mittel = 949,62 p

$$\alpha = 0,3692 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3627 \text{ g/cm}$$

7. 1. 98.

Spitzenentfernung = 2574,05 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 1030,2$ p	Bemerkung: Das Quecksilber war,
Mittlere Temper. $t = 18,57$ C.	vor Staub geschützt, in der Schale geblieben
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5498$	und wurde vor der Messung nicht filtrirt.
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^3 \sigma}{4\pi^2} = 0,0064$	

Mittel = 1029,2 p;

$$\alpha = 0,3575 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3511 \text{ g/cm}$$



12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 882,3$  p      Bemerkung: Nach Verlauf einer  
 887,0 Stunde, während welcher das Quecksilber  
 883,6 unbedeckt in der Schale blieb, wurde eine  
 884,5 neue Messungsreihe ausgeführt.  
 882,4  
 882,7  
 884,5  
 878,8  
 879,2  
 878,0  
 874,7  
 875,2  
874,8  
 Mittel = 880,6 p;  
 $\alpha = 0,3517$  g/cm  
 $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3454$  g/cm

4. 2. 98.      Spitzenentfernung = 2186,9 p.  
 12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 868,7$  p      Bemerkung: Das Quecksilber war in  
 866,4 der Schale, vor Staub geschützt, geblieben;  
 Mittlere Temper.  $t = 14,7^\circ$  C.      es wurde nicht filtrirt, sondern mittelst eines  
 Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5594$       866,3 sorgfältigst gereinigten Glasstreifens die  
 Schwingungszahl  $n_t = 253,24$       870,2 unter den Spitzen der Stimmgabeln befind-  
 Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0063,$       864,1 liche Quecksilberschicht fortgefegt, sodass  
 4 $\pi^2$  bez. 0,0061      die dadurch entstandene neue Schicht rein  
 Mittel = 867,14 p; erschien.  
 $\alpha = 0,3491$  g/cm  
 $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3428$  g/cm

12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 854,3$  p      Bemerkung: Zwei Stunden später,  
 855,1 während welcher das Quecksilber offen stand,  
 856,2 fanden folgende Ablesungen statt:  
855,2  
 Mittel = 855,20 p;  
 $\alpha = 0,3349$  g/cm  
 $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3288$  g/cm

8. 2. 98.      Spitzenentfernung = 2210,5 p.  
 12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 868,4$  p      Bemerkung: Wie zu Anfang der  
 869,8 vorigen Messungsreihe.  
 Mittlere Temper.  $t = 17,47^\circ$  C.      874,4  
 Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5526$       871,8  
 Schwingungszahl  $n_t = 253,17$       871,3  
 Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0062$       871,3  
 Mittel = 871,14 p;  
 $\alpha = 0,3424$  g/cm  
 $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3362$  g/cm

12 Intervalle =  $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 865,3$  p      Bemerkung: Zwei Stunden später,  
 862,6 während welcher das Quecksilber offen  
 864,2 stand.  
 Mittlere Temper.  $t = 16,47^\circ$  C.      Mittel = 864,03 p;  
 Dichte des Quecksilbers  $\sigma_t = 13,5550$        $\alpha = 0,3343$  g/cm  
 Schwingungszahl  $n_t = 253,20$        $\alpha_{\text{korr.}} = 0,3282$  g/cm  
 Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0061$

11. 2. 98.

Spitzenentfernung = 2228,5 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 886,0$ p	Bemerkung: Das Quecksilber war
Mittlere Temper. $t = 16,37$ C.	wieder in der Schale, vor Staub geschützt,
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5553$	geblieben; es wurde vor der Messungsreihe
Schwingungszahl $n_t = 253,20$	filtrirt.
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0063,$	
bez. 0,0062	<u>887,9</u>
Mittel = 886,86 p;	
$\alpha = 0,3528$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3465$ g/cm	

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 874,5$ p	Bemerkung: $1\frac{1}{2}$ Stunde später,
875,5	während welcher Zeit das Quecksilber offen
878,7	stand, wurden folgende Ablesungen gemacht:
880,0	
<u>881,6</u>	
Mittel = 878,06 p;	
$\alpha = 0,3424$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3362$ g/cm	

15. 2. 98.

Spitzenentfernung = 2226,72 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 884,0$ p	Bemerkung: Vergleiche die Be-
882,6	merkung vor Beginn der vorvorigen
879,4	Messungsreihe.
878,0	
882,7	
Mittlere Temper. $t = 29,35$ C.	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5234$	884,0
Schwingungszahl $n_t = 252,87$	877,1
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0062,$	878,5
bez. 0,0061	880,1
	<u>878,3</u>
Mittel = 880,47 p;	
$\alpha = 0,3443$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3381$ g/cm	
872,8 p	Bemerkung: $1\frac{1}{2}$ Stunden später.
873,3	
870,3	
867,5	
<u>877,8</u>	
Mittel = 872,34 p;	
$\alpha = 0,3349$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,3288$ g/cm	

**Quecksilber.****Zusammenstellung der Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe  
mit Stimmgabel P. T. R. II. 38.**

(Das Quecksilber befindet sich bei den Messungen wieder in der cylindrischen Porzellanschale.)

Datum.	Temperatur in °C.	Oberflächenspannung in g/cm.	Bemerkungen über Behandlung und Beschaffenheit des Quecksilbers.
1897. 14. XII.	18,62	0,3911	Das Quecksilber war Tags zuvor im Vakuum destillirt worden.
„ 17. XII.	18,64	0,3838	Dasselbe Quecksilber in Flasche auf- bewahrt, vor den Versuchen in Schale hineinfltrirt.
„ 21. XII.	18,54	0,3456	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen nicht fltrirt.
1898. 4. I.	18,17	0,3627	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen aber fltrirt.
„ 7. I.	18,57	0,3511	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen nicht fltrirt.
„ 11. I.	18,12	0,3456	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen nicht fltrirt.
„ 18. I.	14,61	0,3475	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen fltrirt.
„ 28. I.	14,90	0,3563	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, vor den Messungen fltrirt.
„ „	„	0,3454	1 Stunde später; das Quecksilber war unverdeckt in Schale geblieben.
„ 4. II.	14,70	0,3428	Quecksilber war verdeckt in Schale geblieben, nicht fltrirt; mittelst eines reinen Glasstreifens wurde die Schicht unter den Spitzen fortgefegt.
„ „	„	0,3288	2 Stunden später, während welcher das Quecksilber unbedeckt stand.
„ 8. II.	17,47	0,3362	Wie bei der vorigen Messung.
„ „	16,47	0,3282	2 Stunden später, während welcher das Quecksilber unbedeckt stand.
„ 11. II.	16,37	0,3465	Quecksilber war in der Schale ge- blieben, vor den Messungen fltrirt.
„ „	„	0,3362	1½ Stunden später, während welcher Zeit das Quecksilber unbedeckt stand.
„ 15. II.	29,35	0,3381	Quecksilber war wieder in Schale ge- blieben, vor den Messungen fltrirt.
„ „	„	0,3288	1½ Stunden später, während welcher Zeit das Quecksilber unbedeckt stand. Die Versuche werden abgebrochen, weil die Interferenzkurven schon etwas verzerrt erscheinen und nicht mehr feststehen, sondern zu wandern scheinen.

## Neue Versuche mit Quecksilber bei Anwendung des Doppeltrichterapparats.

25. 2. 01.

Die neue Versuchsanordnung war aufgebaut auf einer starken durch eiserne Wandträger gehaltenen Wandkonsole im westlichen Eckzimmer der oberen Etage des neuen Dienstgebäudes der Normal-Aichungs-Kommission. Die Aufstellung ist nicht so stabil, wie die frühere im grossen Komparatorsaale des alten Dienstgebäudes, bei welcher sie auf einem fundirten isolirten Pfeiler angeordnet war. Beim Erregen der Stimmgabel wird das Stativ in kleine Mitschwingungen versetzt, die sich der Grundplatte mittheilen und die eigentlichen Interferenzwellensysteme insofern beeinflussen, als sich (besonders unmittelbar nach dem Anschlagen der Stimmgabel) feine Kräuselungen über dieselben superponiren und sie zum Theil verzerren; erst wenn diese Kräuselungen verschwunden sind, bilden sich die Interferenzkurven scharf und deutlich aus; dadurch vergeht eine gewisse, wenn auch kleine Zeit, bevor nach Ausbildung der frischen Oberfläche mit den Messungen begonnen werden kann; deshalb ergeben sich auch kleinere Werthe für die Kapillarkonstante, als sie von mir mit der neuen Versuchsanordnung im Physikalischen Institute der Technischen Hochschule (vergl. S. 143) gefunden wurden, wo ein fundirter isolirter Pfeiler als Träger der Apparate diente.

Als erregende Stimmgabel diente die grössere mit P. T. R. II 189 bezeichnete, deren Schwingungszahl  $n_t = 156,936 - 0,016 (t - 19)$  ist. Vor Beginn der Messungsreihe war mittelst der anstatt des Okulars des Mikrometernikroskops an letzterem anzubringenden Autokollimationsvorrichtung und des unten an den Stimmgabelzinken zu befestigenden Planspiegels (vergl. S. 119) die Axe des Ablesemikroskops senkrecht zur Stimmgabelaxe und der durch die Stimmgabelspitzen bestimmten Ebene eingestellt worden.

Spitzenentfernung = 1424,87 p = 1,7895 cm.

<p>6 Intervalle = <math>6 \cdot \frac{\lambda}{2} = *497,1</math> p  490,3  489,0  *498,5  487,3  *494,9  487,8  487,3  485,4  *495,0  485,2  478,0  473,8  485,8  *496,2  <u>484,6</u></p> <p>Mittlere Temper. <math>t = 18,7</math> C.  Dichte des Quecksilbers <math>\sigma_t = 13,5496</math>  Schwingungszahl <math>n_t = 156,94</math>  Schwere-Korrektion <math>\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0148*</math>,  bez. = 0,0141<sup>1)</sup></p>	<p>Bemerkung: Das Quecksilber war destillirt und in den Trichter T<sub>3</sub> des Doppeltrichterapparats (Fig. 4, Seite 114) hinein filtrirt worden.</p> <p>Unter den folgenden Messungen werden die ersten Ablesungen, welche unmittelbar nachdem durch Ueberfliessenlassen des Quecksilbers im inneren Trichter eine neue reine Oberfläche gebildet ist, gemacht worden sind, durch einen Asteric * ausgezeichnet. Sie entsprechen den eigentlichen Werthen der Kapillarkonstante für reines Quecksilber und werden bei der Berechnung stets zu einem Mittel * vereinigt, welches zur Berechnung von <math>\alpha^*</math> dient. Die nicht mit * versehenen darauf folgenden Ablesungen, welche wenige (2 bis 3) Minuten später erfolgen und welche für sich zu einem Mittel<sup>1)</sup> vereinigt werden, zeigen die zeitliche Aenderung (Abnahme) der Oberflächenspannung von Quecksilber gegen Luft. Das Mittel<sup>1)</sup> dient zur Berechnung von <math>\alpha^1</math>.</p>
Mittel* = 496,3 p; Mittel <sup>1)</sup> = 484,9 p.	
$\alpha^* = 0,4854$ g/cm $\alpha^1 = 0,4527$ g/cm	
$\alpha_{\text{korr.}}^* = 0,4706$ g/cm $\alpha_{\text{korr.}}^1 = 0,4386$ g/cm	

26. 2. 01.

Spitzenentfernung = 1409,1 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} = *486,9$ p	Bemerkung: Die mit * bezeichneten Zahlen entsprechen den Ablesungen, welche unmittelbar nach Herstellung einer frischen Quecksilberoberfläche gemacht worden sind; sie werden zu einem Mittel * vereinigt; die darauf folgenden Ablesungen werden zu einem Mittel <sup>1)</sup> und endlich die 15, beziehungsweise 20 Minuten später gemachten Ablesungen zu einem Mittel <sup>2)</sup> vereinigt. Diesen drei Mittelwerthen entsprechen die Oberflächenspannungen $\alpha^*$ , bez. $\alpha^1$ , $\alpha^2$ .
	483,0
	479,0
	474,0
	475,2
	*487,0
	*483,2
	481,2
	482,0
Mittlere Temper. $t = 18,6^\circ$ C.	471,0 15 Minuten später
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5498$	*484,5
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	*489,4
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0145^*$ , bez. $0,0141^1$ , $0,0137^2$ )	471,0 20 Minuten später
	<u>475,2</u>
Mittel* = 486,2 p; Mittel <sup>1)</sup> = 479,1 p; Mittel <sup>2)</sup> = 472,4 p;	

$$\alpha^* = 0,4720 \text{ g/cm} \quad \alpha^1 = 0,4517 \text{ g/cm} \quad \alpha^2 = 0,4330 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}}^* = 0,4575 \text{ g/cm} \quad \alpha_{\text{korr.}}^1 = 0,4376 \text{ g/cm} \quad \alpha_{\text{korr.}}^2 = 0,4193 \text{ g/cm}$$

1. 3. 01.

Spitzenentfernung = 1427,6 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} = *499,0$ p	Bemerkung: Die mit * bezeichneten Ablesungen werden wieder zu einem Mittel*, die anderen zu einem Mittel <sup>1)</sup> vereinigt, denen die Oberflächenspannungen $\alpha^*$ , bez. $\alpha^1$ entsprechen.
	*497,7
	*496,5
	*498,1
Mittlere Temper. $t = 18,7^\circ$ C.	*497,2
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5496$	481,0 15 Minuten später.
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	479,0
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0148^*$ , bez. $0,0137^1$ )	476,5
	<u>479,2</u>
Mittel* = 497,7 p; Mittel <sup>1)</sup> = 478,9 p;	

$$\alpha^* = 0,4869 \text{ g/cm} \quad \alpha^1 = 0,4336 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}}^* = 0,4721 \text{ g/cm} \quad \alpha_{\text{korr.}}^1 = 0,4199 \text{ g/cm}$$

5. 3. 01.

Spitzenentfernung = 1424,25 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} = *490,7$ p		Bemerkung: Vergleiche bezüglich der Mittelbildung die Bemerkung zur vorhergehenden Messungsreihe.
	*493,7	
	*493,1	
	*494,9	
	*492,7	
	487,5	2 bis 3 Minuten später.
	482,9	
Mittlere Temper. $t = 18,7^{\circ}$ C.	480,3	
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5496$	480,4	
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	*492,9	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0147^*$ , bez. 0,0140 <sup>1)</sup>	*496,2	
	<u>*497,3</u>	
Mittel* = 494,0 p;		Mittel <sup>1)</sup> = 482,8 p.
$\alpha^* = 0,4794$ g/cm		$\alpha^1 = 0,4475$ g/cm
$\alpha_{\text{korr.}}^* = 0,4647$ g/cm		$\alpha_{\text{korr.}}^1 = 0,4335$ g/cm

9. 3. 01.

Spitzenentfernung = 1427,6 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} = *499,2$ p		
	*497,2	
Mittlere Temper. $t = 18,8^{\circ}$ C.	484,9	2 Minuten später.
Dichte des Quecksilbers $\sigma_t = 13,5493$		
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	<u>*498,9</u>	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0149^*$ , bez. 0,0141 <sup>1)</sup>	Mittel* = 498,4 p;	Mittel <sup>1)</sup> = 484,9 p.
	$\alpha^* = 0,4888$ g/cm	$\alpha^1 = 0,4501$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}}^* = 0,4739$ g/cm	$\alpha_{\text{korr.}}^1 = 0,4360$ g/cm

---





2 Minuten nach Herstellung einer  
frischen Oberfläche.

$$\begin{array}{r} 590^* \\ \hline \end{array}$$

Mittel<sup>\*)</sup> = 589 p;

$$\alpha^{*)} = 0,4772 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}^*)} = 0,4695 \text{ g/cm}$$

Einige Minuten später.

$$\begin{array}{r} 587 \\ 585 \\ \hline 581 \end{array}$$

Mittel<sup>5)</sup> = 584,3 p;

$$\alpha^{5)} = 0,4657 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}^5)} = 0,4581 \text{ g/cm}$$

Etwa 5 Minuten nach Herstellung einer  
frischen Oberfläche.

$$\begin{array}{r} 574 \\ 571 \\ 573 \\ 575 \\ 573 \\ \hline 568 \end{array}$$

Mittel<sup>6)</sup> = 572,3 p;

$$\alpha^{6)} = 0,4377 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}^6)} = 0,4304 \text{ g/cm}$$

Etwa 1 Stunde später.

$$\begin{array}{r} 564 \\ 559 \\ 563 \\ 558 \\ 560 \\ 555 \\ \hline 560 \end{array}$$

Mittel<sup>7)</sup> = 559,9 p;

$$\alpha^{7)} = 0,4099 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}^7)} = 0,4029 \text{ g/cm}$$

**Zusammenstellung der Ergebnisse der neuen Versuche mit  
Quecksilber  
bei Anwendung des Doppeltrichterapparats.**

**A. Versuche mit Stimmgabel P. T. R. II 189.**

Temperatur  $t = 18,7^{\circ}$  C.

Oberflächenspannung in g/cm

Unmittelbar <sup>1)</sup>	1—3 Minuten	15—30 Minuten
nach Herstellung einer frischen Oberfläche.		
0,4706	0,4386	0,4193
0,4575	0,4376	0,4199
0,4721	0,4335	
0,4647	0,4360	
<u>0,4739</u>	<u>          </u>	<u>          </u>
Mittel: 0,4678	0,4364	0,4196

**B. Versuche mit Stimmgabel P. T. R. II 38.**

Temperatur  $t = 17,5$  bis  $19,5^{\circ}$  C.

Oberflächenspannung in g/cm

Unmittelbar	$\frac{1}{2}$ bis 1 Minute	2 Minuten	5 Minuten	30—60 Minuten
nach Herstellung einer frischen Oberfläche				
0,5075	0,4959	0,4737	0,4627	0,4191
0,4937	0,4819	0,4695	0,4559	0,4169
			0,4514	0,4119
			0,4369	0,4029
			0,4417	
			0,4581	
			<u>0,4304</u>	
Mittel: 0,5006	0,4889	0,4716	0,4482	0,4127

<sup>1)</sup> Wie indessen bereits bei den Beobachtungen selbst erwähnt worden ist, verfloss in Folge der nicht absolut stabilen Aufstellung nach Herstellung der frischen Oberfläche eine gewisse, wenn auch kleine Zeit, bevor mit den Messungen begonnen werden konnte. Es zeigt sich deshalb schon eine zeitliche Abnahme des Werthes der Oberflächenspannung im Vergleich mit dem bei den folgenden Versuchsreihen erhaltenen Hauptmittelwerthe. Eine weitere Ursache für den kleineren Werth dürfte vielleicht auch darin zu suchen sein, dass wegen der grösseren Oberfläche der Platinspitzen der Stimmgabel P. T. R. II 189 (gegenüber der der Stahlspitzen von P. T. R. II 38) auf ihnen eine entsprechend grössere Luftschicht durch Adsorption haftet, durch welche beim Eintauchen der Spitzen ins Quecksilber die Oberflächenspannung desselben vermindert wird.

## II. Destilliertes Wasser.

(Cylindrische Porzellanschale von 15,5 cm Durchmesser; Stimmgabel P. T. R. II. 38)

5. 3. 97.

Spitzenentfernung = 2772,03 p = 2,0474 cm.

	1070,7 p	Bemerkung: Das destillierte Wasser war
8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	1072,5	käuflich in Ballons bezogen worden; es wurde
	1074,5	aus dem Ballon mittelst Heber in eine
	1073,6	kleinere sorgfältigst gereinigte Flasche und
	1079,0	aus dieser in die Porzellanschale geleitet.
Mittlere Temper. $t = 18,32^\circ \text{C.}$	1073,0	Dies gilt auch für die folgenden Messungs-
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9986$	1079,4	reihen.
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	1078,7	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0010$	1070,0	
	<u>1075,7</u>	
	Mittel = 1074,71 p;	
	$\alpha = 0,0811 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0801 \text{ g/cm}$	

12. 3. 97.

Spitzenentfernung = 2135,74 p.

	1027,7 p	
10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	1027,2	
Mittlere Temper. $t = 17,15^\circ \text{C.}$	1027,6	
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9988$	1027,3	
Schwingungszahl $n_t = 253,18$	1024,9	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0010$	<u>1024,9</u>	
	Mittel = 1026,94 p;	
	$\alpha = 0,0793 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0783 \text{ g/cm}$	

16. 3. 97.

Spitzenentfernung = 2148,88 p.

	841,7 p	
8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	841,9	
	841,8	
	841,7	
	842,0	
Mittlere Temper. $t = 16,82^\circ \text{C.}$	839,8	
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9988$	841,9	
Schwingungszahl $n_t = 253,19$	840,4	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0010$	837,7	
	<u>840,4</u>	
	Mittel = 840,93 p;	
	$\alpha = 0,0834 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0824 \text{ g/cm}$	

30. 3. 97.

Spitzenentfernung = 2155,72 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 840,0$ p	
	841,5
	842,0
	840,5
	840,7
	841,0
	840,0
Mittlere Temper. $t = 18,54$ C.	839,8
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9985$	839,1
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	841,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0010$	841,1

Mittel = 840,65 p;

$$\alpha = 0,0825 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0815 \text{ g/cm}$$

2. 4. 97.

Spitzenentfernung = 2148,83 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 842,4$ p	
	841,2
	844,6
	838,1
	839,9
	842,7
Mittlere Temper. $t = 18,47$ C.	840,4
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9985$	838,4
Schwingungszahl $n_t = 253,15$	842,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0010$	841,6

Mittel = 841,20 p;

$$\alpha = 0,0835 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0825 \text{ g/cm}$$

9. 4. 97.	Spitzenentfernung = 2153,70 p.	
	8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 845,5$ p	
		844,3
		842,2
		842,7
		842,8
		843,1
		843,6
		839,7
		840,3
		842,8
Mittlere Temper. $t = 17,72^\circ$ C.		844,6
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9987$		843,6
Schwingungszahl $n_t = 253,16$		842,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0010$		843,4
		<u>839,8</u>
	Mittel = 842,73 p	
	$\alpha = 0,0834$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0824$ g/cm	
23. 4. 97.	Spitzenentfernung = 2199,37 p.	
	7 Intervalle = $7 \cdot \frac{\lambda}{2} = 725,0$ p	Bemerkung: Das destillierte Wasser
Mittlere Temper. $t = 18,67^\circ$ C.	729,1	war kurz vor der Messungsreihe in einer
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9985$	726,7	silbernen, innen stark vergoldeten Destilla-
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	726,1	tionsblase destilliert worden.
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0009$	<u>724,6</u>	
	Mittel = 726,30 p;	
	$\alpha = 0,0748$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0739$ g/cm	
30. 4. 97.	Spitzenentfernung = 2147,33 p.	
	8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 800,0$ p	Bemerkung: Wie vorher.
		800,4
		799,1
		805,7
		801,0
		800,8
		801,7
		805,7
		798,9
Mittlere Temper. $t = 15,98^\circ$ C.		800,6
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9990$		805,0
Schwingungszahl $n_t = 253,21$		803,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0009$		803,5
		801,3
		<u>799,2</u>
	Mittel = 801,76 p;	
	$\alpha = 0,0725$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0716$ g/cm	



21. 5. 97.

Spitzenentfernung = 2149,88 p.

8 Intervalle =  $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 839,2$  p      Bemerkung: Wie vorher.

837,3

839,4

837,5

836,5

838,1

835,3

836,8

836,1

Mittlere Temper.  $t = 14,82$  C.

836,7

Dichte des dest. Wassers  $\sigma_t = 0,9992$ 

837,2

Schwingungszahl  $n_t = 253,24$ 

840,2

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0010$ 

840,3

840,1

839,5

Mittel = 838,01 p;

 $\alpha = 0,0825$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0815$  g/cm

**Destilliertes Wasser.****Zusammenstellung der Ergebnisse der ersten Versuchsreihe  
mit Stimmgabel P. T. R. II. 38.**

Das destillierte Wasser befand sich bei den Messungen in der cylindrischen Porzellanschale.

Datum.	Temperatur in ° C.	Oberflächenspannung in g/cm.	Bemerkungen über Behandlung und Beschaffenheit des destillierten Wassers.
1897. 5. III.	18,32	0,0801	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 12. III.	17,15	0,0783	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 16. III.	16,82	0,0824	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 30. III.	18,54	0,0815	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 2. IV.	18,47	0,0825	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 9. IV.	17,72	0,0824	Das destillierte Wasser war käuflich bezogen.
„ 23. IV.	18,67	0,0739	Das Wasser war aus käuflichem destillierten Wasser kurz vor der Messungsreihe in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden.
„ 30. IV.	15,98	0,0716	Das Wasser war aus käuflichem destillierten Wasser kurz vor der Messungsreihe in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden.
„ 7. V.	15,03	0,0837	Das Wasser war aus käuflichem destillierten Wasser kurz vor der Messungsreihe in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden.
„ 11. V.	14,19	0,0778	Das Wasser war aus käuflichem destillierten Wasser kurz vor der Messungsreihe in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden.
„ 21. V.	14,82	0,0815	Das Wasser war aus käuflichem destillierten Wasser kurz vor der Messungsreihe in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destilliert worden.
Mittel:	16,9	0,0796	

## Versuche mit destillirtem Wasser

bei Anwendung des Doppeltrichterapparats und der grösseren Stimmgabel.

10. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1385,4 p = 1,7895 cm.

<p>4 Intervalle = <math>4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 422,9</math> p</p> <p style="padding-left: 100px;">420,9</p> <p style="padding-left: 100px;">421,9</p> <p style="padding-left: 100px;">418,0</p> <p style="padding-left: 100px;">421,0</p> <p style="padding-left: 100px;">419,2</p> <p>Mittlere Temper. <math>t = 17,92</math> C.</p> <p>Dichte des dest. Wassers <math>\sigma_t = 0,9986</math></p> <p>Schwingungszahl <math>n_t = 156,95</math></p> <p>Schwere-Korrektion <math>\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019</math></p> <p style="text-align: right; padding-right: 20px;">Mittel = <u>420,7</u> p;</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha = 0,0800</math> g/cm</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha_{\text{korr.}} = 0,0781</math> g/cm</p>	<p>Bemerkung: Das Wasser war Tags zuvor von Herrn Dr. Fischer in der vergoldeten Silberblase destillirt und in einer bis zum Halse gefüllten luftdicht verschlossenen Flasche aufbewahrt worden. Aus dieser wurde es in die Woolfsche Flasche (vergl. Fig. 5, Seite 116) gegossen und aus letzterer längere Zeit durch den vorher auf das Sorgfältigste gereinigten Doppeltrichterapparat geleitet, so dass alle Theile desselben mehrfach durch reines destillirtes Wasser ausgespült waren. Während der Messungen wird beständig das Wasser in langsamem Strom in den inneren Trichter geleitet und zum Ueberfließen gebracht, sodass die Beobachtungen stets an frischen, von neuem sich bildenden Oberflächen ausgeführt werden. Die geringen Erschütterungen, welche die Wasseroberfläche durch das Ueber- und Abfließen erfährt, beeinflussen die Interferenzkurven so wenig, dass man sicher auf sie einstellen kann.</p>
---	--

13. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1387,5 p.

<p>4 Intervalle = <math>4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 419,1</math> p</p> <p style="padding-left: 100px;">418,2</p> <p style="padding-left: 100px;">418,3</p> <p style="padding-left: 100px;">419,2</p> <p style="padding-left: 100px;">420,2</p> <p style="padding-left: 100px;">417,1</p> <p>Mittlere Temper. <math>t = 18,22</math> C.</p> <p>Dichte des dest. Wassers <math>\sigma_t = 0,9986</math></p> <p>Schwingungszahl <math>n_t = 156,95</math></p> <p>Schwere-Korrektion <math>\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019</math></p> <p style="text-align: right; padding-right: 20px;">Mittel = <u>418,7</u> p;</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha = 0,0785</math> g/cm</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha_{\text{korr.}} = 0,0766</math> g/cm</p>	<p>Bemerkung: Während der Beobachtungen fliesst wieder beständig das Wasser in langsam regulirtem Strom in den inneren Trichter und über den Rand desselben ab, sodass die Messungen an beständig sich erneuernden frischen Oberflächen ausgeführt werden.</p>
---	--

14. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1387,4 p.

<p>4 Intervalle = <math>4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 416,9</math> p</p> <p style="padding-left: 100px;">420,1</p> <p style="padding-left: 100px;">421,1</p> <p style="padding-left: 100px;">418,5</p> <p style="padding-left: 100px;">418,3</p> <p>Mittlere Temper. <math>t = 19,0</math> C.</p> <p>Dichte des dest. Wassers <math>\sigma_t = 0,9984</math></p> <p>Schwingungszahl <math>n_t = 156,94</math></p> <p>Schwere-Korrektion <math>\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019</math></p> <p style="text-align: right; padding-right: 20px;">Mittel = <u>418,98</u> p;</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha = 0,0787</math> g/cm</p> <p style="padding-left: 100px;"><math>\alpha_{\text{korr.}} = 0,0768</math> g/cm</p>	<p>Bemerkung: Das Wasser fliesst beständig in schwachem Strome über den Rand des inneren Trichters, sodass die Messungen an stets sich erneuernden Oberflächen ausgeführt werden.</p>
---	---

15. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1384,6 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 420,2$ p	418,7	Bemerkung: Neue Füllung mit frisch destillirtem Wasser. Dasselbe fließt wieder während der Beobachtungen beständig in schwachem Strome über den Rand des inneren Trichters.
Mittlere Temper. $t = 20,15$ C.	418,4	
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9982$	416,2	
Schwingungszahl $n_t = 156,92$	419,0	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$	418,5	
	Mittel = 418,5 p;	
	$\alpha = 0,0789$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0770$ g/cm	

17. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1385,9 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 417,3$ p;	416,6	Bemerkung: Die Wasserfüllung vom 15. 5. blieb für diese Beobachtungsreihe; das Wasser fließt wieder während derselben beständig.
	414,7	
	416,5	
	414,3	
Mittlere Temper. $t = 20,19$ C.	414,0	
Dichte des dest. Wassers $\sigma_t = 0,9982$	413,0	
Schwingungszahl $n_t = 156,92$	414,8	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0018$	413,4	
	414,79	
	Mittel = 414,79 p;	
	$\alpha = 0,0766$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0748$ g/cm	

### Destillirtes Wasser.

#### Zusammenstellung der Ergebnisse der Versuche mit dem Doppeltrichterapparat und der Stimmgabel P. T. R. II. 189.

Datum.	Temperatur in ° C.	Dichte	Oberflächen- spannung in g/cm.	Bemerkungen über die Herstellung und Beschaffenheit des Wassers und über die Beobachtungsart.
1901. 10. V.	17,92	0,9986	0,0781	Das destillirte Wasser war aus käuflichem destillirten Wasser Tags zuvor in einer silbernen, innen stark vergoldeten Destillationsblase destillirt und in einer verschlossenen Flasche aufbewahrt worden. Während der Messungen durchfließt das Wasser beständig in schwachem Strome den Doppeltrichterapparat, sodass bei beständig sich erneuernder Oberfläche beobachtet wird.
„ 13. V.	18,22	0,9986	0,0766	
„ 14. V.	19,00	0,9984	0,0768	
„ 15. V.	20,15	0,9982	0,0770	
„ 17. V.	20,19	0,9982	0,0748	
Mittel	19,1	0,9984	0,0767	

**III. Absoluter Alkohol.**

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38)

25. 5. 97.

Spitzenentfernung = 2171,98 p = 2,0474 cm.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 628,4$ p	Bemerkung: Der Alkohol war vor
531,0	längerer Zeit als absoluter von der Firma
629,9	C. A. F. Kahlbaum bezogen; er war einer
630,4	bis zur Hälfte gefüllten Flasche, die schon
632,5	häufig geöffnet worden und längere Zeit
634,5	mit der atmosphärischen Luft in Berührung
632,8	gewesen war, entnommen; er war deshalb
630,7	wohl nicht ganz wasserfrei.
Mittlere Temper. $t = 14,58^\circ$ C.	Dies gilt auch für die folgenden Mes-
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7940$	sungsreihen.
Schwingungszahl $n_t = 253,24$	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	
	<u>627,9</u>
	Mittel = 630,18 p;
	$\alpha = 0,0271$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0266$ g/cm

28. 5. 97.

Spitzenentfernung = 2169,48 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 639,1$ p	
642,5	
636,8	
637,5	
643,8	
Mittlere Temper. $t = 14,78^\circ$ C.	637,9
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7939$	638,2
Schwingungszahl $n_t = 253,24$	641,8
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	640,1
	<u>640,2</u>
	Mittel = 639,79 p;
	$\alpha = 0,0284$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0279$ g/cm

8. 6. 97.

Spitzenentfernung = 2460,03 p.

8 Intervalle =  $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 694,0$  p      Bemerkung: Die Interferenzkurven  
 695,8      erscheinen etwas unscharf, deshalb sind die  
 696,5      Einstellungen nicht ganz sicher.

698,2

692,0

698,6

701,0

696,3

698,0

695,5

Mittlere Temper.  $t = 17,74$  C.Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7914$ Schwingungszahl  $n_t = 253,16$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$ 

701,2

701,9

Mittel = 697,70 p;

 $\alpha = 0,0252$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0248$  g/cm

11. 6. 97.

Spitzenentfernung = 2442,38 p.

8 Intervalle =  $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 700,7$  p      Bemerkung: Während der Beobach-  
 701,8      tung stark wechselnde Intensität der Be-  
 694,3      leuchtung, wodurch scharfe Einstellung er-  
 696,0      schwert wird.

695,0

695,2

698,9

699,7

702,2

697,5

Mittel = 698,13 p;

 $\alpha = 0,0258$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0254$  g/cm

15. 6. 97.

Spitzenentfernung = 2435,93 p.

8 Intervalle =  $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 709,7$  p

710,3

709,0

703,8

710,6

Mittlere Temper.  $t = 17,77$  C.Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7913$ Schwingungszahl  $n_t = 253,16$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$ 

705,3

710,8

705,1

Mittel = 707,47 p;

 $\alpha = 0,0270$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0265$  g/cm

18. 6. 97.

Spitzenentfernung = 2511,25 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 756,2$ p	753,8
	753,5
	754,0
	754,2
Mittlere Temper. $t = 17,86^\circ$ C.	751,6
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7913$	753,3
Schwingungszahl $n_t = 253,16$	753,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	756,3
	<u>755,1</u>
Mittel = 754,15 p	
	$\alpha = 0,0299$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0294$ g/cm

22. 6. 97.

Spitzenentfernung = 2394,55 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 684,0$ p	684,0
	<u>680,4</u>
Mittlere Temper. $t = 17,25^\circ$ C.	Mittel = 682,80 p;
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7918$	$\alpha = 0,0256$ g/cm
Schwingungszahl $n_t = 253,17$	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0252$ g/cm
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	

### Absoluter Alkohol.

Der bei den folgenden Versuchsreihen verwendete Alkohol war frisch als „chemisch reiner absoluter Alkohol“ von der Firma C. A. F. Kahlbaum in einem vollständig gefüllten und luftdicht abgeschlossenen Ballon bezogen worden. Der letztere wurde unmittelbar vor Beginn der Messungsreihe stets nur für wenige Minuten behufs Füllung der Porzellanschale geöffnet und hernach sofort wieder luftdicht verschlossen. So wurde bei jeder der folgenden Messungsreihen verfahren; der einmal gebrauchte Alkohol kam nicht mehr zur Verwendung; stets wurde mit frischem, dem Ballon entnommenen Alkohol gearbeitet.

6. 7. 97.

Spitzenentfernung = 2300,25 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 774,6$ p	772,6
Mittlere Temper. $t = 19,10^\circ$ C.	775,8
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7902$	778,3
Schwingungszahl $n_t = 253,13$	772,0
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	<u>772,0</u>
Mittel = 774,66 p;	

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 927,8$ p	926,2	Bemerkung: Die Einstellung auf die beiden Endkurven war nicht sehr scharf, es werden zwei andere gewählt, für welche die Einstellung schärfer ist; den ersten 5 Beobachtungen (mit 10 Intervallen) ist deshalb das Gewicht $\frac{1}{2}$ , den letzten 5 Beobachtungen (mit 12 Intervallen) das Gewicht 1 gegeben.
	927,0	
	929,7	
	<u>928,7</u>	
Mittel = 927,88 p;		
	$\alpha = 0,0215$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0211$ g/cm	

9. 7. 97.

Spitzenentfernung = 2308,08 p.

$$12 \text{ Intervalle} = 12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 935,2 \text{ p}$$

938,2

941,2

937,3

940,4

934,8

936,8

937,2

936,2

938,1

Mittlere Temper.  $t = 18,52^\circ \text{C}$ .Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7908$ Schwingungszahl  $n_t = 253,14$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0004$ 

934,6

937,5

939,6

934,4

934,0

Mittel = 937,03 p;

 $\alpha = 0,0219 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0215 \text{ g/cm}$ 

13. 7. 97.

Spitzenentfernung = 2258,02 p.

$$12 \text{ Intervalle} = 12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 918,6 \text{ p}$$

921,8

915,0

916,7

920,0

916,8

921,4

921,7

914,7

915,6

918,6

919,4

Mittlere Temper.  $t = 18,13^\circ \text{C}$ .Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7911$ Schwingungszahl  $n_t = 253,15$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4n^2} = 0,0004$ 

920,1

918,4

915,7

918,0

920,4

920,6

921,4

913,8

Mittel = 918,42 p;

 $\alpha = 0,0220 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0216 \text{ g/cm}$

16. 7. 97.

Spitzenentfernung = 2258,48 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 908,9$ p;	
	909,5
	907,5
	909,6
	908,5
Mittlere Temper. $t = 18,13$ C.	909,6
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7911$	901,2
Schwingungszahl $n_t = 253,15$	910,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	908,0
	<u>909,1</u>
Mittel = 908,84 p;	
	$\alpha = 0,0213$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0209$ g/cm

23. 7. 97.

Spitzenentfernung = 2298,00 p.

12 Intervalle = $12 \cdot \frac{\lambda}{2} = 935,1$ p	
	933,2
	934,3
	938,4
	934,2
Mittlere Temper. $t = 18,35$ C.	934,4
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7909$	937,0
Schwingungszahl $n_t = 253,15$	936,1
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	933,5
	<u>933,8</u>
Mittel = 935,00 p;	

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 779,4$ p	
	781,3
	779,5
	778,5
	<u>777,8</u>
Mittel = 779,30 p;	

$$\alpha = 0,0220 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0216 \text{ g/cm}$$

**Absoluter Alkohol**

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38).

13. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2234,6 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 807,7$ p;	Bemerkung: Der für die folgenden
	793,1 Versuchsreihen benutzte Alkohol ist dem-
	804,4 selben Ballon entnommen, welcher den bei
	798,1 den Versuchsreihen im Juli 1897 verwendeten
	791,7 Alkohol enthielt. Derselbe war seitdem
	800,3 mehrfach und für längere Zeit mit der atmo-
Mittlere Temper. $t = 21,02$ C.	791,0 sphärischen Luft in Berührung und kann
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7958$	794,2 deshalb nicht mehr als wasserfrei angesehen
Schwingungszahl $n_t = 253,08$	796,9 werden. Die wahre Stärke desselben beträgt
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	807,9 etwa 99,4 ‰.
	793,8
	<u>804,4</u>
Mittel = 798,62 p;	
	$\alpha = 0,0259$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0255$ g/cm

15. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2235,8 p.

10 Intervalle = $10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 806,8$ p	Bemerkung: Vergleiche für diese wie
	802,4 für die folgenden Versuchsreihen die Be-
	803,4 merkung zur vorhergehenden Messungsreihe.
	801,7
	799,6
	807,2
	807,1
Mittlere Temper. $t = 16,98$ C.	811,1
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7963$	809,8
Schwingungszahl $n_t = 253,19$	808,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$	801,9
	<u>800,5</u>
Mittel = 805,0 p;	
	$\alpha = 0,0265$ g/cm
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0261$ g/cm

19. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2229,9 p.

$$10 \text{ Intervalle} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2} = 817,0 \text{ p}$$

810,0

809,5

806,8

808,4

811,9

816,7

811,2

805,9

Mittlere Temper.  $t = 17,47^\circ \text{C}$ .

814,6

Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7959$ 

805,7

Schwingungszahl  $n_t = 253,17$ 

807,1

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0004$ 

805,6

809,8

812,1

Mittel = 810,15 p;

$$\alpha = 0,0272 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0268 \text{ g/cm}$$

$$8 \text{ Intervalle} = 8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 655,2 \text{ p}$$

651,2

655,9

651,5

651,2

Mittel = 653,0 p;

$$\alpha = 0,0279 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0274 \text{ g/cm}$$

26. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2228,3 p.

$$8 \text{ Intervalle} = 8 \cdot \frac{\lambda}{2} = 653,8 \text{ p}$$

656,5

652,1

654,7

654,3

Mittlere Temper.  $t = 21,14^\circ \text{C}$ .

656,3

Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7935$ 

654,8

Schwingungszahl  $n_t = 253,08$ 

651,4

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$ 

657,9

657,4

Mittel = 654,92 p;

$$\alpha = 0,0281 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0276 \text{ g/cm}$$

## Absoluter Alkohol.

Zusammenstellung der Ergebnisse der ersten drei Versuchsreihen  
mit Stimmgabel P. T. R. II. 38.(Der absolute Alkohol befindet sich bei diesen Messungen in derselben  
cylindrischen Porzellanschale.)

Datum.	Temperatur in °C.	Oberflächenspannung in $\mu\text{cm.}$	Bemerkungen über Behandlung und Beschaffenheit des absoluten Alkohols.
1897. 25. V.	14,58	0,0266	Der absolute Alkohol ( $\sigma_{15/4} = 0,7938$ ) war häufig längere Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung gewesen und deshalb wohl nicht mehr ganz wasserfrei.
„ 28. V.	14,78	0,0279	
„ 8. VI.	17,74	0,0248	
„ 11. VI.	17,20	0,0254	
„ 15. VI.	17,77	0,0265	
„ 18. VI.	17,86	0,0294	
„ 22. VI.	17,25	0,0252	
Mittel: 1)	16,7	0,0265	
1897. 6. VII.	19,10	0,0211	Frisch als chemisch reiner absoluter Alkohol von der Firma C. A. F. Kahl- baum in vollständig gefülltem und luftdicht abgeschlossenem Ballon be- zogen; letzterer wird behufs Füllung der Schale nur für sehr kurze Zeit geöffnet.
„ 9. VII.	18,52	0,0215	
„ 13. VII.	18,13	0,0216	
„ 16. VII.	18,13	0,0209	
„ 23. VII.	18,35	0,0216	
Mittel: 2)	18,4	0,0213	
1898. 13. IV.	21,02	0,0255	Der Alkohol ist dem bei den vorhergehen- den Messungen erwähnten Ballon ent- nommen worden. Letzterer war seit- dem mehrfach geöffnet worden, so- dass der Alkohol häufig längere Zeit hindurch mit der atmosphärischen Luft in Berührung war und deshalb nicht mehr als wasserfrei angesehen werden kann. Seine wahre Stärke beträgt etwa 99,4‰.
„ 15. IV.	16,98	0,0261	
„ 19. IV.	17,47	0,0268	
„ „	17,47	0,0274	
„ 26. IV.	21,14	0,0276	
Mittel: 3)	18,8	0,0267	

Hauptmittel aus 1) und 3): 0,0266 bei 17,7 °C.

### Absoluter Alkohol.

(Doppeltrichterapparat und Stimmgabel P. T. R. II 189).

Bemerkung: Der für die folgenden Versuchsreihen benutzte Alkohol war als chemisch reiner absoluter Alkohol von der Firma C. A. F. Kahlbaum bezogen worden in einer vollständig gefüllten und luftdicht verschlossenen Flasche, welche vor den Versuchen noch nicht geöffnet worden war. Nach Abschluss der Versuche mit verdünnter Schwefelsäure war der Doppeltrichterapparat nebst den Zuleitungsröhren auseinander genommen und die Woolf'sche Flasche durch eine andere neue ersetzt worden. Nachdem alle Theile wiederholt mit destillirtem Wasser ausgespült worden waren, wurde der Apparat wieder zusammengesetzt, und hierauf der Reihe nach destillirtes Wasser, reiner 90%iger Alkohol und zuletzt mehrfach reiner absoluter Alkohol, welcher einem noch nicht geöffnet gewesenen Ballon entnommen war, in langsamem Strome durch den ganzen Apparat geleitet, bevor mit den eigentlichen Messungen begonnen ward. Während der Messungen fließt beständig Alkohol hindurch und über, sodass bei beständig sich erneuernder Oberfläche beobachtet wird. Nur während der Einstellung wird auf ganz kurze Zeit einer der den Zufluss regulirenden Hähne geschlossen.

9. 7. 01. Spitzenentfernung = 1364,3 p = 1,7895 cm.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 276,0$ p	279,1
	282,6
	279,8
	278,9
Mittlere Temper. $t = 22,6^\circ$ C.	277,1
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7890$	281,9
Schwingungszahl $n_t = 156,88$	281,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0007$	276,9
	280,2

Mittel = 279,42 p;

$\alpha = 0,0194$  g/cm

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0187$  g/cm

12. 7. 01. Spitzenentfernung = 1374,3 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 281,3$ p	284,6
	283,1
	284,2
	282,9
	285,3
	285,9
	284,0
	288,4
	286,6
Mittlere Temper. $t = 23,7^\circ$ C.	286,6
Dichte des Alkohols $\sigma_t = 0,7881$	286,8
Schwingungszahl $n_t = 156,86$	285,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0007$	286,0
	286,7

Mittel = 285,2 p;

$\alpha = 0,0201$  g/cm

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0194$  g/cm

16. 7. 01.

Spitzenentfernung = 1359,9 p.

4 Intervalle =  $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 283,8$  p      Bemerkung: Vergleiche die vorhergehenden Bemerkungen.

284,0

281,0

284,0

281,3

282,8

282,8

283,1

283,3

287,0

Mittlere Temper.  $t = 23,7^\circ$  C.

284,2

Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7881$ 

280,2

Schwingungsanzahl  $n_t = 156,86$ 

283,2

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0007$ 

280,4

281,7

Mittel = 282,85 p;

 $\alpha = 0,0202$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0195$  g/cm

5. 8. 01.

Spitzenentfernung = 1380,1 p.

4 Intervalle =  $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 285,8$  p      Bemerkung: Wie bei den vorhergehenden Messungen.

288,2

Mittlere Temper.  $t = 22,0^\circ$  C.

285,3

Dichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7895$ 

287,7

Schwingungsanzahl  $n_t = 156,89$ 

289,1

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0007$ 

287,9

Mittel = 287,33 p;

 $\alpha = 0,0204$  g/cm $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0197$  g/cm

6. 8. 01.

Spitzenentfernung = 1380,25 p.

4 Intervalle =  $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 286,2$  p      Bemerkung: Wie bei den vorhergehenden Messungen.

285,2

284,1

283,6

284,4

Mittel = 284,7 p;

Mittlere Temper.  $t = 22,1^\circ$  C. $\alpha = 0,0198$  g/cmDichte des Alkohols  $\sigma_t = 0,7894$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0191$  g/cmSchwingungsanzahl  $n_t = 156,89$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0007$

**Absoluter Alkohol.****Zusammenstellung der Ergebnisse der Versuche mit dem Doppeltrichterapparat und der Stimmgabel P. T. R. II. 189.**

Datum	Temperatur in ° C.	Dichte $\sigma_{t/4}$	Oberflächen- spannung in g/cm.	Bemerkungen über die Beschaffenheit des Alkohols und über die Beobachtungsart.
1901. 9. VII.	22,60	0,7890	0,0187	Der Alkohol war als chemisch reiner absoluter Alkohol von der Firma C. A. F. Kahlbaum bezogen und einer Flasche, welche noch nicht geöffnet worden war, entnommen worden. Er kann als wasserfrei angesehen werden. Während der Messungen fließt beständig der Alkohol durch den Trichterapparat, sodass also bei beständig sich erneuernder Oberfläche beobachtet wird. Nur während der Einstellung wird auf ganz kurze Zeit der eine der den Zufluss regulirenden Hähne geschlossen.
„ 12. VII.	23,70	0,7881	0,0194	
„ 16. VII.	23,70	0,7881	0,0195	
„ 5. VIII.	22,00	0,7895	0,0197	
„ 6. VIII.	22,10	0,7894	0,0191	
Mittel:	22,8	0,7888	0,0193	

## IV. Russisches Leuchtöl.

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38.)

6. 5. 98.

Spitzenentfernung = 2214,5 p = 2,0474 cm.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	676,1 p	Bemerkung: Entnommen aus einer luftdicht abgeschlossenen, noch nicht gebrauchten, von der Firma Paul Rehfeld bezogenen Flasche.
	669,7	
	668,0	
	668,6	
	673,7	
	674,3	
Mittlere Temper. $t = 14,92^\circ \text{C}.$	672,8	
Dichte des Leuchtöls $\sigma_t = 0,8223$	669,5	
Schwingungszahl $n_t = 253,23$	671,0	
	674,2	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	672,7	
	<u>672,6</u>	
Mittel =	671,93 p ;	
	$\alpha = 0,0320 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0315 \text{ g/cm}$	

13. 5. 98.

Spitzenentfernung = 2175,7 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	650,8 p	Bemerkung: Wie vorhin.
	649,2	
	653,8	
	657,3	
	654,5	
Mittlere Temper. $t = 15,72^\circ \text{C}.$	654,6	
Dichte des Leuchtöls $\sigma_t = 0,8207$	655,0	
Schwingungszahl $n_t = 253,21$	649,5	
	657,5	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	<u>654,5</u>	
Mittel =	653,67 p ;	
	$\alpha = 0,0310 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0305 \text{ g/cm}$	

**V. Amerikanisches Mineralöl.**

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38.)

17. 5. 98.

Spitzenentfernung = 2213,05 p.

8 Intervalle = $8 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	668,6 p	Bemerkung: Entnommen einer noch nicht gebrauchten, vollständig gefüllten, von der Firma Paul Rehfeld bezogenen Flasche.
	666,8	
	666,0	
	668,3	
	673,3	
Mittlere Temper. $t = 15,42^\circ \text{C.}$	673,3	
Dichte des Mineralöls $\sigma_t = 0,7559$	679,6	
Schwingungszahl $n_t = 253,22$	679,2	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0005$	676,6	
	<u>678,1</u>	
Mittel =	672,98 p;	
	$\alpha = 0,0296 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0291 \text{ g/cm}$	

**VI. Wässrige Zuckerlösungen.**

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 38.)

8. 3. 98.

**31,05 %ige Zuckerlösung.**

Spitzenentfernung = 2242,0 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	579,4 p	Bemerkung: Die Lösung war Tags zuvor bereitet worden; sie enthält im Innern mehrere flockenartige Gebilde.
	572,0	
	578,4	
	579,4	
Mittlere Temper. $t = 17,12^\circ \text{C.}$	573,4	In Folge der starken Dämpfung tönt die Stimmgabel schneller, als in den anderen Flüssigkeiten, ab; deshalb bleiben scharfe und sicher messbare Interferenzkurven nur für kurze Zeit bestehen.
Dichte der Zuckerlösung $\sigma_t = 1,1340$	581,8	
Schwingungszahl $n_t = 253,18$	571,1	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0009$	567,7	
	582,6	
	<u>580,2</u>	
Mittel =	576,60 p;	
	$\alpha = 0,0637 \text{ g/cm}$	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0628 \text{ g/cm}$	



$$\begin{aligned}
 4 \text{ Intervalle} &= 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 379,4 \text{ p} \\
 &380,3 \\
 &376,6 \\
 &379,6 \\
 &\underline{383,6} \\
 \text{Mittel} &= 379,9 \text{ p;} \\
 \alpha &= 0,0614 \text{ g/cm} \\
 \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0606 \text{ g/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2 \text{ Intervalle} &= 2 \cdot \frac{\lambda}{2} = 190,4 \text{ p} \\
 &187,2 \\
 &192,3 \\
 &187,2 \\
 &\underline{190,1} \\
 \text{Mittel} &= 189,44 \text{ p;} \\
 \alpha &= 0,0609 \text{ g/cm} \\
 \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0601 \text{ g/cm} \\
 \text{Mittel } \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0603 \text{ g/cm}
 \end{aligned}$$

**24,8 %ige Zuckerlösung.**

22. 3. 98.

Spitzenentfernung = 2242,95 p.

$$\begin{aligned}
 6 \text{ Intervalle} &= 6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 537,4 \text{ p} && \text{Bemerkung: Die Flüssigkeit erscheint} \\
 \text{Mittlere Temper. } t &= 19,58 \text{ C.} && \text{nicht ganz rein, die Einstellung auf die} \\
 \text{Dichte der Zuckerlösung } \sigma_t &= 1,1035 && \text{Interferenzkurven ist nicht scharf.} \\
 \text{Schwingungszahl } n_t &= 253,12 && \\
 \text{Schwere-Korrektion } \frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} &= 0,0008 && \\
 &\underline{536,5} && \\
 \text{Mittel} &= 539,62 \text{ p;} \\
 \alpha &= 0,0507 \text{ g/cm} \\
 \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0499 \text{ g/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4 \text{ Intervalle} &= 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 371,1 \text{ p} && \text{Bemerkung: Beim Herausheben der} \\
 &370,5 && \text{Stimmgabel zeigen sich in der Nähe der} \\
 &369,7 && \text{Eintauchungsstelle auf der Flüssigkeitsober-} \\
 &366,6 && \text{fläche flockenartige Gebilde (Pilze, Bak-} \\
 &\underline{364,0} && \text{terien?).} \\
 \text{Mittel} &= 368,38 \text{ p;} \\
 \alpha &= 0,0545 \text{ g/cm} \\
 \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0537 \text{ g/cm} \\
 \text{Mittel } \alpha_{\text{korr.}} &= 0,0518 \text{ g/cm}
 \end{aligned}$$

**19,4 %ige Zuckerlösung.**

25. 3. 98.

Spitzenentfernung = 2237,65 p.

6 Intervalle = $6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 592,3$ p	592,3
	592,8
	589,3
	585,6
	600,6
Mittlere Temper. $t = 18,57$ C.	599,8
Dichte der Zuckerlösung $\sigma_t = 1,0798$	594,0
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	599,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0009$	589,7
	<u>596,3</u>

Mittel = 593,99 p;

$$\alpha = 0,0667 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0658 \text{ g/cm}$$

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 400,4$ p	Bemerkung: Die Einstellung bei den
	396,9 Messungen mit 4 Intervallen ist schärfer
	393,8 als bei den mit 6 Intervallen.
	400,4
	<u>401,1</u>

Mittel = 398,52 p;

$$\alpha = 0,0680 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0671 \text{ g/cm}$$

Mittel  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0664 \text{ g/cm}$ **14,4 %ige Zuckerlösung.**

29. 3. 98.

Spitzenentfernung = 2240,45 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 376,9$ p	376,9
Mittlere Temper. $t = 18,82$ C.	375,5
Dichte der Zuckerlösung $\sigma_t = 1,0577$	368,6
Schwingungszahl $n_t = 253,14$	378,9
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0008$	371,2
	<u>371,2</u>

Mittel = 374,22 p;

$$\alpha = 0,0549 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0541 \text{ g/cm}$$

$2 \text{ Intervalle} = 2 \cdot \frac{\lambda}{2} = 188,2 \text{ p}$	Bemerkung: Beim Herausnehmen der Stimmgabelspitzen erblickt man im Gesichtsfelde des Mikrometernikroskops an den Eintauchungsstellen eine wolkige flockenartige Schicht. Deshalb ist diese Reihe auszuschliessen.
186,8	
188,6	
186,5	
<u>184,8</u>	
Mittel = 186,98 p;	
$\alpha = 0,0548 \text{ g/cm}$	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0540 \text{ g/cm}$	

**10,0 %ige Zuckerlösung.**

1. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2243,95 p.

$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 389,9 \text{ p}$	
Mittlere Temper. $t = 18,82 \text{ C.}$	381,2
Dichte der Zuckerlösung $\sigma_t = 1,0393$	384,4
Schwingungszahl $n_t = 253,13$	387,2
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0008$	<u>388,8</u>
Mittel = 386,3 p;	
$\alpha = 0,0591 \text{ g/cm}$	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0583 \text{ g/cm}$	

$6 \text{ Intervalle} = 6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 568,3 \text{ p}$	
580,3	
582,2	
569,3	
<u>572,1</u>	
Mittel = 574,44 p;	
$\alpha = 0,0576 \text{ g/cm}$	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0568 \text{ g/cm}$	

$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 383,1 \text{ p}$	
383,6	
387,9	
389,4	
<u>389,0</u>	
Mittel = 386,6 p;	
$\alpha = 0,0592 \text{ g/cm}$	
$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0584 \text{ g/cm}$	

Spitzenentfernung = 2231,8 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 387,8 \text{ p}$$

$$\underline{386,2}$$

Mittel = 387,0 p;

Mittlere Temper.  $t = 18,82^\circ \text{C}$ .Dichte der Zuckerlösung  $\sigma_t = 1,0393$  $\alpha = 0,0604 \text{ g/cm}$ Schwingungszahl  $n_t = 253,13$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0596 \text{ g/cm}$ Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0008$ Mittel  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0581 \text{ g/cm}$ **5,3 %ige Zuckerlösung.**

5. 4. 98.

Spitzenentfernung = 2231,77 p.

$$6 \text{ Intervalle} = 6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 602,8 \text{ p}$$

604,2

598,5

603,5

601,3

Mittlere Temper.  $t = 19,17^\circ \text{C}$ .

599,2

Dichte der Zuckerlösung  $\sigma_t = 1,0200$ 

597,1

Schwingungszahl  $n_t = 253,13$ 

592,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0009$ 

600,3

 $\underline{596,0}$ 

Mittel = 599,56 p;

 $\alpha = 0,0653 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0644 \text{ g/cm}$ 

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 401,4 \text{ p}$$

404,9

400,0

398,3

 $\underline{401,7}$ 

Mittel = 401,26 p;

 $\alpha = 0,0661 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0652 \text{ g/cm}$ Mittel  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0648 \text{ g/cm}$

**Zusammenstellung der Versuche mit  
wässrigen Zuckerlösungen.**

Temperatur in ° C.	Konzentration in Procenten	Dichte $\sigma$ $t/4$	Oberflächen- spannung in g/cm	Bemerkungen über Beschaffenheit der Lösungen
19,17	5,3	1,0200	0,0648	
18,82	10,0	1,0393	0,0581	
18,82	14,4	1,0577	0,0541	Die Flüssigkeit enthält viele Pilze, deshalb ist die Messung unbrauchbar.
18,57	19,4	1,0798	0,0664	Die Flüssigkeit erscheint nicht ganz rein. In der Nähe der Spitzen zeigen sich auf der Oberfläche flockenartige Gebilde (Pilze, Bakterien).
19,58	24,8	1,1035	0,0518	
19,44	29,85	1,1275	0,0603	
17,12	31,05	1,1340	0,0654	Die Lösung war Tags zuvor bereitet worden, enthält flockenartige Gebilde (Pilze). Stimmgabel tönt in Folge der starken Dämpfung nur kurze Zeit.
18,52	37,7	1,1664	0,0659	Die Lösung war durch Thierkohle filtrirt worden, die Interferenzwellen bestehen nur sehr kurze Zeit, was die Beobachtung schwierig und unsicher macht.

## VII. Vorversuche mit verdünnter Schwefelsäure.

(Cylindrische Porzellanschale; Stimmgabel P. T. R. II. 189.)

### 5 %ige Schwefelsäure.

17. 11. 99.

Spitzenentfernung = 1839,4 p = 1,7932 cm.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 545,8$ p	545,8	Bemerkung: Die Schwefelsäuremischungen wurden aus chemisch reiner konzentrierter Schwefelsäure (bezogen von C. A. F. Kahlbaum) und destillirtem Wasser einen Tag vor der Messung hergestellt von Herrn Dr. W. Bein. Derselbe hat auch die Dichtebestimmungen ausgeführt und an den Messungen selbst Theil genommen. Als erregende Stimmgabel wird jetzt die grössere P. T. R. 189 mit den Platinspitzen angewendet. Die Oberflächen der Mischungen sind während der Messungen nicht rein zu erhalten; am Schlusse derselben, aber auch schon während der Messungen selbst enthalten sie viele Staubpartikelchen.
	546,0	
	547,4	
	546,3	
	547,2	
Mittlere Temper. $t = 17,6^{\circ}$ C.	549,8	
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,034$	553,0	
Schwingungszahl $n_t = 156,96$	548,1	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$	546,7	
	<u>546,2</u>	
Mittel = 547,65 p;		
	$\alpha = 0,0786$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0767$ g/cm	

21. 11. 99.

Spitzenentfernung = 1837,25 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 549,1$ p	549,1	Bemerkung: Die Flüssigkeitsoberfläche ist bei aller Vorsicht und Sorgfalt während der Messungen nicht ganz staubfrei zu erhalten. Dies gilt auch für die folgenden Beobachtungsreihen.
	548,9	
	545,2	
	547,9	
	547,8	
	545,2	
	543,5	
	545,9	
	546,3	
	548,1	
Mittlere Temper. $t = 18,1^{\circ}$ C.	548,0	
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,034$	542,0	
Schwingungszahl $n_t = 156,95$	547,0	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$	544,2	
	<u>544,7</u>	
Mittel = 546,25 p;		
	$\alpha = 0,0783$ g/cm	
	$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0764$ g/cm	

12. 12. 99. Spitzenentfernung = 1961,85 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 583,6 \text{ p}$$

581,8  
583,8  
581,8  
583,4

Mittlere Temper.  $t = 18,3^\circ \text{ C.}$  584,3

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,034$  583,6

Schwingungszahl  $n_t = 156,95$  582,4

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0019$  581,5  
584,8

Mittel = 583,10 p;

$\alpha = 0,0782 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0763 \text{ g/cm}$

### 10 %ige Schwefelsäure.

12. 12. 99. Spitzenentfernung = 1959,2 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 589,3 \text{ p}$$

584,0  
584,2  
583,5  
580,4

Mittlere Temper.  $t = 18,4^\circ \text{ C.}$  578,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,069$  578,8

Schwingungszahl  $n_t = 156,95$  580,0

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0019$  577,3  
580,0

Mittel = 581,55 p;

$\alpha = 0,0805 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0786 \text{ g/cm}$

15. 12. 99. Spitzenentfernung = 1955,65 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 591,3 \text{ p}$$

587,3  
586,3  
584,3  
582,1

Mittlere Temper.  $t = 18,4^\circ \text{ C.}$  581,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,069$  584,0

Schwingungszahl  $n_t = 156,95$  583,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0019$  582,0  
585,8

Mittel = 584,78 p;

$\alpha = 0,0823 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0804 \text{ g/cm}$

22. 12. 99.

Spitzenentfernung = 1959,45 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 592,3 \text{ p}$$

589,0

588,0

587,9

Mittlere Temper.  $t = 18,2^\circ \text{C}$ .

585,3

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,069$ 

586,7

Schwingungszahl  $n_t = 156,95$ 

584,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$ 

586,3

582,0

586,2

Mittel = 586,84 p;

 $\alpha = 0,0827 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0807 \text{ g/cm}$ 

Spitzenentfernung = 1961,22 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 587,8 \text{ p}$$

586,6

584,3

580,6

Mittlere Temper.  $t = 18,1^\circ \text{C}$ .

584,1

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,069$ 

587,0

Schwingungszahl  $n_t = 156,95$ 

583,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$ 

583,7

580,9

581,0

Mittel = 583,97 p;

 $\alpha = 0,0813 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0794 \text{ g/cm}$ 

12. 1. 00.

Spitzenentfernung = 1959,15 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 582,7 \text{ p}$$

583,0

582,5

579,8

580,0

Mittlere Temper.  $t = 22,2^\circ \text{C}$ .

579,8

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,068$ 

580,8

Schwingungszahl  $n_t = 156,88$ 

580,6

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$ 

577,3

575,6

Mittel = 580,21 p;

 $\alpha = 0,0809 \text{ g/cm}$  $\alpha_{\text{korr.}} = 0,0790 \text{ g/cm}$

**15 %ige Schwefelsäure.**

12. 1. 00. Spitzenentfernung = 1962,65 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 568,0 \text{ p}$$

565,0

564,3

563,8

565,0

Mittlere Temper.  $t = 22,7^\circ \text{C}$ . 565,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,104$  565,3

Schwingungszahl  $n_t = 156,87$  566,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0018$  565,4

565,4

Mittel = 565,39 p;

$\alpha = 0,0759 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0741 \text{ g/cm}$

16. 1. 00. Spitzenentfernung = 1962,15 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 586,7 \text{ p}$$

582,5

580,1

577,2

Mittlere Temper.  $t = 20,7^\circ \text{C}$ . 575,1

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,104$  570,8

Schwingungszahl  $n_t = 156,91$  571,4

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$  570,0

569,0

568,3

Mittel = 575,11 p;

$\alpha = 0,0800 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0781 \text{ g/cm}$

571,4

568,6

569,6

568,0

567,6

566,5

568,4

567,8

569,9

570,3

Mittel = 568,81 p;

$\alpha = 0,0775 \text{ g/cm}$

$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0756 \text{ g/cm}$

Bemerkung: Das Gefäß war vor der Füllung mit absolutem Alkohol ausgespült worden.

Bemerkung: Neue Füllung. Von jetzt ab wird das Gefäß stets Tags zuvor mit der zu untersuchenden Mischung gefüllt und diese unmittelbar vor den Messungen zum Ueberfließen gebracht.

**25 %ige Schwefelsäure.**

30. 1. 00.

Spitzenentfernung = 1966,7 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 559,9$ p	Bemerkung: Auf der Flüssigkeitsoberfläche zeigen sich nach Schluss der Messungen viele Staubpartikelchen.
	557,8
	556,7
	557,4
	557,6
	556,8
Mittlere Temper. $t = 18,40$ C.	554,6
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,179$	561,0
Schwingungszahl $n_t = 156,95$	558,1
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	558,9

Mittel = 567,88 p;

$$\alpha = 0,0799 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0779 \text{ g/cm}$$

6. 2. 00.

Spitzenentfernung = 1962,8 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 560,5$ p	
	558,6
	559,0
	559,0
	556,9
	556,5
Mittlere Temper. $t = 17,6$ C.	557,1
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,180$	556,3
Schwingungszahl $n_t = 156,96$	557,1
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$	554,3

Mittel = 557,53 p;

$$\alpha = 0,0779 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0760 \text{ g/cm}$$

**30 %ige Schwefelsäure.**

9. 2. 00.

Spitzenentfernung = 1965,55 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 561,1 \text{ p}$$

560,6

559,7

557,8

557,5

551,2

550,0

550,1

Mittlere Temper.  $t = 17,4^\circ \text{C}$  549,6Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,221$  548,0Schwingungszahl  $n_t = 156,92$  540,3Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$  542,0

Mittel = 552,325 p;

$$\alpha = 0,0780 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0760 \text{ g/cm}$$

**30 %ige Schwefelsäure.**

12. 2. 00.

Spitzenentfernung = 1969,15 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 551,0 \text{ p}$$

551,6

550,8

554,0

554,4

553,1

Mittlere Temper.  $t = 16,7^\circ \text{C}$  550,6Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,221$  552,0Schwingungszahl  $n_t = 156,97$  553,4Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$  552,7

Mittel = 552,36 p;

$$\alpha = 0,0776 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0756 \text{ g/cm}$$

Spitzenentfernung = 1968,4 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 554,2 \text{ p}$$

555,1

553,3

558,8

553,8

554,1

556,7

554,1

554,3

553,7

Mittel = 555,01 p;

$$\alpha = 0,0788 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0768 \text{ g/cm}$$

**40<sup>0</sup>/<sub>0</sub>ige Schwefelsäure.**

16. 2. 00.

Spitzenentfernung = 1969,5 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 546,3 \text{ p}$$

545,7

547,6

545,1

543,6

Mittlere Temper.  $t = 15,9^\circ \text{C}$ .

543,9

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,306$ 

543,1

Schwingungszahl  $n_t = 156,99$ 

547,0

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$ 

546,7

547,9

Mittel = 545,69 p;

$$\alpha = 0,0800 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0780 \text{ g/cm}$$

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 540,7 \text{ p}$$

540,3

541,4

540,3

541,7

Mittlere Temper.  $t = 16,0^\circ \text{C}$ .

543,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,306$ 

542,2

Schwingungszahl  $n_t = 156,98$ 

544,6

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$ 

542,5

542,7

Mittel = 541,96 p

$$\alpha = 0,0784 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0764 \text{ g/cm}$$

**50 %ige Schwefelsäure.**

2. 3. 00.

Spitzenentfernung = 1923,95 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 523,6 \text{ p}$$

522,6

523,5

522,0

522,1

Mittlere Temper.  $t = 15,4^{\circ} \text{C}$ .

521,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,399$ 

518,7

Schwingungszahl  $n_t = 156,99$ 

519,0

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0021$ 515,5

Mittel = 520,89 p

$$\alpha = 0,0800 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0779 \text{ g/cm}$$

Spitzenentfernung = 1923,8 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 516,3 \text{ p}$$

515,8

515,6

514,7

517,9

Mittlere Temper.  $t = 16,1^{\circ} \text{C}$ .

520,4

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,398$ 

519,8

Schwingungszahl  $n_t = 156,98$ 

518,7

Schwere-Korrektion  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0021$ 

518,7

519,5

Mittel = 517,74 p;

$$\alpha = 0,0785 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0764 \text{ g/cm}$$

**Verdünnte Schwefelsäure.****Zusammenstellung der Ergebnisse der Vorversuche  
mit Stimmgabel P. T. R. II. 189.**

Datum.	Temperatur in ° C.	Dichte $\sigma_{t/4}$	Oberflächen- spannung $\alpha$ in g/cm	Halbe spezifische Kohäsion $\alpha/\sigma$	Bemerkungen über die Beschaffenheit der Mischungen
<b>1. 5 %ige Schwefelsäure</b>					
1899. 17. XI.	17,60	1,034	0,0767		Die Mischungen wurden aus chemisch reiner konzentrierter Schwefelsäure und destillirtem Wasser einen Tag vor den Messungen hergestellt.
„ 21. XI.	18,10	1,034	0,0764		
„ 12. XII.	18,30	1,034	0,0763		
Mittel:	18,0	1,034	0,0765	0,0740	
<b>2. 10 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 12. XII.	18,4	1,069	0,0786		Da die Flüssigkeitsoberflächen bei Anwendung der einfachen Porzellanschale nicht genügend rein zu erhalten waren, sind diese Versuchsergebnisse nicht als definitive zu betrachten.
„ 15. XII.	18,4	1,069	0,0804		
„ 22. XII.	18,2	1,069	0,0807		
„ „	18,1	1,069	0,0794		
1900. 12. I.	22,2	1,068	0,0790		
Mittel:	19,1	1,069	0,0796	0,0745	
<b>3. 15 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 12. I.	22,7	1,104	0,0741		
„ 16. I.	20,7	1,104	0,0781		
„ „	20,7	1,104	0,0756		
Mittel:	21,4	1,104	0,0759	0,0687	
<b>4. 25 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 30. I.	18,4	1,179	0,0779		
„ 6. II.	17,6	1,180	0,0760		
Mittel:	18,0	1,179	0,0769	0,0652	
<b>5. 30 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 9. II.	17,4	1,221	0,0760		
„ 12. II.	16,7	1,221	0,0756		
„ „	16,7	1,221	0,0768		
Mittel:	16,9	1,221	0,0761	0,0623	
<b>6. 40 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 16. II.	15,9	1,306	0,0780		
„ „	16,0	1,306	0,0764		
Mittel:	16,0	1,306	0,0772	0,0591	
<b>7. 50 %ige Schwefelsäure</b>					
„ 2. III.	15,4	1,399	0,0778		
„ „	16,1	1,398	0,0763		
Mittel:	15,7	1,399	0,0771	0,0551	

### VIII. Versuche mit verdünnter Schwefelsäure

bei Anwendung des Doppeltrichterapparats und der Stimmgabel P. T. R. II. 189.

#### 10 %ige Schwefelsäure.

21. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1392,4 p = 1,7895 cm.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 413,3$ p	Bemerkung: Die Schwefelsäuremischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen hergestellt worden aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser durch Herrn Dr. Fischer, welcher auch die Bestimmungen der Dichte vor Beginn und nach Schluss der Messungsreihen ausgeführt hat. Die Einstellungen finden ebenso wie bei den Versuchen mit destillirtem Wasser bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
	411,0
	412,7
	413,8
	412,0
	411,8
Mittlere Temper. $t = 18,5^{\circ}$ C.	413,8
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,067$	413,0
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	411,5
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0019$	<u>410,9</u>

Mittel = 412,38 p;

$$\alpha = 0,0793 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0774 \text{ g/cm}$$

#### 10 %ige Schwefelsäure.

21. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1396,8 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 415,6$ p	Bemerkung: Die Flüssigkeit wird längere Zeit hindurch in stärkerem Strome und hernach während der Beobachtungen in schwächerem Strome zum Ueberfliessen gebracht.
	411,6
	414,0
	414,1
	<u>412,3</u>

Mittel = 413,52 p;

$$\alpha = 0,0791 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0772 \text{ g/cm}$$

**10 %ige Schwefelsäure.**

28. 5. 01.

Spitzenentfernung = 1399,6 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	412,7 p	Bemerkung: Wie bei den vorigen Messungen.
	413,0	
	412,7	
	411,6	
	413,6	
	412,7	
	413,5	
	417,1	
	413,6	
	413,5	
	415,2	
	412,1	
	412,4	
	410,3	
	413,9	
	411,1	
	412,5	
	415,0	
	415,7	
	412,6	

Mittel = 413,24 p;

$$\alpha = 0,0786 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0767 \text{ g/cm}$$

**20 %ige Schwefelsäure.**

4. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1389,3 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} =$	403,2 p;	Bemerkung: Die Messungen erfolgen wieder bei kontinuierlichem langsamen Ueberfließen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche.
	404,2	
	402,4	
	403,5	
	405,0	
	401,5	
	405,0	
	405,7	
	400,2	
	405,9	

Mittel = 403,66 p;

$$\alpha = 0,0800 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0780 \text{ g/cm}$$

Spitzenentfernung = 1391,4 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2}$	= 406,1 p
	404,9
	407,2
	404,3
	405,4
Mittlere Temper. $t = 22,05^\circ \text{C}$ .	408,1
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,140$	403,7
Schwingungszahl $n_t = 156,89$	404,0
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	402,5
	<u>403,4</u>

Mittel = 404,96 p;

$$\alpha = 0,0804 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0784 \text{ g/cm}$$

**20 %ige Schwefelsäure.**

7. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1392,53 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2}$	= 405,6 p	Bemerkung: Wie bei den vorigen
	406,4	Messungsreihen.
	405,1	
	405,7	
	405,0	
Mittlere Temper. $t = 21,45^\circ \text{C}$ .	405,0	
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,140$	404,2	
Schwingungszahl $n_t = 156,90$	407,2	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	402,3	
	<u>407,7</u>	

Mittel = 405,42 p;

$$\alpha = 0,0805 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0785 \text{ g/cm}$$

**30 %ige Schwefelsäure.**

7. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1395,1 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 400,3$ p	Bemerkung: Bei dieser und bei allen
399,1	folgenden Beobachtungsreihen an verdünnter
402,4	Schwefelsäure erfolgen die Messungen bei
401,9	beständig sich erneuernder Oberfläche.
399,4	
Mittlere Temper. $t = 21,7^{\circ}$ C.	397,5
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,216$	397,0
Schwingungszahl $n_t = 156,89$	402,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	400,8
	<u>403,6</u>
Mittel = 400,47 p;	

$$\alpha = 0,0823 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0803 \text{ g/cm}$$

**30 %ige Schwefelsäure.**

11. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1394,5 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 398,2$ p	
396,5	
401,1	
400,3	
399,4	
400,7	
398,5	
398,9	
398,0	
Mittlere Temper. $t = 21,95^{\circ}$ C.	401,6
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,217$	395,6
Schwingungszahl $n_t = 156,89$	395,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	397,0
	396,9
	<u>395,0</u>
Mittel = 398,23 p;	

$$\alpha = 0,0810 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0790 \text{ g/cm}$$

Spitzenentfernung = 1395,4 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 396,5$ p	397,0
Mittlere Temper. $t = 21,95$ C.	397,0
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,217$	396,9
Schwingungszahl $n_t = 156,89$	395,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0020$	396,8
Mittel = 396,65 p;	

$$\alpha = 0,0799 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0779 \text{ g/cm}$$

**40 0/0ige Schwefelsäure.**

14. 6. 01. Spitzenentfernung = 1392,45 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 390,7$ p	390,9
	392,0
	390,6
	392,1
Mittlere Temper. $t = 19,7$ C.	392,8
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,306$	389,4
Schwingungszahl $n_t = 156,92$	391,7
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0021$	388,2
	391,5
Mittel = 390,99 p;	

$$\alpha = 0,0827 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0806 \text{ g/cm}$$

Spitzenentfernung = 1393,0 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 391,1$ p	390,0	Bemerkung: Fortsetzung der vorigen
	390,2	Messungsreihe, nachdem die Flüssigkeit
	389,2	etwa eine Viertelstunde lang in stärkerem
Mittlere Temper. $t = 19,75$ C.	391,8	Strome übergeflossen war.
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,306$	389,5	
Schwingungszahl $n_t = 156,92$	392,8	
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0021$	390,7	
Mittel = 390,66 p;		

$$\alpha = 0,0824 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0803 \text{ g/cm}$$

**40 %ige Schwefelsäure.**

18. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1393,6 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 388,5$ p	
	390,4
	391,2
	392,1
	389,7
	389,9
Mittlere Temper. $t = 18,65$ C.	388,0
Dichte der Schwefelsäure $\sigma_t = 1,306$	392,7
Schwingungszahl $n_t = 156,94$	390,0
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0021$	<u>392,0</u>

Mittel = 390,45 p:

$$\alpha = 0,0822 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0801 \text{ g/cm}$$

**50 %ige Schwefelsäure.**

28. 6. 01.

Spitzenentfernung = 1391,5 p.

4 Intervalle = $4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 390,3$ p	
	387,2
	387,8
	385,1
	387,6
	387,9
Mittlere Temper. $t = 19,0$ C.	385,3
Dichte der Schwefelsäure $\sigma = 1,3942$	385,0
Schwingungszahl $n_t = 156,93$	387,3
Schwere-Korrektion $\frac{\lambda^2 \sigma}{4 \pi^2} = 0,0022$	<u>389,1</u>

Mittel = 387,26 p:

$$\alpha = 0,0860 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0838 \text{ g/cm}$$

**50 %ige Schwefelsäure.**

2. 7. 01.

Spitzenentfernung 1391,65 p.

$$4 \text{ Intervalle} = 4 \cdot \frac{\lambda}{2} = 386,6 \text{ p}$$

385,4

384,8

383,5

386,6

385,6

386,5

386,1

388,7

Mittlere Temper.  $t = 22,33^\circ \text{C}$ .

386,0

Dichte der Schwefelsäure  $\sigma_t = 1,3906$ 

386,8

Schwingungszahl  $n_t = 156,88$ 

384,8

Schwere-Korrektur  $\frac{\lambda^2 \sigma}{4\pi^2} = 0,0022$ 

387,4

384,6

386,0

Mittel = 385,93 p;

$$\alpha = 0,0848 \text{ g/cm}$$

$$\alpha_{\text{korr.}} = 0,0826 \text{ g/cm}$$

### Verdünnte Schwefelsäure.

#### Zusammenstellung der Versuche mit dem Doppeltrichterapparat und der Stimmgabel P. T. R. II 189.

Datum.	Temperatur in ° C.	Dichte $\sigma_{t/4}$	Oberflächen- spannung $\alpha$ in g/cm.	Halbe spezifische Kohäsion $\alpha/\sigma$	Bemerkungen über die Mischungen und die Beobachtungsart
<b>1. 10 %ige Schwefelsäure.</b>					
1901. 21. V.	18,50	1,067	0,0774		Die Mischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser hergestellt worden. Die Einstellungen fanden bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
" "	18,70	1,067	0,0772		
" 28. V.	19,70	1,067	0,0767		
Mittel:	19,0	1,067	0,0771	0,0723	
<b>2. 20 %ige Schwefelsäure.</b>					
" 4. VI.	21,9	1,140	0,0780		Die Mischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser hergestellt worden. Die Einstellungen fanden bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
" "	22,05	1,140	0,0784		
" 7. VI.	21,45	1,140	0,0785		
Mittel:	21,8	1,140	0,0783	0,0687	
<b>3. 30 %ige Schwefelsäure.</b>					
" 7. VI.	21,70	1,216	0,0803		Die Mischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser hergestellt worden. Die Einstellungen fanden bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
" 11. VI.	21,95	1,217	0,0790		
" "	21,95	1,217	0,0779		
Mittel:	21,9	1,217	0,0791	0,0650	
<b>4. 40 %ige Schwefelsäure.</b>					
14. VI.	19,7	1,306	0,0806		Die Mischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser hergestellt worden. Die Einstellungen fanden bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
" "	19,75	1,306	0,0803		
" 18. VI.	18,65	1,306	0,0801		
Mittel:	19,4	1,306	0,0803	0,0615	
<b>5. 50 %ige Schwefelsäure.</b>					
" 28. VI.	19,0	1,3942	0,0838		Die Mischungen sind stets einige Tage vor Ausführung der Messungen in grossen Mengen aus reiner konzentrierter Schwefelsäure und frisch destillirtem Wasser hergestellt worden. Die Einstellungen fanden bei beständigem Fliessen, also bei beständig sich erneuernder Oberfläche statt.
" 2. VII.	22,33	1,3906	0,0826		
Mittel:	20,7	1,3924	0,0832	0,0597	

## 5. Schlussergebnisse.

Stellen wir die Hauptergebnisse der vorliegenden Experimentaluntersuchung, welche in den am Schlusse der einzelnen Versuchsreihen befindlichen Zusammenstellungen bereits enthalten sind, noch einmal in Kürze zusammen, so ergibt sich

1. Für reines Quecksilber, und zwar unmittelbar nach Herstellung einer frischen Oberfläche bei ca.  $18^{\circ}$  C. für die Oberflächenspannung der Werth  $0,50$  g/cm, welcher aber sofort, wenn das Quecksilber mit der Luft in Berührung bleibt, herabsinkt und von Minute zu Minute kleiner wird, um sich nach etwa 15 bis 30 Minuten dem längere Zeit konstant bleibenden Werthe  $0,41$  bis  $0,40$  zu nähern. Für Quecksilber, welches, vor Staub und gröberer Verunreinigung geschützt, in grösserer freier Oberfläche Tage lang mit der atmosphärischen Luft in Berührung bleibt, sinkt der Werth bis auf etwa  $0,33$ , also fast um 34 Prozent des Maximalwerths.

2. Für reines destillirtes Wasser, und zwar für eine ganz frische, beständig sich erneuernde Oberfläche beträgt die Oberflächenspannung bei etwa  $17^{\circ}$  C.  $0,077$  g/cm.

3. Für chemisch reinen absoluten Alkohol, welcher von atmosphärischer Luft abgeschlossen gewesen, beträgt die Oberflächenspannung für eine ganz frische, beständig sich erneuernde Oberfläche  $0,019_3$  g/cm bei  $22,8^{\circ}$  C. (Dichte  $0,7888$ ); für absoluten Alkohol, dessen freie Oberfläche etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde lang mit der atmosphärischen Luft in Berührung bleibt,  $0,021_3$  g/cm bei  $18,4^{\circ}$  C. und für absoluten Alkohol, der häufiger und längere Zeit mit der Luft in Berührung war und deshalb nicht mehr (wenn auch aräometrisch nicht nachweisbar) als wasserfrei angesehen werden kann,  $0,026_6$  g/cm bei  $17,7^{\circ}$  C. Das stete Anwachsen der Zahl deutet darauf hin, dass der Alkohol durch Absorption der in der atmosphärischen Luft enthaltenen Feuchtigkeit allmählig wasserreicher wird. Aräometrisch nachweisbar ist die Zunahme an Wasser allerdings nicht, woraus folgen würde, dass sie nur auf die Oberfläche beschränkt ist, durch deren Beschaffenheit die Grösse der Kapillaritätskonstante wesentlich bedingt ist.

4. Für verdünnte Schwefelsäure ergibt sich folgende Tadel:

Procent	Dichte	Oberflächen- Spannung $\alpha$ in g/cm	Halbe spezifische Kohäsion $\alpha/\sigma$	Temperatur in °C.
10	1,067	0,0771	0,0723	19,0
20	1,140	0,0783	0,0687	21,8
30	1,217	0,0791	0,0650	21,9
40	1,306	0,0803	0,0615	19,4
50	1,392 <sub>4</sub>	0,0832	0,0597	20,7

5. Die für russisches Leuchtöl, amerikanisches Mineralöl und für wässrige Zuckerlösungen erhaltenen Werthe, welche sich auf den Seiten 166 und 167 bezw. 173 finden, sollen noch nicht als endgültige angesehen werden, da diese Flüssigkeiten bisher nur in dem einfachen Gefässe, welches die Herstellung einer reinen Oberfläche nicht genügend sicherte, untersucht worden sind und erst noch bei Anwendung des Doppeltrichterapparats untersucht werden sollen. Auch die Bestimmung der Temperaturkoeffizienten der Oberflächenspannung der vorher aufgeführten Flüssigkeiten soll noch einer besonderen Untersuchung vorbehalten bleiben.

Der hauptsächlichliche Werth unserer Untersuchungsmethode besteht, wie nochmals besonders hervorgehoben sei, darin, dass sie es ermöglicht, in jedem Zeitmoment eine reine, absolut frische Oberfläche herzustellen und die Oberflächenspannung bei beständig sich erneuernder Oberfläche zu beobachten und deshalb vollständig unabhängig zu werden von dem zeitlichen Einflusse der Luft auf die Oberflächenspannung. Geradezu unentbehrlich ist sie für die Untersuchung von Flüssigkeiten, welche Wasser stark absorbieren, wie z. B. Schwefelsäure oder absoluter Alkohol, Schwefeläther etc.

Der einzige Einwand, der gegen die Methode erhoben werden, die einzige Fehlerquelle, die sie beeinflussen könnte, besteht darin, dass ein fremder, der Luft ausgesetzter Körper, nämlich die Stimmgabelspitzen, welche durch Adsorption mit einer Lufthaut von grösserer oder geringerer Dicke behaftet sind, in die Flüssigkeit getaucht werden und deren Oberflächenspannung verändern können. So beschreibt Herr Fridtjof Nansen<sup>1)</sup> eine Reihe von exakten Versuchen, die er gelegentlich seiner Polarexpedition bei Untersuchungen über die Dichte des Meerwassers ausgeführt hat, aus denen hervorgeht, dass die Oberflächenspannung des Wassers beim Eintauchen von festen Körpern eine Aenderung erfährt, und zwar vergrössert wird, wenn ein trockener Körper

<sup>1)</sup> Fridtjof Nansen. On hydrometers and the surface tension of liquids. Published by the Fridtjof Nansen fund for the advancement of science. Leipzig, Brockhaus 1900.

eingetaucht wird, weil dieser die vorhandene Wasserhaut an sich zieht und die Ausbildung einer neuen Haut bewirkt, dagegen verkleinert wird, wenn ein feuchter Körper eingetaucht wird, weil die auf ihm befindliche Flüssigkeitsschicht sich dann auf der Wasseroberfläche ausbreitet. In der That möchte ich auch den Grund für den bei Anwendung der grösseren Stimmgabel gefundenen kleineren Werth 0,468 g/cm (vergl. Seite 146) für reines frisches Quecksilber zum Theil darauf zurückführen, dass deren Platinspitzen mit einer ihrer grösseren Oberfläche entsprechenden grösseren Lufthaut bedeckt sind (wie die feineren Stahlspitzen der kleineren Stimmgabel) und beim Eintauchen ins Quecksilber dessen Oberflächenspannung stärker vermindern. Von Einfluss dürfte dann auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sein, dessen ständige Beobachtung sich überhaupt bei Kapillaritätsbestimmungen empfiehlt. Auch von dieser kleinen Fehlerquelle würde man frei werden, und die Methode würde eine ideale werden, wenn es gelänge, ohne jede Vermittelung schwingender Spitzen, sondern nur auf dem Wege einfacher Resonanz sicher messbare Kapillarwellen auf Flüssigkeitsoberflächen zu erzeugen. Versuche nach dieser Richtung sind auch bereits in Angriff genommen. —

---

### Anhang.

#### Ueber den Einfluss des Windes auf Wasserwellen unter der Voraussetzung, dass keine Reibung stattfindet.

III. Brief Sir William Thomson's an Professor Tait vom 16. August 1871\*  
Deutsche, von Lord Kelvin autorisirte Uebertragung.

„Wählt man  $O X$  senkrecht nach unten und  $O Y$  horizontal, und ist

$$x = h \sin n (y - \alpha t) \dots \dots \dots (1)$$

die Gleichung eines Schnittes der Wasseroberfläche durch eine zu den Wellenbergen senkrechte Ebene, wo  $h$  (die halbe Wellenhöhe) unendlich klein sei im Vergleich zu  $\frac{2\pi}{n}$  (die Wellenlänge), dann ist die  $x$ -Komponente der Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche

$$-n \alpha h \cos n (y - \alpha t), \dots \dots \dots (2)$$

und dies muss (da  $h$  unendlich klein ist) der Werth von  $\frac{d\Phi}{dy}$  für den Punkt  $(o, y)$  sein, wenn  $\Phi$  das Geschwindigkeitspotential in irgend einem Punkte  $(x, y)$  des Wassers bedeutet.

Weil nun

$$\frac{d^2\Phi}{dx^2} + \frac{d^2\Phi}{dy^2} = 0$$

und  $\Phi$  eine periodische Funktion von  $y$  und eine Funktion von  $x$  ist, welche Null wird für  $x = \infty$ , so muss  $\Phi$  von der Form sein

$$P \cos (n y - e) \varepsilon^{-n x},$$

worin  $P$  und  $e$  unabhängig von  $x$  und  $y$  sind. Bildet man nun  $\frac{d\Phi}{dx}$ , setzt darin  $x = o$  und setzt es gleich dem Ausdruck (2), so erhält man

$$- P n \cos (n y - e) = - n \alpha h \cos (n y - n \alpha t);$$

folglich  $P = \alpha h$  und  $e = n \alpha t$ , so dass man hat

$$\Phi = \alpha h \varepsilon^{-n x} \cos n (y - \alpha t). \dots \dots \dots (3)$$

Dies folgt einfach aus der Annahme, dass das Wasser reibungslos und anfänglich in Ruhe war, und dass seine Oberfläche sich in der durch Gleichung (1) gegebenen Weise bewegt.

---

\*) Phil. Mag. Vol. XLII. 4. Series p. 368. 1871.

Wenn die Luft eine reibungslose Flüssigkeit wäre, welche sich ohne Rotation mit einer konstanten Geschwindigkeit  $V$  bewegt in Höhen über dem Wasser (d. h. für Werthe von  $-x$ ), welche die Wellenlänge beträchtlich überschreiten, so würde ihr Geschwindigkeitspotential  $\Psi$ , nach demselben Principe, sein

$$\Psi = (V - \alpha) h \varepsilon^{nx} \cos n(y - \alpha t) + Vy \dots \dots \dots (4)$$

Es sei nun  $q$  die resultirende Geschwindigkeit in irgend einem Punkte  $(x, y)$  der Luft, so erhält man unter Vernachlässigung der unendlich kleinen Grössen von der Ordnung  $(nh)^2$

$$\frac{1}{2} q^2 = \frac{1}{2} V^2 - V(V - \alpha) n h \varepsilon^{nx} \sin n(y - \alpha t) \dots \dots \dots (5)$$

Bezeichnet nun  $p$  den Druck in irgend einem Punkte  $(x, y)$  der Luft und  $\sigma$  die Dichte derselben, so erhält man mit Hilfe der allgemeinen Gleichung für den Druck in einer ohne Rotation sich bewegendem Flüssigkeit

$$C - p = \sigma \left( \frac{d\Psi}{dt} + \frac{1}{2} q^2 - gx \right) \dots \dots \dots (6)$$

Unter Benutzung von (4) und (5) geht diese Gleichung, wenn wir  $C = \frac{1}{2} \sigma V^2$  setzen, in folgende über:

$$-p = \sigma \left\{ -nh(V - \alpha)^2 \varepsilon^{nx} \sin n(y - \alpha t) - gx \right\} \dots \dots (7)$$

Bezeichnet ferner  $p'$  den Druck in irgend einem Punkte  $(x, y)$  des Wassers, so ergibt sich in ähnlicher Weise, da in diesem Falle  $q^2$  unendlich klein und die Dichte des Wassers = 1 gesetzt,

$$-p' = nh \alpha^2 \varepsilon^{-nx} \sin n(y - \alpha t) - gx \dots \dots \dots (8)$$

Es sei nun  $T$  die Kohäsionsspannung an der Trennungsfläche von Luft und Wasser. Die Krümmung in irgend einem Punkte  $(x, y)$  der durch Gleichung (1) gegebenen Oberfläche ist

$$\frac{d^2x}{dy^2} = -n^2 h \sin n(x - \alpha t) \dots \dots \dots (9)$$

Hieraus erhält man für irgend einen Punkt  $(x, y)$ , welcher der Gleichung (1) genügt,

$$p - p' = T n^2 h \sin n(x - \alpha t) \dots \dots \dots (10)$$

und durch Gleichung (7) und (8) mit dem Werthe für  $x$  aus Gleichung (1) (welcher, da  $h$  unendlich klein ist, nur ihre letzten Glieder beeinflusst)

$$p - p' = h \left\{ n \left[ \sigma (V - \alpha)^2 + \alpha^2 \right] - g(1 - \sigma) \right\} \sin n(x - \alpha t) \dots \dots \dots (11)$$

Aus den letzten beiden Gleichungen folgt

$$n [\sigma (V - \alpha)^2 + \alpha^2] - g (1 - \sigma) = T n^2 \dots \dots \dots (12)$$

Setzt man nun

$$w = \sqrt{\frac{g(1 - \sigma) + T n^2}{(1 + \sigma)n}}, \dots \dots \dots (13)$$

welches (da es der Werth von  $\alpha$  für  $V = 0$  ist) die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen ohne Wind ist, wenn die Wellenlänge  $\frac{2\pi}{n}$  ist, dann wird

$$\frac{\alpha^2 + \sigma (V - \alpha)^2}{1 + \sigma} = w^2, \dots \dots \dots (14)$$

wodurch die Geschwindigkeit  $\alpha$  derselben Wellen bestimmt wird, wenn Wind von der Geschwindigkeit  $V$  in der Fortpflanzungsrichtung der Wellen herrscht. Durch Auflösung der quadratischen Gleichung erhält man

$$\alpha = \frac{\sigma V}{1 + \sigma} \pm \left\{ w^2 - \frac{\sigma V^2}{(1 + \sigma)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (15)$$

Dies Resultat führt zu folgenden Schlüssen:

1. Wenn  $V < w \sqrt{\frac{1 + \sigma}{\sigma}}$  ist, so sind die Werthe von  $\alpha$  positiv und negativ; d. h. die Wellen können mit oder gegen den Wind gehen. Der positive Werth ist immer grösser, die Wellen gehen schneller mit dem Winde, als gegen den Wind. Die Geschwindigkeit der gegen den Wind gehenden Wellen ist immer kleiner als die Geschwindigkeit  $w$  ohne Wind.

2. Wenn  $V < 2w$  ist, so ist die Geschwindigkeit der mit dem Winde gehenden Wellen grösser als  $w$ . Wenn  $V = 2w$  ist, so wird die Geschwindigkeit der mit dem Winde gehenden Wellen nicht durch den Wind verändert, ein Resultat, welches auch ohne Analyse einleuchtend ist. Wenn  $V > 2w$  ist, so ist die Geschwindigkeit der mit dem Winde gehenden Wellen kleiner als die Geschwindigkeit derselben Wellen ohne Wind.

3. Wenn  $V > w \sqrt{\frac{1 + \sigma}{\sigma}}$  ist, so können Wellen von einer solchen Länge, dass  $w$  ihre Geschwindigkeit ohne Wind sein würde, nicht gegen den Wind gehen.

4. Wenn  $V > w \frac{1 + \sigma}{\sqrt{\sigma}}$  ist, dann können Wellen von so kleiner Länge wie die, für welche die unbeeinflusste Geschwindigkeit  $w$  ist, nicht bestehen, und das Gleichgewicht des Wassers ist wesentlich unbeständig. Und Gleichung (13) zeigt, dass der kleinste Werth von  $w$

$$\sqrt{\frac{2\sqrt{gT(1 + \sigma)}}{1 + \sigma}} \dots \dots \dots (16)$$

ist.

Hieraus ergibt sich, dass die Wasseroberfläche unbeständig ist, wenn die Geschwindigkeit des Windes den Werth  $\sqrt{\frac{2\sqrt{gT(1 - \sigma^2)}}{\sigma}}$  überschreitet.

IV. Brief an Prof. Tait vom 23. August 1871.<sup>1)</sup>

Definirt man „ripple“ als eine Wasserwelle, deren Wellenlänge kleiner ist, als

$$2\pi \sqrt{\frac{T'}{g'}} \text{, wo}$$

$$\left. \begin{aligned} g' &= g \frac{1-\sigma}{1+\sigma} \text{ und} \\ T' &= \frac{T}{1+\sigma} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

ist ( $\sigma = 0,00122$ ), so sieht man stets vor einem festen Körper, welcher die Wasseroberfläche durchschneidet und sich in derselben in horizontaler Richtung schnell oder langsam fortbewegt, ripples von ausgezeichneter Form. Die ripple-Länge ist die kleinere Wurzel der Gleichung

$$\frac{2\pi}{\lambda} T' + \frac{\lambda}{2\pi} g' = w^2,$$

wo  $w$  die Geschwindigkeit des festen Körpers ist. Ist letzterer z. B. eine an ihrem unteren, im Wasser hängenden Ende durch ein kleines Gewicht beschwerte Angelschnur, welche mit einer Geschwindigkeit von etwa einer halben Meile pro Stunde durch ein ruhig gehendes Schiff in horizontaler Richtung fortbewegt wird, so zeigt dieselbe sehr schön beide Wurzeln der Gleichung, vorn die ripples und hinten (die grössere Wurzel  $\lambda$  der Gleichung repräsentirend) grössere Wellen von derselben Geschwindigkeit.

Wird die Geschwindigkeit, mit welcher die Angelschnur bewegt wird, bis auf  $\sqrt{2\sqrt{g'T'}}$  verkleinert, welches die Minimalgeschwindigkeit einer Welle, für reines Wasser 23 cm in der Sekunde (Theil V) ist, so werden die ripples vorne länger und weniger gekrümmt, und die Wellen hinten kürzer, bis bei der kritischen Geschwindigkeit Wellen und ripples nahezu gleich erscheinen und zwar mit Wellenbergen, die nahezu gerade Linien senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung bilden. (Dies ergibt die Beobachtung.) Auf diese Weise scheint sich die kritische Geschwindigkeit mit einiger Genauigkeit experimentell bestimmen zu lassen. (Vergleiche später Theil V.) Je kürzer die Wellenlänge der ripples ist, desto grösser ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Ihr Entstehen ist theilweise durch die Schwere, vorzüglich aber durch die Kohäsion bedingt, bei sehr kurzen Wellen fast ausschliesslich durch die Kohäsion, d. i. dieselbe Kraft, unter deren Einwirkung ein Thautropfen in zitternde Bewegung geräth.

Die geringste Geschwindigkeit von reibungsloser Luft, welche auf absolut ruhigem, reibungslosen Wasser ripples erzeugen kann, ist (Gleichung 16) 660 cm in der Sekunde  $\left(\frac{1+\sigma}{\sqrt{\sigma}} \text{ mal dem Minimum der Wellengeschwindigkeit}\right) = 12,8$  Seemeilen in der Stunde. Da nun aber die Beobachtung zeigt, dass die See durch Wind von einer viel geringeren Geschwindigkeit, als diese, aufgeregt werden kann, so ist die Ursache für diese Kräuselungen in der Viscosität der Luft zu suchen.

V. Theil. Wellen unter der gemeinsamen Wirkung der Schwere und der Kohäsion ohne Wind.

Führen wir in Gleichung (13) die Bezeichnungen (17) ein, so erhalten wir

$$w^2 = \frac{g'}{n} + T'n \dots \dots \dots (19)$$

<sup>1)</sup> Phil. Mag. ibid. p. 370.  
<sup>2)</sup> Für reines Wasser = 1,7 cm (vergl. V).

und für  $w^2$  einen Minimalwerth,  $w^2 = 2\sqrt{g'T'}$ , wenn

$$n = \sqrt{\frac{g'}{T'}} \text{ ist. . . . . (20)}$$

Wenden wir diese Formeln auf den Fall von Luft und Wasser an, so können wir, da der Werth von  $\sigma$  abgerundet  $\frac{1}{820}$  ist, den Unterschied zwischen  $g$  und  $g'$ , sowie zwischen  $T$  und  $T'$  vernachlässigen; gewöhnlich wird nicht  $T$ , sondern  $T'$  experimentell bestimmt, und aus den Versuchen von Gay-Lussac ergibt sich für  $T'$  in Grammcenimeter der Werth 0,074 und demgemäss im absoluten Masssystem  $T' = 982 \cdot 0,074$ , wenn wir  $g = 982$  cm setzen. Mittelst Gleichung (18) ergibt sich alsdann für die Wellengeschwindigkeit

$$w = \sqrt{982\left(\frac{1}{n} + 0,074 \cdot n\right)} \text{ cm/sec,}$$

entsprechend der Wellenlänge  $\frac{2\pi}{n}$ .

Wenn  $\frac{1}{n} = \sqrt{0,073} = 0,27$  (d. h. wenn die Wellenlänge 1,7 cm ist), so ergibt sich für die Geschwindigkeit der Minimalwerth 23 cm/sec.<sup>4</sup>

Es folgt die Beschreibung der im Sound of Mull von Lord Kelvin im Beisein von Helmholtz ausgeführten Versuche, bei welchen eine beschwerte Angelschnur durch ein Boot, dessen Geschwindigkeit gemessen werden konnte, in der angegebenen Weise fortbewegt wird, und welche eine überraschende Uebereinstimmung der beobachteten Minimalgeschwindigkeit mit der theoretisch berechneten ergaben.

BENETZUNGSRÜCKSTÄNDE

BEI

INHALTSERMITTELUNG

VON MASSEN

VON

DR. W. BEIN.

# Benetzungsrückstände bei Inhaltsermittlung von Massen.

Von Dr. W. Bein.

---

## Einleitung.

Die nachfolgende Untersuchung ist aus einem Bedürfnisse der Aichpraxis hervorgegangen; ihre Ergebnisse dürften jedoch allgemeinere Bedeutung haben bei manchen physikalisch-chemischen Hilfsuntersuchungen, namentlich wenn es sich um Ermittlung von Flüssigkeitsmengen oder um Kalibrierung von Apparaten mittelst Pyknometer handelt.

In der Aichpraxis wird bei der Ermittlung des Inhalts eines Masses durch Uebermessen aus einem anderen Masse, im besonderen Fall, dass beide Masse ihren Abschluss durch die Randebene und Ueberdeckung mittelst einer aufgeschliffenen Glasplatte finden, wie folgt verfahren:

Zuerst wird das zu prüfende cylindrische Metall-Mass mit Wasser bis zum Rande gefüllt, langsam entleert und 1 Minute lang, senkrecht umgestülpt, abtropfen gelassen. In dem Masse bleiben dabei Wassertropfen hängen. Dann wird das Normal mit destillirtem oder Brunnenwasser bis an den Rand gefüllt. Ueber den mit einem Versteifungsringe versehenen ebenen Rand wird die zugehörige auf der einen Seite eben und matt geschliffene, auf der anderen Seite polirte Glasplatte nach vorheriger Behauchung der matten Seite möglichst ohne Druck übergeschoben. Das von der Platte nach dem entgegengesetzten Rande fortgeschobene überschüssige Wasser wird mit einer Pipette abgesaugt. Wenn die Platte den ganzen Rand bedeckt, darf sich keine Luftblase unter ihr befinden. Nach gehöriger Abtrocknung der Plattenränder wird die Glasplatte zurückgeschoben und der Inhalt des Masses in das aufrecht gestellte zu prüfende Mass langsam entleert. Hat der zusammenhängende Wasserstrahl aufgehört, so kehrt man das Normal senkrecht um und lässt 1 Minute in das zu prüfende Mass abtropfen. Schiebt man nunmehr über das letztere Mass eine der eben erwähnten Glasplatten, so erkennt man die Inhaltsdifferenz entweder durch den Ueberschuss an Wasser

oder an der Bildung einer Luftblase unter der Platte. Der Ueberschuss wird in eine Messpipette eingesaugt, die Luftblase dagegen durch Zufluss von Wasser aus einer Messpipette zum Verschwinden gebracht.

Diese Inhaltsvergleichung ist zwar schnell und leicht auszuführen; sie steht aber, in der oben beschriebenen Form verwendet, an Zuverlässigkeit hinter der Inhaltsermittlung durch Auswägung einer Wasserfüllung weit zurück. Durch die im Folgenden beschriebenen Abänderungen der Methode kann die Genauigkeit, wenn auch auf Kosten der Schnelligkeit erheblich gesteigert werden.

In erster Linie kommt es darauf an, dass in den zu vergleichenden beiden Massen der Rückstand bei der Annässung bzw. nach der Ueberfüllung wesentlich derselbe ist, wenn die Masse in gleicher Weise gereinigt und entleert werden. Aber bei den meisten Massen ist selbst nach gehöriger Reinigung und dadurch erzielter anscheinend gleichmässiger Benetzung der Wände keine Uebereinstimmung zu erzielen. Wie man durch zahlreiche Kapillaritätsuntersuchungen festgestellt hat, ist Wasser diejenige Flüssigkeit, welche am seltensten gleichmässig benetzt. Für die Uebermessung mit kleineren Glasgefässen kann man sich helfen durch Benutzung einer erheblich besser sich ausbreitenden Flüssigkeit, etwa des 30–40 prozentigen Spiritus, dem man noch Ammoniak zusetzt. Für grosse Gemässe, besonders aus Metall, kommt die Anwendung eines solchen Gemisches nur selten in Frage.

Insgesamt sind folgende Fehlerquellen bei einer Uebermessung zu berücksichtigen:

1. es verbleibt in dem zu füllenden Masse  $M$  nicht derselbe Rückstand, wie in dem Normalmasse  $N$ ;
2. es kann sich die Temperatur des Füllwassers während und nach der Uebermessung ändern;
3. es kann Wasser verloren gehen, theils durch Verspritzen, theils durch Verdampfen.

Aendert man aber die Methode in der Weise, dass jeder Uebermessung von Mass  $N$  in Mass  $M$  eine solche von Mass  $M$  in  $N$  folgt, so werden zwar alle drei Fehlerquellen bemerkbar; aber durch symmetrische Ausführung heben sie sich gegenseitig in der Hauptsache auf.

Sind  $M$  und  $N$  in ccm die thatsächlichen Volumina der Masse, und ergibt sich bei der Uebermessung von  $N$  in  $M$ , dass  $+ U_1$ , bei der von  $M$  in  $N$  dass  $- U_2$  ccm dem gefüllten Masse nachträglich zugefügt werden müssen, um dasselbe voll zu füllen, so müsste

$$U_1 = U_2 = M - N = F$$

sein, wenn 1. die Rückstände in  $M$  und  $N$  gleich gross; 2. die Temperatur unverändert bliebe, 3. keine Verluste an Wasser stattgefunden hätten. Thatsächlich ist aber gewöhnlich  $U_1 > M - N$ ;  $U_2 < M - N$ . Man kann setzen:

$$U_1 = M - N + V_1$$

$$U_2 = M - N - V_2$$

wobei  $V_1 = F_1 + AR$

$$V_2 = F_2 - AR$$

ist. In  $F_1$  und  $F_2$  sind die Verluste durch Verdampfung und Verspritzung sowie die Wirkung einer etwaigen Temperaturänderung enthalten.  $AR$  enthält die Unterschiede in den Rückständen. Was die Temperatur anbetrifft, so wurde bei unseren Versuchen gewöhnlich eine Erhöhung um höchstens  $\frac{1}{4}^\circ$  während des Versuches in Folge der häufigen Berührung der Gefässwände mit den Händen festgestellt. Dadurch würde für 1 Liter eine maximale Volumenvergrösserung des Wassers um etwa 50 cmm eintreten. Andererseits ist es aber auch nicht ausgeschlossen, dass in trockenen Räumen während eines Versuches in Folge starker Verdunstung die Temperatur des Füllwassers sinkt.

Die Werthe von  $AR = R_2 - R_1$ , wenn  $R_1, R_2$  den Rückstand im Masse  $N, M$  bedeutet, sind nur bei den von uns im Jahre 1897 angestellten Versuchen ermittelt worden. Im Allgemeinen kann man sagen, dass  $AR$  abhängen wird von der Benetzbarkeit der Oberfläche, der Art des Ausgiessens und Abtropfens und schliesslich auch von dem Material und dem Zustand (Alter) der Gefässwände. Diese Punkte sind für die beschriebenen Rückstandsversuche massgebend gewesen. Für kurz auf einander an demselben Tage folgende Versuche kann man  $R_1$  und  $R_2$  und damit auch  $AR$  als konstant ansehen.

Die bei sorgfältigster Handhabung der Uebermessungsmethode noch verbleibenden Differenzen in den Werthen von  $V_1$  und  $V_2$  sind dann nur noch auf zufällige Beobachtungsfehler, besonders infolge von Unterschieden in der Zeitdauer des Vorwärts- und Rückwärtsmessens, zurückzuführen. Eine derartige Verschiedenheit ändert die Verdampfung. Doch sind diese Differenzen im Vergleiche zur Grösse des Masses verschwindend klein.

Die Verdampfung findet wesentlich von den an den Wandungen der Masse haftenden Tropfen aus statt. Je schneller diese Tropfen entfernt werden, um so weniger stark sind die Verluste. Die Verluste bei verschiedenen Massgrössen werden etwa bei gleicher Form (Verhältniss des Durchmessers zur Höhe des Cylinders) der Oberfläche proportional anzunehmen sein, welche Annahme durch die Versuchsergebnisse in grossen Zügen bestätigt wird.

Erreichen die Werthe von  $\mathcal{A}R$  nur kleine Beträge, so kann man  $\mathcal{A}R = \text{Null}$  setzen und es ist

$$U_1 = M - N + F_1$$

$$U_2 = M - N - F_2.$$

Da bei gleichmässigem Vorgehen beim Hin- und Zurückfüllen  $F_1$  nahezu  $= F_2$  sein muss, so findet man die Inhaltsdifferenz  $f'$  der beiden Masse durch die Uebermessung  $= \frac{U_1 + U_2}{2}$ . Der Unterschied von  $f'$  gegen  $f$  (der wirklichen, etwa durch Wägung des Füllwassers zu ermittelnden Inhaltsdifferenz) ist ein Mass für die Genauigkeit der Uebermessungsmethode.

Die Ermittlung der Werthe von  $f - f'$ , die Messung von  $V_1$  und  $V_2$  war die Hauptaufgabe der im Folgenden beschriebenen Versuche.

### 1. Erste Versuchsreihe über den Verlust beim Uebermessen von Massen.

Diese erste Versuchsreihe ist nicht in der Normal-Aichungs-Kommission, sondern in der Königlich Sächsischen Ober-Aichungs-Kommission ausgeführt. Das Mass  $N$ , dessen Inhalt durch Auswägung bestimmt war, wurde wie bei einer Wägung vollgefüllt. Dann wurde das Mass  $M$  gefüllt, das Wasser langsam ausgegossen, das Mass umgestülpt, und nach dem Aufrichten wurden die zurückgebliebenen Tropfen mit einer Pipette herausgesaugt. In das so genässte Mass  $M$  wurde der Inhalt von  $N$  entleert, der Rückstand in  $N$  wurde dann ebenfalls durch Aussaugen mit der Pipette möglichst klein gemacht. Die so erhaltene Wassermenge wurde dem Inhalt von  $M$  hinzugefügt. Nunmehr wiederholte man die Ueberfüllung in umgekehrter Folge:  $M$  in  $N$ . Waren, um  $M$  bzw.  $N$  vorschriftsmässig vollzufüllen, noch  $U_1$  bzw.  $-U_2$  ccm erforderlich (für den Fall, dass  $M$  oder  $N$  schon voll war, erhielten  $U_1$  bzw.  $U_2$  die umgekehrten Vorzeichen), so ist  $M - N = \frac{U_1 + U_2}{2}$ .

Da  $N$  bekannt ist, so findet man ohne weiteres  $M$ . In dieser Weise wurden mehr als 300 Masse aus Kupfer mit einem Normal aus Messing geprüft. Zwei Sätze solcher Masse waren auch ausserdem ausgewogen worden. Als Normal diente der durch Auswägung sehr genau bestimmte Kontrolsatz der Ober-Aichungs-Kommission. Die Resultate der Auswägung der 2 Sätze lassen sich mit denen der Uebermessung direkt vergleichen; die Resultate giebt die folgende Tabelle.



Mass- grösse	Wirkliche Inhalts- differenz $N - M = f$	$U_1 =$ $M - N + V_1$	$U_2 =$ $M - N - V_2$	Inhalts- differenz durch Ueber- messen $N - M = f'$	Genauig- keit des Ueber- messens $= f - f'$	$+ V_1$	$- V_2$	mittlerer Verlust bei einer Ueber- messung $\frac{V_1 + V_2}{2}$	Schwan- kung der Verluste $V_1 - V_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1/21	0	+ 120	- 80	- 20	+ 20	+ 120	- 80	+ 100	+ 40
		0	- 50			+ 70	+ 20	+ 20	+ 90
	+ 70			+ 25	+ 45				
1/41	- 48	+ 100	+ 50	- 75	+ 27	+ 50	0	+ 20	+ 50
	- 43	- 50	- 100	+ 75	- 118	- 90	- 140	+ 20	- 230
	- 43	- 30	- 30	+ 30	- 73	- 70	- 70	0	- 140
1/81	+ 60	- 80	- 130	+ 105	- 45	- 20	- 70	+ 20	- 90
		0	- 50			+ 20	- 30	+ 20	- 10
	+ 17			+ 25	- 8				
1/161	- 88	+ 120	+ 90	- 105	+ 17	+ 30	0	+ 20	+ 30
	- 88	+ 70	+ 60	- 65	- 23	- 20	- 30	0	- 50
	- 94	+ 100	+ 50	- 75	- 19	+ 10	- 40	+ 20	- 30
	- 94	+ 90	+ 90	- 90	- 4	0	0	0	0
0,21	+ 85	+ 20	- 40	+ 10	+ 75	+ 105	+ 45	+ 30	+ 150
	+ 23	- 20	- 50	+ 35	- 12	0	- 30	+ 10	- 30
	+ 23	- 10	- 40	+ 25	- 2	+ 10	- 20	+ 10	- 10
0,11	- 9	0	- 20	+ 10	- 19	- 10	- 30	+ 10	- 40
	- 26	0	- 10	+ 5	- 31	- 30	- 40	+ 10	- 70
	- 26	+ 10	- 10	0	- 26	- 20	- 40	+ 10	- 60
0,051	+ 3	0	- 10	+ 5	- 2	0	- 10	0	- 10
		0	- 10			- 10	- 20	0	- 30
	- 12			+ 5	- 17				

Es zeigt sich, dass die Abweichungen zwischen Uebermessung nach der angegebenen Methode und Auswägung (Reihe 6) grösstentheils sehr klein sind. Die erreichte Genauigkeit lässt sich am besten beurtheilen, wenn man die grösste Abweichung einer jeden Massgrösse in Bruchtheilen des Nominalinhalts angiebt.

Massgrösse: 25 l . 20 l . 10 l . 5 l . 2 l . 1 l .  $\frac{1}{2}$  l .  $\frac{1}{4}$  l .  $\frac{1}{8}$  l .  $\frac{1}{16}$  l . 0,2 l . 0,1 l . 0,05 l  
Fehler der Uebermessung: 1:20000 . 20000 . 5000 . 15000 . 4000 . 4000 . 20000 . 2500 . 2500 . 2500 . 2500 . 3000 . 3000

Danach wäre die Methode zu Bestimmungen, von denen eine grössere Genauigkeit als etwa  $\frac{1}{3000}$  nicht verlangt wird, wohl geeignet.

Die Verluste  $V_1$  und  $V_2$  (Reihe 7 und 8) sind in einigen Fällen sehr erheblich. Auffälligerweise ist jedoch  $V_1$  mehrfach negativ; an Stelle eines Verlustes ist eine scheinbare Zunahme an Wasser zu bemerken. Dieses deutet darauf hin, dass der Benetzungsrest im ersten Masse grösser war als im zweiten, oder dass eine Temperatursteigerung erfolgt ist. Die Verluste sind nicht einander gleich, sie schwanken in weiten Grenzen.

Die Voraussetzung der Ueberfüllmethode, die Gleichheit von Rückstand in den Massen und von Verlusten beim Uebermessen trifft nach dieser Reihe auf mindestens  $\frac{1}{2000}$  des Inhalts der Masse zu.

Eine noch grössere Genauigkeit lässt sich für die mittleren Verluste aus einer grösseren Zahl von Massen ableiten.

Entnimmt man die Werthe für die Verluste  $\frac{U_1}{2} - \frac{U_2}{2}$  für alle in der angegebenen Weise geprüften Masse und bildet das Mittel aus sämtlichen Zahlen, so erhält man folgende Uebersicht:

Tabelle 2.

Zusammenstellung der Ergebnisse des Uebermessens für sämtliche geprüfte Masse:

Inhalt des Masses	mittlerer Verlust	Schwankungen dieses Verlustes	maximaler Verlust	minimaler Verlust	benetzte Oberfläche mit Glasplatte	Verlust für 1 qcm	Verhältniss von Durchmesser zur Höhe
1	2	3	4	5	6	7	8
25 l	3550 mg	± 1200 mg	6500 mg	250 mg	4840 qcm	0,73 mg	1 : $\frac{2}{3}$
20 "	3100 "	650 "	5600 "	1100 "	4160 "	0,74 "	"
10 "	830 "	240 "	1600 "	300 "	2630 "	0,32 "	"
5 "	880 "	270 "	1600 "	450 "	1650 "	0,53 "	"
2 "	180 "	50 "	300 "	100 "	922 "	0,20 "	1 : 2
1 "	75 "	30 "	150 "	0 "	581 "	0,13 "	"
$\frac{1}{2}$ "	51 "	18 "	100 "	0 "	366 "	0,14 "	"
$\frac{1}{4}$ "	41 "	18 "	100 "	10 "	229 "	0,18 "	1 : 1,9
$\frac{1}{8}$ "	25 "	10 "	50 "	0 "	143 "	0,17 "	1 : 1,8
$\frac{1}{16}$ "	16 "	10 "	50 "	0 "	90 "	0,18 "	1 : 1,7
0,2 "	36 "	15 "	100 "	10 "	199 "	0,18 "	1 : 2
0,1 "	10 "	5 "	30 "	0 "	125 "	0,08 "	"
0,05 "	7 "	5 "	20 "	0 "	79 "	0,09 "	"

Die Schwankungen in den Verlustwerthen derselben Massgrösse erreichen im Mittel etwa  $\frac{1}{3}$  des mittleren Verlustes für Masse von mehr als 1 l; für die Masse von 1 l abwärts werden die Schwankungen relativ beträchtlicher. Durch die Schwankungen im Rückstande sind diese Unregelmässigkeiten kaum bedingt. Wir finden pag. 210 unter gleichen Versuchsbedingungen

für 1 l die Rückstände zu  $70 \pm 25$  mg,  
 „ 2 l „ „ „  $80 \pm 30$  mg.

Obiger Tabelle entnehmen wir

den mittleren Verlust für 1 l zu  $75 \pm 30$  mg.  
 „ „ „ „ 2 l „  $180 \pm 50$  mg.

Die grössten zu erwartenden  $\mathcal{AR}$ -Werthe würden also nach unseren eben angeführten Beobachtungen 50 und 60 mg betragen, also kleiner sein als die obigen Schwankungen des Verlustes von 60 und 100 mg. Es ist anzunehmen, dass auch bei den übrigen Beobachtungen dieselben geringen Rückstands-differenzen vorhanden waren, dass also  $\mathcal{AR} = \text{Null}$  gesetzt werden kann.

Die Uebermessungsmethode giebt demnach für eine grössere Zahl von Massen, sowie auch bei wiederholter Anwendung bei einem einzelnen Masse zuverlässige Resultate.

## 2. Versuchsreihe über die Grösse des Rückstandes in Massen.

Die im Folgenden beschriebenen Versuche wurden in der Normal-Aichungs-Kommission an fünf Massen zu 2 l und sechs zu 1 l ausgeführt. In Rücksicht auf den Einfluss der Grösse des Rückstandes und seine Abhängigkeit von der Beschaffenheit der Oberfläche wurden Masse ausgewählt, die nach der Zeit ihrer Anfertigung, nach Material, nach Reinheit der Oberfläche wesentlich verschieden waren. Der Rückstand wurde bei jedem Masse 2 mal von jedem der beiden Beobachter ermittelt; die zweite Bestimmung wurde jedoch nicht unmittelbar nach der ersten vorgenommen. Das Mass war mit seiner Glassplatte austarirt. Durch die Gewichtszunahme (in mg) des mit der Platte geschlossenen Masses wurde daher unmittelbar die Grösse des Rückstandes festgestellt. Eine weitgehende Reinigung wurde nicht vorgenommen. Die Beschaffenheit der cylinderförmig gestalteten Masse ergibt sich aus der folgenden Uebersicht:

Nr. des Masses.	Bezeichnung.	Eigenschaften.
--------------------	--------------	----------------

## Masse zu 1 l:

1	$N_1$	altes, kupfernes
2	$E_1$	altes, messingenes
3	157 <sub>1</sub>	neues, messingenes
4	158 <sub>1</sub>	" "
5	133 <sub>1</sub>	" kupfernes
6	134 <sub>1</sub>	" "

Durchmesser 108,4 mm, Höhe 216,7 mm.

## Masse zu 2 l:

7	$E_2$	altes, messingenes
8	157 <sub>2</sub>	neues, messingenes
9	158 <sub>2</sub>	" "
10	133 <sub>2</sub>	" kupfernes
11	134 <sub>2</sub>	" "

Durchmesser 86,0 mm, Höhe 172,1 mm.

Die Rückstandsbestimmungen geschahen nach 2 verschiedenen Methoden:

1. Es wurde so verfahren, wie früher angegeben; nämlich nach Ueberschieben der Glasplatte und vorschriftsmässiger Vollfüllung der Masse wurde die Glasplatte wieder zurückgezogen, das Mass langsam geneigt und zuletzt, senkrecht umgestülpt, 1 Minute abtropfen gelassen. Nach Abstreichen der am Rande haftenden Tropfen durch einen Glasstab wurde das Mass mit der Platte bedeckt gewogen.
2. Die Füllung, Entleerung und Wägung des Masses erfolgte in derselben Weise, wie unter 1. Die im Masse haftenden Tropfen wurden sofort nach dem Aufhören des zusammenhängenden Abflusses sorgfältig von den Metallwänden aus mit einer spitz ausgezogenen Pipette abgesaugt. Auf der Glasplatte noch vorhandene Wassermengen wurden in gleicher Weise entfernt.

Die Resultate sind aus Tabelle 3 zu ersehen.

**Tabelle 3.**

Grösse des Rückstandes in 11- und 21-Massen bei verschiedener Behandlung.

a. Masse zu 11.

1. Rückstand in mg.

Bezeichnung der Masse	Methode 1							Methode 2		
	Mass umgestülpt, Tropfen bleiben zurück							Tropfen ausgesaugt		
	Reihe 1			Reihe 2			Hauptmittel			
	Beobachter 1	Beobachter 2	Mittel	Beobachter 1	Beobachter 2	Mittel		Beobachter 1	Beobachter 2	Mittel
$N_1$	110	100	100 mg	210	160	180 mg	140 mg	30	40	30 mg
$E_1$	460	550	500 "	380	450	410 "	460 "	110	160	130 "
$157_1$	390	300	340 "	410	480	440 "	390 "	50	80	60 "
$158_1$	510	490	500 "	550	480	510 "	510 "	60	100	80 "
$133_1$	410	360	380 "	380	540	460 "	420 "	50	70	60 "
$134_1$	460	450	450 "	420	660	540 "	500 "	60	70	60 "
Mittel	390	380	380 mg	390	460	430 mg	410 mg	60	90	70 mg

2. Rückstands-differenzen in mg.

Masse:	$N_1-E_1$	$N_1-157_1$	$N_1-158_1$	$N_1-133_1$	$N_1-134_1$	$E_1-157_1$	$E_1-158_1$	$E_1-133_1$	$E_1-134_1$
Meth. 1:	+320	+250	+370	+280	+360	-70	+50	-40	+40
Meth. 2:	+100	+30	+50	+30	+30	-70	-50	-70	-70

Masse:	$157_1-158_1$	$157_1-133_1$	$157_1-134_1$	$133_1-134_1$	mittlerer absoluter Betrag
Meth. 1:	+120	+30	+110	+80	160
Meth. 2:	+20	0	0	0	40

b. Masse zu 21.

1. Rückstand in mg.

Bezeichnung der Masse	Methode 1			Methode 2		
	Beobachter 1	Beobachter 2	Mittel	Beobachter 1	Beobachter 2	Mittel
$E_2$	770	910	840 mg	110	110	110 mg
$157_2$	350	280	310 "	30	40	30 "
$158_2$	270	270	270 "	40	40	40 "
$133_2$	550	470	510 "	80	100	90 "
$134_2$	470	520	490 "	100	120	110 "
Mittel	480	490	480 mg	70	80	80 mg

2. Rückstandsdifferenzen in mg.							
Masse:	$E_2-157_2$	$E_2-158_2$	$E_2-133_2$	$E_2-134_2$	$157_2-158_2$	$157_2-133_2$	$157_2-134_2$
Meth. 1:	-530	- <b>570</b>	-330	-350	-40	+200	+180
Meth. 2:	- <b>80</b>	-70	-20	0	+10	+60	+80

Masse:	$133_2-134_2$	mittlerer absoluter Betrag
Meth. 1:	-20	<b>280</b>
Meth. 2:	+20	<b>40</b>

Die Ueberlegenheit der Methode 2 ist eine sehr grosse, wie man schon erkennt, wenn die Maximalwerthe der Rückstandsdifferenzen (bei 1 l : 370 gegen 100; bei 2 l : 570 gegen 80); sowie die mittleren Werthe (160:40 und 275:40) mit einander verglichen werden. Die mittleren Rückstandsdifferenzen  $\Delta R$  nach Methode 1 (275 und 160 mg) sind auch wesentlich grösser, als selbst die maximalen Rückstände bei Methode 2. Es lässt sich also nur durch das Absaugen erreichen, dass bei der Uebermessung die Voraussetzung erfüllt ist, dass die Rückstandsschwankungen von genügend kleinen Beträgen sind.

Der auffällige Umstand, dass die Rückstände in den 2 l-Massen nur unwesentlich höher sind, als in den 1 l-Massen, ist dadurch begründet, dass der grösste Theil des Rückstandes an der inneren Bodenkante der Masse haftet. Die Längen dieser Kanten sind aber für beide Massgrössen nur unwesentlich von einander verschieden. Sie verhalten sich wie 34 : 27.

Eine Abhängigkeit des Rückstandes von der Herstellungszeit (Alter) und dem Material (Kupfer oder Messing) der Masse ist nicht nachzuweisen. Dagegen scheint auf die Grösse des Rückstandes die Reinheit der Masse einen erheblicheren Einfluss zu üben. Das 1 l-Normal  $N_1$  aus Kupfer hat bei weitem den geringsten Rückstand. Dieses Mass wird oft mit Alkohol ausgespült und nach jeder Wasserwägung mit einem reinen leinenen Tuche ausgerieben zur Entfernung der letzten Wasserspuren. Die Masse  $E_1$  und  $E_2$ , welche dem Verfertiger der Metallmasse der Aichpraxis schon seit Jahren als Normale dienen, sind innen anscheinend sehr fettig. Die Rückstände sind daher erheblich.

Rückstandsversuche sind bei der Normal-Aichungs-Kommission schon im Jahre 1879 angestellt worden. Die benutzten Masse waren 2 l-Normale gleicher Form, wie die oben benutzten, aus Kupfer. Dieselben wurden sämtlich vor den Versuchen mit Alkohol ausgespült und mit leinenen weichen Tüchern ausgetrocknet. Der Rückstand (bestimmt durch die Zunahme des Gewichtes des austarirten Masses) wurde nach 1 Minute konstant.

Dabei wurde das Mass senkrecht umgestülpt, hängengebliebene Tropfen wurden durch Klopfen an das Mass zum Zusammenfliessen gebracht und dann ausgeschleudert. Wurden die Masse unmittelbar vor der Füllung erst noch einmal genässt und mit einem leinenen Tuche trocken gerieben, so betrug der Rückstand im Mittel  $170 \pm 40$  mg. Liess man aber das Mass längere Zeit mit benetzter Oberfläche stehen und das Wasser eintrocknen, so blieben von der zweiten Füllung  $220 \pm 40$  mg haften, also erheblich weniger als bei den jetzigen Versuchen (480 mg). Die Differenz ist durch die Entfernung der grossen Tropfen hervorgerufen. Werden die Masse während der Abtropfzeit von 1 Minute schräg gehalten und nicht umgestülpt, so wird der Rückstand etwa doppelt so gross.

Die Versuche zeigen, dass durch sorgfältige Reinigung der Oberfläche und durch Klopfen an das Mass während des Abtropfens der Rückstand erheblich vermindert wird und damit auch die Rückstands differenzen, welche allein bei der Uebermessung in Frage kommen. Ein so geringer Rückstand, wie durch das immerhin umständliche Aussaugen der Tropfen mittelst Pipette, wird allerdings nicht erhalten.

### 3. Versuche über das Uebermessen von 1 l- und 2 l-Massen nach verschiedenen Verfahren.

Für diese Ueberfüllversuche kamen drei verschiedene Methoden 1, 2, 3 in Anwendung. Bei Anwendung der Methode 1 wird das Mass  $M$  gefüllt, dann entleert und eine Minute umgestülpt abtropfen gelassen; die an den Rändern hängenden Tropfen werden an einem Glasstabe abgestrichen. Das Mass  $N$  wird den Bestimmungen der Aichpraxis gemäss vollgefüllt, in das Mass  $M$  übergegossen und eine Minute lang in gleicher Weise wie vorher  $M$  ablaufen gelassen. Dieser Ablauf kommt zu dem Wasser in  $M$  hinzu.

Die Methode 2 unterscheidet sich dadurch von der ersten, dass die Masse nicht 1 Minute umgekehrt ablaufen, sondern dass die Tropfen jedesmal mit der Pipette abgesaugt werden. Die nach dem Ueberfüllen von  $N$  in  $M$  noch gewonnene Menge wird zu  $M$  zugefügt.

Die Methode 3 unterscheidet sich grundsätzlich von 1 und 2, dass die Masse, in welche übergefüllt werden soll, immer vorher getrocknet werden. Der nach dem Ausgiessen in  $N$ , bezw.  $M$  gebliebene Rest wird ebenso wie bei 2 mittelst Pipette abgesaugt und zu dem übergefüllten Mass hinzugefügt.

Benutzt wurden dieselben Masse, deren Rückstand vorher bestimmt war. Die Uebermessungen wurden in fast allen möglichen Kombinationen ausgeführt.

Der Uebermessung ging eine mehrmalige Auswägung der Masse voran, sodass die wirklichen Inhaltsdifferenzen genau bekannt sind. Die bei der Uebermessung eintretenden Inhaltsdifferenzen sind entweder durch die Bildung einer Luftblase unter der Glasplatte oder durch Haftenbleiben von Wasser am Rande nach dem Ueberschieben der Glasplatte zu erkennen. In dem Falle der Bildung einer Luftblase, wo das übergefüllte Mass  $M$  grösser ist als  $N$ , wurde zunächst  $M$  mit der Luftblase gewogen, dann die Platte, ohne das Gefäss zu erwärmen, etwas zurückgezogen und das Mass nachgefüllt, bis beim nochmaligen Ueberschieben der Platte die Luftblase geschwunden war. Die Differenz des Gewichtes des so nachgefüllten Gefässes gegen die erste Wägung mit Luftblase giebt die Grössen  $U_1$ ,  $U_2$  entsprechend den Ableitungen auf Seite 203. Ist  $M$  kleiner als  $N$ , so wird die überschüssige Menge in ein tarirtes Gläschen hineingespült. Einer Wägung des Masses bedarf es dann nicht. Da  $M - N = f$  bekannt ist, so kann man, ebenso wie oben  $V_1$  und  $V_2$ , auch hier die Verluste finden, unter der Voraussetzung, dass  $\mathcal{A}R$ , die Rückstands-differenzen, Null sind. Da aber bei unseren Versuchen auch die  $\mathcal{A}R$  bekannt sind, so kann man noch weiter gehen und die wirklichen Verluste  $F_1$  und  $F_2$  bestimmen. Die Schwankungen dieser Grössen sind ebenso, wie die leicht zu ermittelnden Werthe  $f - f'$ , ein Mass für die Genauigkeit der Uebermessungsmethoden.

Die hiernach berechneten Versuchsreihen sind für die 3 Beobachtungsmethoden in den Tafeln 4 A — F nebst Anhang, sowie in Tafel 5 verzeichnet.

In Tafel 6 sind sämmtliche Werthe für  $U$  (die relativen Verluste),  $V$ ,  $F$  (die Verluste mit und ohne Berücksichtigung des Rückstandes), sowie die Abweichungen  $\mathcal{A}'$  der Uebermessung von der Auswägung  $\mathcal{A}$  angegeben. Tafel 4 setzt sich aus 6 Tabellen nebst einem Anhang zusammen; je 3 für 1 l-, je 3 für 2 l-Masse. Die Werthe für die beiden Beobachter stehen untereinander.

Die Beobachtungen nach der Methode 2 sind auch unter der Voraussetzung verwerthet (Anhang zu 4 C Spalte 3 — 5; und 4 E Spalte 15 — 17), dass der Rückstand derselbe ist, wie bei der Methode 3, dass also das Mass in dem Zeitpunkte, zu welchem die Ueberfüllung erfolgt, bereits freiwillig trocken geworden ist.

Tafel 4 C — Anhang Spalte 7—20 — giebt eine Umrechnung der Resultate aus 4 B und 4 C unter der Voraussetzung, dass die Auswägung von 2 Massen mit Fehlern, und zwar von  $E_1$  im Betrage von 80, von  $134_1$  im Betrage von 20 mg behaftet ist.

Tafel 5 enthält die Berechnung der Differenzen bei der Zusammensetzung je zweier Uebermessungen gegen die direkte Uebermessung.

**Tafel 4.**  
**Ergebnisse der Uebermessungen für 2 Beobachter.**  
**A. Methode 1. Masse zu 11.**

Angaben in mg.

Vergleichung von Mass	beobachtet		gefunden <i>M-N</i> durch		Fehler der Ueber- mes- sung <i>A-A1</i>	Scheinbare Verluste beim		mitt- lerer Verlust $\frac{V_1 + V_2}{2}$ $\frac{F_1 + F_2}{2}$	Schwan- kungen im Verlust $V_1 - V_2$	Wahrer Verlust		<i>F1 - F2</i>	
	<i>M</i> mit <i>N</i>	(vor- wärts) <i>U1</i>	(rück- wärts) <i>U2</i>	Ueber- messen $\frac{U_1}{2}$ $+\frac{U_2}{2}$		Auswä- gen <i>A</i>	Vor- wärts- messen <i>V1</i>			Rück- wärts- messen <i>V2</i>	<i>F1</i>		<i>F2</i>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>E</i>	<i>N1</i>	+ 1270	+ 1120	+ 1200	+ 1440	+ 240	- 170	+ 320	+ 80	- 490	+ 150	0	+ 150
		+ 1360	+ 1220	+ 1290		+ 150	- 80	+ 220	+ 70	- 300	+ 240	- 100	+ 340
157 <sub>1</sub>	<i>N1</i>	+ 1050	+ 1120	+ 1090	+ 1240	+ 150	- 190	+ 120	- 30	- 310	+ 60	- 130	+ 190
		+ 1060	+ 1000	+ 1030		+ 210	- 180	+ 240	+ 30	- 420	+ 70	- 10	+ 80
158 <sub>1</sub>	<i>N1</i>	+ 1010	+ 900	+ 960	+ 1180	+ 220	- 170	+ 280	+ 60	- 450	+ 200	- 90	+ 290
		+ 1160	+ 870	+ 1020		+ 160	- 20	+ 310	+ 150	- 330	+ 350	- 60	+ 410
133 <sub>1</sub>	<i>N1</i>	+ 1210	+ 950	+ 1080	+ 1200	+ 120	+ 10	+ 250	+ 130	- 240	+ 290	- 30	+ 320
		+ 1180	+ 950	+ 1070		+ 130	- 20	+ 250	+ 120	- 270	+ 260	- 30	+ 290
134 <sub>1</sub>	<i>N1</i>	+ 1300	+ 1020	+ 1160	+ 1270	+ 110	+ 30	+ 250	+ 140	- 220	+ 390	- 110	+ 500
		+ 1240	+ 1080	+ 1160		+ 110	- 30	+ 190	+ 80	- 220	+ 330	- 170	+ 500
157 <sub>1</sub>	<i>E1</i>	- 170	- 360	- 270	- 200	+ 70	+ 30	+ 160	+ 100	- 130	- 40	+ 230	- 270
		- 120	- 30	- 70		- 130	+ 80	- 170	- 40	+ 250	+ 10	- 100	+ 110
158 <sub>1</sub>	<i>E1</i>	- 320	- 250	- 290	- 260	+ 30	- 60	- 10	- 30	- 50	- 10	- 60	+ 50
		- 160	- 70	- 110		- 150	+ 100	- 190	- 40	+ 290	+ 150	- 240	+ 390
133 <sub>1</sub>	<i>E1</i>	- 70	- 60	- 60	- 230	- 170	+ 160	- 170	- 10	+ 330	+ 120	- 130	+ 250
		0	- 10	0		- 220	+ 230	- 220	+ 10	+ 450	+ 190	- 180	+ 370
134 <sub>1</sub>	<i>E1</i>	- 220	- 120	- 170	- 160	+ 10	- 60	- 40	- 50	- 20	- 20	- 80	+ 60
		+ 40	- 20	+ 10		- 170	+ 200	- 140	+ 30	+ 340	+ 240	- 180	+ 420
158 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 210	- 160	+ 30	- 60	- 90	+ 270	+ 100	+ 190	+ 170	+ 390	- 20	+ 410
		- 50	- 320	- 180		+ 120	+ 10	+ 260	+ 140	- 250	+ 130	+ 140	- 10
133 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	- 90	- 80	- 90	- 30	+ 60	- 60	+ 50	0	- 110	- 30	+ 20	- 50
		+ 200	- 70	+ 70		- 100	+ 230	+ 40	+ 140	+ 190	+ 260	+ 10	+ 250
134 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	- 50	+ 160	+ 60	+ 40	- 20	- 90	- 120	- 110	+ 30	+ 20	- 230	+ 250
		+ 130	+ 130	+ 130		- 90	+ 90	- 90	0	+ 180	+ 200	- 200	+ 400
134 <sub>1</sub>	133 <sub>1</sub>	+ 90	- 120	- 10	+ 70	+ 80	+ 20	+ 190	+ 110	- 170	+ 100	+ 110	- 10
		+ 200	- 170	+ 20		+ 50	+ 130	+ 240	+ 190	- 110	+ 210	+ 160	+ 50
Mittel	Beob. 1					+ 60	- 20	+ 110	+ 40		+ 120	- 40	
	Beob. 2					+ 5	+ 60	+ 70	+ 70		+ 200	- 70	
	Beide Beobachter: }					+ 35	+ 20	+ 90	+ 55	halbes Mittel	+ 160	- 60	halbes Mittel
Mittel der absol- uten Zah- len	Beob. 1					± 110	± 100	± 160	-	± 100	± 140	± 100	± 110
	Beob. 2					± 140	± 110	± 200	-	± 140	± 200	± 120	± 140
	Beide Beobachter: }					± 120	± 105	± 180	-	± 120	± 170	± 110	± 125

B. Methode 2. Masse zu 1 l.

Angaben in mg.

Vergleichung von Mass		beobachtet		gefunden <i>M-N</i> durch		Fehler der Uebermessung $\Delta - \Delta_1$	Scheinbare Verluste beim		mittlerer Verlust $\frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{F_1 + F_2}{2}$	Schwankungen im Verlust $V_1 - V_2$	Wahrer Verlust		$F_1 - F_2$
		(vorwärts) $U_1$	(rückwärts) $U_2$	Uebermessen $\Delta = \frac{U_1}{2} + \frac{U_2}{2}$	Auswägen $\Delta$		Vorwärtsmessen $V_1$	Rückwärtsmessen $V_2$			$F_1$	$F_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$E_1$	$N_1$	+ 1490	+ 1270	+ 1380	+ 1440	+ 60	+ 50	+ 170	+ 110	- 120	+ 150	+ 70	+ 80
		+ 1370	+ 1280	+ 1330		+ 110	- 70	+ 160	+ 50	- 230	+ 30	+ 60	- 30
157 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1300	+ 1190	+ 1250	+ 1240	- 10	+ 60	+ 50	+ 60	+ 10	+ 90	+ 20	+ 70
		+ 1350	+ 1150	+ 1250		- 10	+ 110	+ 90	+ 100	+ 20	+ 140	+ 60	+ 80
158 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1240	+ 1100	+ 1170	+ 1180	+ 10	+ 60	+ 80	+ 70	- 20	+ 110	+ 30	+ 80
		+ 1340	+ 1090	+ 1220		- 40	+ 160	+ 90	+ 130	+ 70	+ 210	+ 40	+ 170
133 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1320	+ 1080	+ 1200	+ 1200	0	+ 120	+ 120	+ 120	0	+ 150	+ 90	+ 60
		+ 1300	+ 1170	+ 1240		- 40	+ 100	+ 30	+ 70	+ 70	+ 130	0	+ 130
134 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1250	+ 1080	+ 1170	+ 1270	+ 100	- 20	+ 190	+ 90	- 210	+ 10	+ 160	- 150
		+ 1330	+ 1110	+ 1220		+ 50	+ 60	+ 60	+ 110	- 100	+ 90	+ 130	- 40
157 <sub>1</sub>	$E_1$	- 100	- 220	- 160	- 200	- 40	+ 100	+ 20	+ 60	+ 80	+ 30	+ 90	- 60
		- 50	- 240	- 150		- 50	+ 150	+ 40	+ 90	+ 110	+ 80	+ 110	- 30
158 <sub>1</sub>	$E_1$	- 70	- 210	- 140	- 260	- 120	+ 190	- 50	+ 70	+ 240	+ 140	0	+ 140
133 <sub>1</sub>	$E_1$	- 90	- 190	- 140	- 230	- 90	+ 140	- 40	+ 50	+ 180	+ 70	+ 30	+ 40
		- 80	- 330	- 200		- 30	+ 150	+ 100	+ 130	+ 50	+ 80	+ 170	- 90
134 <sub>1</sub>	$E_1$	- 50	- 110	- 80	- 160	- 80	+ 110	- 50	+ 30	+ 60	+ 40	+ 20	+ 20
		- 30	- 190	- 110		- 50	+ 130	+ 30	+ 80	+ 100	+ 60	+ 100	- 40
158 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 10	- 210	- 100	- 60	+ 40	+ 70	+ 150	+ 110	- 80	+ 90	+ 130	- 40
		+ 30	- 320	- 140		+ 80	+ 90	+ 260	+ 180	- 170	+ 110	+ 240	- 130
133 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 90	- 190	- 50	- 30	+ 20	+ 120	+ 160	+ 140	- 40	+ 120	+ 160	- 40
		+ 110	- 200	- 40		+ 10	+ 140	+ 170	+ 160	- 30	+ 140	+ 170	- 30
134 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 80	- 170	- 40	+ 40	+ 80	+ 40	+ 210	+ 130	- 170	+ 40	+ 210	- 170
		+ 60	- 110	- 20		+ 60	+ 20	+ 150	+ 90	- 130	+ 20	+ 150	- 130
134 <sub>1</sub>	133 <sub>1</sub>	+ 110	- 70	+ 20	+ 70	+ 50	+ 40	+ 140	+ 90	- 100	+ 40	+ 140	- 100
		+ 150	- 120	+ 20		+ 50	+ 80	+ 190	+ 140	- 110	+ 80	+ 190	- 110
Mittel	Beob. 1					0	+ 80	+ 90	+ 90		+ 80	+ 90	
	Beob. 2					+ 10	+ 90	+ 120	+ 110		+ 100	+ 120	
	Beide Beobachter					+ 5	+ 90	+ 105	+ 100	halbes Mittel	+ 90	+ 105	halbes Mittel
Mittel absoluter Zahlen	Beob. 1					± 50	± 90	± 110	--	± 50	± 80	± 90	± 40
	Beob. 2					± 50	± 100	± 120	--	± 50	± 100	± 120	± 40
	Beide Beobachter					± 50	± 95	± 115	--	± 50	± 90	± 105	± 40

C. Methode 3. Masse zu 1 l.

Angaben in mg.

Vergleichung von Mass		beobachtet		gefunden $M-N$ durch		Fehler der Uebermessung $A-A'$	Scheinbare Verluste beim		mittlerer Verlust $\frac{V_1+V_2}{2} = \frac{F_1+F_2}{2}$	Schwankungen im Verlust $V_1-V_2$	Wahrer Verlust		$F_1-F_2$
							Vorwärts-messen $V_1$	Rückwärts-messen $V_2$			$F_1$	$F_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$E_1$	$N_1$	+ 1440	+ 1260	+ 1350	+ 1440	+ 90	0	+ 180	+ 90	- 180	- 30	+ 50	- 80
		+ 1480	+ 1240	+ 1360		+ 80	+ 40	+ 200	+ 120	- 160	+ 10	+ 70	- 60
157 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1330	+ 1150	+ 1240	+ 1240	0	+ 90	+ 90	+ 90	0	+ 60	+ 30	+ 30
		+ 1400	+ 1070	+ 1240		0	+ 160	+ 170	+ 170	- 10	+ 130	+ 110	+ 20
158 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1280	+ 1100	+ 1190	+ 1180	- 10	+ 100	+ 80	+ 90	+ 20	+ 70	0	+ 70
		+ 1280	+ 1020	+ 1150		+ 30	+ 100	+ 160	+ 130	- 60	+ 70	+ 80	- 10
133 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1280	+ 1130	+ 1210	+ 1200	- 10	+ 80	+ 70	+ 80	+ 10	+ 50	+ 10	+ 40
		+ 1390	+ 1000	+ 1200		0	+ 190	+ 200	+ 200	- 10	+ 160	+ 140	+ 20
134 <sub>1</sub>	$N_1$	+ 1320	+ 1180	+ 1250	+ 1270	+ 20	+ 50	+ 90	+ 70	- 40	+ 20	+ 30	- 10
		+ 1310	+ 1190	+ 1250		+ 20	+ 40	+ 80	+ 60	- 40	+ 10	+ 20	- 10
157 <sub>1</sub>	$E_1$	0	- 240	- 120	- 200	- 80	+ 200	+ 40	+ 120	+ 160	+ 70	- 20	+ 90
		0	- 330	- 160	- 260	- 40	+ 200	+ 130	+ 170	+ 170	+ 70	+ 70	0
158 <sub>1</sub>	$E_1$	.	.	.									
133 <sub>1</sub>	$E_1$	- 60	- 230	- 150	- 230	- 80	+ 170	0	+ 90	+ 170	+ 40	- 60	+ 100
		- 60	- 250	- 150		- 80	+ 170	+ 20	+ 90	+ 150	+ 40	- 40	+ 80
134 <sub>1</sub>	$E_1$	0	- 200	- 100	- 160	- 60	+ 160	+ 40	+ 100	+ 120	+ 30	- 20	+ 50
		- 90	- 210	- 150		- 10	+ 70	+ 50	+ 60	+ 20	- 60	- 10	- 50
158 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 50	- 180	- 60	- 60	0	+ 110	+ 120	+ 120	- 10	+ 50	+ 40	+ 10
		+ 110	- 190	- 40		- 20	+ 170	+ 130	+ 150	+ 150	+ 40	+ 110	+ 50
133 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 30	- 100	- 30	- 30	0	+ 60	+ 70	+ 70	- 10	0	+ 10	- 10
		+ 110	- 180	- 30		0	+ 140	+ 150	+ 150	- 10	+ 80	+ 90	- 10
134 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 120	- 70	+ 30	+ 40	+ 10	+ 80	+ 110	+ 100	- 30	+ 20	+ 50	- 30
		+ 130	- 90	+ 20		+ 20	+ 90	+ 130	+ 110	- 40	+ 30	+ 70	- 40
134 <sub>1</sub>	133 <sub>1</sub>	+ 110	- 10	+ 50	+ 70	+ 20	+ 40	+ 80	+ 60	- 40	- 20	+ 20	- 40
		+ 150	- 120	+ 20		+ 50	+ 80	+ 190	+ 140	- 110	+ 20	+ 130	- 110
Mittel	Beob.1					- 10	+ 95	+ 80	+ 90		+ 30	+ 10	
	Beob.2					+ 5	+ 120	+ 130	+ 120		+ 60	+ 65	
	Beide Beob.					0	+ 110	+ 105	+ 110	halbes Mittel	+ 45	+ 40	halbes Mittel
Mittel absoluter Zahlen	Beob.1					± 30	± 95	± 80	.	± 30	± 40	± 30	± 25
	Beob.2					± 30	± 120	± 130	.	± 30	± 70	± 70	± 20
	Beide Beob.					± 30	± 110	± 105	.	± 30	± 50	± 50	± 20

Anhang zu Tafel C.

Masse zu 1 Liter.

Berechnung der Uebermessungen unter der Annahme, dass Methode 2 und 3 identisch sind.

Einfluss von Schwankungen der Auswägungsergebnisse.

Angaben in mg.

Vergleichung von	Mass M	mit Mass N	Methode 2 Rückstand wie bei Methode 3			Auswägungsbest. M-N, wenn E <sub>1</sub> und 134 <sub>1</sub> verändert werden.	Methode 2, Rückstand wie bei Methode 3 ber.							A - A'	Methode 3					
			F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub>		Uebermess.-Fehler A-A'	Verluste							Verluste					
								V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub>		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub> -V <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub> -F <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
E <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	+ 20	+ 40	- 20	+ 1360	- 20	+ 130	+ 90	+ 40	+ 100	- 40	+ 140	+ 10	+ 80	+ 100	- 20	+ 50	- 30	+ 80	
		- 100	+ 30	- 130			+ 30	+ 10	+ 80	- 70	- 20	- 50	+ 30	0	+ 120	+ 120	0	+ 90	- 10	+ 100
157 <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	+ 30	- 10	+ 40	+ 1240	- 10	+ 60	+ 50	+ 10	+ 30	- 10	+ 40	0	+ 90	+ 90	0	+ 60	+ 30	+ 30	
		+ 80	+ 30	+ 50			- 10	+ 110	+ 90	+ 20	+ 80	+ 30	+ 50	0	+ 160	+ 170	- 10	+ 130	+ 110	+ 20
158 <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	+ 30	0	+ 30	+ 1180	+ 10	+ 60	+ 80	- 20	+ 30	0	+ 30	- 10	+ 100	+ 80	+ 20	+ 70	0	+ 70	
		+ 130	+ 10	+ 120			- 40	+ 160	+ 90	+ 70	+ 130	+ 10	+ 120	+ 30	+ 100	+ 160	- 60	+ 70	+ 80	- 10
133 <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	+ 90	+ 60	+ 30	+ 1200	0	+ 120	+ 120	0	+ 90	+ 60	+ 30	- 10	+ 80	+ 70	+ 10	+ 50	+ 10	+ 40	
		+ 70	- 30	+ 40			- 40	+ 100	+ 30	+ 70	+ 70	- 30	+ 100	0	+ 190	+ 200	- 10	+ 160	+ 140	+ 20
134 <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	- 50	+ 130	- 180	+ 1250	+ 80	0	+ 170	- 170	- 30	+ 110	- 140	0	+ 70	+ 70	0	+ 40	+ 10	+ 30	
		+ 30	+ 100	- 70			+ 30	+ 80	+ 140	- 60	+ 50	+ 80	- 30	0	+ 60	+ 60	0	+ 30	0	+ 30
157 <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	- 30	- 40	+ 10	- 120	+ 40	+ 20	+ 100	- 80	- 110	+ 40	- 150	0	+ 120	+ 120	0	- 10	+ 60	- 70	
		+ 20	- 20	+ 40			+ 30	+ 70	+ 120	- 50	- 60	+ 60	- 120	+ 40	+ 120	+ 210	- 90	- 10	+ 150	- 160
158 <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	+ 60	- 130	+ 190	- 180	- 40	+ 110	+ 30	+ 80	- 20	- 50	+ 30								
133 <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	+ 10	- 100	+ 110	- 150	- 10	+ 60	+ 40	+ 20	- 70	- 20	- 50	0	+ 90	+ 80	+ 10	- 40	+ 20	- 60	
		+ 20	+ 40	- 20			+ 50	+ 70	+ 180	- 110	- 60	+ 120	- 180	0	+ 90	+ 100	- 10	- 40	+ 40	- 80
134 <sub>1</sub>	E <sub>1</sub>	- 20	- 110	+ 90	- 100	- 20	+ 50	+ 10	+ 40	- 80	- 50	- 30	0	+ 100	+ 100	0	- 30	+ 40	- 70	
		0	- 30	+ 30			+ 10	+ 70	+ 90	- 20	- 60	+ 30	- 90	+ 50	+ 10	+ 110	- 100	- 120	+ 50	- 170
158 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 10	+ 70	- 60	- 60	+ 40	+ 70	+ 150	- 80	+ 10	+ 70	- 60	0	+ 110	+ 120	- 10	+ 50	+ 40	+ 10	
		+ 30	+ 180	- 150			+ 80	+ 90	+ 260	- 170	+ 30	+ 180	- 150	- 20	+ 170	+ 130	+ 40	+ 110	+ 50	+ 60
133 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	+ 60	+ 100	- 40	- 30	+ 20	+ 120	+ 160	- 40	+ 60	+ 100	- 40	0	+ 60	+ 70	- 10	0	+ 10	- 10	
		+ 80	+ 110	- 30			+ 10	+ 140	+ 170	- 30	+ 80	+ 110	- 30	0	+ 140	+ 150	- 10	+ 80	+ 90	- 10
134 <sub>1</sub>	157 <sub>1</sub>	- 20	+ 150	- 170	+ 20	+ 60	+ 60	+ 190	- 130	0	+ 130	- 130	- 10	+ 100	+ 90	+ 10	+ 40	+ 30	+ 10	
		- 40	+ 90	- 130			+ 40	+ 40	+ 130	- 90	- 20	+ 70	- 90	0	+ 110	+ 110	0	+ 50	+ 50	0
134 <sub>1</sub>	133 <sub>1</sub>	- 20	+ 80	- 100	+ 50	+ 30	+ 60	+ 120	- 60	0	+ 60	- 60	0	+ 60	+ 60	0	0	0	0	
		+ 20	+ 130	- 110			+ 30	+ 100	+ 170	- 70	+ 40	+ 110	- 70	+ 30	+ 100	+ 170	- 70	+ 40	+ 110	- 70
Mittel	Beob.1	+ 10	+ 20			+ 10	+ 70	+ 100		0	+ 30		0	+ 90	+ 90		+ 20	+ 20		
	Beob.2	+ 30	+ 50			+ 20	+ 90	+ 130		+ 20	+ 60		+ 10	+ 110	+ 140		+ 50	+ 70		
	Beide Beob.	+ 20	+ 35	halbes Mittel		+ 15	+ 80	+ 115	halbes Mittel	+ 10	+ 45	halbes Mittel	+ 5	+ 100	+ 115	halbes Mittel	+ 35	+ 45	halbes Mittel	
Mittel absolute Zahlen	Beob.1	± 30	± 80	± 40		± 30	± 70	± 100	± 30	± 50	± 60	± 35	± 5	± 90	± 90	± 5	± 40	± 20	± 20	
	Beob.2	± 50	± 70	± 40		± 30	± 90	± 130	± 35	± 60	± 70	± 45	± 15	± 110	± 140	± 20	± 80	± 70	± 30	
	Beide Beob.	± 40	± 75	± 40		± 30	± 80	± 115	± 30	± 55	± 65	± 40	± 10	± 100	± 115	± 10	± 60	± 50	± 25	

D. Methode 1. Masse zu 2 l.

Angaben in mg.

Vergleichung von Mass		beobachtet		gefunden M-N durch		Fehler der Uebermessung $\Delta - \Delta^1$	Scheinbare Verluste beim		mittlerer Verlust $\frac{V_1 + V_2}{2}$	Schwankungen im Verlust $V_1 - V_2$	Wahrer Verlust		$F_1 - F_2$
		(vorwärts) $U_1$	(rückwärts) $U_2$	Uebermessen $\Delta' = \frac{U_1}{2} + \frac{U_2}{2}$	Auswägen $\Delta$		Vorwärtsmessen $V_1$	Rückwärtsmessen $V_2$			$F_1$	$F_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
157 <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	- 50	-210	-130	-280	-150	+230	- 70	+ 80	+300	-300	+460	- 760
		- 40	-340	-190		- 90	+240	+ 60	+150	+180	-290	+590	- 880
158 <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	+110	-180	- 30	-180	-150	+290	0	+150	+290	-280	+570	- 850
		-110	-370	-240		+ 60	+ 70	+190	+130	-120	-500	+760	-1260
133 <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	-100	-260	-180	-230	- 50	+130	+ 30	+ 80	+100	-200	+360	- 560
		+ 30	-390	-180		- 50	+260	+160	+210	+100	- 70	+490	- 560
134 <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	- 70	- 30	- 50	-290	-240	+220	-260	- 20	+480	-130	+ 90	- 220
		-140	-310	-220		- 70	+150	+ 20	+ 90	+130	-200	+370	- 570
158 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+310	+ 60	+190	+100	- 90	+210	+ 40	+130	+170	+170	+ 80	+ 90
		+310	-180	+ 70		+ 30	+210	+280	+250	- 70	+170	+320	- 150
133 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	-100	-180	-140	+ 40	+180	-140	+220	+ 40	-360	+ 60	+ 20	+ 40
		+220	-210	+ 10		+ 30	+180	+250	+220	- 70	+380	+ 50	+ 330
134 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+190	- 70	+ 60	- 20	- 80	+210	+ 50	+130	+160	+390	-130	+ 520
		0	-190	- 90		+ 70	+ 20	+170	+100	-150	+200	- 10	+ 210
134 <sub>2</sub>	133 <sub>2</sub>	- 60	- 90	- 70	- 60	+ 10	0	+ 30	+ 20	- 30	- 20	+ 50	- 70
		-130	-210	-170		+110	- 70	+150	+ 40	-220	- 90	+170	- 260
Mittel	Beob.1					- 70	+140	+ 5	+ 80		- 40	+190	
	Beob.2					+ 10	+130	+160	+150		- 50	+340	
	Beide Beob. }					- 30	+140	+ 80	+110	halbes Mittel	- 45	+265	halbes Mittel
Mittel absoluter Zahlen.	Beob.1					±120	±180	± 90	-	±120	±200	±220	±190
	Beob.2					± 60	±150	±160	-	± 65	±240	±340	±260
	Beide Beob. }					± 90	±165	±125	-	± 90	±215	±280	±230

E. Methode 2. Masse zu 21.

Angaben in mg.

Ver- gleichung von Mass		beobachtet		gefunden <i>M-N</i> durch		Fehler der	Scheinbare Verluste beim		mitt- lerer	Schwan- kungen	wahrer Verlust		<i>F</i> <sub>1</sub> - <i>F</i> <sub>2</sub>	Berechnung wie bei Methode		
<i>M</i> mit <i>N</i>		(vor- wärts) <i>U</i> <sub>1</sub>	(rück- wärts) <i>U</i> <sub>2</sub>	Ueber- messen $\Delta' = \frac{U_1}{2}$ + $\frac{U_2}{2}$	Auswä- gen $\Delta$	Ueber- mes- sung $\Delta - \Delta'$	Vor- wärts- messen <i>V</i> <sub>1</sub>	Rück- wärts- messen <i>V</i> <sub>2</sub>	Verlust $\frac{V_1 + V_2}{2}$ = $\frac{F_1 + F_2}{2}$	im Verlust <i>V</i> <sub>1</sub> · <i>V</i> <sub>2</sub>	<i>F</i> <sub>1</sub>	<i>F</i> <sub>2</sub>				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
157 <sub>2</sub>	<i>E</i> <sub>2</sub>	-160	-380	-270	-280	-10	+120	+100	+110	+20	+40	+180	-140	+10	+70	-60
		-50	-490	-270		-10	+230	+210	+220	+20	+150	+290	-140	+120	+180	-60
158 <sub>2</sub>	<i>E</i> <sub>2</sub>	-20	-280	-150	-180	-30	+160	+100	+130	+60	+90	+170	-80	+50	+60	-10
		+110	-360	-120		-60	+290	+180	+240	+110	+220	+250	-30	+180	+140	+40
133 <sub>2</sub>	<i>E</i> <sub>2</sub>	-60	-340	-200	-230	-30	+170	+110	+140	+60	+150	+130	+20	+60	+20	+40
		+50	-380	-160		-70	+280	+150	+220	+130	+260	+170	+90	+170	+60	+110
134 <sub>2</sub>	<i>E</i> <sub>2</sub>	-190	-430	-310	-290	+20	+100	+140	+120	-40	+100	+140	-40	-10	+30	-40
		-60	-600	-330		+40	+230	+310	+270	-80	+230	+310	-80	+120	+200	-80
158 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+210	+30	+120	+100	-20	+110	+70	+90	+40	+120	+60	+60	+80	+30	+50
		+200	-90	+60		+40	+100	+190	+150	-90	+110	+180	-70	+70	+150	-80
133 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+130	-30	+50	+40	-10	+90	+70	+80	+20	+150	+10	+140	+60	-20	+80
		+140	-60	+40		0	+100	+100	+100	0	+160	+40	+120	+70	+10	+60
134 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+140	-120	+10	-20	-30	+160	+100	+130	+60	+240	+20	+220	+130	-10	+140
		+110	-140	-10		-10	+130	+120	+130	+10	+210	+40	+170	+100	+10	+90
134 <sub>2</sub>	133 <sub>2</sub>	+50	-110	-30	-60	-30	+110	+50	+80	+60	+130	+30	+100	+20	-60	+80
		+100	-160	-30		-30	+160	+100	+130	+60	+180	+80	+100	+70	-10	+80
Mit- tel	Beob.1					-20	+130	+90	+110		+130	+90		+50	+15	
	Beob.2					-10	+190	+170	+180		+190	+170		+110	+90	
	Beide Beob.					-15	+160	+130	+145	halbes Mittel	+160	+130	halbes Mittel	+80	+55	halbes Mittel
Mit- tel abso- luter Zah- len.	Beob.1					±20	±130	±90	.	±20	±130	±90	±50	±50	±40	±30
	Beob.2					±30	±190	±170	.	±30	±190	±170	±50	±110	±90	±40
	Beide Beob.					±30	±160	±130	.	±30	±160	±130	±50	±80	±65	±35

F. Methode 3. Masse zu 21.

Angaben in mg.

Vergleichung von Mass		beobachtet		gefunden $M-N$ durch		Fehler der Uebermessung $A-A'$	Scheinbare Verluste beim		mittlerer Verlust $\frac{V_1+V_2}{2}$	Schwankungen im Verlust $V_1-V_2$	Wahrer Verlust		$F_1-F_2$
		(vorwärts) $U_1$	(rückwärts) $U_2$	Uebermessen $A'=U_1+U_2$	Auswägen $A$		Vorwärtsmessen $V_1$	Rückwärtsmessen $V_2$			$F_1$	$F_2$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
157 <sub>2</sub>	$E_2$	0	-480	-240	-280	-40	+280	+200	+240	+80	+170	+170	0
		+180	-480	-150		-130	+460	+200	+330	+260	+350	+170	+180
158 <sub>2</sub>	$E_2$	+220	-300	-40	-180	-140	+400	+120	+260	+280	+290	+80	+210
		+170	-390	-110		-70	+350	+210	+280	+140	+240	+170	+70
133 <sub>2</sub>	$E_2$	-40	-400	-220	-230	-10	+190	+170	+180	+20	+80	+80	0
		+100	-480	-190		-40	+330	+250	+290	+80	+220	+160	+60
134 <sub>2</sub>	$E_2$	-30	-380	-200	-290	-90	+260	+90	+180	+170	+150	-20	+170
		-20	-440	-230		-60	+270	+150	+210	+120	+160	+40	+120
158 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+230	-80	+80	+100	+20	+130	+180	+160	-50	+100	+140	-40
		+240	-90	+80		+20	+140	+190	+170	-50	+110	+150	-40
133 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+170	-200	-10	+40	+50	+130	+240	+190	-110	+100	+150	-50
		+140	-160	-10		+50	+100	+200	+150	-100	+70	+110	-40
134 <sub>2</sub>	157 <sub>2</sub>	+100	-180	-40	-20	+20	+120	+160	+140	-40	+90	+50	+40
		+140	-210	-40		+20	+160	+190	+180	-30	+130	+80	+50
134 <sub>2</sub>	133 <sub>2</sub>	+120	-230	-60	-60	0	+180	+170	+180	+10	+90	+60	+30
		+130	-190	-30		-30	+190	+130	+160	+60	+100	+20	+80
Mittel	Beob.1					-20	+210	+170	+190		+130	+90	
	Beob.2					-30	+250	+190	+220		+170	+110	
	Beide Beob.					-25	+230	+180	+205	halbes Mittel	+155	+100	halbes Mittel
Mittel absoluter Zahlen	Beob.1					± 50	± 210	± 170	·	± 50	± 130	± 90	± 35
	Beob.2					± 50	± 250	± 190	·	± 50	± 170	± 110	± 40
	Beide Beob.					± 50	± 230	± 180	·	± 50	± 155	± 100	± 35

## Tafel 5

zur Bestimmung der relativen Genauigkeit der Uebermessung.

Vergleich der direkten Inhaltsbestimmung eines Masses durch doppeltes Uebermessen mit dem durch Zusammenfassung von je 2 Uebermessungsversuchen berechneten Inhalt.

Masse zu 1 l.

Angaben in mg.

Masskombination $\alpha =$	vergleichbar mit $b$	Methode 1					Methode 2				Methode 3					
		Uebermessungsergebnisse		Differenz $\alpha$	Uebermessung $b$	$a - b$	Resultate Reihe 5				Resultate Reihe 5					
		Reihe 5	Tafel 4				$\alpha$	$b$	$a - b$	$\alpha$	$b$	$a - b$				
2) - 1)	6	+1090	+1200	-110	-270	+160	+1250	+1380	-130	-160	+30	+1240	+1350	-110	-120	+10
		+1030	+1290	-260	-70	-190	+1250	+1330	-80	-150	+70	+1240	+1360	-120	-160	+40
4) - 1)	8	+1080	+1200	-120	-60	-60	+1200	+1380	-180	-140	-40	+1210	+1350	-140	-150	+10
		+1070	+1290	-220	0	-220	+1240	+1330	-90	-200	+110	+1200	+1360	-160	-150	-10
5) - 1)	9	+1160	+1200	-40	-170	+130	+1170	+1380	-210	-80	-130	+1250	+1350	-100	-100	0
		+1160	+1290	-130	+10	-140	+1220	+1330	-110	-110	0	+1250	+1360	-110	-150	+40
3) - 2)	10	+960	+1090	-130	+30	-160	+1170	+1250	-80	-100	+20	+1190	+1240	-50	-60	+10
		+1020	+1030	-10	-180	+170	+1220	+1250	-30	-140	+110	+1150	+1240	-90	-40	-50
4) - 2)	11	+1080	+1090	-10	-90	+80	+1200	+1250	-50	-50	0	+1210	+1240	-30	-30	0
		+1070	+1030	+40	+70	-30	+1240	+1250	-10	-40	+30	+1200	+1240	-40	-30	-10
5) - 2)	12	+1160	+1090	+70	+60	+10	+1170	+1250	-80	-40	-40	+1250	+1240	+10	+30	-20
		+1160	+1030	+130	+130	0	+1220	+1250	-30	-20	-10	+1250	+1240	+10	+20	-10
5) - 4)	13	+1160	+1080	+80	-10	+90	+1170	+1200	-30	+20	-50	+1250	+1210	+40	+50	-10
		+1160	+1070	+90	+20	+70	+1220	+1240	-20	+20	-40	+1250	+1200	+50	+20	+30
8) - 6)	11	-60	-270	+210	-90	+300	-140	-160	+20	-50	+70	-150	-120	-30	-30	0
		0	-70	+70	+70	0	-200	-150	-50	-40	-10	-150	-160	+10	-30	+40
9) - 6)	12	-170	-270	+100	+60	+40	-80	-160	+80	-40	+120	-100	-120	+20	+30	-10
		+10	-70	+80	+130	-50	-110	-150	+40	-20	+60	-150	-160	+10	+20	-10
9) - 8)	13	-170	-60	-110	-10	-100	-80	-140	+60	+20	+40	-100	-150	+50	+50	0
		+10	0	+10	+20	-10	-110	-200	+90	+20	+70	-150	-150	0	+20	-20
12) - 11)	13	+60	-90	+150	-10	+160	-40	-50	+10	+20	-10	+30	-30	+60	+50	+10
		+130	+70	+60	+20	+40	-20	-40	+20	+20	0	+20	-30	+50	+20	+30
Mittel	Beob. 1					+60					0				0	
	Beob. 2					-30					+40				+10	
	Beide Beob.					-10					+20				+5	
Mittel aus den absoluten Zahlen	Beob. 1					±120					±50				±10	
	Beob. 2					±80					±50				±30	
	Beide Beob.					±100					±50				±20	

## Masse zu 21.

Angaben in mg.

Masskombination " =	vergleichbar mit b	Methode 1					Methode 2				Methode 3					
		Uebermessungsergebnisse		Differenz " "	Uebermessung b	a - b	Resultate Reihe 5		" "	b	a - b	Resultate Reihe 5		" "	b	a - b
		Reihe 5	Tafel 4				Reihe 5	Reihe 5				Reihe 5	Reihe 5			
15) - 14)	18	- 30	- 130	+ 100	+ 190	- 90	- 150	- 270	+ 120	+ 120	0	- 40	- 240	+ 200	+ 80	+ 120
		- 240	- 190	- 50	+ 70	- 120	- 120	- 270	+ 150	+ 60	+ 90	- 110	- 150	+ 40	+ 80	- 40
16) - 14)	19	- 180	- 130	- 50	- 140	+ 90	- 200	- 270	+ 70	+ 50	+ 20	- 220	- 240	+ 20	- 10	+ 3
		- 180	- 190	+ 10	+ 10	0	- 160	- 270	+ 110	+ 40	+ 70	- 190	- 150	- 40	- 10	- 30
17) - 14)	20	- 50	- 130	+ 80	+ 60	+ 20	- 310	- 270	- 40	+ 10	- 50	- 200	- 240	+ 40	- 40	+ 80
		- 220	- 190	- 30	- 90	+ 60	- 330	- 270	- 60	- 10	- 50	- 230	- 150	- 80	- 40	- 40
17) - 16)	21	- 50	- 180	+ 130	- 70	+ 200	- 310	- 200	- 110	- 30	- 80	- 200	- 220	+ 20	- 60	+ 80
		- 220	- 180	- 40	- 170	+ 130	- 330	- 160	- 170	- 30	- 140	- 230	- 190	- 40	- 30	- 10
20) - 19)	21	+ 60	- 140	+ 200	- 70	+ 270	+ 10	+ 50	- 40	- 30	- 10	- 40	- 10	- 30	- 60	+ 30
		- 90	+ 10	- 100	- 170	+ 70	- 10	+ 40	- 50	- 30	- 20	- 40	- 10	- 30	- 30	0
Mittel	Beob. 1					+ 100					- 20					+ 70
	Beob. 2					+ 30					- 10					- 20
	beide Beob.					+ 65					- 15					+ 20
Mittel aus den absoluten Zahlen	Beob. 1					± 130					± 30					± 70
	Beob. 2					± 80					± 70					± 20
	beide Beob.					± 105					± 55					± 45

Bezeichnung		1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10,	11,	12,	13,	14,	15,	16,	17,	18,	19,	20,	21.
Resultat der Vergleichung	von	$E_1$	$157_1$	$158_1$	$133_1$	$134_1$	$157_1$	$158_1$	$133_1$	$134_1$	$158_1$	$133_1$	$134_1$	$134_1$	$157_2$	$158_2$	$133_2$	$134_2$	$158_2$	$133_2$	$134_2$	$134_2$
	mit	$N_1$	$N_1$	$N_1$	$N_1$	$N_1$	$E_1$	$E_1$	$E_1$	$E_1$	$157_1$	$157_1$	$157_1$	$133_1$	$E_2$	$E_2$	$E_2$	$E_2$	$157_2$	$157_2$	$157_2$	$133_2$

Die nähere Prüfung der Resultate zeigt, dass die 3 Methoden dieselben Werthe nicht mit gleicher Genauigkeit abzuleiten gestatten. An der Hand der folgenden Zusammenstellung in Tafel 6 lässt sich diese Erscheinung im Einzelnen verfolgen.

## Tafel 6.

## Vergleich der Resultate der 3 Versuchsmethoden.

Angaben in mg.

	Masse zu 11						Masse zu 21					
	nach Tafel 4			nach Tafel 5			nach Tafel 4			nach Tafel 5		
	Meth: 1.	Meth: 2.	Meth: 3.	Meth: 1.	Meth: 2.	Meth: 3.	Meth: 1.	Meth: 2.	Meth: 3.	Meth: 1.	Meth: 2.	Meth: 3.
$\mathcal{A} - \mathcal{A}'$												
Mittel	+35	+5	0	-10	+20	+5	-30	-15	-25	+65	-15	+20
mittl. abs. Werthe	120	50	30	100	50	25	90	30	60	105	55	45
Maxima	+240	+110	+90	+300	+120	+40	+180	+40	+50	+270	+90	+120
Minima	-230	-120	-80	-220	-130	-50	-240	-70	-140	-120	-140	-40
Verluste				$\frac{F_1 + F_2}{2}$						$\frac{F_1 + F_2}{2}$		
$F_1$ Mittel	+160	+90	+45	} +50	+100	+40	-45	+160	+155	} +110	+145	+130
$F_2$ „	-60	+105	+40				+265	+130	+100			
Maxima $F_1$	+390	+210	+160				+390	+260	+350			
„ $F_2$	+230	+240	+140				+760	+310	+170			
Minima $F_1$	-40	+20	-60				-500	+40	+70			
„ $F_2$	-240	0	-60				-130	+10	-20			
absolut. $F_1$	170	90	50				215	160	155			
„ $F_2$	110	105	50				280	130	100			
Verlustschwankungen												
$\frac{1}{2} (V_1 - V_2)$	120	50	30				90	30	50			
$\frac{1}{2} (F_1 - F_2)$	125	40	20				230	50	50			

Diese kurze Uebersicht enthält die Mittelwerthe der Abweichungen zwischen Uebermessung und Auswägung,  $\mathcal{A} - \mathcal{A}'$ , die mittleren absoluten Werthe der  $\mathcal{A} - \mathcal{A}'$ , ihre Maxima und Minima für alle 3 Methoden. Analog ist verfahren für die nach Anbringung der Rückstandsdifferenz  $\mathcal{A}R$  übrig gebliebenen Verluste  $F_1$  und  $F_2$ . Schliesslich sind noch die mittleren Differenzen der unmittelbaren Verluste  $V_1 - V_2$ , sowie diejenigen der reduzierten Verluste  $F_1 - F_2$  zusammengestellt.

Die Zahlen der Methode 1 sind fast durchweg doppelt so gross, als diejenigen der Methode 2 und 3. Am klarsten ist die Ueberlegenheit der letzteren Methoden aus den Verlustschwankungen zu erkennen, welche direkt ein Mass sind für die Zuverlässigkeit und Sicherheit, die sich bei der Uebermessung erzielen lässt. Je grösser die Werthe  $V_1 - V_2$  bzw.  $F_1 - F_2$  werden, desto grösseren Schwankungen müssen die Einzelverluste unterworfen sein, desto

weniger ist man also sicher bei der Hin- und Zurückmessung die gleichen Fehler zu begehen und damit ein brauchbares Endresultat  $A'$  zu erhalten. Dasselbe Bild wie die Differenzen zeigen auch die Einzelwerthe  $F_1$  und  $F_2$ . Je grösser diese Werthe  $F_1, F_2$  sind, desto weniger ist daher die betreffende Methode geeignet, die Auswägung zu ersetzen. Der mittlere reduzirte Verlust ist bei allen drei Methoden der gleiche.

Vergleicht man ferner die  $U$ -Werthe der beiden Methoden 2 und 3, so fällt es sofort auf, dass diese Beobachtungswerthe bis auf wenige mg mit einander übereinstimmen. Diese Erscheinung lässt sich am einfachsten darauf zurückführen, dass die Methoden einander vollkommen gleich sind. Zwar wird bei Methode 2 das Mass  $M$ , in welches übergefüllt wird, vorher nur ausgesaugt, nicht getrocknet. Doch ist anzunehmen, dass die Zeit, welche verfliesst, bis das Mass  $M$  aus  $N$  gefüllt werden kann, genügt, damit die geringe Menge des Rückstandes durch Verdunstung in die von der bedeckenden Glasplatte abgeschlossene Luft von selbst verschwindet und die Wände trocken werden. Beim Aufheben der Glasplatte behufs Ueberfüllung entweicht dann diese wasserdampfhaltige Luft. Bei der Reduktion der Verluste  $V$  auf  $F$  durch Anbringung der Rückstandsdifferenzen ist daher auch bei Methode 2 das Mass  $M$  (Vorwärtsmessung) bzw.  $N$  (Rückwärtsmessung) als trocken anzusehen.

Diese Annahme rechtfertigt sich auch durch die erhebliche Verbesserung der  $F$ -Werthe für 1 und 2 Liter. Die grossen Werthe, die man erhält, wenn man (2 a) den Rückstand in dem abgesaugten Masse als noch vorhanden ansieht, werden erheblich kleiner und erreichen die Werthe der Methode 3, sobald man (2 b) diesen Rückstand = Null setzt.

Methoden		$V_1$	$V_2$	$F_1$	$F_2$		$V_1$	$V_2$	$F_1$	$F_2$
2 a		+ 90	+ 105	+ 90	+ 105		+ 160	+ 130	+ 160	+ 130
2 b	11			+ 20	+ 35	21			+ 80	+ 55
3		+ 110	+ 105	+ 45	+ 40		+ 230	+ 180	+ 155	+ 100

#### 4. Ueber die Nothwendigkeit der Berücksichtigung des Rückstandes.

Aus dem Vergleich der  $V$ - und  $F$ -Werthe für alle 3 Methoden ergibt sich, dass nur bei den Methoden 2 und 3 die Berücksichtigung der Rückstandsdifferenzen, oder vielmehr des Rückstandes in dem entleerten Masse zweckmässig erscheint. (Der Rückstand in dem zu füllenden Masse ist nahezu Null.) Nach den oben mitgetheilten Zahlen reduzieren sich die mittleren Verluste

(in Mittel von Methode 2 und 3) von 100 mg ( $V_1$ ), 105 mg ( $V_2$ ) für 1 l- sowie von 195 und 155 mg für 2 l- Masse, auf 30 und 40 mg für 1 l-, auf 115 und 75 mg für 2 l- Masse. Die Verluste werden also durch die Reduktion kleiner und bleiben einander gleich. Bei Methode 1 verschlechtert dagegen die Anbringung der beobachteten Rückstandsdifferenzen die Werthe der  $V$ , wie folgende Gegenüberstellung zeigt:

$$1\text{ l} \begin{cases} V_1 + 20; & V_2 + 90 \\ F_1 + 165; & F_2 - 60 \end{cases} \quad 2\text{ l} \begin{cases} V_1 + 140 & V_2 + 80 \\ F_1 - 45 & F_2 + 265 \end{cases}.$$

Die mittleren Rückstände sind unverändert geblieben; die Einzelwerthe differiren aber erheblich mehr als vorher von einander. Da die Differenz  $F_1 - F_2$  also grösser ist als  $V_1 - V_2$ , so hat die Unsicherheit der Methode durch diese Reduktion in gleichem Masse zugenommen. Ausserdem widerspricht es den thatsächlichen Vorgängen, dass die Verluste im Mittel negativ werden können, dass also bei der Uebermessung ein Gewinn an Wasser beobachtet werden könnte. Der grosse Betrag der Reduktion ( $V - F = 150; 180$  mg) hat daher keinen Sinn. Welcher (kleinere) Betrag anzunehmen ist, lässt sich nur ganz unsicher vermuthen (30; 60 mg?).

## 5. Die Vorgänge beim Uebermessen.

Nach den obigen Darlegungen ist es wahrscheinlich, dass der Rückstand, der nach Absaugen der Tropfen in einem Masse verbleibt, während einer kurzen Zeit vollkommen verdunstet. Dieser Rückstand beträgt bei 1 l-Massen 70, bei 2 l-Massen 80 mg im Durchschnitt. Die durch die  $F$ -Werthe (im Mittel 35 mg für 1 l, 100 mg für 2 l) charakterisirten Verluste sind verursacht durch die Verdampfung in offenem Gefässe während des Absaugens. Dass es sich hierbei um wirkliche Verluste handelt und nicht um zufällige Beobachtungsfehler, geht daraus hervor, dass die positiven Vorzeichen überwiegen. Die negativen  $F$ -Werthe sind selten und auch dann nur von sehr geringem Betrage. (Die Werthe für  $V$  sind fast ausnahmslos bei der Methode 2 und 3 positiv.) Die übrig bleibenden Verluste  $F$  sind in Wirklichkeit grösser, weil ein Theil des Verlustes durch die mittlere Temperaturerhöhung von  $0,1^\circ$  (Seite 203) von einer Uebermessung zur anderen gedeckt wird. Darnach sind Mehrverluste anzunehmen von etwa 20 mg für 1 l, 40 mg für 2 l. Die wahren Verluste bei der Absaugung sind also im Durchschnitt +55 mg für 1 l, +140 mg für 2 l. Es verdampft demnach etwa ebensoviel Wasser, wie in dem Masse zurückbleibt. Da die Oberflächen etwa 600 und 900 qcm betragen, so verdampft 0,1 und 0,15 mg pro 1 qcm.

Dieselbe Grösse des wahren Verlustes durch Verdampfung lässt sich ableiten aus dem Vergleiche der Verluste der Methode 1 zu denen von 2 und 3 zusammen. Der Verlust während des Uebergiessens ist bei allen Methoden gleich und unerheblich. Da bei Methode 1 kein mit Verdampfung verbundenes Absaugen stattfindet, so muss der mittlere Verlust beim Hin- und Zurückmessen  $\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)$  kleiner sein um die Grösse der Verdampfung während des Absaugens bei den übrigen Beobachtungen. Wir haben gefunden für Meth. 1 den mittleren Verlust  $\frac{V_1 + V_2}{2} = 55$  mg für 1 l, 110 mg für 2 l; dagegen aus 2 und 3:  $\frac{1}{2}(100 + 110) = 105$  mg für 1 l;  $\frac{1}{2}(145 + 205) = 175$  mg für 2 l. Die Differenzen, 50 und 65 mg, stimmen nur der Grössenordnung nach überein mit den oben abgeleiteten von 55 und 140 mg.

Diese Uebereinstimmung wird besser, wenn man ausschliesslich mit den vom Beobachter 1 beobachteten Verlusten rechnet, welche kleiner und etwas regelmässiger sind wie bei Beobachter 2. Es ergeben sich folgende Beziehungen:

		Meth.: 1	Meth.: 2	Meth.: 3		Meth.: 2 a	Meth.: 2 b	Meth.: 3
1 l	$V_1$	- 20	+80	+95	$F_1$	+80	+10	+30
	$V_2$	+110	+90	+80	$F_2$	+90	+20	+10
	Mittel $V$	+ 45	+85		Mittel $F$	+85		+20
		(1)	(2)			(3)		(4)
		85 (2 = $V_2$ , 3) - 45 (1 = $V_1$ )				= 40 (5)		
2 l	$V_1$	+140	+130	+210	$F_1$	+130	+50	+130
	$V_2$	+ 5	+ 90	+170	$F_2$	+ 90	+15	+ 90
	Mittel $V$	+ 70	+150		Mittel $F$	+110		+70
		(1)	(2)			(3)		(4)
		150 (2) - 70 (1)				= 80 (5)		

Der aus den  $V$ -Werthen der Methode 1 im Vergleiche zu Meth. 2, 3 erschlossene wahre Verdampfungsverlust beträgt also 40 und 80 mg (5). Andererseits (4) erreicht der mittlere Rückstand  $F$  die Beträge +20 und +70 mg, oder 40 und 110 mg (verbessert um die Temperaturkorrektur). (4) und (5) unterscheiden sich nur noch um 0 und um 30 mg, eine im Hinblick auf die unsicheren Rechnungsgrundlagen genügende Uebereinstimmung.

Die Verluste bei der Uebermessung nach der zweiten Methode entstehen also 1. durch die Verdampfung während des Absaugens, etwa 40 mg

(Mittel aus 4 und 5, unter Berücksichtigung auch der Werthe des zweiten Beobachters) für 1 l auf 600 qcm, 80 mg für 2 l auf 900 qcm; 2. durch den in Masse nach dem Absaugen verbleibenden Rückstand, welcher eintrocknet, etwa 70 mg für 1 l-Gemässe (Bodenkante 250 mm), etwa 80 mg (330 mm); Gesamtverlust also: 110,160 mg. Von diesem Verluste werden 20,40 mg durch die durchschnittliche Temperatursteigerung kompensirt, so dass die scheinbaren mittleren Gesamtverluste 90 und 120 mg betragen.

Mit diesen Resultaten können die von der sächsischen Ober-Aichungskommission an 24 Sätzen von Massen erhaltenen Werthe (Tab. 2) direkt verglichen werden.  $\frac{V_1+V_2}{2}$  beträgt darnach 75 mg für 1 l-, 180 mg für 2 l-Masse, die Abweichungen von den obigen Werthen (110 u. 160 mg) liegen innerhalb der möglichen Beobachtungsfehler.

Weitere Beobachtungsreihen liegen nur von Professor Jordan in Karlsruhe aus dem Jahre 1885 vor. Diese sind gelegentlich der Vorarbeiten für die Instruktion vom 1. Mai 1885 in Ausführung der Aichordnung vom 27. Dezember 1884 angestellt worden. Füllung und Ueberfüllung geschahen wie in der Methode 1. Die in Masse zurückgebliebenen Tropfen wurden aber in der eine Minute währenden Umstülpung durch Klopfen und leichtes Hin- und Herbewegen des entleerten Masses noch in das gefüllte übergeführt. Darauf wurde das entleerte Mass ausgetrocknet; ebenso war das zu füllende Mass vollkommen trocken. Der mittlere Verlust  $\frac{V_1+V_2}{2}$  wurde zu  $500 \pm 80$  mg für die 1l-Masse, zu  $550 \pm 150$  mg für die 2l-Masse festgestellt. Dieser Verlust ist erheblich grösser, wie die obigen Werthe. Derselbe kommt aber wesentlich davon, dass durch das Klopfen nur wenig Wasser entfernt wird. Es geht daher fast der ganze Rückstand verloren. Doch sind allerdings auch die gesammten Rückstände nach unseren Beobachtungen (Tab. 3) noch kleiner. Dieselben betragen 410 bzw. 480 mg.

Von den 410 bzw. 480 mg Rückstand gehen 110 bzw. 160 mg verloren. In die Masse abgesaugt werden daher 300 bzw. 320 mg. 40; 80 mg verdunsten während des Absaugens. 70; 80 mg bleiben an der Bodenkante hängen.

#### **Einfluss der verschiedenen Beobachter.**

Wir haben oben bereits angegeben, dass die Werthe für die mittleren Verluste  $F$  bei dem Beobachter 1 besser untereinander übereinstimmen. Die Werthe für diese Verluste sind bei Beobachter 1 in Mittel für alle drei Methoden

um 30 mg für 1 l-Gemässe, um 55 mg für 2 l-Gemässe kleiner, als bei Beobachter 2 wie aus der folgenden Uebersicht noch genauer zu erkennen ist.

Messung	Beobachter			Beobachter			Beobachter		
	1	2	$\Delta$	1	2	$\Delta$	1	2	$\Delta$
Meth: 1	+ 120	+ 200	80	- 40	- 70	30	+ 40	+ 65	25
11 „ 2b	+ 10	+ 30	20	+ 20	+ 50	30	+ 15	+ 40	25
„ 3	+ 30	+ 60	30	+ 10	+ 65	55	+ 20	+ 60	40
	$F_1$			$F_2$			$\frac{F_1}{2}$		
Meth: 1	- 40	- 50	10	+ 190	+ 340	150	+ 75	+ 145	70
21 „ 2b	+ 50	+ 110	60	+ 15	+ 90	75	+ 30	+ 100	70
„ 3	+ 130	+ 170	40	+ 90	+ 110	20	+ 110	+ 140	30
							$\frac{F_2}{2}$		

Die Verluste in Folge der Rückstände weisen bei beiden Beobachtern (Tab. 3) keine systematischen Unterschiede auf. Der grössere Verlust bei Beobachter 2 erklärt sich wohl durch die grössere Langsamkeit beim Ueberfüllen und Absaugen. Der mittlere wahre Verlust durch Verdampfung während des Absaugens ist nach dem vorhergehenden Abschnitt auf 40 bezw. 80 mg angenommen. Der Verlust würde unter Berücksichtigung der obigen Differenzen von 30 und 55 mg also für Beobachter 1 auf 25 und 50 mg, für Beobachter 2 auf 55 und 105 mg berechnet werden; also bei 2 doppelt so viel wie bei 1.

Bei dem mittleren  $\Delta - \Delta'$ , bei den Maxima und Minima derselben, bei den Schwankungen der Verluste, bei den Rückständen selbst tritt die Ueberlegenheit des Beobachters 1 nicht hervor. Beide Beobachter arbeiten also mit derselben Sicherheit.

#### Die Genauigkeit der Uebermessungen unter Aussaugung des Rückstandes im Vergleich zu der Sicherheit der Auswägung.

Die Genauigkeit der Uebermessungsmethoden ist in erster Linie zu erkennen aus dem Mittelwerthe der Spalte 7, Tafel 4 ( $\Delta - \Delta'$ ) sowie aus den Maximal- und Minimalwerthen dieser Differenzen der  $\Delta$  (Resultat der Auswägung) gegen die  $\Delta'$  (Resultat der Uebermessung).

$\Delta - \Delta'$		1 l-Masse		2 l-Masse	
		Meth.: 2	Meth.: 3	Meth.: 2	Meth.: 3
einfaches Mittel 1	Beob: 1	0	- 10	- 20	- 20
	Beob: 2	+ 10	+ 5	- 10	- 30
	Mittel	+ 5	$\pm$ 0	- 15	- 25
mittlere absolute Werthe 2	Beob: 1	50	30	20	50
	Beob: 2	50	30	30	50
	Mittel	50	30	30	50
Maxima 3	Beob: 1	+ 100	+ 90	+ 20	+ 50
	Beob: 2	+ 110	+ 80	+ 40	+ 50
	Mittel	+ 105	+ 85	+ 30	+ 50
Minima 4	Beob: 1	- 120	- 80	- 30	- 140
	Beob: 2	- 50	- 80	- 70	- 130
	Mittel	- 85	- 80	- 50	- 135

Die Methode der Uebermessung ist hiernach vorteilhafter für die 2 l-Masse, da dieselben mit gleicher Genauigkeit wie die 1 l-Masse bestimmbar sind. Die Zahlen der obigen Uebersicht stimmen für 1 l- und 2 l-Masse fast vollständig überein.

Die mittleren absoluten Werthe der Abweichungen der Uebermessmethode von den Resultaten der Auswägung betragen für 1 l- und 2 l-Masse 40 mg. Für relative Inhaltsermittlungen giebt daher die Uebermessung sehr zuverlässige Resultate. Für absolute Bestimmungen ist aber zu berücksichtigen, dass die Auswägungen selbst noch mit Fehlern behaftet sind, welche auch zum Theil bei der geringen Zahl der Beobachtungen die Werthe der  $\Delta - \Delta'$  noch um etwa 50 mg erhöhen.

Dass erhebliche Abweichungen in den Auswägungen auftreten können, zeigte sich in aussergewöhnlichem Masse bei den 1 l-Massen 157<sub>1</sub> und 158<sub>1</sub> (wahrscheinlich infolge von Veränderungen der Form der Bodenplatte). Auswägungen zu verschiedenen Zeiten ergaben für 157<sub>1</sub> die Fehler: - 22, + 163, - 19 mg, 158<sub>1</sub>: + 103, + 259 + 228. Die Veränderungen bei den übrigen Massen waren kleiner, aber immer noch bemerkbar:

$N_1$  : - 982, - 968, - 1021, - 995  
 $E_1$  : + 350, + 392, + 337  
 133<sub>1</sub>: + 203, + 210  
 134<sub>1</sub>: + 273 + 281

$E_2$  : + 160, 150, 187, 114, 169  
 157<sub>2</sub>: - 108, - 88, - 150  
 158<sub>2</sub>: - 7, + 3, - 57  
 133<sub>2</sub>: + 83, + 109  
 134<sub>2</sub>: + 29, + 43

Es kommen also auch bei der Auswägung (abgesehen von extremen Fällen) Abweichungen von 50 bis 60 mg vor. Man kann daher die Sicherheit der mittleren Inhaltsbestimmungen auf  $\pm 30$  mg veranschlagen. So gross ist aber auch etwa die Sicherheit der Uebermessungsbestimmung. Für die Grösse  $(F_1 - F_2)$ , welche das anschaulichste Mass für die Genauigkeit der Methoden darstellt, ergaben sich für 11 die Werthe: 40 und 20 mg, für 21: 35 und 35 mg.

In Tafel 4, Anhang, Reihen 7—20 ist ein Versuch gemacht worden, festzustellen, welchen Einfluss derartige Fehler bei der Auswägung auf die Resultate der Uebermessung ausüben. Es ist angenommen, dass  $E_1$  um 80,  $134_1$  um 20 mg durch Wägung falsch bestimmt seien. Durch die Verbesserung der  $\mathcal{A}$  erhält man Werthe von  $\mathcal{A} - \mathcal{A}'$ , welche kaum von Null verschieden sind, sowohl für Methode 2 wie 3. Die absoluten mittleren Werthe der  $\mathcal{A} - \mathcal{A}'$  werden dadurch erheblich verbessert. Es betragen die

$$\begin{array}{l} \text{mittleren } \mathcal{A} - \mathcal{A}': +15 \text{ und } +5 \text{ gegen } +5 \text{ und } 0 \\ \text{absoluten } \mathcal{A} - \mathcal{A}': \pm 30 \quad \pm 10 \quad \pm 50 \quad \pm 30 \end{array}$$

ohne diese Annahme.

Die Maxima und Minima sind auf +80 und -40 herabgesetzt gegen +110 und -120. Ungeändert bleiben die Verluste und ihre Schwankungen.

Man ist daher berechtigt anzunehmen, dass Uebermessung und Auswägung bei sorgfältiger Ausführung die gleiche Sicherheit in der Ermittlung von Inhaltsdifferenzen aufweisen.

Ein weiteres Argument zu Gunsten der veränderten Uebermessungsmethode giebt die Tafel 5. Durch Kombination von je 2 Uebermessungen kann man das Resultat einer dritten Uebermessung berechnen und mit dem wirklichen Ergebnisse vergleichen. Im Mittel ergeben sich hierbei folgende Abweichungen zwischen der Rechnung und der Beobachtung (Reihe a—b).

	11		21	
	Meth: 2	Meth: 3	Meth: 2	Meth: 3
Mittel . . . . .	+ 20	+ 5	- 15	+ 20
absolutes Mittel . . .	$\pm 50$	$\pm 25$	$\pm 55$	$\pm 45$
Maximum . . . . .	+ 120	+ 40	+ 90	+ 120
Minimum . . . . .	- 130	- 50	- 140	- 40

Methode 2 und 3 liefern dasselbe Resultat, ebenso sind wiederum die Werthe für 1 und 2 1 fast gleich gross.

Die absoluten Mittel betragen etwa 50 mg und entsprechen den obigen Werthen der  $\mathcal{A} - \mathcal{A}'$ .

Die Differenzen zwischen 2 Uebermessungen sind also ebenso gross, wie diejenigen zwischen einer Uebermessung und einer Auswägung. Diese Differenz von 50 mg für 1 und 2 l-Masse ist gegen die für diese Masse festgesetzte Fehlergrenze zu vernachlässigen, so dass man selbst für Kontrolnormalprüfungen die Uebermessmethode zulassen könnte.

### Schluss.

Aus den vorstehenden Versuchen ergibt sich, dass die Uebermessmethode noch einer erheblichen Steigerung der Genauigkeit fähig ist, sobald 1. eine Hin- und Zurückmessung stattfindet; 2. das zu füllende Mass trocken ist; 3. der beim Entleeren eines Masses in ein zweites verbleibende Rückstand durch Aussaugen mit Hilfe einer Pipette möglichst verkleinert wird.

Die bei dieser Art der Behandlung der Masse bemerkbaren Verluste entstehen durch Verdampfung während des Absaugens und betragen bei 1- und 2 l-Massen etwa 0,1 mg für jedes qcm benetzter Fläche. Der durch Absaugen nicht zu entfernende Rückstand verbleibt hauptsächlich in der inneren Bodenkante. Etwa 0,2 bis 0,3 mg haften pro mm der Kantenlänge. Dieser Rückstand ist von der Oberfläche der Masse und ihrer Beschaffenheit unabhängig. Ein Theil der Verdampfung wird scheinbar ersetzt durch die gewöhnlich eintretende Temperaturzunahme und Ausdehnung des Füllwassers nach jeder Uebermessung.

Wenn alle Handhabungen beim Hin- und Zurückmessen gleichmässig und möglichst schnell ausgeführt werden, ergeben Auswägung und Uebermessung Resultate der gleichen Genauigkeit. Zu achten ist aber darauf, dass der Inhalt der Masse sich während der Versuche nicht durch Verbiegung des inneren Bodens geändert hat.

Für praktische Prüfungen in grösserer Zahl kann die Auswägung alsdann vollständig durch die Uebermessung ersetzt werden. —

