

Erste Abteilung:

## Messen und Wägen.

### 1. Bestimmung des Volumens einer Kugel.

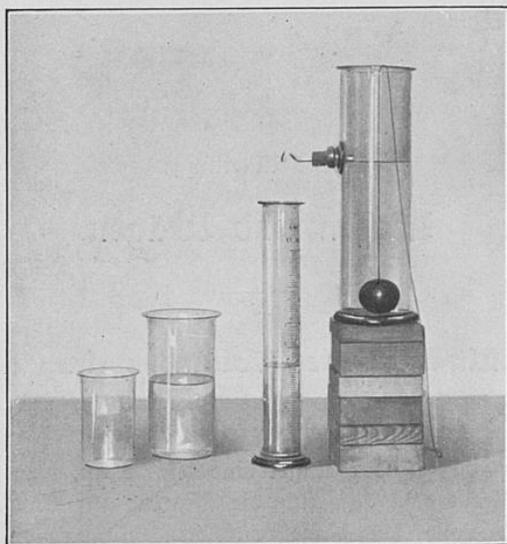
#### a) Methode des Abrollens.

Man bringe auf der Kugel eine Marke an, lege die Kugel so auf einen Maßstab<sup>1)</sup>, daß sich die Marke auf dem Teilstrich 0 befindet, und rolle die Kugel auf dem Maßstab entlang, wobei man darauf zu achten hat, daß sich ein größter Kugelkreis, der die Marke enthält, auf dem Maßstabe abwickelt. Man nütze fast die ganze Länge des Meterstabes durch mehrmalige Umdrehungen aus und stelle dieses Abrollen über den ganzen Stab fünfmal an. Man berechne daraus den Umfang der Kugel, ihren Radius und ihr Volumen.

#### b) Methode der Wasserverdrängung.

Man befestige an der Kugel einen langen dünnen Faden, den man am besten mit dem Bruchstücke eines Streichholzes in das vorhandene Loch einkeilt. Das Loch wird mit etwas Wachs verschlossen. Dann fülle man das Überlaufgefäß<sup>2)</sup> mit Hilfe eines Becherglases so weit mit Wasser, daß dieses auszufließen beginnt (Luftblasen in der Ausflußröhre vermeiden!), und fange den Überschuß in einem andern Becherglase auf. Stellt man dann einen Meßzylinder unter das Überlaufgefäß und senkt die Kugel an ihrem Faden bis auf den Boden des Gefäßes, so fließt ein dem Volumen der Kugel gleiches Wasservolumen aus. Nachdem man die Kugel

wieder entfernt, sie abgetrocknet und mit Hilfe der beiden Bechergläser das Überlaufgefäß gefüllt hat, läßt man wiederum durch Einsenken der Kugel das gleiche Volumen Wasser zu dem schon in



dem Meßzylinder befindlichen fließen. Der Versuch wird so oft wiederholt, als es der Zylinder erlaubt. Indem man dann das abgelesene Volumen durch die Anzahl der Versuche dividiert, erhält man direkt das gesuchte Volumen der Kugel.

c) Mit der Schublehre.

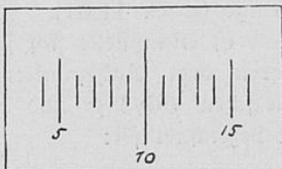
Man bestimme mit der Schublehre<sup>3)</sup> den Durchmesser an fünf Stellen, nehme hieraus das Mittel und berechne aus dem Radius der Kugel ihr Volumen.

Nimm aus den so erhaltenen drei Werten für das Volumen das Mittel.

Zubehör: a) Kugel, Maßstab; b) Faden, Wachs, Überlaufgefäß, 2 Gläser, Meßzylinder, Tuch; c) Noniusmodell, Schublehre.

## 2. Bestimmung des Gewichts eines Körpers mit der Wage.

a) Bevor man eine Wägung ausführt, hat man sich davon zu überzeugen, ob die Zunge der Wage<sup>1)</sup> auf dem mit 10 bezeichneten mittelsten Teilstrich der Skala (s. Figur) steht oder zu ihm symmetrisch schwingt. Sollte es nicht der Fall sein, so erreicht man es leicht durch Auflegen von Schrot und Papierstückchen. Dabei können Unterschiede bis zu einem halben Teilstrich vernachlässigt werden.



b) Der wahre Nullpunkt der Wage ist dann auf folgende Weise zu bestimmen: Bei schwingender Wage beobachtet man 7 aufeinander folgende Umkehrpunkte der Zunge, links 4, rechts 3, indem man die Zehntel der Skalenteile schätzt; z. B.:

	links	rechts
	7,8	12,0
	8,1	11,9
	8,5	11,7
	8,9	
Summe	33,3	35,6
	: 4	: 3
Mittel	8,33	11,87
Nullpunkt	(8,33 + 11,87) : 2 = 10,10.	

Das Mittel der vier Ablesungen links (8,33) und das Mittel der drei Ablesungen rechts (11,87) wird zu einem neuen Mittel (10,10), dem wahren Nullpunkte (N.-P.) der Wage, zusammengefasst. An dieser Stelle würde also die Zunge der Wage zur Ruhe kommen.

c) Nunmehr legt man den zu wiegenden Körper auf die rechte Schale und auf die linke Schale ein Gewichtstück nach dem andern, genau nach ihrer stetig abnehmenden Größe im Gewichtsfasten. Bleibt die Zunge links von 10, so fügt man das nächste Gewichtstück hinzu, geht der Zeiger dauernd nach rechts, so entfernt man das letzte Gewichtstück und benutzt das nächste, ohne eins zu überspringen. So fährt man fort, bis schon ein Zufügen von 100 mg

die Zunge nach rechts bringt; z. B. stelle man fest, daß das Gewicht des Körpers zwischen 56,3 g und 56,4 g liege.

d) Dann bestimmt man auf die oben (b) beschriebene Weise aus je 7 Umkehrpunkten den Ruhepunkt der mit 56,3 g (also mit zu wenig Gewicht) belasteten Wage (z. B. 8,63) und ebenso den Ruhepunkt der mit 56,4 g (also mit zu viel Gewicht) belasteten Wage (z. B. 11,01).

e) Man stelle sich jetzt in einer Tabelle die drei Gewichte mit ihren drei Ruhepunkten zusammen, wobei das unbekannte, aber zwischen 56,3 g und 56,4 g liegende Gewicht des Körpers mit  $x$  bezeichnet sei:

Gewichte	Ruhepunkte
$\left\{ \begin{array}{l} 56,3 \text{ g} \\ x \text{ g} \\ 56,4 \text{ g} \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 8,63 \\ 10,10 \\ 11,01 \end{array} \right\}$

Da sich nun die Differenzen zwischen den Gewichten ebenso verhalten wie die entsprechenden Differenzen zwischen den Ruhepunkten, so erhält man die Proportion  $\frac{x - 56,3}{56,4 - 56,3} = \frac{10,10 - 8,63}{11,01 - 8,63}$  oder wenn man  $x - 56,3 = y$  setzt und die Differenzen ausrechnet,  $y = 0,1 \cdot \frac{1,47}{2,38} = 0,062$  g. Da aber  $y = x - 56,3$  ist, so erhält man das gesuchte Gewicht  $x$ , indem man  $y$  zu 56,3 g addiert. Also  $x = 56,362$  g.

Zubehör: Wage, Gewichtssatz, ein zu wiegender Körper, Schrot.

### 3. Bestimmung des spezifischen Gewichts eines Würfels aus Gewicht und Volumen.

a) Das Gewicht des Würfels wird nach der vorigen Aufgabe mit Hilfe der Wage bestimmt.

b) Mit Hilfe der Schublehre mißt man die vier senkrechten Kanten ( $a_1, a_2, a_3, a_4$ ) des Würfels und betrachtet das Mittel aus diesen als seine Höhe.

Ebenso bestimmt man aus je vier Messungen der entsprechenden Kanten seine Breite (b) und seine Länge (c). Das Produkt aus Länge, Breite und Höhe gibt das Volumen.

c) Aus dem Gewicht des Würfels und seinem Volumen erhält man das spezifische Gewicht durch Division.

Zubehör: Würfel, Schublehre, Wage, Gewichtssatz.

Beispiel: a) Gewicht 86,234 g.

b) Höhe:	$a_1 = 2,24$ cm	Breite $b_1 = 2,20$ cm	Länge $c_1 = 2,20$ cm
	$a_2 = 2,23$ "	$b_2 = 2,21$ "	$c_2 = 2,18$ "
	$a_3 = 2,19$ "	$b_3 = 2,24$ "	$c_3 = 2,17$ "
	$a_4 = 2,20$ "	$b_4 = 2,22$ "	$c_4 = 2,18$ "
Summe:	8,86 cm	8,87 cm	8,73 cm
Mittel: a =	2,22 cm	b = 2,22 cm	c = 2,18 cm

$$\text{Volumen } a \cdot b \cdot c = 10,74 \text{ ccm.}$$

$$\text{c) Spezifisches Gewicht } s = 86,234 : 10,74 = 8,03.$$

#### 4. Das spezifische Gewicht eines festen Körpers mit Hilfe des Archimedischen Prinzips zu bestimmen.

(Archimedisches Prinzip: Ein vollständig von Flüssigkeit umgebener Körper verliert so viel von seinem Gewicht, wie die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.)

Statt der langen Schale hängt man an die rechte Seite des Wagebalkens die kurze Schale, die auf der Unterseite einen Haken trägt, und untersucht, ob die Zunge der Wage (annähernd) symmetrisch zu Teilstrich 10 schwingt. Man erreicht dies sonst leicht durch einige aufzulegende Schrotkörner oder Papierstückchen (siehe Aufgabe 2).

Zunächst bestimmt man den Nullpunkt der Wage. Dann befestigt man den zu wägenden Körper mit einem leichten Faden an dem Haken der kurzen Schale und stellt sein Gewicht in Luft fest.

Nun wird ein mit destilliertem Wasser gefülltes Becherglas so aufgestellt, daß der Körper auch bei schwingender Wage vollständig unter Wasser bleibt. Da, wo der Faden die Wasseroberfläche schneidet, darf er nur einfach genommen sein. Luftblasen, die

vielleicht dem Körper anhaften, sind sorgfältig zu entfernen. Jetzt wird wieder gewogen.

Das Gewicht des Körpers in Luft (sein „Luftgewicht“) und das Gewicht des Körpers unter Wasser (sein „Wassergewicht“) geben als Differenz den Gewichtsverlust (in g) oder nach dem Archimedischen Prinzip des verdrängten Wassers Gewicht (in g) oder sein Volumen (in ccm).

Durch Division des absoluten Gewichts und des Volumens erhält man das gesuchte spezifische Gewicht.

Die Ergebnisse werden in folgender Weise aufgeschrieben:

Gewicht in Luft: . . . . . g	
Gewicht in Wasser: . . . . . g	
<hr/>	
f Gewichtsverlust: . . . . . g	
\ Volumen: . . . . . ccm	
<hr/>	
Spezifisches Gewicht: . . . . .	

Zubehör: Wage mit kurzer Schale, Gewichtssatz, zu wiegender Körper, Faden, Becherglas, destilliertes Wasser, Holzflöße oder verstellbares Tischchen.

## 5. Das spezifische Gewicht von Paraffin zu bestimmen.

Das spezifische Gewicht eines festen Körpers bestimmt man, indem man ihn a) in der Luft, b) unter Wasser wiegt.

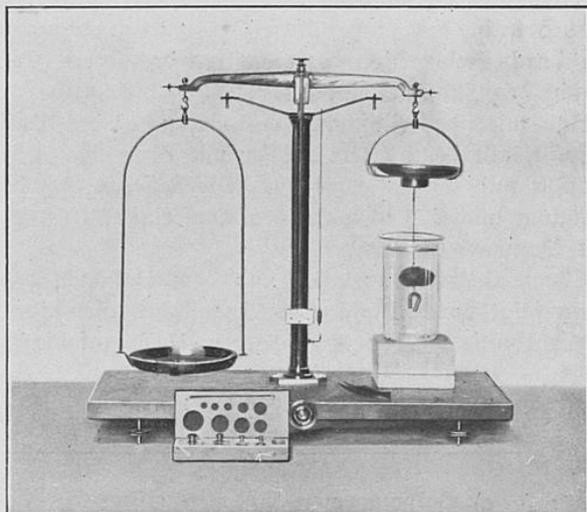
a) Die Wägung in Luft (an einem Faden unter der kurzen Schale) bietet keine Schwierigkeit.

b) Da aber Paraffin auf Wasser schwimmt, muß man es, um es unter Wasser wiegen zu können, mit einem Ballast (Messingbügel) beschweren.

c) Drittens muß man das „Wassergewicht“ des Ballastes bestimmen, ihn also unter Wasser wiegen, um aus der zweiten und dritten Wägung durch Subtraktion das „Wassergewicht“ des Paraffins zu erhalten.

Aus dem Gewicht in Luft und dem „Wassergewicht“ des Paraffins folgt der Gewichtsverlust (in g). Da dieser gleich dem

Volumen des Paraffins (in ccm) ist, folat das spezifische Gewicht des Paraffins aus seinem absoluten Gewicht und Volumen durch Division.



Die Ergebnisse werden in folgender Weise aufgeschrieben:

- a) Gewicht in Luft:
- b) Gewicht mit Ballast unter Wasser:
- c) Gewicht des Ballastes unter Wasser:
- Gewicht des Paraffins unter Wasser:
- Gewichtsverlust:
- Spezifisches Gewicht:

Zubehör: Wage mit kurzer Schale, Gewichtsfaß, Paraffinstück, Messingbügel, Faden, Becherglas, Holzflöße.

## 6. Das spezifische Gewicht einer Kupfersulfatlösung mit dem Pyknometer zu bestimmen.

- a) Zunächst wird nach Bestimmung des Nullpunktes der Wage das Pyknometer<sup>5)</sup> leer gewogen.
- b) Dann füllt man es über einer Glaschale mit Kupfer-

sulfatlösung, setzt den Röhrenstöpsel unter Vermeidung von Luftblasen auf, saugt mit Fließpapier die Flüssigkeit bis zu einer beliebigen Marke aus, trocknet sorgfältig überall außen ab und verschließt das Fläschchen. Zur Vermeidung von schädlichen Erwärmungen darf das Pyknometer nur am Halse angefaßt werden. Wird das Gewicht des so gefüllten Pyknometers bestimmt, so erhält man durch Subtraktion des Gewichts des leeren Pyknometers das Gewicht des Flüssigkeitsinhalts.

c) Nun wird das Fläschchen entleert, unter der Wasserleitung gut abgespült, mit destilliertem Wasser wie oben bis zu derselben Marke gefüllt und wieder gewogen. Die Differenz der dritten und ersten Wägung gibt das Gewicht des Wasserinhalts (in g) und zugleich das Volumen (in ccm).

Aus dem absoluten Gewicht und dem Volumen der Kupfersulfatlösung folgt durch Division ihr spezifisches Gewicht.

Die Ergebnisse werden in folgender Weise aufgeschrieben:

a) Pyknometer wiegt leer:

b) Pyknometer wiegt mit Lösung:

---

Die Lösung wiegt:

c) Pyknometer wiegt mit Wasser:

---

Das Wasser wiegt:

Spezifisches Gewicht der Lösung:

Zubehör: Wage, Gewichtssatz, Pyknometer, Glasschale, Kupfersulfatlösung, destilliertes Wasser, Fließpapier.

## 7. Das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit mit dem Senkkörper zu bestimmen.

a) und b) Wiegt man einen Glaskörper, der mit einem Faden an dem Haken der kurzen Schale (rechts) befestigt ist, erst in Luft und dann in einer Flüssigkeit (Zinksulfatlösung), so gibt der Gewichtsverlust nach dem Archimedischen Prinzip das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge (in g) an, d. h. der Flüssigkeitsmenge, die gleich dem Volumen des Senkkörpers ist.

c) Wiegt man nun den Senkkörper unter Wasser, so gibt sein jetziger Gewichtsverlust (gegen das Gewicht in Luft) das Gewicht des verdrängten Wassers (in g) oder sein Volumen (in ccm) an.

Aus Gewicht und Volumen der verdrängten Flüssigkeit folgt ihr spezifisches Gewicht durch Division.

Die Ergebnisse werden in folgender Weise aufgeschrieben:

a) Gewicht in Luft: . . . . .	g
b) Gewicht in der Flüssigkeit: . . . . .	g
c) Gewicht in Wasser: . . . . .	g
<hr/>	
Gewicht der verdrängten Flüssigkeit: . . . . .	g
Gewicht des verdrängten Wassers: . . . . .	g
Volumen der verdrängten Flüssigkeit: . . . . .	ccm
<hr/>	
Spezifisches Gewicht der Flüssigkeit:	

Zubehör: Wage mit kurzer Schale, Gewichtssatz, Becherglas, Holzflöße oder verstellbares Tischchen, Glaskörper, Faden, Zinksulfatlösung, destilliertes Wasser.

## 8. Das spezifische Gewicht einer körnigen Substanz (z. B. von Glasschrot) zu bestimmen.

Kleine Körper sind schwierig an einem Faden zu befestigen, um sie unter Wasser zu wiegen. Man benutzt daher das Pyknometer in folgender Weise.

a) u. b) Zuerst wird das Pyknometer leer, zweitens mit Glasschrot<sup>6)</sup> gefüllt gewogen. Die Differenz beider Gewichte gibt das Gewicht des Glasschrotes P.

c) Dann entfernt man das Glasschrot aus dem Pyknometer, verwahrt ersteres sorgfältig für später, füllt das Pyknometer mit destilliertem Wasser und wiegt wieder. Gewicht Q.

d) Trägt man jetzt das Glasschrot in das mit Wasser gefüllte Pyknometer ein, so steigt sein Gewicht um das bekannte Gewicht des Glasschrotes P und nimmt ab um das unbekannte Gewicht W des verdrängten Wassers, nimmt also in Wirklichkeit zu um  $P - W$ . Findet man also jetzt das Gewicht R, so läßt sich leicht eine Gleichung bilden, in der nur W unbekannt ist. W, das Gewicht des verdrängten Wassers (in g), ist aber gleich dem Volumen des Glasschrotes (in ccm).

Aus dem absoluten Gewicht des Glasschrotes P und seinem Volumen W folgt das spezifische Gewicht des Glasschrotes durch Division.

Beispiel: a) Pyknometer leer: . . . . .	66,472 g
b) Pykn. mit Schrot: . . . . .	127,206 g
Gewicht des Schrotes P: . .	60,734 g
c) Pykn. mit Wasser Q: . . . .	116,477 g
d) Pykn. mit Wasser u. Schrot R: . . . . .	154,623 g
Gewicht d. verdrängten Wassers W: . . . . .	22,588 g
Spezif. Gewicht des Schrotes P: W =	2,689

Zubehör: Wage, Gewichtssatz, Glaschrot, destilliertes Wasser, Glasschale, fließpapier, Sieb, Tuch.

### 9. Die Dicke eines Drahtes durch Wägung zu bestimmen.

a) Ein Draht von ungefähr 1 m Länge wird mit Hilfe von zwei Flachzangen an den Enden gefaßt und durch zwei Personen gerade gezogen, ohne ihn jedoch merklich zu verlängern. Nachdem die in den Zangen gewesenen Enden abgeschnitten und die Endflächen eben gefeilt sind, wird er auf einen Maßstab gelegt und seine Länge möglichst genau gemessen, indem jeder Beobachter je ein Ende abliest. Die Differenz der Ablesungen gibt die Länge. Unter Vertauschung der Plätze machen beide Beobachter eine zweite Ablesung an einer anderen Stelle des Maßstabes. Aus beiden Längen wird das Mittel genommen.

b) Das Volumen des Drahtes wird auf folgende Weise durch Wägung unter Wasser bestimmt: Man wickelt den Draht auf kleinen Raum zusammen, befestigt ihn an einem dünnen Faden und hängt ihn auf der linken Seite der Wage an dem Haken der kurzen Schale auf. Dann bringt man auf die rechte Schale so viel Belastung (Schrotkörner und zuletzt Papierstückchen), daß die Zunge der Wage annähernd symmetrisch zu 10 schwingt, und bestimmt den Nullpunkt.

Läßt man dann den an dem Faden hängenden Draht in ein mit destilliertem Wasser gefülltes Becherglas tauchen (Luftblasen zwischen den Windungen entfernen!), so muß man auf die linke Schale so viel Gewicht legen, wie der Gewichtsverlust beträgt. Dies bestimmt man durch zwei Schwingungsversuche. Der Gewichtsverlust (in g) stellt zugleich das Volumen des Drahtes (in ccm) vor.

Aus der Länge und dem Volumen des Drahtzylinders berechnet man seine Dicke (seinen Durchmesser).

Beispiel: a) I. links 2,45 cm, rechts 98,34 cm, Länge 95,89 cm

II. links 3,16 cm, rechts 99,09 cm, Länge 95,93 cm

Mittel der Länge  $l = 95,91$  cm

$$\begin{array}{r}
 \text{b) } \left\{ \begin{array}{l} \text{Gewichtsverlust} = 0,634 \text{ g} \\ \text{Volumen} = r^2 \pi l = 0,634 \text{ ccm} \end{array} \right. \\
 \hline
 \text{Radius} = 0,0459 \text{ cm} \\
 \text{Durchmesser} = 0,918 \text{ mm.}
 \end{array}$$

Zubehör: Draht, 2 Flachzangen, Drahtzange, Feile, Maßstab, Wage mit kurzer Schale, Gewichtsfaß, Faden, Holzklötze oder verstellbares Tischchen, Becherglas, destilliertes Wasser.

### 10. Bestimmung des inneren Querschnitts einer Kapillare durch Wägung eines Quecksilberfadens.

Über einer Schale füllt man die senkrecht zu haltende Kapillare mit Quecksilber, indem man sie am unteren Ende mit Schlauch und Quetschhahn fest verschließt und am oberen Ende in ein Trichterchen, das durch ein zweites Schlauchstückchen mit der Röhre verbunden ist, Quecksilber gießt. Öffnet man vorsichtig den Quetschhahn, so fließt das Quecksilber in die Kapillare. Sobald diese gefüllt ist, verschließt man den Quetschhahn, gießt das noch im Trichter vorhandene Quecksilber zurück, entfernt über der Schale den Trichter mit Schlauch, verschließt die obere Öffnung der Kapillare fest mit dem Finger, bringt sie in wagerechte Stellung, entfernt über der Schale auch den zweiten Schlauch mit dem Quetschhahn und legt die gefüllte Kapillare behutsam auf den Tisch. Luftblasen darf der Quecksilberfaden, der fast die ganze Länge der Röhre einnehmen soll, nicht enthalten.

a) Um die Länge des Fadens zu bestimmen, legt man die Röhre vorsichtig auf eine Millimeterskala, liest mit Hilfe zweier Spiegel beide Enden ab und bildet die Differenz aus beiden Ableesungen. Die Röhre legt man nun noch an vier andere Stellen der Skala, bestimmt jedesmal die Fadenlänge und nimmt aus diesen fünf Beobachtungen das Mittel.

b) Das Gewicht des Quecksilbers wird auf folgende Weise bestimmt (Tariermethode): Das Quecksilber in der Kapillare wird in ein leichtes Glasfläschchen (Wiegegläschen) gebracht, wobei man darauf zu achten hat, daß nichts in der Kapillare zurückbleibt.

Dies Fläschchen legt man auf die linke Schale einer Wage, bringt auf die andere Wagschale so viel Belastung (Schrot und zuletzt Papierstückchen), daß die Zunge der Wage annähernd symmetrisch zu 10 schwingt und bestimmt den Nullpunkt. Dann schüttet man das Quecksilber vollständig zurück, bringt das leere Fläschchen wieder auf die linke Wagschale und bestimmt durch zwei Schwingungsversuche, durch wieviel Gewicht das Gewicht des Quecksilbers zu ersetzen ist.

c) Das Gewicht  $g$  des Quecksilberzylinders in der Kapillare ist gleich dem Produkt aus Volumen und spezifischem Gewicht des Quecksilbers ( $s = 13,55$  bei Zimmertemperatur). Das Volumen des Zylinders ist aber gleich dem Produkt aus seinem Querschnitt (Grundfläche)  $q$  und seiner Länge  $l$ . Da  $g$ ,  $s$  und  $l$  bekannt sind, enthält die leicht zu bildende Gleichung die einzige Unbekannte  $q$ . — Aus  $q$  ist noch der Durchmesser der Kapillare zu berechnen.

Beispiel: a)	links	rechts	Differenz
1.	2,34 cm	23,45 cm	21,11 cm
2.	11,44 "	32,58 "	21,14 "
3.	20,47 "	41,62 "	21,15 "
4.	29,60 "	50,74 "	21,14 "
5.	37,09 "	58,24 "	21,15 "

Mittel  $l = 21,14$  cm

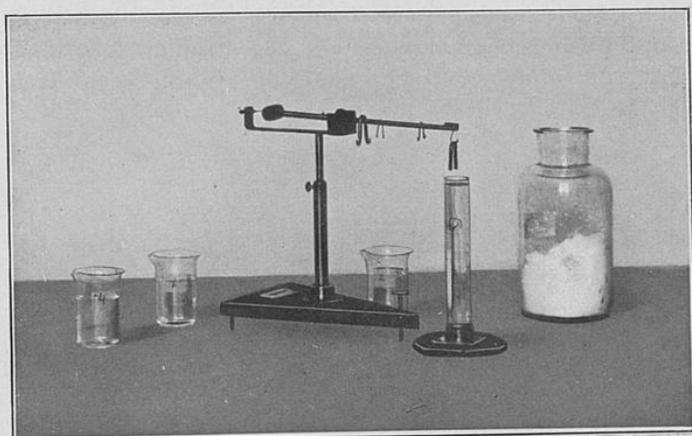
- b)  $g = 4,321$  g  
 c)  $q = 1,51$  qmm  
 d)  $d = 1,39$  mm

Zubehör: Kapillare, Schale, Trichter, Quetschhahn, 2 Schlauchstückchen, Quecksilber, Maßstab, 2 Spiegel, Wiegegläschen, Schrot, Wage, Gewichtsfaß.

## 11. Wie ändert sich das spezifische Gewicht einer Salzlösung mit dem Salzgehalt? (Westphalsche Wage.)

a) Stelle eine 10, 20, 30, 40, 50 und 60-prozentige Lösung von Zinksulfat her. Gib zu diesem Zwecke in je eins von sechs Bechergläsern 10, 20, 30, 40, 50 und 60 g Zinksulfat und füge der

Reihe nach 90, 80, 70, 60, 50 und 40 g destilliertes Wasser hinzu. Zur Beschleunigung der Lösung kann man umrühren oder ein wenig erwärmen; doch muß man die erwärmten Lösungen durch Einstellen in kaltes Wasser wieder abkühlen. Warum?



b) Hänge an die Westphalsche Wage <sup>7)</sup> den Glaskörper und bewirke durch Drehen an der Fußschraube, daß die Spitze am Ende des Wagebalkens in gleicher Höhe mit den beiden ihr gegenüberliegenden Spitzen einspielt. Gieße die 10-prozentige Lösung in den trockenen Glaszylinder, entferne den Glaskörper, stelle den gefüllten Glaszylinder unter die Wage und hänge den Glaskörper wieder so an, daß er in die Flüssigkeit taucht. Stelle das gestörte Gleichgewicht dadurch her, daß du die vier Reiter auf einige der 10 Teilstriche des Balkens verteilst; verfähre dabei in folgender Weise: Da der erste der Reiter genau soviel wiegt, wie der Gewichtsverlust des Glaskörpers in Wasser beträgt, so müßte man ihn, wenn die Flüssigkeit Wasser wäre (also das spezifische Gewicht 1 besäße), auf den Teilstrich 10 hängen, um Gleichgewicht zu erhalten. Bringen wir ihn dort an, so sehen wir, daß dies noch nicht genügt. Wir benutzen daher weiter den zweiten Reiter, der (trotz anderer Gestalt) genau dasselbe Gewicht wie der erste hat, und suchen diejenige Stelle des Balkens, auf dem er Gleichgewicht hervorbringt. Liegt sie z. B. zwischen dem vierten und fünften Zehntel des Balkens, so würde daraus folgen, daß das spezifische Gewicht der Flüssigkeit

zwischen 1,4 und 1,5 liegt. Wir bringen ihn daher auf Teilstrich 4 und benutzen weiter den dritten Reiter, der genau ein Zehntel von jedem der ersten beiden Reiter wiegt. Dieser bringe zwischen dem ersten und zweiten Teilstrich Gleichgewicht hervor. Wir setzen ihn auf 1 und wissen nun, daß das spezifische Gewicht zwischen 1,41 und 1,42 liegt. Mit dem vierten Reiter, der wieder ein Zehntel des dritten Reiters wiegt, verfahren wir ebenso. Bringt er auf Teilstrich 7 Gleichgewicht hervor, so ist das spezifische Gewicht 1,417.

Trage diese und die noch zu bestimmenden Zahlen im Heft in folgende Tabelle ein:

Gehalt:	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Spezif. Gewicht:	1,000						

Entferne die Reiter und den Glaskörper von der Wage, reinige und trockne letzteren und gieße die 10-prozentige Lösung in das Becherglas zurück. Spüle den Glaszylinder nicht mit Wasser aus, sondern nur zweimal mit ein wenig der 20-prozentigen Lösung über, fülle mit ihr den Zylinder, stelle ihn unter die Wage, hänge den Glaskörper wieder an und bestimme wie vorhin das spezifische Gewicht der Lösung.

Verfahre ebenso mit den vier übrigen Lösungen.

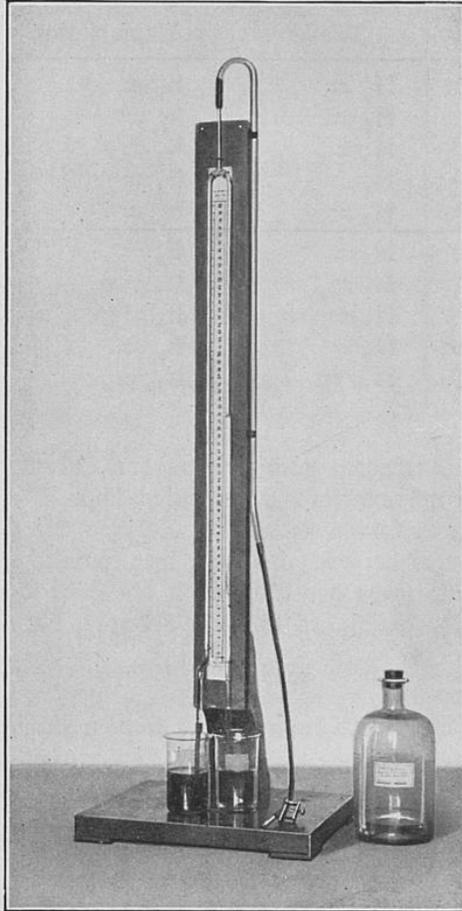
c) Die Ergebnisse werden auf Millimeterpapier (2 mm)<sup>a)</sup> graphisch dargestellt, der Prozentgehalt als Abszissen (1% als 2 mm), die spezifischen Gewichte als Ordinaten (0,1 als 2 cm). Auf die Rückseite des Blattes wird obige Tabelle geschrieben.

Zubehör: 6 Bechergläser, Zinksulfat, destilliertes Wasser, Löffel, Pipette, Wage, Gewichtssaß, Glasstab, Dreifuß, Drahtnetz, Westphalsche Wage, Millimeterpapier (2 mm).

## 12. Das spezifische Gewicht einer Kupfersulfatlösung aus Steighöhen zu bestimmen.

a) Stelle unter die unteren Öffnungen der langen Schenkel je ein Becherglas, fülle das linke mit destilliertem Wasser und das rechte mit Kupfersulfatlösung gleich hoch, bringe an dem am

Apparate befindlichen Gummischlauch einen Quetschhahn an und sauge vorsichtig an der offenen Röhre. Schließe den Quetschhahn, wenn das Wasser ungefähr bei 59 steht. Vermeide dabei auf



Das sorgfältigste, daß Wasser in die andere Röhre übertritt.

Lies die Höhen beider Flüssigkeitssäulen ab. Das Ablesen

geschieht durch die Flüssigkeit hindurch am unteren Rande des konkaven Meniskus. Um genaue Ablesungen zu erhalten, bedient man sich wie in Nr. 10a eines Spiegelschens.

Trage diese und die noch abzulesenden Zahlen in folgende Tabelle ein.

	Wasser	Kupfersulfat
1.	$H_1 =$	$h_1 =$
2.	$H_2 =$	$h_2 =$
3.	$H_3 =$	$h_3 =$
4.	$H_4 =$	$h_4 =$
5.	$H_5 =$	$h_5 =$
6.	$H_6 =$	$h_6 =$
7.	$H_7 =$	$h_7 =$
8.	$H_8 =$	$h_8 =$
9.	$H_9 =$	$h_9 =$
10.	$H_{10} =$	$h_{10} =$

Setze dies Verfahren noch neunmal fort, indem du die Wasser-säule jedesmal um ungefähr 6 cm sinken läßt.

b) Da sich in kommunizierenden Gefäßen die Steighöhen von Flüssigkeiten umgekehrt verhalten wie ihre spezifischen Gewichte, so gilt, wenn  $H$  die Höhe des Wassers,  $h$  die Höhe der Kupfersulfat-lösung und  $s$  ihr spezifisches Gewicht bedeutet, die Gleichung

$$H : h = s : 1.$$

Weil aber in dieser Gleichung  $H$  und  $h$  vom Flüssigkeitsspiegel im Becherglase aus gerechnet ist, und die Teilung des Apparates dort nicht beginnen kann, so muß diese Gleichung erst folgendermaßen verändert werden.

Wir nehmen zunächst die erste und sechste Ablesung zusammen.

Aus  $\frac{H_1}{h_1} = s$  und  $\frac{H_6}{h_6} = s$  folgt  $\frac{H_1}{h_1} = \frac{H_6}{h_6}$ . Vertauscht man die

Innenglieder, subtrahiert auf beiden Seiten 1, bringt die linke und die rechte Seite je auf denselben Nenner, vertauscht wieder die Innenglieder und setzt für die rechte Seite ihren Wert aus einer früheren Gleichung ein, so erhält man für  $s$  eine Gleichung, in der nur die Höhenunterschiede der ersten und sechsten Ablesung

vorkommen, auf die es ja keinen Einfluß hat, wo die Zählung mit Null beginnt.

Durch Kombination der Werte mit den Indizes 2 u. 7, 3 u. 8, 4 u. 9, 5 u. 10 erhält man noch vier andere Gleichungen für  $s$ , so daß man zum Schluß aus den fünf erhaltenen Werten das Mittel nehmen kann.

Zubehör: Apparat für Steighöhen<sup>9)</sup>, Quetschhahn, Gummischlauch, 2 Bechergläser, Kupfersulfatlösung, destilliertes Wasser, Spiegel.

### 13. Jollys Federwage.

#### A. Theorie.

a) An der am oberen Teil des Apparates<sup>10)</sup> befindlichen Klemmschraube befestigt man ein ungefähr 1,5 m langes Lot und stellt mit seiner Hilfe und den Fußschrauben den Apparat senkrecht.

b) Nach Entfernung des Lotes befestigt man an seiner Stelle die dünnste der beigegebenen Messingdrahtspiralen, hängt an ihr unteres Ende die Doppelschale und verbessert, wenn nötig, die Einstellung an den Fußschrauben so, daß die über der Doppelschale angebrachte Perle vor der Mitte der Teilung schwebt. Es ist darauf zu achten, daß sich nicht zwei der Windungen berühren. Ein mit destilliertem Wasser gefülltes Glas wird so aufgestellt, daß sich die untere Schale vollständig unter Wasser befindet. (Luftblasen entfernen!) Der Spiralenhalter wird so hoch geschoben, daß, wenn die obere Schale mit 1 g belastet wird, eine freie Einstellung noch möglich ist.

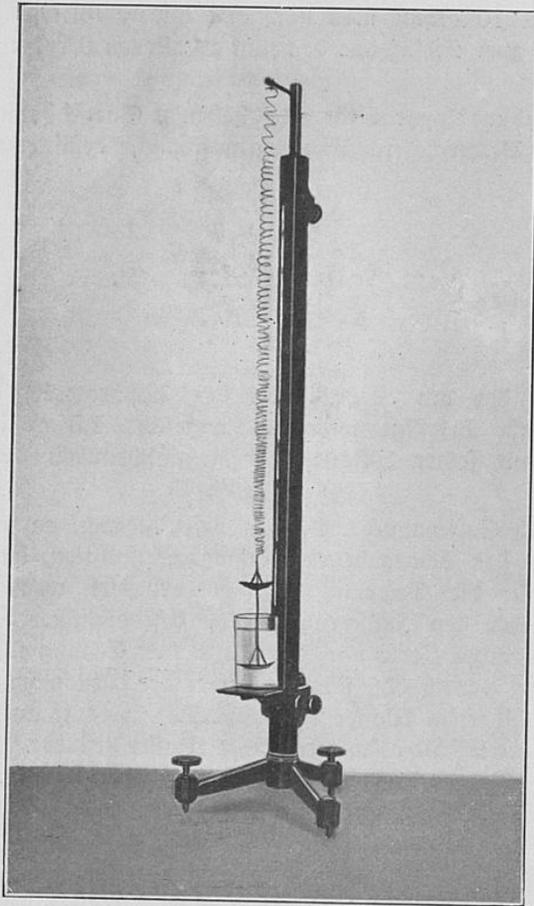
Die Ablefungen geschehen in der Weise, daß man ein Auge (das andere schließen!) so vor die Perle bringt, daß

1. der obere Rand der Perle,
2. das Spiegelbild des oberen Perlenrandes,
3. das Spiegelbild der Pupillenmitte des beobachtenden

Auges zusammenzufallen scheinen. Zehntel Millimeter sind dabei zu schätzen, auch achte man darauf, daß die Zahlen des Spiegelmaßstabes von oben nach unten fortschreiten.

c) Die erste Ablefung geschieht bei unbelasteter Wage; die zweite, indem man auf die obere Schale 0,1 g legt; die dritte bei

einer Belastung von 0,2 g u. s. f.; die elfte bei einer Belastung von 1 g. Diese elf Beobachtungen werden in einer Tabelle zusammen-



gestellt und aus je zwei benachbarten die Differenzen gebildet.  
Was folgt aus den so erhaltenen Zahlen?

B. Bestimmung des spezifischen Gewichts eines  
festen Körpers.

Ohne Gewichtsstücke zu benutzen, läßt sich mit der Feder-  
wage das spezifische Gewicht eines festen Körpers folgendermaßen  
bestimmen:

- a) Zunächst liest man die Einstellung der unbelasteten Wage ab: . . . . . Einstellung a, dann legt man den Körper (Glasstäbchen) auf die obere Schale, liest wieder ab: . . . . . Einstellung b, legt ihn auf die untere Schale und macht die dritte Ablesung: . . . . . Einstellung c.
- b) 1. Aus der ersten und zweiten Ablesung sowie der konstanten Größe  $\epsilon$  (Senkung für 0,1 g Belastung) folgt das Gewicht des Körpers in Luft.  
2. Aus der ersten und dritten Ablesung und  $\epsilon$  läßt sich das Gewicht des Körpers unter Wasser berechnen.  
3. Die Differenz beider Gewichte ist der Gewichtsverlust (in g) oder sein Volumen (in ccm).  
4. Aus dem absoluten Gewicht (1) und dem Volumen (3) folgt das spezifische Gewicht durch Division.

Anmerkung: Die vier letzten Rechnungen unter b) sind erst allgemein mit a, b, c u.  $\epsilon$  anzustellen; erst dann sind die oben gewonnenen Zahlenwerte einzusetzen.

### C. Bestimmung des spezifischen Gewichtes einer Flüssigkeit.

a) Statt der Doppelschale wird der mit Quecksilber beschwerte Glaskörper angehängt, der ebenfalls am oberen Ende eine Perle für die Ablesung trägt.

1. Zunächst macht man eine Ablesung, während sich der Glaskörper in Luft befindet: . . . . . Einstellung a,
  2. dann läßt man ihn in der Flüssigkeit schweben, deren spezifisches Gewicht man bestimmen will, und liest ab: . . . . . Einstellung b,
  3. bestimmt man, nachdem man ihn gereinigt hat, seine Einstellung in destilliertem Wasser: . . . . . Einstellung c,
  4. schließlich fügt man in Gedanken diejenige Ablesung hinzu, die man erhalten hätte, wenn die Spiralfeder unbelastet gewesen wäre, d. h. nur die Perle, aber nicht den Glaskörper getragen hätte: . . . . . Einstellung d.
- b) (1) Aus d, a und  $\epsilon$  folgt das Gewicht des Körpers in Luft,  
(2) aus d, b und  $\epsilon$  sein Gewicht in der Flüssigkeit,  
(3) aus d, c und  $\epsilon$  sein Gewicht unter Wasser.

- (4) Aus (1) und (2) folgt der Gewichtsverlust des Senfkörpers in der Flüssigkeit oder nach dem Archimedischen Prinzip das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge (in g), d. h. der Flüssigkeitsmenge, die gleich dem Volumen des Senfkörpers ist.
- (5) Aus (1) und (3) folgt der Gewichtsverlust in Wasser oder das Gewicht des verdrängten Wassers (in g) oder sein Volumen (in ccm).
- (6) Aus Gewicht (4) und Volumen (5) der verdrängten Flüssigkeit folgt ihr spezifisches Gewicht durch Division.

Anmerkung: Auch hier sind die 6 Rechnungen unter b) erst allgemein mit a, b, c, d und  $\epsilon$  anzustellen; erst dann sind die oben gewonnenen Zahlenwerte einzusetzen.

Zubehör: A. Federwage mit Nebenteilen, Lot, destilliertes Wasser, Gewichtsstücke bis 1 g, elektrische Lampe. B. Glasstäbchen. C. Mehrere Flüssigkeiten.

## 14. Das Sphärometer.

### 1. Beschreibung.

Das Sphärometer<sup>11)</sup> besitzt drei feststehende Spitzen, die ein gleichseitiges Dreieck bilden. In der Mitte des durch die drei Spitzen gebildeten Dreiecks befindet sich eine vierte Spitze, die durch eine flachgängige Schraube gehoben und gesenkt werden kann. Ihre Ganghöhe beträgt 0,5 mm, und da der Umfang einer mit ihr fest verbundenen Scheibe in 100 gleiche Teile geteilt ist, so bedeutet das Weiterdrehen um einen Skalenteil ein Heben oder Senken der vierten Spitze um 0,005 mm.

### 2. Anwendung des Sphärometers als Dickenmesser.

a) Auf einer völlig ebenen Glascheibe schraubt man die vierte Spitze langsam so weit herab, bis sie sich in der Ebene der drei festen Spitzen befindet. Man erkennt dies leicht an dem jetzt eintretenden Wackeln oder Drehen des Sphärometers, wenn man die vierte Spitze auch nur ein wenig zu weit herabschraubt. (Nicht auf die geteilte Kreis Scheibe fassen!) Man notiere sich, welcher Teilstrich der Randmarke gegenübersteht.

b) Nun schiebe man unter Hebung der vierten Spitze ein dünnes Gläschen unter sie, um dann wieder eine genaue Einstellung vor-

zunehmen. Aus beiden Einstellungen läßt sich die Dicke des untergeschobenen Objekts bestimmen.

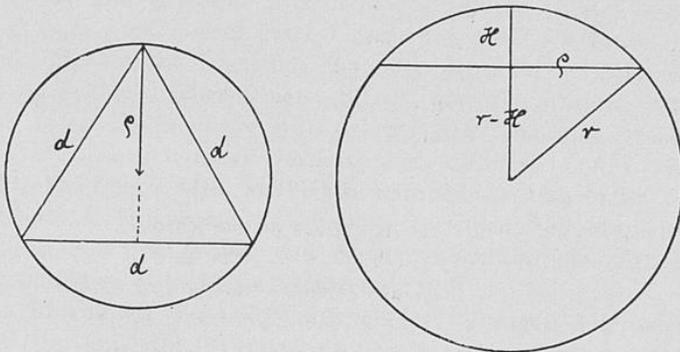
c) Dasselbe wiederhole man mit einem dickeren Glase, dessen Dicke man an drei Stellen (an den Enden und in der Mitte) mißt, um aus den drei Messungen das Mittel zu nehmen.

### 3. Anwendung des Sphärometers zur Bestimmung eines Kugelradius.

a) Man setze das Sphärometer, nachdem man seine Mittelspitze genügend hoch geschraubt hat, auf die Oberfläche einer Kugel von unbekanntem Radius, stelle auch die mittlere Spitze auf die Oberfläche der Kugel ein und lese an der Randmarke den geteilten Kreis ab.

b) Dann bringe man das Sphärometer wieder auf die Glasebene und drehe die mittlere Spitze langsam herunter, wobei man sorgfältig die ganzen Umdrehungen und schließlich die Hundertstel Umdrehungen zählt, die nötig sind, die vier Spitzen wieder in eine Ebene zu bringen.

c) Aus der Umdrehungsanzahl berechne man die Höhe  $H$  der durch die drei festen Spitzen auf der Kugeloberfläche bestimmten Kalotte.



d) Schließlich bestimmt man noch die Seite  $d$  des durch die drei festen Spitzen gebildeten gleichseitigen Dreiecks, indem man das Sphärometer mit seinen drei Spitzen vorsichtig in Papier eindrückt.

e) Der Grundkreisradius  $\rho$  der erwähnten Kalotte läßt sich aus der Höhe  $h$  des gleichseitigen Dreiecks mit der Seite  $d$  finden.  $H$  und  $\rho$  liefern den Kugelradius.

Anmerkung: Erst die allgemeine Formel aufstellen, dann  $d$  und  $H$  einsetzen!

f) Auf dieselbe Weise ist der Radius eines Hohlspiegels zu bestimmen.

Zubehör: Sphärometer, Glasebene, Deckgläschen, kleine Glasscheibe, Kugel, Maßstab, Hohlspiegel.

