# Das Archimedische Prinzip

## als Grundlage

## physikalisch-praktischer Übungen.

Von

Oberlehrer Dr. Nikolaus Bödige.

Beilage zum Programm des Königlichen Gymnasium Carolinum.
Ostern 1901.

Osnabrück.
Druck von Meinders & Elstermann.
1901.

1901. Progr. Nr. 345.

# Das Archimedische Prinzip

## als Grundlage

## physikalisch-praktischer Übungen.

Von

Oberlehrer Dr. Nikolaus Bödige.

Beilage zum Programm des Königlichen Gymnasium Carolinum.

Ostern 1901.

**Osnabrück.**
Druck von Meinders & Elstermann.
1901.

1901. Progr. Nr. 345.

# I. Das Archimedische Princip.

Archimedes wurde im Jahre 287 v. Chr. in Syrakus geboren und lebte, mit mathematischen und physikalischen Problemen beschäftigt, in seiner Vaterstadt. Bei der Einnahme der letzteren durch Marcellus im Jahre 212 wurde er von einem römischen Soldaten getötet, der nach Beute suchend in sein Haus eingedrungen war. Der Soldat trat nach der bekannten Ueberlieferung mit gezücktem Schwerte über die Schwelle und fragte ungestüm nach verborgenen Schätzen. Archimedes aber hatte mit einem Stäbchen mathematische Figuren auf eine mit feinem Sand bestreute Tafel gezeichnet und war in seine Aufgabe so vertieft, dass er die Frage nicht beantwortete, sondern nur bat, seine Kreise nicht zu stören, worauf ihm der Römer den Todesstoss versetzte.

Mit Recht wird Archimedes neben Euklid als der bedeutendste Mathematiker des Altertums bezeichnet. Er bestimmte, wie allbekannt, das Verhältniss zwischen Peripherie und Durchmesser eines Kreises mit einer Genauigkeit ($\pi = 22 : 7 = 3{,}14$), die auch heute noch als für die meisten mathematischen Berechnungen ausreichend betrachtet wird. Seine Untersuchungen über die Spiralen und Schraubenlinien, über die Eigenschaften von Körpern, welche durch Umdrehung der Kegelschnitte entstehen und viele andere gehören zu den besten theoretischen Leistungen der Alten; seine stereometrischen Entdeckungen, insbesondere der nach ihm benannte Satz, dass das Volumen einer Kugel gleich zwei Drittel des Volumens des umbeschriebenen Cylinders ist, werden stets ihren ehrenvollen Platz in der elementaren Stereometrie behaupten. Archimedes selbst legte diesem Lehrsatze eine besondere Bedeutung bei, denn er wünschte, dass nach seinem Tode eine in einen Cylinder beschriebene Kugel in sein Grabmal eingemeisselt werde. Bekanntlich fand Cicero, als er im Jahre 75 v. Chr. als römischer Quästor Syrakus besuchte, die der Vergessenheit anheimgefallene Grabstätte wieder auf, und zwar erkannte er sie an einer aus wucherndem Gestrüpp hervorragenden kleinen Säule, auf welcher sich die Figuren von Kugel und Cylinder befanden.

Noch grösseren Ruhm aber, als durch seine mathematischen Schriften, erlangte Archimedes schon bei seinen Zeitgenossen durch seine erfinderische Thätigkeit auf physikalischem Gebiete. Die alten Schriftsteller haben uns von seinen wunderbaren Erfolgen begeisterte Schilderungen hinterlassen, welche zum teil sagenhaft ausgeschmückt erscheinen. Im allgemeinen aber müssen wir jenen Berichten schon deshalb eine gewisse innere Glaubwürdigkeit beilegen, weil sie den grossen Syrakusaner denselben Weg wandeln lassen, der auch die berühmtesten Vertreter der neueren exakten Forschung, Faraday, Hertz u. a. zu ihren wichtigen Entdeckungen führte. Archimedes war, wie aus jenen Berichten hervorgeht, nicht nur durch die höchste Schärfe und Klarheit im logischen Denken zu den schwierigsten theoretischen Untersuchungen befähigt, er war zugleich auch ein Meister in der Kunst, durch Beobachtung und Experiment die Theorie zu praktischer Verwendung zu führen.

Die physikalischen Arbeiten des Archimedes gehören vorzugsweise dem Gebiete der Mechanik der festen und flüssigen Körper an. Zunächst waren es Untersuchungen über Begriff und Bestimmung des Schwerpunktes, mit welchen er sich eingehend beschäftigte. Diese führten ihn zur Entdeckung des Gleichgewichtsgesetzes für den Hebel und die schiefe Ebene und zur Erfindung zahlreicher Maschinen, von denen einige, z. B. der Flaschenzug, die Schraube ohne Ende, noch heute im Gebrauch sind. Durch geschickte Verbindung dieser von ihm erfundenen mit bereits bekannten Maschinen erzielte er Wirkungen, die seine Zeitgenossen mit der höchsten Bewunderung erfüllten.

So wird berichtet, Archimedes habe einst vermittelst einer Winde, zu deren Verstärkung er einen Flaschenzug und wahrscheinlich auch eine Schraube ohne Ende gebrauchte, blos mit der linken Hand eine Last Getreide von 7000 Scheffeln herbeigezogen. Plutarch erzählt, der König Hiero von Syrakus habe ein zum Getreidetransport bestimmtes Schiff bauen lassen von solcher Grösse, dass die Menge des erforderlichen Holzes für die Herstellung von sechzig gewöhnlichen Kriegschiffen ausgereicht haben würde. Als nun das Schiff vom Stapel laufen sollte, gelang es trotz aller Anstrengung nicht, die ungeheure Last von der Stelle zu bewegen, bis Archimedes mit Hülfe seiner Maschinen die unmöglich scheinende Aufgabe gleichsam spielend löste. Dem erstaunten Könige gegenüber habe er dann den berühmten Ausspruch gethan:

Δός μοι ποῦ στῶ καί κινήσω τήν γῆν,

„gieb mir einen festen Standpunkt, und ich werde die Erde in Bewegung setzen.“

Die wichtigen Dienste, welche Archimedes später seiner Vaterstadt leistete bei deren Belagerung durch die Römer, sind hinreichend bekannt. Er baute Wurfmaschinen und anderes Kriegsgerät, mit welchen er den Feinden den grössten Schaden zufügte und ihre Angriffe zu Wasser und zu Lande mehr als ein Jahr lang siegreich abwehrte, so dass Polybius, der uns darüber ausführlich berichtet, mit Recht bemerkt, die beiden römischen Feldherrn hätten bei der Belagerung erst erfahren müssen, dass bei gewissen Gelegenheiten ein Geist viel förderlicher sei, als eine Menge von Händen.

Von anderen Erfindungen, die dem Archimedes zugeschrieben werden, ist noch die Wasserschraube oder Wasserschnecke zu erwähnen, die dazu diente, Ländereien, Wiesen und Sümpfe zu entwässern und Wasser aus den Flüssen zu heben. Archimedes hatte diese Vorrichtung, eine praktische Anwendung seiner Untersuchungen über die Schraubenlinien, bereits bei jenem Riesenschiffe des Hiero verwertet, um das Seewasser aus dem Kielraum zu entfernen. Hiero schenkte später das mit Getreide vollbeladene Schiff dem Könige von Aegypten, und vielleicht ergiebt sich hieraus die Erklärung dafür, dass Strabo, als er im Jahre 23 v. Chr. das Land der Pharaonen besuchte, an den Ufern des Nils solche Bewässerungsmaschinen in grosser Menge vorfand.

Ferner soll Archimedes künstliche Sphären oder Planetenmaschinen erfunden haben, welche die Bewegung der Himmelskörper, wie sie der Vorstellung der Alten entsprach, zur Darstellung brachten. Ovid beschreibt ein solches Planetarium mit den Worten (fasti VI 277):

> Arte Syracusia suspensus in aere clauso
> Stat globus, immensi parva figura poli.

Es bestand aus einer hohlen Glaskugel, in deren Mittelpunkt sich die Erde befand, während der Mond, die Planeten und die Sonne, durch eine Kurbel in Bewegung gesetzt, in dem geschlossenen Raume sich um die Erde drehten. Wie hoch dies Kunstwerk im Altertum geschätzt wurde, geht schon daraus hervor, dass Marcellus nach der Einnahme von Syrakus nur diese berühmte Sphäre aus der reichen Beute an sich genommen, alles andere aber verschmäht hatte. Von einer anderen, jedoch massiven Himmelskugel, auf deren Aussenseite die Bilder des Tierkreises nebst den Wendekreisen, den Polarkreisen und dem Aequator abgebildet waren, spricht Cicero in den Ausdrücken der höchsten Bewunderung; jener Sicilianer, so urteilt er, habe ein grösseres Genie besessen, als die menschliche Natur schiene ertragen zu können.

Als eine Entdeckung endlich, welche allein hinreichen würde, den Namen des Archimedes die Unsterblichkeit zu sichern, muss die Auffindung des Satzes angesehen werden, der unter der Bezeichnung: **Archimedisches Princip** zu den bekanntesten und wichtigsten Lehrsätzen der Physik gehört. Vitruv, der Baumeister des Kaisers Augustus, hat uns über diese berühmte Entdeckung folgenden Bericht geliefert:

„Von all' den vielen wunderbaren und mannigfachen, wohl auch unendlich sinnreichen Entdeckungen des Archimedes will ich nur die anführen, welche auf eine überaus kluge Weise gewonnen sein dürfte. Als nämlich Hiero, nachdem er zu königlicher Macht erhoben worden war, für seine glücklichen Thaten eine goldene Krone, wie er gelobt hatte, in einem Heiligtume weihen wollte, liess er diese gegen Arbeitslohn anfertigen und wog das dazu nötige Gold dem Goldschmiede genau vor. Dieser lieferte seiner Zeit das zur vollen Zufriedenheit des Königs gefertigte Werk ab, und auch das Gewicht der Krone schien genau zu entsprechen.

Als aber später Anzeige gemacht wurde, es sei Gold unterschlagen und dafür ebensoviel Silber beigemischt worden, da beauftragte Hiero, aufgebracht darüber, hintergangen worden zu sein, ohne einen Weg finden zu können, jene Unterschlagung zu erweisen, den Archimedes, die Auffindung eines solchen Ueberführungsweges auf sich zu nehmen.

Dieser, eifrig damit beschäftigt, kam zufällig in ein Bad, und als er dort in die Wanne hinabstieg, bemerkte er, dass das Wasser in gleichem Maasse über die Wanne austrat, indem er seinen Körper mehr und mehr in dieselbe niederliess. Sobald er auf den Grund dieser Erscheinung gekommen war, verweilte er nicht länger, sondern sprang, von Freude getrieben, aus der Wanne und seinem Hause zueilend, rief er mit lauter Stimme: εὕρηκα, εὕρηκα, ich habe gefunden, was ich suchte!“

Vitruv erzählt weiter, Archimedes habe, von jener Entdeckung ausgehend, einen Klumpen reinen Silbers, der dasselbe Gewicht hatte, wie die Krone, in ein Gefäss eingetaucht, welches bis an den Rand mit Wasser gefüllt war. Das ausfliessende Wasser habe er nach Entfernung des Silbers wieder ersetzt und die dazu nötige Wassermenge mit einem Sextar (Hohlmass) gemessen; auf diese Weise fand er, wie viel Wasser das Silber verdrängt hatte.

„Nachdem er dies erforscht hatte, senkte er einen Klumpen reinen Goldes von gleichem Gewichte wie die Krone in das volle Gefäss, und als er auch diesen herausgenommen, fand er, nachdem er das fehlende Wasser auf dieselbe Weise vermittelst des Hohlmasses nachgefüllt hatte, dass nun von dem Wasser soviel weniger abgeflossen war, als ein Goldklumpen von gewissem Gewichte ein kleineres Volumen hat, wie ein Silberklumpen von demselben Gewichte. — Nachdem er hierauf das Gefäss abermals gefüllt und die Krone selbst in das Wasser gesenkt hatte, fand er, dass mehr Wasser bei der Krone als bei dem gleichschweren Goldklumpen abfloss und entzifferte so aus dem, was mehr bei der Krone als bei dem Goldklumpen abfloss, die Beimischung des Silbers zum Golde und machte so die Unterschlagung offenbar.“

Aus diesen Versuchen leitete Archimedes dann folgende Sätze ab:

1. Feste Körper, die bei gleichem Rauminhalte einerlei Gewicht mit einer Flüssigkeit haben, sinken, in diese eingetaucht, so weit, dass nichts von ihnen aus der Ober-

fläche der Flüssigkeit hervorragt; tiefer aber sinken sie nicht.

2. Jeder feste Körper, der, leichter als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht wird, sinkt so tief ein, dass die Masse der Flüssigkeit, welche so gross ist als der eingesunkene Teil, ebenso viel wiegt, wie der ganze Körper.
3. Wenn Körper, die leichter sind als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, so erheben sie sich wieder mit einer so grossen Kraft, wie eine Masse Flüssigkeit von der Grösse des Körpers schwerer ist, als der Körper selbst.
4. Feste Körper, welche, schwerer als eine Flüssigkeit, in diese eingetaucht werden, sinken, so lange sie noch tiefer kommen können und werden in der Flüssigkeit um so leichter, als das Gewicht einer Masse Flüssigkeit von der Grösse des eingetauchten Körpers beträgt.

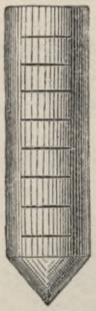
Das in diesen vier Sätzen enthaltene Archimedische Princip lautet in kürzerer Fassung:

1. **Ein ganz in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert (scheinbar) so viel an Gewicht, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.**
2. **Ein schwimmender Körper sinkt so tief in eine Flüssigkeit ein, dass das Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge gleich dem ganzen Gewicht des Körpers ist.**

Es ist eine bislang unerledigte Streitfrage, ob Archimedes sich mit der oben beschriebenen, nicht gerade zweckmässigen Methode, die Richtigkeit seines Principes nachzuweisen, begnügt habe, oder ob ihm bereits die eine oder andere von den Vorrichtungen — hydrostatische Wage, Volumenometer u. s. w. —, die man heute zu diesem Zwecke zu benutzen pflegt, bekannt gewesen sei. Ebenso sind die Meinungen darüber geteilt, ob der Begriff des specifischen Gewichtes, der sich unmittelbar aus dem Archimedischen Princip ergiebt, schon von dem scharfsinnigen Entdecker des letzteren aufgestellt worden ist. Die nur unvollständig erhaltenen Werke des Archimedes geben hierüber keinen Aufschluss.

Diejenigen welche der Ansicht sind, dass die erwähnte wichtige Folgerung aus seinem Principe dem grossen Syrakusaner nicht entgangen sei, stützen ihre Vermutung auf ein lateinisches Gedicht, welches unter dem Titel: De ponderibus et mensuris von einem Zeitgenossen des Kaisers Tiberius verfasst sein soll und uns erhalten ist. In diesem Gedichte findet sich die Angabe, die Differenz des Gewichtsverlustes, welchen gleiche Gewichte Gold und Silber beim Wägen **unter** Wasser erleiden, betrüge $^1/_{25}$ ihres Gewichtes. Demnach müsste die hydrostatische Wage schon zu Beginn der christlichen Zeitrechnung bekannt gewesen, also wahrscheinlich eine Erfindung des Archimedes sein.

Die Gegner aber verlegen teils die Entstehung jenes Gedichtes in eine spätere Zeit, teils berufen sie sich darauf, dass die Schriftsteller aus den beiden ersten Jahrhunderten unserer Zeitrechnung, die in ihren Werken diesen Gegenstand berühren, z. B. Seneca, Plinius und Galen, deutlich erkennen lassen, dass sie weder den Begriff des specifischen Gewichtes, noch auch irgend eins der Instrumente gekannt baben, welche in späterer Zeit zur Bestimmung desselben dienten — ausser den beiden oben genannten gehören dazu u. a. das Pyknometer und das Aräometer.



1. Fig.


Fig. 2.

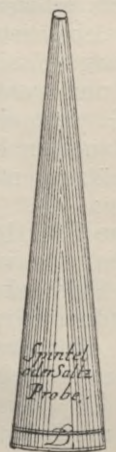



Fig. 3.

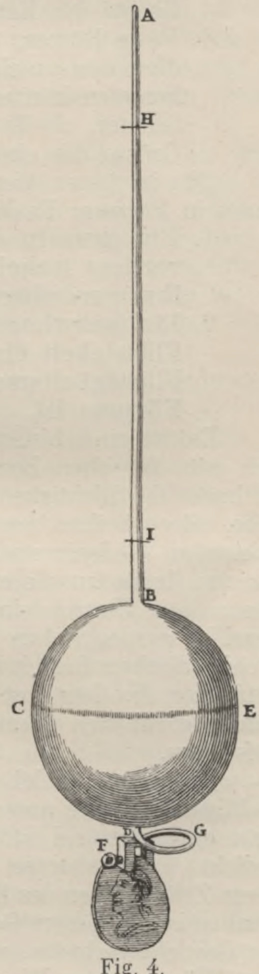



Fig. 4.

Das älteste von diesen Instrumenten scheint das **Aräometer** zu sein. Es wird zum ersten Male erwähnt in einem Briefe des Bischofs Synesios von Ptolemais (4. Jahrh. n. Chr.) und darin als ein neuer Apparat beschrieben. (Vergl. Gerland und Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Verlag von W. Engelmann, Leipzig. — Diesem aussordentlich interessanten Werke sind mit Genehmigung des Verlegers die Figuren 1—9 entnommen). Jener Brief enthält über die Einrichtung des Aräometers (Fig. 1.) folgende Angaben: „Die Röhre ist cylindrisch und hat die Gestalt und Grösse einer Flöte. Sie trägt auf einer geraden Linie die Einschnitte, mit welchen wir das Gewicht der Flüssigkeiten prüfen. Jedesmal, wenn du die Röhre in das Wasser hinablässest, wird sie aufrecht schwimmen und dich die Einschnitte zählen lassen. Diese aber sind die Erkennungszeichen des Gewichtes.“

Man nannte das Instrument Hydroskopion und benutzte es noch bis in das siebzehnte Jahrhundert zu medicinischen Zwecken, da man der Meinung war, mit seiner Hülfe die Güte des Trinkwassers prüfen zu können. Es entspricht offenbar unserm heutigen **Volumen - Aräometer.**

Letzteres wurde ebenfalls im siebzehnten Jahrhundert zuerst als Procent Aräometer gebraucht, z. B. als Bierprobe (Fig. 2) und Salzspindel (Fig. 3.)

Seine bedeutendste Verbesserung erfuhr es durch Robert Boyle (1627—1691). Der von diesem konstruierte Apparat (Fig. 4.) der zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Münzen dienen sollte, nähert sich in seiner Form bereits der heute gebräuchlichen.

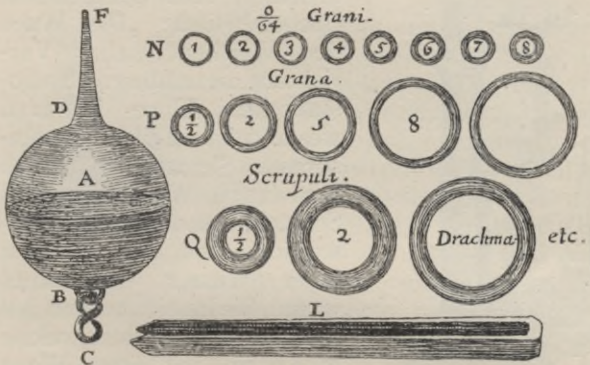


Fig. 5.

Fig. 6.

Das **Gewichts-Aräometer** soll um das Jahr 1664 von Roberval erfunden sein. In seiner ursprünglichen Gestalt (Fig. 5) wurde es zur Bestimmung des specifischen Gewichtes von Flüssigkeiten verwandt. Man legte zu diesem Zwecke soviel ringförmige Gewichte um den Hals der Kugel, dass dieser bis an die Spitze in die Flüssigkeit eintauchte.

Fahrenheit (1686—1736), der Erfinder des bekannten Thermometers, gab dem Gewichts-Aräometer eine Form (Fig. 6) welche den Uebergang bildet zu der Senkwage von Nicholson (1753—1815), (Fig. 24.) die man auch heute noch zur Bestimmung des specifischen Gewichtes fester und flüssiger Körper anwendet. Eine zweckmässige neuere Konstruktion dieser Senkwage ist in Fig. 25 dargestellt.

Die **hydrostatische Wage,** der wichtigste Apparat für den Nachweis des Archimedischen Principes und die Bestimmung des specifischen Gewichtes, soll nach der Meinung einiger zuerst von Galilei (1564—1642) für diese Zwecke benutzt worden sein. Indessen haben nachweislich schon die Araber, die sich um das Jahr 1000 n. Chr. auf das eifrigste mit der Chemie und Physik beschäftigten und sich um diese Wissenschaften grosse Verdienste erwarben, die hydrostatische Wage gekannt und mit ihrer Hülfe das specifische Gewicht vieler Körper bestimmt. Der arabische Gelehrte Al Khâzini beschreibt in seinem 1137 erschienenen Buche, betitelt: „Die Wage der Weisheit", eine Vorrichtung, die mit unserer hydrostatischen Wage in ihren wesentlichen Teilen übereinstimmt. Sie trug an einem 2 m langen Wagebalken fünf Schalen, von denen einige beweglich und zum Wägen unter Wasser eingerichtet waren. Die Bestimmungen des specifischen Gewichtes, welche Al Khâzini mit dieser Wage ausführte, zeichnen sich durch eine bemerkenswerte Genauigkeit aus.

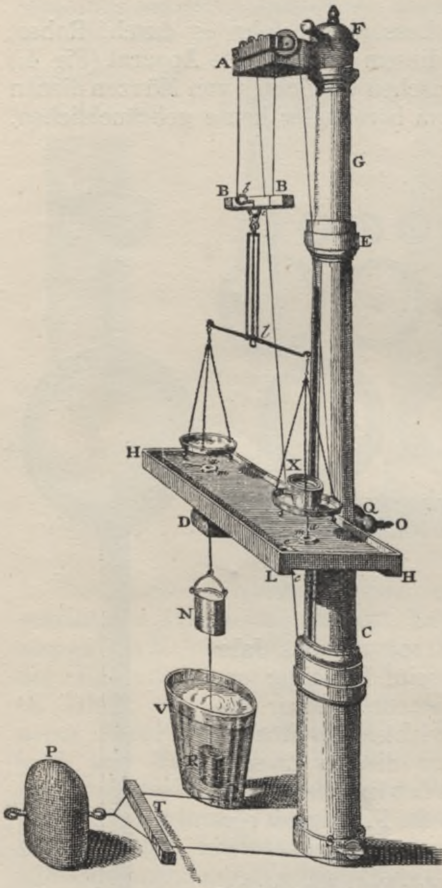


Fig. 7.

Die Einrichtung der hydrostatischen Wage, wie sie heute gebräuchlich ist (Fig. 10), hat schon der holländische Physiker s'Gravesande (1688—1742) in seinem Werke Physices Elementa beschrieben (Fig. 7). Er benutzte zum Nachweis des Archimedischen Principes denselben Apparat (Hohlcylinder mit massivem Einsatz), dessen wir uns auch gegenwärtig noch mit einer gewissen Vorliebe bedienen.

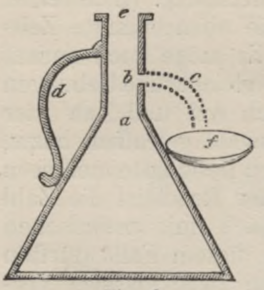



Fig. 8.

Das **Volumenometer** wurde wahrscheinlich zuerst von dem arabischen Physiker Al Birûnî (gest. 1039) in der in Fig. 8 abgebildeten Form zur Bestimmung des specifischen Gewichtes benutzt. Die Abflussröhre war mit Löchern versehen, damit das Wasser „nicht darin hängen bleibe und nur allmählich abfliesse“. Al Birûnî wies auch darauf hin, dass bei der Verwendung dieses Apparates die Kapillarität und die Abhängigkeit der Dichte des Wassers von der Temperatur berücksichtigt werden müssten.

Neuere Formen des Volumenometers sind in den Figuren 11, 12, 14, 23 wiedergegeben.

Fig. 9.

Das **Pyknometer** oder Dichtemesser endlich, welches in Verbindung mit einer guten Wage die genaueste Bestimmung des specifischen Gewichtes ermöglicht, wurde in der durch Fig. 9 erläuterten Gestalt von einem um 1700 lebenden Physiker Homberg angewandt. Das Fläschen wurde soweit mit Flüssigkeit gefüllt, bis diese an die Spitze des seitlich angebrachten Röhrchens stieg. Fahrenheit gab 1724 eine verbesserte Form des Pyknometers bekannt, und aus dieser sind die jetzt gebräuchlichen sog. Grammfläschchen von Geissler hervorgegangen. Figur 26 stellt ein von Weinhold angegebenes Pyknometer dar.

---

Die mit den oben genannten und ähnlichen Vorrichtungen anzustellenden Versuche über das Archimedische Princip (Bestimmung des specifischen Gewichtes) gehören zu den wichtigsten und lehrreichsten der Physik; sie sind ausserdem auch für den Ungeübten leicht ausführbar und erfordern nur wenige Hülfsmittel, die teils in jeder physikalischen Sammlung vorhanden, teils ohne Schwierigkeit herzustellen sind. Aus diesem Grunde dürfte es kaum ein zweites Gebiet geben, welches in gleichem Masse für die **praktischen physikalischen Uebungen** geeignet wäre, deren erziehlicher Wert in neuerer Zeit mit Recht betont wird. Vergl. die Abhandlungen von Poske und Schwalbe und zahlreiche andere Aufsätze in der „Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht“ (herausgegeben von Dr. F. Poske).

Zur Förderung dieser Bestrebungen, wenn auch nur auf einem engbegrenzten Gebiete, einiges beizutragen, ist der Zweck der vorliegenden Arbeit. Der Verfasser, dem eine mehrjährige Erfahrung in der Leitung praktischer Uebungen zur Seite stand, bemühte sich, neben den altbewährten Methoden vorzugsweise solche Versuche und Aufgaben auszuwählen, die auch dem Anfänger keine erheblichen Schwierigkeiten bereiten und Gelegenheit bieten zu selbständiger praktischer Bethätigung. (Eine reiche Fundgrube derartiger Aufgaben ist u. a. die obengenannte Zeitschrift für den phys. u. chem. Unterricht). Es möge noch darauf hingewiesen werden, dass vielfach mehrere gleichartige Uebungen neben einander gestellt sind, damit je nach Art und Zahl der zur Verfügung stehenden Apparate eine Auswahl getroffen, bezw. die Ausführung desselben Versuches mehreren Uebungsteilnehmern gleichzeitig übertragen werden könne. In der Regel ist die Zahl der letzteren grösser, als dass alle zugleich mit praktischen Uebungen beschäftigt werden könnten; in diesem Falle dürften die beigefügten Uebungs- und Denkaufgaben zweckmässige Verwendung finden.

Für die nachstehend angeführten Uebungen werden folgende Apparate u. s. w. gebraucht:

1) Wage; hydrostatische Wage; Gewichtssatz; hohler und massiver Cylinder; Sammlung von Kubikcentimetern.
2) Schublehre mit Nonius; cm-Mass.
3) Gefäss mit seitlichem Ausfluss; Volumenometer nach Niemöller; Heber- und Zeiger-Volumenometer; Messcylinder.
4) Senkwage von Nicholson; Gewichtsaräometer Fig. 25; Fläschchen mit Marke; Grammfläschchen; Pyknometer nach Weinhold.
5) Becher und Trinkgläser; Glascylinder; Deckplatten; Glastrichter; Glasröhren; Probiergläser.
6) Kantige und runde Feile; Drahtzange; Satz Korkbohrer; Quetschhahn; Retortenhalter.
7) Kupfer-, Messing-, Blumendrath; Schrot; Sprengkohle; Gummischlauch; Fliesspapier; Kork; Kerze; Siegellack; Vaselin.
8) Alkohol; Glycerin; Oel; Petroleum; Terpentin; Quecksilber.
9) Uebungssammlung enthaltend Mineralien und andere Körper, welche bei den Uebungen Verwendung finden.

# II. Praktische Uebungen.

## A. Nachweis des Satzes:

**Ein ganz in eine Flüssigkeit eingetauchter Körper verliert (scheinbar) soviel an Gewicht, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt.**

---

## 1. Hydrostatische Wage. Hohler und massiver Cylinder.

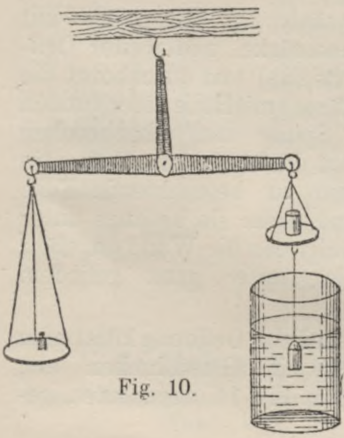


Fig. 10.

1. Den Hohlcylinder stellt man auf die kürzere Schale der Wage (Fig. 10), hängt den genau in den Hohlraum passenden massiven Einsatz unter diese Schale und bringt die Wage in's Gleichgewicht.

2. Man stellt ein Trinkglas unter den massiven Cylinder und giesst soviel Wasser ein, dass der Cylinder ganz eintaucht.

3. Das Gleichgewicht der Wage wird aufgehoben; es wird aber wieder hergestellt, wenn man den Hohlcylinder bis an den Rand mit Wasser füllt.

---

## 2. Hydrostatische Wage. Unregelmässiger Körper.

Stein am Faden; Becher und Trinkglas.

1. Man legt einen unregelmässigen Körper, z. B. ein Stück Kalkspath, an welchem ein Faden oder dünner Messingdraht befestigt ist, auf den Boden eines kleinen Becher-

glases und füllt dieses bis an den Rand mit Wasser. An dem Stein haftende Luftblasen werden mit einer Federfahne oder einem Drahte entfernt.

2. Darauf hebt man den Stein aus dem Wasser, lässt dieses abtropfen, hängt den Stein unter die kürzere Wagschale, stellt das nicht mehr ganz gefüllte Becherglas auf diese Schale und bringt die Wage in's Gleichgewicht.
3. Man stellt ein Trinkglas unter den Stein und füllt soviel Wasser ein, dass der Stein ganz eintaucht. Das nunmehr gestörte Gleichgewicht der Wage wird dadurch wiederhergestellt, dass man das Becherglas auf der Wagschale wieder bis zum Rande mit Wasser füllt, d. h. soviel Wasser eingiesst, als der Stein verdrängt hat.

Wiederholung dieses Versuches mit anderen Flüssigkeiten, z. B. Alkohol oder Glycerin.

## 3. Volumenometer mit seitlichem Ausfluss. Fig. 11.

Einmacheglas; runde Feile; Terpentin; Glasröhre; Siegellack. — Hydrostatische Wage; Stein am Faden; Becher- und Trinkglas.

a. Anfertigung des Volumenometers.

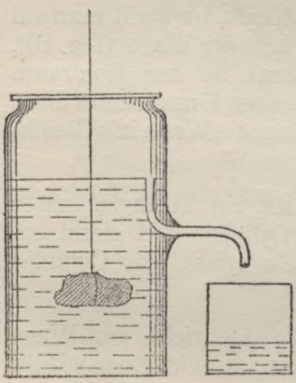


Fig. 11.

1. Man wählt ein Glasgefäss mit mässiger Wandstärke und weiter Oeffnung (Einmacheglas) und durchbohrt die Wand des Gefässes mit Hülfe einer runden Feile, deren Spitze man abgebrochen hat. (Man setzt die häufig mit Terpentin oder Petroleum zu befeuchtende Feile schräg auf und dreht sie anfangs unter stärkerem, und wenn die Wand ungefähr durchbohrt ist, unter ganz gelindem Drucke).
2. In die seitliche Oeffnung kittet man mit Siegellack ein Glasröhrchen ein, welches, wie in Fig. 11 angedeutet, gebogen ist.

b. Ausführung des Versuches.

1. Auf die kürzere Schale der hydrostatischen Wage stellt man ein leeres Becherglas, hängt unter diese Schale einen Stein am Faden und stellt das Gleichgewicht her.
2. Man setzt ein Trinkglas unter den äusseren Abfluss des Volumenometers, füllt dieses mit Wasser, setzt, nachdem das Abfliessen des Wassers aufgehört hat, das Becherglas unter, taucht den Stein in das Volumenometer ein und fängt das verdrängte Wasser in dem Becherglase auf.
3. Vergl. Uebung 2 (2 u. 3).

## 4. Volumenometer nach Niemöller.

Tintenflasche; Feile; Sprengkohle; Kork; Korkbohrer; Glasröhre; Siegellack. — Hydrostatische Wage; Stein am Faden; Becher- und Trinkglas; Stativ zum Einklemmen des Volumenometers.

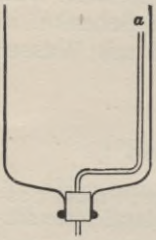


Fig. 12.

a. Anfertigung des Volumenometers nach Fig. 12 aus einer Tintenflasche, deren Boden man etwa mit Sprengkohle abgesprengt hat. (Man feilt das Glas an der betr. Stelle etwas ein, hält die durch Blasen angefachte glühende Sprengkohle auf den Feilstrich, bis im Glase ein kleiner Sprung entsteht, und bewegt die Kohle langsam weiter, sodass der Sprung rings um die Flasche geführt wird).

b. Ausführung des Versuches wie in Uebung 3.

## 5. Volumenometer. Fig 12.

Wage; Stein am Faden; Glasschale; Retortenhalter.

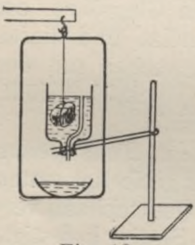


Fig. 13.

1. Befestige das Volumenometer (s. o.) in einem Retortenhalter und fülle es mit Wasser.
2. Tariere an einer grösseren Wage eine Glasschale und einen Stein, der nach Fig. 13 an der Wage aufgehängt ist.
3. Verschliesse die untere Mündung des Volumenometers mit dem Finger und lasse den Stein eintauchen. Das Gleichgewicht der Wage wird aufgehoben, jedoch wieder hergestellt, wenn man den Finger fortnimmt und das von dem Stein verdrängte Wasser in die Schale abfliessen lässt.

## 6. Heber-Volumenometer nach Hartl.

Heber; Glasgefäss; Vorrichtung zur Befestigung des Hebers. — Hydrostatische Wage; Stein am Faden; Becher- und Trinkglas.

a. Aus einer Glasröhre biegt man einen kleinen Saugheber, befestigt diesen durch einen passend hergerichteten Kork oder eine Metallklemme an einem Glasgefässe (Fig. 14; vergl. auch Fig. 17), so dass der längere Schenkel des Hebers sich innerhalb des Gefässes befindet.

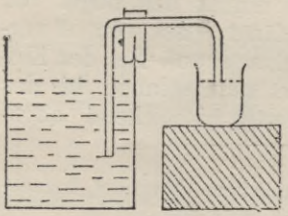


Fig. 14.

b. Ausführung des Versuches.

1. Vergl. Uebung 3 (b.)

2. Man füllt das Volumenometer bis oben mit Wasser, setzt unter das äussere Ende des Hebers ein Trinkglas und saugt den Heber an; wenn letzterer aufgehört hat zu fliessen, stellt man das Becherglas unter, taucht den Stein am Faden ein u. s. w. vergl. Uebung 3 und 2.

Den kleinen Heber kann man u. a. auch dadurch zum Fliessen bringen, dass man den längeren Schenkel in schnellem Stosse in das bis an den Rand mit Wasser angefüllte Volumenometergefäss eintaucht.

## 7. Apparat nach Gröger (Z. II 183*).

Starker und feiner Kupfer- oder Messingdraht; Drahtzange; Probierglas; Glasröhren, 20 und 15 mm weit; Quecksilber; Feile; Gummischlauch; Quetschhahn; Stativ. — Wage; Trinkglas.

a. Anfertigung des Apparates nach Fig. 15 u. 16.

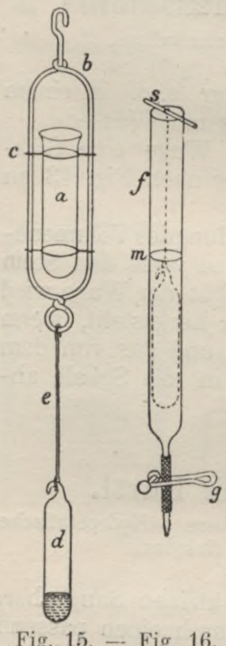


Fig. 15. — Fig. 16.

1. Aus starkem Kupfer- oder Messingdrahte biegt man den Bügel b und befestigt darin mit dünnem Drahte c das etwa 9 cm lange und 2 cm weite, starkwandige Probierglas a.
2. Man stellt den Senkel d her, indem man von einer 15 mm weiten Glasröhre ein 9 cm langes Stück abschmilzt und dieses (durch Erwärmen und Eintauchen mit der offenen Spitze) soweit mit Quecksilber füllt, dass es im Wasser untersinkt.
3. Die Bürette f wird aus einem 2 cm weiten und 20 cm langen Glasrohr verfertigt, unten durch Gummischlauch und Quetschhahn verschlossen und in einem Stativ befestigt; m ist eine mit der Feile eingeritzte Marke, 9 cm vom oberen Rande.

b. Ausführung des Versuches.

1. Man hängt den Bügel b mit Probierglas und Senkel an den einen Arm einer Wage und bringt diese in's Gleichgewicht.
2. Die Bürette f füllt man bis oben mit Wasser, lässt dieses bis m abfliessen, taucht den Senkel d in f ein, nimmt den Bügel von der Wage und fängt das von d verdrängte Wasser mit dem Probierglase a auf. Bei den Einstellungen auf die Marke m wartet man solange, bis das Wasser von der Wand der Bürette hinreichend abgeflossen ist.

*) Z. II. 183: Zeitschrift für den physikal. und chem. Unterricht, herausgegeben von Dr. F. Poske; 2. Jahrgang Seite 183.

3. Man hängt den Bügel mit dem zum teil gefüllten Probierglase und dem Senkel wiederum an die Wage, stellt ein Trinkglas unter d und füllt es soweit mit Wasser, dass der Draht e ebenso tief eintaucht, wie vorher unter die Marke der Bürette. Dadurch wird das Gleichgewicht der Wage wiederhergestellt.

Statt der Bürette f kann man auch ein Volumenometer anwenden (am zweckmässigsten das in Fig. 14 dargestellte).

## B. Nachweis des Satzes:

**Ein schwimmender Körper sinkt so tief in eine Flüssigkeit ein, dass das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich dem ganzen Gewicht des Körpers ist.**

### 8. Schwimmer. Messcylinder.

Probierglas; Schrot. — Wage.

a. Aus einem mit Schrot beschwerten Probierglas stellt man einen Schwimmer her und bestimmt dessen Gewicht (= p Gramm).

b. Man füllt einen Messcylinder bis zu einem gewissen Teilstrich mit Wasser und senkt den Schwimmer ein; es zeigt sich, dass das von dem Schwimmer verdrängte Wasser einen Raum von p ccm einnimmt, also p Gramm wiegt.

Derselbe Schwimmer taucht in Spiritus tiefer, in einer Salzlösung weniger tief ein, als in Wasser; warum?

### 9. Schwimmer. Volumenometer.

Probierglas; Schrot. — Wage; Becher- und Trinkglas.

1. Einen nach Uebung 8a hergestellten Schwimmer tariert man zusammen mit einem Becherglas auf einer Wage.
2. Man füllt eine Volumenometer (Fig. 17) bis zur Ausflussöffnung mit Wasser, stellt das Becherglas unter, nimmt auch den Schwimmer von der Wage und senkt ihn in das Volumenometergefäss ein.

VIII 207.

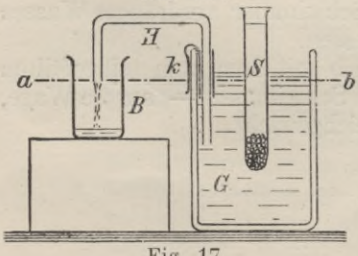



Fig. 17.

3. Stellt man dann das Becherglas allein mit dem von dem Schwimmer verdrängten Wasser auf die Wage, so ist letztere wieder im Gleichgewicht.

## 10. Volumenometer auf der Wage.

Gefäss mit seitlichem Ausfluss; Wage; Trinkglas; Probierglas; Schrot.

1. Man stellt ein Gefäss mit seitlichem Ausfluss (Uebung 3) auf die eine Schale einer Wage, füllt es bis an die innere Ausflussöffnung mit Wasser und bringt dann die Wage in's Gleichgewicht.
2. Darauf senkt man einen Schwimmer (Probierglas mit Schrot) in das auf der Wage stehende Gefäss ein und fängt das ausfliessende Wasser in einem Trinkglase auf. Das Gleichgewicht der Wage wird nicht gestört; warum?
3. Man beschwert den Schwimmer mehr und mehr mit Schrot; das Gleichgewicht bleibt erhalten, bis der Schwimmer den Boden des Volumenometers berührt.
4. Belastet man nun den Schwimmer noch weiter, so sinkt die Schale mit dem Volumenometer; wie ist dies zu erklären?

---

## 11. Schwimmer. Apparat nach Gröger.

(Vergl. Uebung 7).

Glasröhre von 15 mm Durchmesser; Quecksilber. — Kupferdrahtbügel mit Probierglas, Bürette; Wage; Trinkglas.

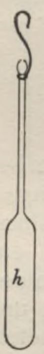


Fig. 18.

a. Der Schwimmer h (Fig. 18) wird aus einer ca. 15 mm weiten Glasröhre hergestellt; er hat eine Länge von 9 cm, ist unten zugeschmolzen, oben dünn ausgezogen und offen und wird (durch Erwärmen) soweit mit Quecksilber beschwert, dass er in Wasser bis an den dünnen Hals einsinkt.

b. Ausführung des Versuches.

1, Den Schwimmer befestigt man mit einem dünnen Drahthäkchen an den Bügel b (Fig. 15), hängt beide an die eine Seite einer Wage und stellt das Gleichgewicht her.
2. Man füllt die Bürette f bis zur Marke m, senkt h in f ein und lässt das von dem Schwimmer verdrängte Wasser in das Probierglas a abfliessen.
3. Hängt man dann den Bügel b mit dem zum teil gefüllten Probierglas a — ohne den Schwimmer — an die Wage, so ist diese wieder im Gleichgewicht.

# Uebungs- und Denkaufgaben.

12. Wie gross ist der Gewichtsverlust, den ein ganz in Wasser eingetauchter Würfel erleidet, wenn seine Seitenlänge
    a) 2 dcm; b) 7 cm; c) 3 m beträgt?
13. Mit welcher Kraft sinkt ein 660 kg schwerer Stein, der 1,2 m lang, 0,8 m breit und 0,3 m hoch ist, im Wasser zu Boden?
14. Welche Kraft ist erforderlich, um einen Menschen von 70 kg Gewicht und 0,067 cbm Rauminhalt im Wasser zu heben?
15. Warum ist nur ein geringer Kraftaufwand nötig, um einen Menschen vor dem Untersinken zu bewahren? Vergl. No. 96.
16. Warum sollte man in der Gefahr des Ertrinkens nicht Arme und Beine aus dem Wasser strecken, sondern selbst den Kopf soweit eintauchen, dass nur der Mund über Wasser ist?
17. Wie gross ist der Gewichtsverlust eines Körpers, welcher mitten in einer Flüssigkeit schwebt?
18. Mit welcher Kraft steigt ein 0,77 kg schwerer Holzwürfel von 1 dcm Seitenlänge aus dem Wasser auf, wenn er ganz untergetaucht wird?

19a. Wie viel kg vermag eine leere Tonne von 0,75 cbm Rauminhalt und 50 kg Gewicht im Wasser zu heben, wenn sie ganz untergetaucht wird?

b. Wie viele solcher Tonnen würden ausreichen, um einen 158 Ctr. schweren Stein, welcher 3 cbm Wasser verdrängt, im Wasser zu heben?

20*. Die eine Schale einer Wage trägt ein zum teil mit Wasser gefülltes Gefäss und einen neben diesem liegenden Stein. Die Wage ist im Gleichgewicht. Bleibt letzteres erhalten, wenn man den Stein in das Gefäss legt, so dass er ganz vom Wasser bedeckt ist?

21*. Ein Gefäss mit seitlichem Ausfluss (Fig. 11) ist auf die eine Schale einer Wage gestellt und mit Wasser gefüllt. Die Wage ist im Gleichgewicht.

Man taucht einen Stein, den man an einem Faden mit der Hand hält, in das Wasser. Wie verhält sich die Wage

a. wenn das Gefäss bis an die innere Mündung des Abflussrohres mit Wasser gefüllt ist und das ausfliessende Wasser aufgefangen wird? (vergl. Uebung 10).

b. wenn das Gefäss nur soweit gefüllt ist, dass das Wasser beim Eintauchen des Körpers nicht ausfliessen kann?

22*. Bei dem Versuche 21 (b) sei der eingetauchte Körper ein Metallcylinder von 1,8 cm Durchmesser und 5 cm Höhe. Wie viel Gramm muss man auf die andere Schale der Wage legen, damit das Gleichgewicht wiederhergestellt werde?

23. Gewichtsverlust in der Luft.
An einer gleicharmigen Wage hängen statt der Schalen zwei Kugeln, die eine aus Blei, die andere aus Tannenholz, beide 1 kg schwer. Wie verhält sich die Wage im luftleeren Raume?

24. Was ist schwerer, 1 Pfd. Blei oder 1 Pfd. Federn a) in der Luft, b) im luftleeren Raume?

25. Eine verschlossene Kochflasche samt einer am Boden derselben sitzenden Fliege ist auf einer Wage in's Gleichgewicht gebracht. Die Fliege erhebt sich und erhält sich in der Mitte der Kochflasche schwebend. Wie verhält sich hierbei die Wage? Könnte in dem Verhalten der Wage eine Aenderung eintreten, wenn die Kochflasche offen wäre? (Z. IX 29).

26. Wie gross ist die Tragkraft eines mit Leuchtgas gefüllten Luftballons von $v = 8000$ cbm Inhalt und $p = 72$ kg Gewicht, wenn Leuchtgas halb so schwer ist als Luft und 1 cbm Luft 1,293 kg wiegt?

---

27. Wie tief sinkt ein Würfel von 1 dcm Seitenlänge in Wasser ein, wenn sein Gewicht
a) 0,7 kg; b) 1 kg; c) mehr als 1 kg beträgt?

28. Wie tief sinkt ein rechtwinkliges Prisma aus Kork, $a = 20$ cm lang, $b = 16$ cm breit, $c = 12$ cm hoch in Wasser ein, wenn 1 cdcm Kork 0,2 kg wiegt und der Körper der Reihe nach mit den Grenzflächen ab, bc, ca auf das Wasser gelegt wird?

29. Die Eisberge ragen zuweilen 100 m aus dem Meeresspiegel empor (Fig. 19); wie gross muss in diesem Falle ihre Gesamthöhe sein, wenn 1 cdcm Eis 0,9 kg wiegt?

Fig. 19.

30. Ein Körper von 2,25 cbm Rauminhalt taucht zu $^2/_3$ seines Volumens in Wasser ein. Wie gross ist das Gewicht des Körpers?

31. Wie gross ist die Wasserverdrängung eines Schiffes im Meereswasser, wenn sie im Flusswasser 3090 cbm beträgt und 1 cbm Meerwasser 1030 kg wiegt?

32*. **Hühnerei in einer Salzlösung schwebend.**
Man stellt eine starke Salzlösung her, auf welcher ein Hühnerei schwimmt und verdünnt allmählich mit Wasser, bis das Ei in der Lösung schwebt. — Ueber die praktische Anwendung dieses Versuches bemerkt schon Galen (2. Jahrh. n. Chr.): Die für das Einsalzen verwendete Lake ist gehörig gemischt, wenn es sich zeigt, dass ein Ei darin schwimmt; sinkt es noch hinab und schwimmt noch nicht, so ist die Lake zu wässerig und süss.

33.* **Die schwebende Oelkugel.**
Oel schwimmt auf Wasser und sinkt in Spiritus unter. Stellt man nun eine geeignete Mischung von Wasser und Spiritus her, so schwebt das Oel in der Flüssigkeit und nimmt Kugelform an. — Das Oel wird mit Alkannawurzel rot gefärbt: man vereinigt die einzelnen Tropfen mit einem Drahte. (Versuche von Plateau).

34.* **Der praktische Leuchter.**

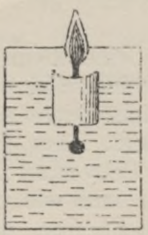


Fig. 20.

In ein Stückchen Kerze steckt man unten einen Nagel (Fig. 20,) sodass es in einem Trinkglase aufrecht in Wasser schwimmt. Zündet man die Kerze an, so hebt sie sich allmählich aus dem Wasser (warum?) und brennt vollständig ab.

(Es möge hier eine Beobachtung Erwähnung finden, zu welcher der vorstehende Versuch Anlass geben kann. Stearintropfen, welche von einer brennenden Kerze aus mässiger Höhe auf Wasser fallen, schwimmen auf der Oberfläche, indem sie eine Form annehmen, welche an die der Maiglöckchenblüten erinnert. Wie ändert sich die Gestalt der Tropfen, wenn diese aus geringer oder grösserer Entfernung auf Wasser aufschlagen?)

35.* **Der Cartesianische Taucher.**

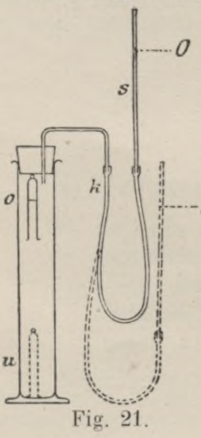



Fig. 21.

Abweichend von der gewöhnlichen Form (Glasfigur, „Teufelchen“, Glaskugel mit kurzer Ansatzröhre u. a.) kann man einen Taucher nach Rebenstorf aus einem Probierglase herstellen, (Fig. 21), indem man in dieses soviel Wasser eingiesst, dass es aufrecht schwimmt und dann so lange Wasser eintröpfelt, bis der obere Rand nur noch wenig aus der Oberfläche hervorragt. Verschliesst man nun das Probierglas mit dem Daumen und taucht es umgekehrt in einen mit Wasser gefüllten Cylinder ein, so wird der Taucher, wenn er richtig gefüllt ist, soweit einsinken, dass nur wenig von der gewölbten Kuppe aus dem Wasser hervorragt. — Man überbindet den Cylinder mit einer Kautschuk- oder Tierblase; übt man auf diese mit der Hand einen Druck aus, so sinkt der Taucher zu Boden (warum?); lässt man mit dem Druck nach, so steigt der Taucher wieder auf.

(Ueber die Verwendung des Druckes einer Wassersäule zur Bewegung des Tauchers und zahlreiche mit diesem anzustellende Versuche vergl. die Abhandlungen von Rebenstorf Z. XI 213 und XIII 249).

36.* **Der schwimmende Glastrichter.**

(Hydrostatisches Paradoxon nach Wood im Scientific American 1892).

In einen Glascylinder, welcher zum teil mit Wasser gefüllt ist (Fig. 22), stellt man einen Glastrichter, so dass er mit der abgeschrägten Spitze auf dem Boden des Cylinders ruht. Giesst man nun Schwefelsäure in den Trichter, so verdrängt diese das Wasser aus demselben und sammelt sich unten im Cylinder an. Der Trichter stellt sich aufrecht, steigt allmählich in die Höhe und schwimmt endlich frei im Wasser. Wie ist diese auffallende Erscheinung zu erklären?

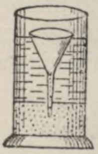


Fig. 22.

37.* **Schwimmen in zwei Flüssigkeiten.**

Man stellt einen Schwimmer her, etwa aus einer kleinen, mit Schrot beschwerten und verkorkten Kochflasche, der in Wasser ungefähr zu $^2/_3$, dagegen in einer leichteren Flüssigkeit, z. B. Petroleum, ganz untersinkt, lässt ihn im Wasser schwimmen und giesst langsam Petroleum zu.

Welches Verhalten zeigt der Schwimmer und wie erklärt sich dieses aus dem Satze, dass die Summe der verdrängten Flüssigkeitsgewichte gleich dem Gewichte des Schwimmers sein muss?

Wie würde sich ein Schwimmer verhalten, der auch in der leichteren Flüssigkeit nicht ganz untersinkt?

## C. Das specifische Gewicht.

Vergleicht man das (absolute) Gewicht eines Körpers mit dem Gewichte einer gleich grossen Wassermenge (1 ccm Wasser wiegt 1 g; 1 ccm Eisen 7,6 g; 1 ccm Quecksilber 13,6 g), so gelangt man zu dem Begriffe des specifischen Gewichtes.

a) **Das specifische Gewicht eines Körpers ist diejenige Zahl, welche angiebt, wie viel mal so schwer der Körper ist als eine gleichgrosse Wassermenge;**

oder:

b) **Das specifische Gewicht eines Körpers ist das Gewicht seiner Volumeneinheit.**

Beträgt also das Gewicht eines Körpers p Gramm, sein Volumen v ccm, so ist sein spec. Gewicht . . $s = \frac{p}{v}$

In diese Formel kann man für v auch das Volumen bezw. das Gewicht ($p_w$) des von dem Körper verdrängten Wassers einsetzen . . . . . . . . . . $s = \frac{p}{p_w}$

oder auch nach dem ersten Teile des Archimedischen Principes den Gewichtsverlust (d), den der Körper im Wasser erleidet . . . . . . . . . . . . . . $s = \frac{p}{d}$

Für die nachfolgenden praktischen Uebungen empfiehlt es sich, eine Sammlung von geeigneten Uebungskörpern anzulegen, die einzeln in kleinen Pappschachteln (Mineralienkästen) und zusammen in einer Schublade oder einem flachen Holzkasten aufbewahrt werden. Den Uebungskörpern sind Zettel mit Notizen über die Versuchsergebnisse beigelegt; zweckmässig ist auch die Einrichtung eines Uebungs-Verzeichnisses, in welchem diese Ergebnisse übersichtlich vermerkt werden.

## D. Vorübungen.

### a) Uebungen an der Wage.

38. Das absolute Gewicht (p) von Körpern aus der Uebungssammlung (gleich grosse Stücke Bleiglanz und Kalkspath, 10-, 1-Pfennigstück, Flaschenkork, Stahlfeder) wird durch allmähliches Auflegen von Gewichten und Einschliessen in immer engere Grenzen möglichst genau bestimmt.

Enthält der Gewichtssatz Decigrammgewichte, so kann man die 2. Decimalstelle (Centigramm) durch Schätzung ermitteln. Hat man z. B. gefunden, dass das Gewicht eines Körpers zwischen 9,2 und 9,3 g liegt, und beobachtet man an dem Zeiger der Wage bei beiden Gewichten den gleichen Ausschlag, so ist p = 9,25 g; ist der Ausschlag bei 9,2 g Belastung kleiner, so schätzt man p = 9,23 g u. s. w.

Mit diesen Uebungen können praktische Berechnungen verbunden werden.

### b) Bestimmung des Volumens regelmässiger Körper.

39. Man misst mit Metermass, Schublehre u. s. w. die Dimensionen regelmässiger Körper (Holzwürfel, Messingcylinder, gerades Stück Kupferdraht, Glaskugel u. a.) und berechnet nach bekannten Formeln den Rauminhalt.

### c) Bestimmung des Volumens unregelmässiger Körper.

Man bestimmt nach einer der unten angegebenen Methoden das Volumen oder das Gewicht des von dem Körper verdrängten Wassers.

Wenn der Körper leichter ist als Wasser, so verbindet man ihn mit einem schweren, dessen Volumen bekannt ist; wenn der Körper im Wasser löslich ist, so benutzt man eine Flüssigkeit, in welcher er sich nicht auflöst (z. B. Petroleum für Steinsalz oder Alaun).

40. **Messcylinder.**

Man füllt den graduierten Cylinder bis zu einem gewissen Teilstriche mit Wasser, taucht den Körper ein und beobachtet, um wieviel ccm das Wasser steigt.

41. **Gefäss mit seitlichem Ausfluss.** Fig. 11.

Becher- und Trinkglas, Wage. Vergl. Uebung 3.

1. Man tariert das Becherglas auf der Wage; stellt

2. das Trinkglas unter die Abflussröhre des Volumenometers, füllt dieses mit Wasser und lässt bis zur inneren Mündung abfliessen.

3. Darauf stellt man das Becherglas unter den Abfluss, taucht den Körper am Faden in das Volumenometer ein und wägt das Becherglas samt dem von dem Körper verdrängten Wasser. Ist das Gewicht des letzteren p Gramm, so beträgt das Volumen des Körpers p ccm.

42. **Volumenometer nach Niemöller.** Fig. 12.

Vergl. Uebung 4.

43. **Volumenometer nach Hartl.** Fig. 14.

Vergl. Uebung 6. (Diese Methode ist wegen ihrer grösseren Genauigkeit den eben genannten vorzuziehen).

### 44. Gewichtsverlust im Wasser. Hydrostatische Wage.

Wiegt der Körper in der Luft p Gramm, im Wasser $p_1$ Gramm, so ist sein Volumen $v = (p - p_1)$ ccm.

### 45. Zeiger-Volumenometer. Kleine Körper.

Becherglas; Zeiger; Pipette; Wage.

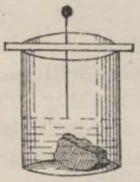


Fig. 23.

Das Volumen kleiner Körper (z. B. kleiner Krystalle) kann man, falls eine gute Wage zur Verfügung steht, sehr genau mit Hülfe der in Fig. 23 dargestellten einfachen Vorrichtung bestimmen, die wir kurz als Zeiger-Volumenometer bezeichnen. Sie besteht aus einem kleinen Becherglase und einem Zeiger, d. h. einem schmalen, kantigen Querbalken, durch welchen ein Drahtstift (längere Nadel) so hindurch gesteckt ist, dass er mit leichter Reibung auf- und abbewegt werden kann.

1. Becherglas nebst Zeiger tariert man auf der Wage und füllt das Glas vorsichtig mit Wasser, bis dieses die Spitze des Zeigers berührt. (Man beobachtet das Spiegelbild der Zeigerspitze und lässt das Wasser zuletzt aus einer Glasröhre — Pipette —, die an dem einen Ende zu einer Spitze ausgezogen ist und an dem anderen Ende mit dem Finger verschlossen wird, tropfenweise zufliessen).
2. Man bestimmt das Gewicht des nunmehr in dem Becherglase enthaltenen Wassers $= p_1$ Gramm.
3. Darauf entleert man das Becherglas, trocknet es sorgfältig, legt den Körper in das leere Glas und tariert beide nebst dem Zeiger.
4. Man füllt das Glas mit Körper wiederum bis an die Zeigerspitze mit Wasser (s. o.) und bestimmt das Gewicht des letzteren $= p_2$ Gramm. Das Volumen des Körpers ist dann $v = (p_1 - p_2)$ ccm.

## E. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper, welche schwerer sind als Wasser.

46. **Regelmässige Körper.**
Sammlung von Kubikcentimetern. Wage.

Würfel von 1 cm Seitenlänge aus den wichtigsten Metallen und deren Legierungen (Preis einer Sammlung von 12 Würfeln ca. 20 M.) werden gewogen, wodurch das spec. Gewicht der betr. Metalle u. s. w. unmittelbar gegeben ist. $v = 1;\ s = p.$

47. Wage; cm-Mass; Schublehre. — Messingcylinder; gerades Stück Kupferdraht; Glas- oder Elfenbeinkugel.

Man bestimmt das Gewicht und nach Uebung 39 das Volumen des Körpers . . . . . . . . $s = \frac{p}{v}$

48. **Unregelmässige Körper.**
Wage; Messcylinder. — Bleiglanz; Kalkspath; Ebenholz u. a.

Man wägt den Körper und bestimmt nach Uebung 40 das Volumen des von ihm verdrängten Wassers $s = \frac{p}{v}$

49. **Wage. Gefäss mit seitlichem Ausfluss.** Fig. 11.

Man wägt den Körper und bestimmt nach Uebung 41 das Gewicht des von ihm verdrängten Wassers

$$s = \frac{p}{p_w}$$

50. **Wage. Volumenometer nach Niemöller.** Fig. 12.
Vergl. Uebung 49 und 4.

51. **Wage. Volumenometer nach Hartl.** Fig. 14.
Vergl. Uebung 49 und 6.

52. **Wage. Zeiger-Volumenometer.** Fig. 23.
Kleine Krystalle; Schwefelkies; Magneteisenstein; Quarz.

Vergl. Uebung 49 und 45.

53. **Hydrostatische Wage.**
Bleigewicht; Glasstöpsel; Stück Braunkohle u. a.

Man bestimmt das Gewicht des Körpers in der Luft und im Wasser und erhält daraus den Gewichtsverlust, den der Körper im Wasser erleidet.

1. Gewicht des Körpers in der Luft . . . p Gramm;
2. „ „ „ im Wasser . . . $p_1$ „

$$s = \frac{p}{p - p_1}$$

54. **Senkwage von Nicholson.** Fig. 24.

Kleine Stücke Messing; Roteisenstein; Basalt u. a.


Fig. 24.

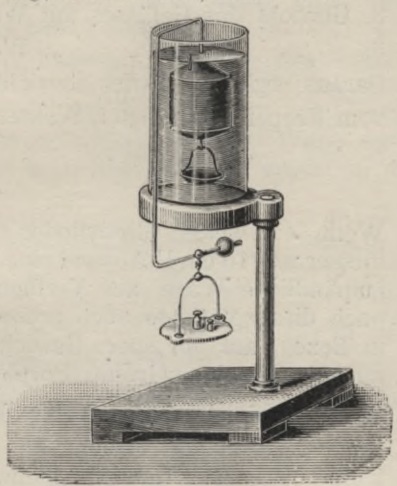



Fig. 25.

Man lässt die Senkwage bei drei verschiedenen Belastungen jedes Mal bis zur Spitze des cylindrischen Hohlkörpers in Wasser eintauchen. Es seien dazu folgende Belastungen erforderlich:

1. obere Schale . . . . . . . . . . . $p_1$ Gramm;
2. „ „ Körper und ausser diesem . $p_2$ „
3. untere Schale: Körper; obere Schale . $p_3$ „

dann ist

das absolute Gewicht des Körpers . . $p_1 - p_2$ „
sein Gewichtsverlust im Wasser . . $p_3 - p_2$ „

$$s = \frac{p_1 - p_2}{p_3 - p_2}$$

55. **Gewichtsaräometer.** Fig. 25.

Vergl. Uebung 54.

Wegen seiner grösseren Stabilität ist dieser Apparat der Senkwage von Nicholson vorzuziehen.

56. **Glas mit Deckplatte. Wage.**

Ein Trinkglas oder ein Glascylinder mit ebenem Rand wird ganz mit Wasser gefüllt, mit einer dünnen, abgeschliffenen Glasplatte bedeckt, aussen sorgfältig abgetrocknet (an der Deckplatte mit Fliesspapier) und gewogen.

Dann legt man den Körper, dessen Gewicht vorher bestimmt ist, in das Glas, füllt es wiederum mit Wasser, schiebt den Deckel von der Seite auf u. s. w. wie oben.

1. Gewicht des Körpers . . . . . . . . . . . $p$;
2. Gewicht des Gefässes mit Wasser . . . . . $p_1$;
3. „ „ „ „ Wasser und Körper . $p_2$.

Daraus ergiebt sich das Gewicht des vom Körper verdrängten Wassers . . . . $p + p_1 - p_2$.

$$s = \frac{p}{p + p_1 - p_2}$$

Wenn ein weiter Glascylinder (etwa von 10 cm Durchmesser und 15 cm Höhe) und eine kräftige, aber hinreichend empfindliche Wage zur Verfügung steht, so kann man nach dieser Methode auch grössere Mengen eines Körpers in Bezug auf ihr spec. Gewicht untersuchen (grob gemengte Gesteine, Granit, Porphyr u. a.)

57. **Kleine Körper.** Pyknometer. Wage.

Nach dem in der Uebung 56 beschriebenen Verfahren kann das spec. Gewicht kleiner Körper (Mineralien in Form von Körnern, kleinen Krystallen, Schrotkörner, usw.) bestimmen, wenn man anstatt des Glases mit Deckplatte ein Fläschchen mit Marke (s. u. Uebung 68) oder ein Pyknometer Fig. 28 (vergl. Uebung 69) anwendet.

58. **Kleine Körper. Gläschen. Hydrostatische Wage.**

Granat—, Turmalinkrystalle, Korundkörner.

Ein enges und dünnwandiges Probierglas schmilzt man etwa 3 cm vom oberen Rande ab, so dass unten eine feine Oeffnung bleibt und befestigt das kleine Glasgefäss an einem dünnen Faden; letzterer wird von dem umgebogenen Rande festgehalten.

Darauf nimmt man folgende Wägungen vor:

1. Gewicht des Körpers in der Luft . . . . . $p$;
2. „ „ Gläschens im Wasser . . . . . $p_1$;
3. „ „ Gläschens u. des Körpers im Wasser $p_2$.

Dann ist

das Gewicht des Körpers im Wasser . . . . $p_2 - p_1$;
mithin sein Gewichtsverlust „ „ . . $p - (p_2 - p_1)$.

$$s = \frac{p}{p - (p_2 - p_1)} = \frac{p}{p + p_1 - p_2}$$

59. **Pulverisierte Körper.** Gläschen mit Vaselin. Hydrostatische Wage.

Eisenfeilspäne; Smirgel; Sand u. a.

Man benutzt ein Gläschen wie in Uebung 58 (aber unten zugeschmolzen) und füllt es — nach Wiedemann und Ebert, Physikalisches Praktikum 4. Aufl. S. 49 — zu einem Drittel mit Vaselin. Letzteres lässt man durch gelindes Erwärmen schmelzen und entfernt etwa vorhandene Luftblasen durch Umrühren mit einem Glasstäbchen, welches im Gefässe verbleibt. Wenn das Vaselin erstarrt ist, wägt man das Gläschen zuerst in der Luft, dann im Wasser.

Sodann trocknet man das Gläschen innen und aussen mit Fliesspapier ab, schmilzt das Vaselin wiederum, schüttet soviel von dem pulverisirten Körper hinein, dass das Gläschen etwa zur Hälfte gefüllt ist, entfernt die Luftblasen u. s. w. wie oben.

Man bestimmt also das Gewicht des Gläschens

1. mit Vaselin in der Luft . . . . . . . . . $p_1$;
2. „ „ im Wasser . . . . . . . . . . . $p_2$;
3. mit Vaselin und Körper in der Luft . . . . $p_3$;
4. „ „ „ „ im Wasser . . . . $p_4$.

Dadurch findet man

das Gewicht des Körpers in der Luft . . . $p_3 - p_1$;
„ „ „ „ im Wasser . . . $p_4 - p_2$;
den Gewichtsverl. des „ „ „ . $p_3 - p_1 - (p_4 - p_2)$.

$$s = \frac{p_3 - p_1}{p_3 - p_1 - (p_4 - p_2)}$$

60. **Pulverisierte Körper.** Pyknometer nach Weinhold. Wage.

a. Das in Fig. 24 dargestellte Pyknometer (Preis einschl. Deckplatte, Pipette und Dreifuss 2,50 M; Lorenz, Chemnitz) wird getrocknet durch Erwärmen, Einblasen und Durchsaugen von Luft vermittelst der Pipette. Dann wägt man das leere Pyknometer, schüttet den pulverigen Körper ein (staubfreien Sand, Smirgel und dergl.) und wägt wiederum.

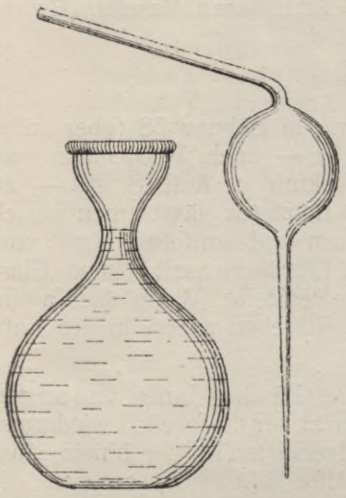


Fig. 26.

b. Darauf füllt man das Gefäss allmählich mit Wasser bis zur Marke, indem man zugleich die Luftblasen durch Schütteln entfernt. Nach der Füllung wird das Pyknometer oberhalb der Marke mit Fliesspapier abgetrocknet und zum dritten Male gewogen.

c. Nun entfernt man den Körper, indem man das Pyknometer ganz mit Wasser füllt und es in einem weiten Glasgefässe unter Wasser umkehrt (Benutzung des Dreifusses.)

d. Endlich wägt man das nur mit Wasser bis zur Marke gefüllte Pyknometer zum 4. Male. (s. Weinhold, Physikal. Demonstrationen S. 54 u. 55. Vergl. auch Uebung 56 und 57).

Aus den genannten vier Wägungen: Gewicht des Pyknometers

1. leer . . . . . . . . . . . . . . . . $p_1$,
2. mit dem Körper . . . . . . . . . . . . $p_2$,
3. „ „ „ und Wasser . . . . . . . $p_3$,
4. mit Wasser allein . . . . . . . . . . . . $p_4$,

ergiebt sich das

Gewicht des Körpers . . . . . . . . . . . $p_2 - p_1$,
„ des von ihm verdrängten Wassers $p_2 - p_1 + p_4 - p_3$.

$$s = \frac{p_2 - p_1}{p_2 - p_1 + p_4 - p_3}$$

## F. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper, welche leichter sind als Wasser.

61. **Regelmässige Körper.** Wage; cm-Mass; Schublehre.
Holzcylinder; cylindrischer, dichter Weinkork; Holzkugel.

Man bestimmt Gewicht und Volumen des Körpers wie in Uebung 47 . . . . . . . . . . . . $s = \frac{p}{v}$

62. **Unregelmässige Körper.** Wage; Messcylinder.
Kork; Messinggewicht; Blumendraht.


Fig. 27.

Man wägt den Körper, z. B. ein Stück Tannenholz oder einen möglichst dichten Flaschenkork und bestimmt sein Volumen, indem man ihn in Verbindung mit einem angehängten Blei- oder Messinggewicht (Fig. 27.) in einen bis zu einer passenden Höhe mit Wasser gefüllten Messcylinder einsenkt. Zunächst lässt man nur das Messinggewicht eintauchen und beobachtet dann, um wie viel ccm das Wasser steigt, wenn auch der leichte Körper ganz untergetaucht wird.

63. **Wage; Volumenometer.**

Man bestimmt Gewicht und Volumen des Körpers wie in der Uebung 62, wendet jedoch statt des Messcylinders ein Volumenometer an (Vergl. Uebung 41 und 6), am zweckmässigsten das Heber-Volumenometer.

64. **Hydrostatische Wage.**
Kork; Tannenholz; Messinggewicht oder Bleidraht.

Man verbindet wie in den vorhergehenden Uebungen 62 und 63 den leichten Körper mit einem schweren, so dass beide im Wasser untersinken und bestimmt mit Hülfe der hydrostatischen Wage

1. das Gewicht des leichten Körpers in der Luft . $p$;
2. „ „ „ schweren „ im Wasser . $p_1$;
3. „ „ der beiden verb. Körper im W. . . $p_2$.

Dann ist

das Gewicht des leichten Körpers im Wasser . $p_2—p_1$,
also sein Gewichtsverlust im Wasser . . $p—(p_2—p_1)$.

$$s = \frac{p}{p-(p_2-p_1)} = \frac{p}{p+p_1-p_2}$$

65. **Glas mit Deckplatte; Wage.**

Das in Uebung 56 beschriebene Verfahren kann man auch auf kleine leichte Körper anwenden. Man drückt vor der dritten Wägung den schwimmenden Körper vorsichtig mit der Deckplatte nieder; letztere wird durch Adhäsion bezw. den äusseren Luftdruck an dem abgeschliffenen Rande des Gefässes festgehalten.

66. **Wage.**

Kork; Messingdraht; Stativ. — Becherglas.

Man befestigt den Körper, etwa einen dichten Kork, an einem genügend steifen Messingdraht und klemmt diesen in ein kleines Stativ ein. Darauf stellt man ein Becherglas mit Wasser auf die eine Schale einer Wage und taucht den Kork am Draht ganz in das Wasser ein.

Folgende Wägungen sind vorzunehmen:

1. Gewicht des Körpers . . . . . . . . . . $p$;
2. „ des Gefässes mit Wasser v. d. Eintauchen . $p_1$;
3. „ „ „ „ „ nach d. „ . . $p_2$.

Daraus ergiebt sich das Gewicht
des von dem Körper verdrängten Wassers . . $p_2—p_1$.

$$s = \frac{p}{p_2 - p_1}$$

67. **Senkwage von Nicholson.**

Das spec. Gewicht eines leichten Körpers kann auch mit Hülfe der Senkwage bestimmt werden, wenn man den Körper bei der dritten Wägung (vergl. Uebung 54 u. 55) u n t e r die im Wasser befindliche, siebartig durchlöcherte Schale bringt. Letztere müsste zu diesem Zwecke mit dem cylindrischen Hohlkörper der Senkwage fest verbunden sein und einen nach unten vorstehenden Rand haben.

## G. Bestimmung des specifischen Gewichtes flüssiger Körper.

68. **Fläschen mit Marke. Wage.**

Ein Fläschchen, etwa 3 cm hoch, versieht man am Halse mit einer Marke (Feilstrich).
Man wägt das Fläschchen leer, füllt es bis zur Marke mit Wasser — das überstehende Wasser lässt man durch Fliesspapier aufsaugen — und wägt wiederum.

Darauf giesst man das Wassser aus, trocknet das Fläschchen durch Erwärmen und Durchsaugen eines Luftstromes, füllt es bis zur Marke mit der Flüssigkeit (etwa Quecksilber) und wägt zum dritten Male.

1. Gewicht des Gläschens leer . . . . . . . . . $p_1$;
2. „ „ „ mit Wasser . . . . . $p_2$;
3. „ „ „ mit der Flüssigkeit . . $p_3$.

Es ist nun

das Gewicht der Flüssigkeit . . . . . . . . . $p_3 - p_1$;
„ „ des Wassers . . . . . . . . $p_2 - p_1$.

$$s = \frac{p_3 - p_1}{p_2 - p_1}$$

Bei einer Wiederholung des Versuches ist nur die Wägung 3 erforderlich.

69. **Pyknometer. Wage.**

Fig. 28.

Zur genaueren Bestimmung des spec. Gewichtes einer Flüssigkeit nach der in Uebung 68 angegebenen Methode kann man sich der käuflichen 10-, 30-, 100 Grammfläschchen (Fig. 26) oder ähnlicher Pyknometer bedienen. Auch hier ist, wenn Gewicht und Volumen des Pyknometers aus vorhergegangenen Versuchen bekannt sind, nur eine Wägung (3) auszuführen (Das Abtrocknen des Pyknometers muss mit besonderer Sorgfalt geschehen; insbesondere ist eine Erwärmung des Fläschchens durch die Hand während des Versuches zu vermeiden).

70. **Schwimmer. Messcylinder.**

Man stellt, wie in Uebung 8, aus einem mit Schrot beschwerten Probierglas einen Schwimmer her, füllt einen Messcylinder bis zu einem gewissen Teilstriche einmal mit Wasser, darauf mit der Flüssigkeit (z. B.) Alkohol und senkt jedesmal den Schwimmer ein. In beiden Fällen ist dás Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmengen gleich gross (gleich dem Gewicht des Schwimmers).

Steigt das Wasser um $v_1$ ccm, die Flüssigkeit um $v_2$ ccm, so wiegen $v_2$ ccm der letzteren $v_1$ Gramm, mithin ist . . . . . . . . . . . . . $s = \frac{v_1}{v_2}$

Für spätere Wiederholungen des Versuches bewahrt man den Schwimmer (Probierglas mit Schrot, durch einen Kork verschlossen) in der Uebungssammlung auf. Verdrängt dieser Schwimmer, dessen Gewicht p mit der Wage bestimmt und etwa an dem Kork vermerkt wird, von irgend einer Flüssigkeit v ccm, so ist das spec. Gewicht der letzteren . . . . . . . . . $s = \frac{p}{v}$

71. **Volumenometer. Stein am Faden.**

Wage. Becherglas.

Ein Heber-Volumenometer (Fig. 14) füllt man mit Wasser, lässt einen Stein am Faden ganz eintauchen, fängt die verdrängte Wassermenge in einem vorher tarierten Becherglase auf und bestimmt ihr Gewicht ($p_1$). Darauf füllt man das Volumenometer mit der Flüssigkeit (Alkohol) und verfährt wie oben.

In beiden Fällen ist das Volumen der verdrängten Flüssigkeitsmengen gleich gross ($p_1$ ccm).

1. Volumen der verdrängten Flüssigkeit (Alkohol) . $p_1$;
2. Gewicht „ „ „ . . . . $p_2$.

$$s = \frac{p_2}{p_1}$$

72. **Hydrostatische Wage. Glaskörper.**

Man wägt einen Senkkörper (Glasstöpsel oder ein mit Quecksilber beschwertes und zugeschmolzenes Glasröhrchen Fig. 15d) in Luft, in Wasser und in der Flüssigkeit (Alkohol, Glycerin u. a.)

1. Gewicht des Glaskörpers in der Luft . . . . $p_1$;
2. „ „ „ im Wasser . . . . $p_2$;
3. „ „ „ in der Flüssigkeit . . $p_3$.

Da der Gewichtsverlust des Körpers gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeitsmenge ist, so ist also das Gewicht des verdrängten Wassers . . . $p_1—p_2$;
„ „ der „ Flüssigkeit . . $p_1—p_3$.

$$s = \frac{p_1 - p_3}{p_1 - p_2}$$

73. **Senkwage von Nicholson.** Fig. 24. **Wage.**

Man bestimmt das Gewicht der Senkwage und lässt diese in Wasser und darauf in die Flüssigkeit (Alkohol) bis zur Marke eintauchen, indem man auf die obere Schale entsprechende Gewichte auflegt.

1. Gewicht der Senkwage . . . . . . . . . . $p_1$;
2. Belastung der oberen Schale (Wasser) . . . $p_2$;
3. „ „ „ „ (Flüssigkeit) . . $p_3$.

In beiden Fällen (2 und 3) ist das Volumen der verdrängten Flüssigkeitsmengen gleich gross, nämlich gleich $(p_1 + p_2)$ ccm. Es wiegen also $(p_1 + p_2)$ ccm der Flüssigkeit $(p_1 + p_3)$ Gramm, mithin ist

$$s = \frac{p_1 + p_3}{p_1 + p_2}$$

74. **Mohr'sche Wage.**

Zur bequemen und schnellen Bestimmung des spec. Gewichtes einer Flüssigkeit im Anschluss an die in Uebung 72 beschriebene Methode dient die Mohr'sche Wage. (Preis 42 M; F. Ernecke, Berlin.)

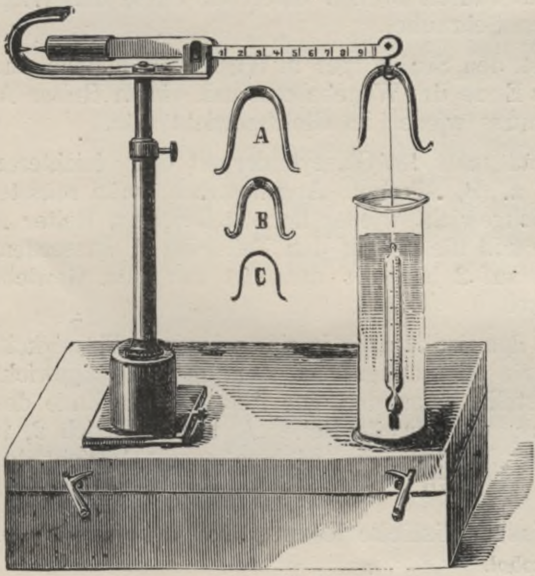


Fig. 29

Die Einrichtung dieses lehrreichen Apparates ist aus Fig. 29 ersichtlich. Hängt man an dem Ende des in 10 Teile geteilten Wagebalkens den Senkkörper (aus einem kleinen Thermometer bestehend) an einem feinen Drahte auf, so ist die Wage im Gleichgewicht.

Als Gewichte dienen vier Reiter, zwei gleich schwere, grössere A, und zwei kleinere B und C; von diesen ist B $= \frac{1}{10}$ A, C $= \frac{1}{100}$ A.

Taucht der an der Wage hängende Senkkörper in Wasser ein, so wird das Gleichgewicht wiederhergestellt, wenn man einen der Reiter A an das Ende des Wagebalkens hängt (vergl. Fig. 29); d. h. der Gewichtsverlust des Senkkörpers im Wasser ist = A.

Lässt man den Senkkörper in eine Flüssigkeit eintauchen, welche leichter ist als Wasser, z. B. in Alkohol, so muss der Reiter A von dem Ende des Wagebalkens fortgenommen und etwa am Teilstrich 7 angehängt werden, um das Gleichgewicht wiederherzustellen. Der Gewichtsverlust des Senkkörpers in der leichteren Flüssigkeit ist dann 0,7 A, ihr spec. Gewicht also $s = 0{,}7\ A : A = 0{,}7$.

Bei einer Flüssigkeit, welche schwerer ist als Wasser, z. B. Glycerin, muss man den einen Reiter A an das Ende des Wagebalkens und ausserdem den zweiten Reiter A etwa an den Teilstrich 2 hängen, damit die Wage wieder im Gleichgewicht ist. Daraus ergiebt sich als spec. Gewicht der schwereren Flüssigkeit $s = 1{,}2\ A : A = 1{,}2$.

Bei Anwendung der kleineren Gewichte B und C kann man sofort das spec. Gewicht auf 2 bezw. 3 Decimalstellen bestimmen.

Ausführung des Versuches:

1. Man bringt die mit dem Senkkörper belastete Wage in's Gleichgewicht (durch Drehen einer am Fusse der Wage angebrachten Schraube).

2. Man lässt den Senkkörper in Wasser eintauchen und belastet das Ende des Wagebalkens mit einem Reiter A. Die Wage muss wieder im Gleichgewicht sein.

3. Darauf füllt man den Glascylinder mit einer leichteren Flüssigkeit, z. B. Alkohol. Angenommen, man müsste, um das Gleichgewicht wieder herzustellen, den Reiter A fortnehmen und diesen auf den Teilstrich 7, ausserdem B auf 9, C auf 2 hängen; dann ist das spec. Gewicht der Flüssigkeit $s = 0{,}792$.

4. Man lässt den Senkkörper in eine schwerere Flüssigkeit, z. B. Glycerin eintauchen; ist nun das Gleichgewicht wiederhergestellt, wenn der eine Reiter A am Ende des Wagebalkens, der zweite Reiter A auf Teilstrich 2, B auf 7, C auf 5 hängt, so ist das spec. Gewicht des Glycerins $s = 1{,}275$.

75. **Feste, in Wasser lösliche Körper.** Messcylinder; Wage. Steinsalz; Alkohol.

Man bestimmt Gewicht und Volumen des Körpers; letzteres mit Hülfe eines Messcylinders (vergl. Uebung 40) und einer Flüssigkeit, in welcher sich der Körper nicht auflöst (Steinsalz — absoluter Alkohol).

$$s = \frac{p}{v}$$

76. **Hydrostatische Wage.**

Steinsalz; Alaun; Kupfervitriol u. a. — Alkohol; Oel; Petroleum.

Man wägt den Körper in der Luft und in einer Flüssigkeit, in welcher er sich nicht auflöst und ermittelt nach einer der vorhergehenden Methoden das spec. Gewicht dieser Flüssigkeit.

1. Gewicht des Körpers in der Luft . . . . . . $p$;
2. „ „ „ „ „ Flüssigkeit . . . $p_1$;
3. Spec. Gewicht der Flüssigkeit . . . . . . . $s_1$.

Daraus ergiebt sich das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit . . . . . . . . $p-p_1$,
und, da die Flüssigkeit $s_1$ mal so schwer ist als Wasser,

das Gewicht einer gleichen Wassermenge $\frac{p-p_1}{s_1}$

Demnach ist

$$s = p : \frac{p-p_1}{s_1} = \frac{p\,s_1}{p-p_1}$$

77. **Kleine, im Wasser lösliche Körper.**

Pyknometer; Wage.

Ein Pyknometer (vergl. Uebung 68) füllt man mit einer Flüssigkeit, in welcher sich der Körper nicht auflöst und verfährt wie in Uebung 60. Das spec. Gewicht der Flüssigkeit $s_1$ muss vorher bestimmt werden, falls es nicht als bekannt voraus gesetzt ist. Man erhält (s. die Bezeichnung in Uebung 60)

$$s = \frac{(p_2-p_1)\,s_1}{p_2-p_1+p_4-p_3}$$

78. **Skalen-Aräometer.**

Auf die Anwendung der Senkwagen, welche zur Bestimmung des Procentgehaltes von Lösungen dienen (Alkoholometer, Salzspindel, Milchwagen u. s. w.), kann hier nicht näher eingegangen werden. Ein einfaches Skalen-Aräometer zur Bestimmung des spec. Gewichtes einer Lösung bezw. einer Flüssigkeit kann man folgendermassen herstellen.

a) Ein langes, gut cylindrisches Probirglas wird an der halbkugeligen Basis stark erhitzt und dann auf eine glatte Steinfläche (Schieferplatte) aufgedrückt, so dass der Boden eben wird.

b) Ein Streifen karriertes Papier (Millimeterpapier) von der

Länge der Röhre und halb so breit als deren Umfang wird an den Teilstrichen mit den fortlaufenden Zahlen beschrieben, darauf über einer dünnen Glasröhre gekrümmt und in das Probierglas geschoben, so dass das Papier sich glatt an die Wand anlegt.

c. Zur Befestigung dieser Skala schiebt man eine Korkscheibe auf den Boden der Röhre und schichtet darüber etwas Watte. Darauf beschwert man das Probirglas mit Schrot, so dass es aufrecht im Wasser schwimmt und etwa zu $^3/_4$ seiner Länge einsinkt. Das Aräometer wird durch einen kleinen Kork verschlossen, der zugleich zur weiteren Befestigung der Skala dient.

Ausführung des Versuches:

Taucht das Aräometer in Wasser etwa bis zum Teilstrich 20, in die Flüssigkeit, deren spec. Gewicht s man bestimmen will, bis zum Teilstrich 25 ein, so ergiebt sich s aus der Proportion $1 : s = 25 : 20$. (Erklärung!)

Soll das spec. Gewicht einer Flüssigkeit bestimmt werden, welche schwerer ist als Wasser, so belastet man das Aräometer soweit, dass es fast ganz in Wasser einsinkt; zweckmässig ist die Anfertigung eines zweiten Apparates für schwerere Flüssigkeiten.

# Uebungs- und Denkaufgaben.

Von den Grössen: $p$ . . . absolutes Gewicht eines Körpers,
$v$ . . . Volumen,
$p_1$ . . . Gewicht im Wasser,
$d$ . . . Gewichtsverlust im Wasser,
$s$ . . . spec. Gewicht,

sind je zwei gegeben; die übrigen a) allgemein; b) für die angegebenen Beispiele zu berechnen.

79. a) $p$; $v$. ($s$; $d$; $p_1$). b) $p = 30$ g; $v = 5$ ccm.

80. a) $p$; $p_1$. ($d$; $s$; $v$). b) $p = 16$ g; $p_1 = 12$ g.

81. a) $p$; $d$. ($s$; $p_1$; $v$). b) $p = 200$ g; $d = 25$ g.

82. a) $p$; $s$. ($v$; $d$; $p_1$). b) $p = 1$ kg; $s = 5$.

83. a) $v$; $s$. ($p$; $d$; $p_1$). b) $v = 18$ ccm; $s = 0{,}2$.

84. a) $v$; $p_1$. ($d$; $p$; $s$) b) $v = 5$ ccm; $p_1 = 40$ g.

85. a) $p_1$; $s$. ($d$; $v$; $p$). b) $p_1 = 12$ g; $s = 7$.

86. Ein Stück Kalkspath wiegt 37,4 g und verdrängt in einem Messcylinder 14.3 ccm. Wasser. Wie gross ist das spec. Gewicht des Kalkspathes?

87. Ein Stück Ebenholz wiegt 13,7 g und verdrängt, in ein gefülltes Heber-Volumenometer eingetaucht, 10,5 g Wasser. Wie gross ist das spec. Gewicht des Ebenholzes?

88. Ein Stück Antimon wiegt 14,81 g. Mit Hülfe eines Zeiger-Volumenometers findet man, dass sein Volumen 2,2 ccm beträgt. Wie gross ist das spec. Gewicht des Antimons?

89. Wie gross ist das spec. Gewicht der Braunkohle, wenn 0,035 cbm 45.5 kg wiegen?

90. Ein gusseiserner Würfel von 5 cm Seitenlänge wiegt 937,5 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Gusseisens?

91. Ein Quarzkrystall wiegt in der Luft 23,5 g, im Wasser 14,6 g. Das spec. Gewicht des Quarzes zu berechnen.

92. Ein Schwefelkieswürfel wiegt in der Luft 15,55 g und verliert im Wasser 3.15 g. Wie gross ist sein spec. Gewicht?

93. Welchen Raum nimmt je 1 kg Gold (s = 19,3), Silber (10,5), Aluminium (2,7), Eis (0,92), Tannenholz (0,5) ein?

94. Wie gross ist die Seitenlänge eines Würfels aus Elfenbein, (s = 1,8), welcher 14,4 g wiegt?

95. Welchen Durchmesser hat eine 10 kg schwere Kanonenkugel aus Gusseisen (s = 7,5)?

96. Welchen Gewichtsverlust erleidet ein menschlicher Körper (s = 1,1) von 75 kg Gewicht, wenn er ganz im Wasser untertaucht?

97. Wie gross ist der Gewichtsverlust von 1000 kg Kalkstein (s = 2,5) im Wasser?

98. Wie viel wiegt ein 2400 kg schwerer eiserner Schiffs-Anker (s = 7,5) im Wasser?

99. Wie viel wiegen 4,575 cbm Steinkohlen (s = 1,4)?

100. Wie viel wiegt ein hl Spiritus (s = 0,79)?

101. Wie viel wiegen 1000 Ziegelsteine (s = 1,9), wenn jeder 30 cm lang, 15 cm breit und 5 cm hoch ist?

102. Wie schwer ist ein rechtwinkliger Marmorblock (s = 2,6), dessen drei Kanten sich wie 3 : 4 : 5 verhalten und zusammen 6 m lang sind?

103. Welchen Wert hat eine Goldstange von der Form eines regelmässig sechsseitigen Bleistifts, welcher eine Länge von 18 cm und einen Umfang von 2,4 cm hat, wenn das spec. Gewicht des Goldes s = 19,3 ist und 1 g Gold 2,79 M kostet?

104. Wie schwer ist ein 11 cm hoher Briefbeschwerer aus Glas (s = 2,6), bestehend aus einem Würfel von 5 cm Kantenlänge und einer aufgesetzten Pyramide von gleicher Grundkante?

105. Ein Zuckerhut hat die Gestalt eines geraden Kegels und zwar misst der Durchmesser der Grundfläche 20 cm und die Seitenlinie 50 cm. Wie viel kostet der Zuckerhut, wenn das spec. Gewicht des Zuckers s = 1,5 und 1 kg mit 0,60 M berechnet wird?

106. Wie schwer ist eine Bleikugel von 2 cm Durchmesser, wenn das spec. Gewicht des Bleies s = 11,4 ist?

107. Wie viel wiegt eine Kegelkugel aus Pockholz (s = 1,3), deren Durchmesser 20 cm beträgt?

108. Wie viel wiegen 25 ccm Schwefel (s = 1,9) im Wasser?

109. Ein Glaswürfel von 6 cm Seitenlänge wiegt im Wasser 345,6 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Glases?

110. Ein Stück Kalkspath ($s = 2,7$) verliert im Wasser 26,3 g. Wie gross ist sein absolutes Gewicht?

111. Ein Schlüssel aus Aluminium ($s = 2,7$) wiegt im Wasser 6,15 g. Wie gross ist sein absolutes Gewicht?

112. Ein eiserner Hausthürschlüssel ($s_1 = 7,6$) wiegt 80 g. Wie schwer würde ein eben so grosser Schlüssel aus Aluminium ($s_2 = 2,7$) sein?

---

113. Wie gross ist das spec. Gewicht des Schwefels, wenn das Gewichtsaräometer (Fig. 25, Uebung 55) bei folgenden Belastungen bis zur Marke einsinkt:

1) äussere Schale . . . 10,9 g; 2) äussere Schale . . . Stück Stangenschwefel u. ausserdem 2,3 g; 3) innere Schale . . . Schwefel; äussere Schale . . . 6,7 g?

114. Das spec. Gewicht des Korund soll mit Hülfe des Pyknometers (Fig. 26, Uebung 60) aus folgenden Wägungen bestimmt werden.

Das Pyknometer wiegt

1) leer . . . 13,2 g; 2) mit den Korundkörnern . . . 16,6 g; 3) mit Korund und Wasser . . . 56,5 g; 4) mit Wasser allein . . . 53,9 g.

115. Ein Stück Eschenholz wiegt in der Luft 31,75 g; ein Messinggewicht wiegt im Wasser 52,2 g; beide Körper verbunden wiegen im Wasser 38,8 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Eschenholzes?

116. Ein Fläschchen (Uebung 68) wiegt mit der Luft gefüllt 10,89 g, mit Wasser 16,21 g, mit Quecksilber 83,36 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Quecksilbers?

117. Ein Glasstöpsel (Uebung 72) wiegt in der Luft 7,37 g, im Wasser 4,26 g, im Glycerin 3,55 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Glycerin?

118. Wieviel wiegt eine Glaskugel ($s_1 = 2,6$) von $2r = 4$ cm Durchmesser in Petroleum ($s_2 = 0,8$)?

119. Ein Stück Steinsalz wiegt in der Luft 12,6 g, in Alkohol ($s_1 = 0,79$) dagegen nur 8,1 g. Wie gross ist das spec. Gewicht des Steinsalzes?

---

120. Zwei Würfel aus Blei ($s_1 = 11,4$) und Zink ($s_2 = 7,1$) wiegen im Wasser gleichviel. In welchem Verhältnis stehen ihre absoluten Gewichte?

121*. An eine gleicharmige Wage sind statt der Schalen je ein kg-Stück aus Messing ($s_1 = 8{,}5$) und Gusseisen ($s_2 = 7{,}5$) gehängt, so dass die Wage im Gleichgewicht ist. Was geschieht, wenn die beiden Gewichtstücke vollständig unter Wasser getaucht werden, und wodurch lässt sich das gestörte Gleichgewicht wiederherstellen?

122. In dem S. 5 erwähnten Gedichte (de ponderibus et mensuris) heisst es, die Differenz des Gewichtsverlustes, welchen gleiche Gewichte Gold ($s_1 = 19{,}3$) und Silber ($s_2 = 10{,}5$) beim Wägen unter Wasser erleiden, betrüge $^1/_{25}$ ihres Gewichtes. Ist diese Angabe zutreffend?

123*. Wage; Becherglas; Stein am Faden.

Auf die eine Schale einer Wage stellt man ein Gefäss mit Wasser und senkt an einem Faden ein Stück Kalkspath, dessen Gewicht $p = 72{,}2$ g vorher bestimmt ist, auf den Boden des Gefässes. Die Wage wird darauf ins Gleichgewicht gebracht. Hebt man nun vermittelst des Fadens den Stein, so dass er im Wasser schwebt, so muss man die Belastung der Wage um $p_1 = 45{,}9$ g vermindern, damit wiederum Gleichgewicht eintritt. Wie lässt sich hieraus das spec. Gewicht des Kalkspathes berechnen?

124. Wie gross ist das spec. Gewicht des Glockenmetalls, wenn dasselbe aus 78 Teilen Kupfer ($s_1 = 8{,}9$) und 22 Teilen Zinn ($s_2 = 7{,}3$) besteht?

125. Wie viel Kupfer ($s_1 = 8{,}9$) muss man zu 1000 g Gold ($s_2 = 19{,}3$) zusetzen, damit die Legierung das spec. Gewicht $s = 12$ erhält?

126*. Wie viel Prozent Kupfer ($s_1 = 8{,}9$) und Zink ($s_2 = 7{,}1$) enthält ein Stück Messing, welches in der Luft 212,5 g, im Wasser 187,5 g wiegt?

127*. Bestimme wie in Nr. 126 die Zusammensetzung anderer Legierungen (Lötblei, Gold- und Silbermünzen u. a.).

128. Die Krone des Königs Hiero von Syrakus wog nach Vitruv 10 kg und verlor im Wasser $^5/_8$ kg.

a) Wieviel hätte sie an Gewicht verlieren müssen, wenn sie aus reinem Gold ($s_1 = 19{,}3$) bestand?

b) Wie viel Gold und Silber ($s_2 = 10{,}5$) enthielt sie in Wirklichkeit?

---

129*. **Glas- oder Elfenbeinkugel.**

Schublehre. Zeiger-Volumenometer. Wage.

a) Man misst den Durchmesser 2 r der massiven Kugel

(Mittelwert aus mehreren Messungen), berechnet ihr Volumen und prüft den gefundenen Wert mit dem Zeiger-Volumenometer. (vergl. Uebung 45).

130*. b) Man bestimmt das Volumen der Kugel wie oben und ihr Gewicht mit Hülfe der Wage. Wie gross ist das spec. Gewicht des Glases, bezw. des Elfenbeins?

131*. c) Das Volumen einer Elfenbein- (Glas-) kugel wird aus ihrem Durchmesser berechnet oder mit einem Volumenometer ermittelt. Das spec. Gewicht des Elfenbeins $s = 1{,}8$ sei gegeben. Wie gross ist das Gewicht p der Kugel? (Prüfung des berechneten Wertes mit der Wage.)

132*. d) Aus p und s das Volumen v und den Durchmesser 2 r der Kugel zu berechnen. (s sei gegeben; p wird mit Hülfe der Wage bestimmt. Prüfung der für v und 2 r gefundenen Werte mit einem Volumenometer, bezw. der Schublehre.)

133*. **Gerades Stück Kupferdraht.**

Schublehre; cm-Maas; Wage.

a) Man misst Durchmesser 2r und Länge l des Drahtes, berechnet sein Volumen v und bestimmt mit Hülfe der Wage sein Gewicht p.

Wie gross ist das spec. Gewicht s des Kupfers?

134*. b) Aus 2 r, l und s das Gewicht p des Drahtes zu berechnen. Prüfung mit der Wage.

135*. c) Aus 2 r und s das Volumen und Gewicht eines Drahtes von 50 km Länge zu berechnen. (Beisp $2\,r = 2$ mm; 1 mm; 0,5 mm.) — Wie lang würde ein Draht von gleichem Durchmesser werden, den man aus einem Kupferwürfel von 1 dcm Seitenlänge herstellen kann?

136*. d) Aus l, p, s den Durchmesser 2 r zu berechnen. Prüfung mit der Schublehre. (Bestimmung des Durchmessers eines sehr dünnen Drahtes.)

137*. **Glasröhre.**

Schublehre; cm-Mass; Wage.

a) Man bestimmt durch Messung mit Schublehre und cm-Mass den Durchmesser 2 r einer Glasröhre mit geraden Endflächen, ihre Wandstärke d und mit Hülfe der Wage ihr Gewicht p.

Das spec. Gewicht des Glases soll berechnet werden.

Beispiel: $2\,r = 1{,}2$ cm; $d = 0{,}2$ cm; $l = 30$ cm; $p = 48{,}98$ g.

138*. b) Aus 2 r, d, l, s = 2,6 das Gewicht der Glasröhre zu berechnen. Prüfung des gefundenen Wertes mit der Wage.

139*. c) Aus 2 r, l, p, s die Wandstärke (bezw. die innere Weite) der Glasröhre zu berechnen.

140*. d) Bestimmung der inneren Weite einer engen Glasröhre.

Man bringt einen Quecksilberfaden in die Röhre (durch vorsichtiges Ansaugen, nachdem man einen Gummischlauch und ein Glasrohr mit kugeliger Erweiterung eingeschaltet hat), misst die Länge l des Fadens an verschiedenen Stellen der Röhre und bestimmt sein Gewicht p durch Wägung in einem tarierten Uhrglas oder Pyknometer (Fig. 26). Das spec. Gewicht (s) des Quecksilbers ist gegeben. Beispiel: Wie gross ist der innere Durchmesser $2\rho$ der Glasröhre, wenn

$l = 8{,}55$ cm; $p = 1{,}32$ g; $s = 13{,}6$?

141*. **Holz- oder Korkkugel.**

Schublehre; Wage; Volumenometer.

a) Man bestimmt wie in Aufgabe 129 Durchmesser, Volumen und Gewicht der Kugel. Das spec. Gewicht des Holzes zu berechnen.

142*. b) mit Hülfe eines Heber-Volumenometers nachzuweisen, dass das Gewicht des von einer schwimmenden Kugel verdrängten Wassers gleich dem Gewicht der Kugel ist.

143. c) Eine Kugel aus Ahornholz ($s_1 = 0{,}7$), deren Durchmesser 2 r = 6 cm beträgt, soll mit einer Bleikugel ($s_2 = 11{,}4$) verbunden werden, so dass beide Körqer im Wasser schweben. Wie gross muss der Durchmesser der Bleikugel sein?

144. d) Eine dünne Angelschnur trägt als Schwimmer eine Korkkugel ($s_1 = 0{,}24$) von 2r = 3 cm Durchmesser. Wie schwer darf die Angel ($s_2 = 7{,}6$) höchstens sein, wenn der Schwimmer nur bis zur Hälfte in Wasser einsinken soll und das Gewicht der Schnur vernachlässigt wird?

145*. **Cylindrischer, dichter Kork.**

Schublehre; Wage. — Kupferdraht; Korkbohrer; Siegellack.

a) Durch einen goldenen Ring von 2 r = 2,2 cm innerer Weite, welcher (in der Luft p = 8 g und) im Wasser $p_1 = 7{,}5$ g wiegt, soll ein genau in den cylindrischen Hohlraum passender Kork (s = 0,24) gesteckt werden, sodass beide Körper verbunden im Wasser schweben. Wie lang muss der Korkcylinder sein?

146*. b) Ein cylindrischer Kork ($s_1 = 0,24$) von $2\ r = 2,4$ cm Durchmesser und $h = 4$ cm Höhe soll mit Kupferdraht ($s_2 = 8,9$) von $2\rho = 2$ mm Dicke umwickelt werden, so dass beide Körper im Wasser schweben. Wie lang muss der Draht genommen werden?

147*. c) Ein cylindrischer Kork ($s = 0,24$), dessen Durchmesser 2r gemessen wird, soll in einer centralen, ebenfalls cylindrischen Durchbohrung mit Siegellack ausgefüllt werden, so dass er zur Hälfte in Wasser einsinkt. Ein Stück des zu verwendenden Siegellacks wiegt in der Luft p, im Wasser $p_1$ Gramm. Wie gross muss der Durchmesser der Durchbohrung sein?

Beispiel: $2\ r = 2,3$ cm; $p = 9,1$ g; $p_1 = 3,6$ g.

148*. d) Ein cylindrischer Kork ($s_1 = 0,2$) misst im Durchmesser $2\ r = 2,4$ cm, in der Höhe $h = 4$ cm.

a) Welche Tragfähigkeit hat der Kork im Wasser?

b) Wie viele solcher Korke müsste man nehmen, um einen Schwimmgürtel herzustellen, welcher einen Menschen von 53 kg Gewicht ($s_2 = 1,02$) tragen kann, so dass nur der 3 kg schwere Kopf aus dem Wasser hervorragt?

149*. Ein leeres Tintenglas mit glatter Wand soll so belastet werden, dass es mit seinem unteren cylindrischen Teile ganz in Wasser einsinkt. Die hierzu erforderliche Gewichtsmenge Wasser (Schrot, Quecksilber) soll berechnet, und der gefundene Wert durch den Versuch geprüft werden.

150. Ein cylindrischer Becher aus Holz ($s = 0,5$) von $h = 30$ cm Höhe, $2\ r = 12$ cm äusseren Durchmesser und $d = 2$ cm Wand- und Bodenstärke soll so belastet werden, dass er bis zum Rande in Wasser einsinkt. Wie viel Gramm Quecksilber oder Schrot muss man zu diesem Zwecke in das Gefäss schütten?

151*. Probierglas mit Schrot. Wage; Schublehre; cm-Mass. Vergl. Z V. 281.

Ein langes, gut cylindrisches Probierglas mit halbkugeliger Kuppe wird mit Schrot beschwert, so dass es aufrecht in Wasser schwimmt.

a) Man misst den Durchmesser der Röhre an mehreren Stellen. Der Mittelwert sei 2 r.

b) Man misst mit einem aussen angelegten cm-Mass die Höhe h, bis zu welcher der Schwimmer in Wasser eintaucht. (h wird gemessen von der Basis der halbkugeligen Kuppe bis zum Wasserspiegel. — Man kann auch wie in

Uebung 78 einen Papierstreifen mit Millimeterteilung in die Röhre einlegen, so dass der Nullpunkt der Teilung an der Basis der Kuppe liegt).

c) Das Gewicht der von dem Schwimmer verdrängten Wassermenge ergiebt sich nun aus der Formel $p = r^2 \pi h + {}^2/_3 r^3 \pi$.

d) Der Schwimmer wird aus dem Wasser gehoben, sorgfältig abgetrocknet und gewogen. Sein Gewicht $p_1$ stimmt mit dem in c gefundenen Werte p überein.

Beispiel: 2 r = 1,58 cm; h = 10,5 cm; p = 21,75 g.

152*. Ein Probierglas wiegt 6,28 g, sein äusserer Durchmesser beträgt 2 r = 1,48 cm, seine Wandstärke d = 0,4 mm. Wie tief taucht das Gläschen in Wasser ein, wenn gerade das halbkugelige Ende mit Quecksilber (s = 13,6) gefüllt ist?

153. Eine hohle Glaskugel (s = 2,6), deren äusserer Durchmesser 2 r = 4 cm beträgt, sinkt zur Hälfte in Wasser ein. Wie gross ist der innere Radius der Kugel?

154. Eine Hohlkugel aus Messing (s = 8,5) mit dem äusseren Durchmesser 2 r = 4,8 cm schwebt im Wasser. Wie gross ist ihre Wandstärke?

155*. Ein hohler Kautschukball (s = 0,9) von 2 r = 5 cm äusserem Durchmesser und d = 0,2 cm Wandstärke soll mit Quecksilber beschwert werden, so dass er im Wasser schwebt. Wie viel Gramm Quecksilber sind dazu erforderlich?

156. Aus p = 31,4 kg Gusseisen (s = 7,5) soll eine Hohlkugel hergestellt werden, welche zur Hälfte in Wasser einsinkt. Wie gross wird a) der äussere Durchmesser, b) die Wandstärke der Hohlkugel werden?

# III. Anhang.

## A. Auflösungen der Übungsaufgaben.

12) a) 8 kg. b) 0,343 kg. c) 27 t.

13) 372 kg.

14) 3 kg.

18) 0,23 kg.

19) a) 700 kg. b) 7.

22) 12,72 g. ($\pi = 3,14$).

26) 5100 kg.

28) 2,4; 4; 3,2 cm.

30) 1500 kg.

31) 3000 cbm.

79) a) $s = \frac{p}{v}$; $d = v$; $p_1 = p - v$. b) $s = 6$; $d = 5$ g; $p_1 = 25$ g.

85) a) $d = v = \frac{p_1}{s-1}$; $p = \frac{p_1}{s-1} \cdot s$. b) $d = 2$ g; $v = 2$ ccm; $p = 14$ g.

86) 2,61. 87) 1,3. 88) 6,73. 89) 1,3. 90) 7,5.

91) 2,64. 92) 4,93.

93) 51,8; 95,2; 370,4; 1086,9; 2000 ccm.

94) 2 cm. 95) 13,66 cm.

96) 68,2 kg. 97) 400 kg. 98) 2080 kg.

99) 6405 kg. 100) 79 kg. 101) 4275 kg.

102) 19,5 t. 103) 410 ℳ. 104) 455 g.

105) 4,62 *M*. 106) 381,8 g. 107) 43,54 kg.

108) 22,5 g. 109) 2,6. 110) 71 g. 111) 9,76 g. 112) 28,4 g.

113) 1,95. 114) 4,25. 115) 0,703. 116) 13,62.

117) 1,23. 118) 60,282 g. 119) 2,21.

120) $p_1 : p_2 = s_1 (s_2 - 1) : s_2 (s_1 - 1) = 1000 : 1062$.

121) Das Gleichgewicht wird wiederhergestellt durch ein Übergewicht von $1000 \left( \frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} \right) = 15{,}68$ g an der Seite des Gusseisens.

122) $\frac{1}{s_2} - \frac{1}{s_1} = 0{,}0434$ statt $\frac{1}{25} = 0{,}04$.

123) $s = \frac{p}{p - p_1} = 2{,}74$.

124) Der Gewichtsverlust der Legierung ist gleich der Summe der Gewichtsverluste der Bestandteile.

$$\frac{100}{s} = \frac{78}{s_1} + \frac{22}{s_2};\ s = 8{,}49.$$

125) 1,086 kg Kupfer.

126) 81,4 % Kupfer; 18,6 % Zink.

128) a) 0,518 kg. b) 7,54 kg Gold.

137) $s = 2{,}65$.

140) 0,12 cm.

143) 1,84 cm.

144) 4,2 g.

145) 2,6 cm.

146) 55,4 cm.

147) 1 cm.

148) a) 14,47 g. b) 275.

150) 992 g. 151) $p_1 = 21{,}63$ g.

152) Das Probierglas sinkt 8,83 cm tief ein.

153) $g = r \sqrt[3]{\frac{2s-1}{2s}} = 1.86$ cm.

154) $d = r \left(1 - \sqrt[3]{\frac{s-1}{s}}\right) = 1$ mm.

155) 52,72 g.

156) a) 49,3 cm. b) 0,56 cm.

# B. Tabellen der specifischen Gewichte (Mittelwerte).

a) **Feste Körper.**

| | |
|---|---|
| Alabaster | 2,3 |
| Alaun | 1,8 |
| Aluminium | 2,7 |
| Antimon | 6,7 |
| Asphalt | 1,1 |
| Basalt | 2,8 |
| Blei | 11,4 |
| Bleiglanz | 7,5 |
| Braunkohle | 1,3 |
| Eis | 0,92 |
| Eisen | 7,6 |
| Gusseisen | 7,2 |
| Schmiedeeisen | 7,8 |
| Stahl | 7,8 |
| Elfenbein | 1,8 |
| Flussspath | 3,1 |
| Glas | 2,6 |
| Gold | 19,3 |
| Granat | 3,7 |
| Granit | 2,6 |
| Graphit | 2,1 |
| Gyps | 2,3 |
| Holz (trocken) | |
| Ahorn | 0,7 |
| Buche | 0,7 |
| Buchsbaum | 0,9 |
| Ebenholz | 1,2 |
| Eiche | 0,8 |
| Esche | 0,7 |
| Kork | 0,24 |
| Linde | 0,5 |
| Mahagoni | 0,8 |
| Pappel | 0,5 |
| Pockholz | 1,3 |
| Tannenholz | 0,5 |
| Weide | 0,5 |
| Kalkspath | 2,7 |
| Kalkstein | 2,5 |
| Kautschuk | 0,9 |
| Kieselstein | 2,5 |
| Korund | 4,1 |
| Kreide | 2,7 |
| Kupfer | 8,9 |
| Kupfervitriol | 2,2 |
| Magneteisenstein | 4,9 |
| Malachit | 3,8 |
| Marmor | 2,6 |
| Menschlicher Körper | 1,1 |
| Messing | 8,5 |
| Nickel | 8,8 |
| Platin | 21,4 |
| Porzellan | 2,4 |
| Porphyr | 2,7 |
| Quarz | 2,6 |
| Roteisenstein | 4,7 |
| Sand | 1,5 |
| Sandstein | 2,5 |
| Schwefel | 1,9 |
| Schwefelkies | 4,9 |
| Schwerspath | 4,5 |
| Silber | 10,5 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Stearin | 0,9 | Wismut | 9,8 |
| Steinkohle | 1,4 | Ziegelstein | 1,9 |
| Steinsalz | 2,2 | Zink | 7,1 |
| Topas | 4.0 | Zinkblende | 4,1 |
| Turmalin | 3,1 | Zinn | 7,3 |
| Wachs | 0,9 | Zirkon | 4,5 |

b) **Flüssige Körper.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Aether | 0,72 | Petroleum | 0,8 |
| Alkohol | 0,79 | Quecksilber | 13,6 |
| Glycerin | 1,2 | Salpetersäure | 1,5 |
| Leinöl | 0,94 | Salzsäure | 1,2 |
| Milch | 1,03 | Schwefelsäure | 1,8 |
| Olivenöl | 0,92 | Terpentin | 0,87 |

## C. Übersicht der Übungen.

### I. Nachweis des Archimedischen Principes.

a) 1. Teil.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Hydrost. | Wage. | Hohler und massiver Cylinder. |
| 2. | „ | „ | Stein am Faden. |
| 3. | „ | „ | Gefäss mit seitlichem Ausfluss. |
| 4. | „ | „ | Volumenometer n. Niemöller. |
| 5. | — | „ | „ „ |
| 6. | „ | „ | „ n. Hartl. |
| 7. | — | „ | Apparat n. Gröger. |

Übungsaufgaben 12—26; 120—132.

b) 2. Teil.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8. | Schwimmer. | Messcylinder. | |
| 9. | „ | Wage. | Volumenometer. |
| 10. | „ | — | „ auf der Wage. |
| 11. | „ | „ | Apparat n. Gröger. |
| 151. | „ | „ | Schublehre; cm-Mass. |

Übungsaufgaben 27—37; 141—156.

### II. Übungen an der Wage.

38. Bestimmung des absoluten Gewichtes von Körpern aus der Übungssammlung. Aufgaben 129 ff.

### III. Volumenbestimmungen.

a) regelmässiger Körper.

39. Schublehre. cm-Mass.

b) unregelmässiger Körper.

40. Messcylinder.
41. Gefäss mit seitlichem Ausfluss. Wage.

42. Volumenometer n. Niemöller. Wage.
43. „ „ Hartl. „
44. Hydrostatische Wage (v = d).
45. Zeiger-Volumenometer. „
Übungsaufgaben 129—156.

## IV. **Bestimmung des spec. Gewichtes.**

### a) Feste Körper. s > 1.

α) Regelmässige Körper.
46. Wage. Sammlung von Kubikcentimetern.
47. „ Schublehre. cm-Mass.

β) Unregelmässige Körper.
48. Wage. Messcylinder.
49. „ Gefäss mit seitlichem Ausfluss.
50. „ Volumenometer n. Niemöller.
51. „ „ „ Hartl.
52. „ Zeiger-Volumenometer. Kleine Körper.
53. Hydrost. Wage.
54. Senkwage von Nicholson. Kleine Körper.
55. Gewichtsaräometer. „ „
56. Wage. Glas mit Deckplatte.
57. „ Pyknometer. „ „
58. Hydrost. Wage. Gläschen. „ „
59. „ „ „ mit Vaselin. Pulverförm. Körper.
60. Wage. Pyknometer n. Weinhold. „ „

### b) Feste Körper. s < 1.

α) Regelmässige Körper.
61. Wage. Schublehre. cm-Mass.

β) Unregelmässige Körper.
62. Wage. Messinggewicht. Messcylinder.
63. „ „ Volumenometer.
64. Hydrost. Wage. Messinggewicht.

65. Wage. Glas mit Deckplatte.
66. „ Messingdraht. Stativ.
67. Senkwage von Nicholson.

c) Flüssige Körper.

68. Wage. Fläschchen mit Marke.
69. „ Pyknometer.
70. Schwimmer. Messcylinder.
71. Senkkörper. Volumenometer.
72. „ Hydrost. Wage.
73. Senkwage. Wage von Nicholson.
74. Mohr'sche Wage.

d) In Wasser lösliche Körper.

75. Wage. Messcylinder.
76. Hydrost. Wage.
77. Wage. Pyknometer.
78. Skalen-Aräometer.

Übungsaufgaben 79—156.