Leitfaden der praktischen Physik

Kohlrausch, Friedrich

Leipzig [u.a.], 1896

Wägung und Dichtigkeitsbestimmung

urn:nbn:at:at-ubi:2-6036

Wägung und Dichtigkeitsbestimmung.

8. Wage.

Die Wägung eines Körpers bestimmt das Verhältnis seiner Masse zu der Masseneinheit, gewöhnlich dem Gramm. Im leeren Raum verhalten sich die Gewichte wie die Massen; in der Luft streng nur dann, wenn die verglichenen Körper gleiche Dichtigkeit haben. Über die Reduktion einer Wägung auf den leeren Raum vgl. **11**.

Die folgenden Vorschriften zur Behandlung einer Wage schliefsen sich an die zur chemischen Analyse gebräuchliche Form an.

I. Aufstellung und Prüfung der Wage.

Zuerst werden nötigenfalls die Schneiden und Pfannen mit einem Pinsel von Staub gereinigt oder mit einem Leder geputzt. Ein kleines Stäubchen oder Fäserchen kann die Einstellungen verderben.

Man stellt mit den Fufsschrauben das Senkel oder die Libelle ein; besitzt die Wage keine solche Vorrichtung, so setzt man eine Dosenlibelle in den Wagekasten oder nivellirt nach einem Senkel, welchem man den arretirten Zeiger parallel stellt.

Nun löst man die Arretirung aus, korrigirt ein etwaiges gröberes einseitiges Übergewicht und überzeugt sich, dafs alsdann die Wage eine stabile Gleichgewichtslage hat. Sollte das Gleichgewicht labil sein (die Wage „umschlagen"), so wird zunächst das in der Mitte befindliche Laufgewicht herabgeschraubt, bis diesem Umstande abgeholfen ist.

Die Empfindlichkeit der Wage wird durch das Hinauf- oder Herabschrauben des genannten Laufgewichtes regulirt. Die Empfindlichkeit läfst sich aus der Schwingungsdauer beurteilen, deren zweiter Potenz sie für eine bestimmte Wage proportional ist. Die Dauer einer Schwingung ist bei der gewöhnlichen Form der Wage etwa zwischen 10 und 15 sec, bei den kurzarmigen von Bunge eingeführten Wagen zwischen 6 und 10 sec zu wählen. Eine gröfsere Schwingungsdauer verursacht Zeitverlust, stärkere Dämpfung meistens Unregelmäfsigkeiten der Einstellung, welche die gröfsere Empfindlichkeit nutzlos machen.

Nachdem die passende Schwingungsdauer hergestellt worden, bewirkt man mittels der für diesen Zweck vorhandenen Einrichtung (Laufgewicht am Ende des Balkens; Durchbohrung des vertikalen Laufgewichtes; drehbarer Arm u. s. w.), dafs der Zeiger der unbelasteten Wage auf den mittelsten Teilstrich einsteht, bez. nach beiden Seiten gleich weit schwingt. Eine Unsymmetrie von wenigen Zehnteln eines Skalenteils mag man übrigens mit den Fufsschrauben der Wage korrigiren, wobei man die eine um gleich viel verkürzt, wie man die andere verlängert.

Prüfung der Wage. Die Hauptforderung besteht darin, dafs die Wage, wiederholt arretirt und ausgelöst, eine unveränderte Einstellung zeigt und dafs die Schwingungen nur langsam abnehmen. Und zwar sollen diese Bedingungen auch noch bei der Maximalbelastung erfüllt sein. Fehlerquellen können darin bestehen, dafs irgend eine Verschraubung am Wagebalken nicht ganz fest angezogen ist, oder in einer Unsauberkeit, ungeeigneter Gestalt oder Verletzung der Schneiden oder Pfannen.

Es soll ferner bei gehobener Arretirung der Zeiger gerade über dem mittleren Teilstrich stehen; bei dem Senken sollen die beiden Zapfen, auf denen der arretirte Balken ruht, diesen gleichzeitig loslassen.

Die Gleicharmigkeit prüft man durch beiderseitiges Aufsetzen von hinreichend grofsen Gewichtstücken, welche sich das Gleichgewicht halten: nach ihrer Vertauschung mufs dieselbe Einstellung erfolgen. Vollkommen genau ist die Gleicharmigkeit schwer herzustellen. Für viele Zwecke ist dieselbe auch nicht nötig, wenn man stets dieselbe Schale für den Körper gebraucht. Über die Bestimmung der Ungleicharmigkeit s. **10.**

Endlich ist zu prüfen, ob die Wirksamkeit eines Gewichtes auf jeder Stelle der Wagschale dieselbe ist. An Brücken- und Tafel-Wagen können grobe Verstöfse hiergegen vorkommen; kleinere auch bei der gewöhnlichen Wage, wenn die Schale ohne Zwischengehänge an der Schneide hängt, was als ein Konstruktionsfehler bezeichnet werden mufs.

Die Reiterverschiebung und die Arretirung, auch die Thüren, sollen einen sanften Gang haben. Den ersteren hilft man durch Abwischen mit einem Läppchen eventuell mit einer Spur Petroleum nach. Die Reiterverschiebung sollte mit Anschlägen versehen sein, die das Anstofsen an den Balken verhindern.

Als Gröfse des Skalenteils empfiehlt sich etwa das Millimeter. Zur Vermeidung der Parallaxe beim Ablesen spiele die Zeigerspitze dicht vor oder besser über der Teilung. Die Ablesung kann durch eine fest angebrachte schwache Lupe, etwa eine auf das Glas des Wagekastens geklebte Linse von geeigneter Brennweite, erleichtert werden.

Ist eine dritte kürzere Wagschale vorhanden, so soll sie einer der anderen an Gewicht genau gleich sein. Dafs die beiden gewöhnlichen Schalen einander genau gleich sind, ist nebensächlich.

Gebrauch der Wage. Dieselbe soll vor Erschütterungen geschützt stehen; auf einen hölzernen Wagetisch soll man die Arme nicht stützen. Kann man nicht umhin, im geheizten oder von der Sonne bestrahlten Zimmer zu wägen, so ist die Wage wenigstens vor Ungleichheiten der Erwärmung zu bewahren. Zum Schutz gegen Rost und um hygroskopische Einflüsse während der Wägung möglichst auszuschliefsen, kann ein in den Wagekasten gestelltes Gefäfs mit Ätzkalk oder Chlorcalciumstücken dienen. — Grobe Fehler können durch elektrische Ladungen entstehen, wenn man z. B. Glasteile des Wagekastens frisch geputzt hat.

Das Auflegen von Gewichten geschieht nur bei arretirter Wage; bei dem Aufsetzen gröfserer Gewichte oder bei dem Entlasten der Wage wird eventuell auch die Schalenarretirung angewandt. Pendelschwingungen der Schalen während der Wägung können zu Fehlern Veranlassung geben.

Selbstverständlich wird die definitive Wägung bei geschlossenem Wagekasten ausgeführt.

Spiegelablesung. Für die feinsten Wägungen benutzt man wohl an Stelle des Zeigers einen an dem Wagebalken angebrachten Spiegel, dessen Einstellung mit einem Fernrohr an einer Skale abgelesen wird. Vgl. **48** bis **50**.

Über äufserst empfindliche Formen von Wagen vgl. Warburg und Ihmory, Wied. Ann. 17, 483. 1886.

II. Wägungsverfahren.

Wo es möglich ist, beobachtet man die Wage im schwingenden Zustande, weil die Einstellung in der Ruhe unsicherer ist. Man pflegt durch Probiren so viel Gewichte aufzulegen, dafs die Schwingungen nach beiden Seiten von dem Nullpunkte gleich grofs sind. Vorausgesetzt ist dabei aber, dafs die unbelastete Wage ebenfalls den Nullpunkt innehält, und bei einer empfindlichen Wage, dafs eine Reiterverschiebung vorhanden ist.

Unabhängig hiervon, bei einiger Übung rascher und jedenfalls genauer, arbeitet man mit einem Interpolationsverfahren. Man vermeidet dadurch das wiederholte Reguliren des mit der Zeit etwas veränderlichen Nullpunktes, ferner das Ausprobiren eines genau gleichen Gewichtes. Endlich soll eine feine Messung womöglich nicht auf die Frage hinauskommen, ob zwei Gröfsen gleich sind, sondern auf die Frage, um wieviel sie verschieden sind.

Bestimmung des Nullpunktes. Darunter versteht man den Punkt der Skale, auf welchen der Zeiger der unbelasteten Wage in der Ruhe zeigen würde. Man findet den Nullpunkt aus einigen Umkehrpunkten des schwingenden Zeigers. Die Schwingungsweite mag etwa 2 bis 5 mm betragen.

Für mäfsige Genauigkeit beobachtet man zwei Umkehrpunkte und nimmt aus ihnen das Mittel. Hat die Wage eine stärkere Dämpfung, so werden mindestens 3 Umkehrpunkte beobachtet, zunächst aus Nr. 1 und 3 das Mittel genommen und dieses mit Nr. 2 zum Hauptmittel vereinigt.

Genauer und sicherer vor Irrtümern verfährt man durch Beobachtung einer gröfseren ungeraden Anzahl von Umkehrpunkten; fünf oder sieben genügen immer.

Alsdann wird das arithmetische Mittel aus den Beobachtungen auf der einen Seite d. h. aus Nr. 1, 3, 5, und aus denen auf der anderen Seite d. h. aus Nr. 2, 4, genommen und aus diesen beiden Zahlen wiederum das Mittel. Dieses ist der gesuchte Nullpunkt. Damit man nicht nötig habe, rechts und links zu unterscheiden, bezeichnen wir den mittelsten Teilstrich der Wage nicht mit Null, sondern mit 10.

Beispiel.	Umkehrpunkte:					Mittel:	Nullpunkt:
links	10,9		10,7		10,6	10,73	9,74
rechts		8,7		8,8		8,75	

Um aus zwei oder drei wenig verschiedenen Zahlen das Mittel zu nehmen, braucht man nicht etwa erst alles zu addiren und die Summe dann durch 2 oder 3 zu dividiren. Dafs das Mittel aus 10,9 10,7 10,6 mit 10 anfängt, ist ja selbstverständlich. Und dafs ,9 ,7 ,6 das Mittel ,73 geben, sieht man auch sofort. Mittelnehmen ist bei geringer Übung ebenso einfach wie Addiren und Subtrahiren und ist keinen gröberen Rechenfehlern ausgesetzt; ein nicht zu unterschätzender Vorteil.

Man kann statt dessen auch den Mittelpunkt Null nennen und die Ausschläge nach der einen Seite positiv, nach der anderen negativ nennen, also in dem obigen Beispiel schreiben + 0,9 — 1,3 + 0,7 etc. Der Anfänger aber wird in der vorhin angegebenen Weise weniger leicht Fehler begehen.

Der Nullpunkt ist hinreichend oft zu kontroliren, nach stärkerer Belastung der Wage neu zu bestimmen. Findet man Unterschiede, so nimmt man das Mittel aus den beiden Bestimmungen, welche der Wägung vorangehen und ihr folgen.

Wägung. Es wird der Körper und andererseits durch Einschliefsen in immer engere Grenzen eine solche Zahl von Gewichtstücken aufgelegt, bez. schliefslich der Reiter so auf einen vollen Teilstrich aufgesetzt, dafs die Einstellung dem Nullpunkt nahe kommt. Alsdann macht man wieder nach dem obigen Schema einen Satz von Umkehrbeobachtungen. Das Mittel wird von dem Nullpunkt um eine Differenz von n Skalenteilen abweichen. Kennt man die Empfindlichkeit C der Wage (**9**), d. h. den Ausschlag durch 1 mg Mehrbelastung, so ist n/C die Gröfse, welche man den Gewichtstücken noch zulegen bez. von ihnen wegnehmen müfste, um völlige Gleichheit zu erzielen.

Kennt man die Empfindlichkeit nicht, so nimmt man ein oder einige mg fort oder legt zu, je nachdem die Gewichte zu schwer oder zu leicht waren, so dafs die Einstellung auf die andere Seite vom Nullpunkt fällt, und beobachtet abermals wie vorhin. War die erste Einstellung e_1, die jetzige e_2, die Veränderung des Gewichts zwischen beiden Beobachtungen gleich π, so hat man die Empfindlichkeit $C = (e_1 - e_2)/\pi$ und kann jetzt rechnen wie vorhin.

Mit anderen Worten, wenn gefunden wurde

der Nullpunkt e_0

bei der Belastung p_1 die Einstellung e_1

" " " p_2 " " e_2,

so hat der Körper das Gewicht

$$p_0 = p_1 + (p_2 - p_1)\frac{e_0 - e_1}{e_2 - e_1}.$$

Selbstverständlich sind diese Differenzen sämtlich mit Rücksicht auf das Vorzeichen zu nehmen, wobei eine Erleichterung darin besteht, die Skalenteile nach derjenigen Richtung wachsend zu zählen, welcher eine Zunahme der Belastung entspricht.

Beispiel. Als Nullpunkt sei der obige Wert 9,74 gefunden. Nach Auflegung des Körpers wurde beobachtet

Belastung:	Umkehrpunkte:					Mittel:	Einstellung:
3036 mg	7,8		7,8		7,9	7,83	9,04
		10,3		10,2		10,25	
3038 mg	9,6		9,4		9,3	9,43	10,86
		12,3		12,3		12,30	

Ausschlag auf 1 mg gleich $\frac{1}{2}$1,82 = 0,91 Sc. T.

3036 mg waren folglich zu leicht um (9,74 — 9,04)/0,91 = 0,77 mg.

Ebenso erhält man nach obiger Formel

$$p_0 = 3036 + 2 \cdot 0{,}70/1{,}82 = 3036{,}77 \text{ mg}.$$

Ob man nach gr oder nach mg zählen will, ist gleichgiltig, nur gewöhne man sich an eine bestimmte Zählung. — Auch das Protokoll der Beobachtungen soll nach einem bestimmten Schema, z. B. dem obigen geführt werden.

9. Empfindlichkeit einer Wage.

Empfindlichkeit der Wage heifst die Änderung der Zeiger-Einstellung für 1 mg Mehr-Belastung einer Schale. Ihre Bestimmung für verschiedene Belastungen ist als Kennzeichen für die Güte der Wage und ferner zur Vereinfachung der Wägungsmethode von Wichtigkeit. Besitzt man nämlich eine Tabelle oder eine Kurve, in welcher der Ausschlag auf 1 mg für die verschiedenen Belastungen angegeben ist, so genügt für jede Wägung, aufser der Bestimmung des Nullpunktes, eine einzige Beobachtung der Einstellung mit nahe richtigem Gewicht (vgl. S. 45).

Das Verfahren ergiebt sich von selbst. Man setzt auf beide Schalen die Belastung, für welche man die Empfindlichkeit C bestimmen will, und auf eine der Schalen ein kleines Übergewicht, so dafs die Einstellung um einige (2 bis 3) Skalenteile vom mittelsten Teilstrich abweicht. Diese Einstellung e wird nach 8 II genau beobachtet. Nun bringt man durch Mehrbelastung der anderen Schale um π mg eine Einstellung ungefähr ebensoweit nach der anderen Seite hervor und beobachtet dieselbe. Sie sei e'; dann ist die Empfindlichkeit $C=(e-e')/\pi$.

Hat man C etwa für 0, 10, 20 .. g bestimmt, so stellt man den Verlauf durch Eintragen in Koordinatenpapier graphisch dar, als Abscisse die Belastung, als Ordinate die Empfindlichkeit, und verbindet die entstehenden Punkte durch eine Kurve, aus welcher dann C für irgend eine Belastung entnommen oder eine Tabelle hergestellt werden kann. Von Zeit zu Zeit wird man die Empfindlichkeit neu bestimmen müssen.

Über Reguliren der Empfindlichkeit siehe 8. — Wie C von der Belastung abhängt, das richtet sich nach der gegenseitigen Stellung der mittleren und der beiden Endschneiden. Zur Bequemlichkeit wird in der Regel für feinere Wagen eine von der Belastung unabhängige Empfindlichkeit gewünscht, bei welcher die drei Schneiden in einer Ebene liegen müssen. Da nun diese Bedingung wegen der Durchbiegung des Balkens streng nur für eine bestimmte Belastung erfüllt sein kann, so stellt der Mechaniker sie wohl für eine mittlere Belastung her. Dann findet man anfangs eine kleine Steigerung der Empfindlichkeit mit der Belastung, für gröfsere Gewichte wieder eine Abnahme.

10. Verhältnis der Wagebalken.

Die beiden Wagearme verhalten sich umgekehrt wie die Gewichte, welche als gleichzeitige Belastung der Schalen die Wage auf den Nullpunkt (8) einstellen. Da die vollkommene Richtigkeit des Gewichtsatzes nicht vorausgesetzt werden darf, so bestimmt man das Verhältnis folgendermafsen:

Man beobachtet den Nullpunkt bei unbelasteter Wage. Man setzt auf beide Schalen Gewichtstücke von gleichem Nennwert, etwa gleich der Hälfte der gröfsten für die Wage zulässigen Belastung, und bestimmt die Zulage, welche links oder rechts notwendig ist, um die Einstellung wieder auf den Nullpunkt zu bringen. Dabei werde im Interesse der Genauigkeit das Interpolationsverfahren (8) angewandt. Der Nullpunkt ist hinreichend oft zu kontroliren und ev. mit seinem Mittelwert vor und nach der Wägung einzusetzen. Alsdann vertauscht man die Gewichte und verfährt gerade so. Bezeichnen wir die beiden

Gewichte vom Nominalbetrage p mit p_2 und p_1, und haben wir gefunden, dafs die Wage einsteht, wenn

bei der einen Wägung links p_1+l rechts p_2

„ „ anderen „ „ p_2 „ p_1+r,

so ist, die Länge des linken Wagebalkens mit L, die des rechten mit R bezeichnet,

$$\frac{R}{L}=1+\frac{l-r}{2p}.$$

Eine kleine Zulage einerseits kann dabei als negative Zulage andererseits betrachtet werden; siehe das Beispiel.

Auch die Doppelwägung eines Körpers ergiebt das Verhältnis der Wagebalken; siehe **11**, 1.

Beweis. Nach dem Hebelgesetze ist $L(p_1+l)=Rp_2$ und $Lp_2=R(p_1+r)$, woraus nach S. 9. Formel 8 und 3

$$\frac{R}{L}=\sqrt{\frac{p_1+l}{p_1+r}}=\sqrt{\frac{1+l/p_1}{1+r/p_1}}=1+\frac{l-r}{2p}.$$

Beispiel:

Links	Rechts		
(50 g)	(20+10+···)	+0,83 mg	also $l=-0,83$
(20+10+···)	(50)	+2,56 „	„ $r=+2,56$

$$\text{und}\quad \frac{R}{L}=1+\frac{-0,83-2,56}{100000}=1-0,0000339$$

oder auch $L/R=1,0000339$.

Die eingeklammerten Zahlen stellen die mit diesen Ziffern bezeichneten Gewichtstücke vor.

Zugleich folgt (**11**) (50) = (20+10+···) − 0,86 mg.

11. Absolute Wägung eines Körpers.

I. Elimination der Ungleicharmigkeit der Wage.

Man multiplicirt das scheinbare bei der Wägung gefundene Gewicht mit dem Verhältnis der Wagearme, als Zähler die Länge des Armes, an welchem die Gewichtstücke wirkten. Unabhängig von diesem Verhältnis, welches für feine Wägungen nicht einmal als unveränderlich betrachtet werden darf, machen die folgenden Verfahren.

1. Doppelwägung (Gauss). Man wägt den Körper einmal auf der rechten Schale, das andere Mal auf der linken Schale. Wenn p_1 und p_2 in beiden Fällen die Gewichtstücke bezeichnen, welche dem Gewichte des Körpers das Gleichgewicht

hielten, so ist das gesuchte Gewicht p des Körpers das Mittel $p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)$.

Der Nullpunkt der Wage braucht nicht bestimmt zu sein.

Beweis s. **4** Beisp. 3. Zugleich findet man, wenn p_1 und p_2 auf den wirklichen Nullpunkt der Wage bezogen sind, das Balkenverhältnis

$$\frac{R}{L} = \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} = \sqrt{1 + \frac{p_2 - p_1}{p_1}} = 1 + \frac{p_2 - p_1}{2p_1}.$$

2. Tarirmethode (Borda). Der Körper auf einer Schale wird durch irgend eine Belastung der anderen äquilibrirt, alsdann weggenommen und durch Gewichtstücke bis zur gleichen Einstellung der Wage ersetzt. Letztere geben sein Gewicht.

II. Reduktion der Wägung auf den leeren Raum.

Zweck der Wägung ist meistens die Bestimmung der Masse eines Körpers durch Vergleichung mit bekannten Massen aus einem sogenannten Gewichtsatze (vgl. unten). Statt Vergleichung der Massen kann man auch sagen Vergleichung der Gewichte im leeren Raum. In der Luft erleiden sowohl Körper als Gewichtstücke einen Auftrieb gleich dem Gewicht der verdrängten Luft. Nennt man

m das scheinbare Gewicht des Körpers in der Luft, d. h. die Gewichtstücke, welche ihm in der Luft das Gleichgewicht halten,

λ die Dichtigkeit der Luft ($\lambda = 0{,}00120$ im Mittel. Siehe auch **15** und Tab. 6),

s die Dichtigkeit (das specifische Gewicht) des Körpers,

σ die Dichtigkeit der Gewichtstücke,

so ist das Gewicht M im leeren Raume

$$M = m\left(1 + \frac{\lambda}{s} - \frac{\lambda}{\sigma}\right).$$

Es ist also zu dem gefundenen scheinbaren Gewicht m hinzuzufügen $m\lambda(1/s - 1/\sigma)$, eine Korrektion, welche mit dem Unterschied von s und σ wächst. Für λ genügt fast immer der mittlere Wert 0,0012; die Korrektion für Messinggewichte enthält dann Tab. 8.

Beweis. Der Körper hat das Volumen $V = M/s$, die Gewichtstücke $v = m/\sigma$. Der Auftrieb ist gleich dem Gewicht der verdrängten Luft; also verliert der gewogene Körper $\lambda V = \lambda M/s$, die Gewichtstücke $\lambda v = \lambda m/\sigma$. Da die Gewichte nach Abzug dieser Verluste gleich sind, so ist also $M(1-\lambda/s)=m(1-\lambda/\sigma)$, woraus der obige Wert M nach S. 9, Formel 8 sich ergiebt.

Beispiel. Die Korrektion des scheinbaren Gewichtes w einer Wassermenge, wenn man mit Messinggewichten ($\sigma=8{,}4$) gewogen hat, beträgt $w\cdot 0{,}0012\,(1/1-1/8{,}4)=w\cdot 0{,}00106$ d. h. 1,06 mg auf jedes Gramm.

Auch wo es nicht auf das absolute Gewicht, sondern nur auf Gewichtsverhältnisse ankommt, wie bei chemischen Analysen, bedingt der Auftrieb Korrektionen. Doch darf man alsdann den Auftrieb der Gewichtstücke vernachlässigen. Analysirt man z. B. eine verdünnte Silberlösung durch die Wägung eines Quantums Lösung und des daraus erhaltenen Chlorsilbers (Dichtigkeit $=5{,}5$), und sind P und p die von der Wage angegebenen Gewichte, so sind die auf den leeren Raum reducirten $P(1+0{,}0012)$ und $p(1+0{,}0012/5{,}5)$. Der Chlorsilbergehalt beträgt also

$$\frac{p\cdot(1+0{,}0012/5{,}5)}{P\cdot(1+0{,}0012)}=\frac{p}{P}\left[1-0{,}0012\left(1-\frac{1}{5{,}5}\right)\right]=\frac{p}{P}\cdot 0{,}9990.$$

Der unkorrigirte Wert p/P würde also um 0,1 % zu grofs sein. Die Vernachlässigung solcher einfacher Korrektionen ist angesichts der Kostbarkeit der Wage, der auf die Wägungen verwandten Sorgfalt und des oft durch die grofse Zahl der mitgeteilten Decimalen erhobenen Anspruchs auf Genauigkeit nicht zu rechtfertigen.

Über die principielle Frage, ob das Gramm eine Masse oder ein Gewicht vorstelle, vgl. die Bemerkung im Anhange über das absolute Mafssystem. In der gewöhnlichen Praxis der Messungen macht es selten einen Unterschied, ob man von Gewichten oder Massen spricht, insbesondere entstehen keine Irrtümer. Für die chemische Analyse oder irgend eine andere auf Procente hinausführende Operation ist es offenbar ganz gleichgiltig, ob man Gewichte oder Massen meint. Ebenso wird man zu den nämlichen Zahlen geführt, wenn man von dem specifischen Gewicht eines Körpers oder unter dem Namen Dichtigkeit von der specifischen Masse eines Körpers redet; vorausgesetzt, dafs man, wie immer, diese Eigenschaften des Körpers mit derjenigen des Wassers als Einheit vergleicht. Wenn aber entweder die Körper mit ihrer Trägheit in Betracht kommen oder wenn andrerseits Gewichte zur Kraftmessung dienen, wie bei der Messung von Arbeit, Druck, Elasticität, mufs man zwischen den Begriffen Masse und Gewicht streng unterscheiden.

12. Korrektionstabelle eines Gewichtsatzes.

Allgemein kommt die Aufgabe, die Fehler eines Gewichtsatzes zu bestimmen, darauf hinaus, dafs man sich durch Ausführung so vieler Wägungen, als Gewichte zu prüfen sind, ebensoviele Gleichungen bildet, aus denen das Verhältnis der Wagearme und dasjenige der Gewichte zu einander abgeleitet wird.

Bei der gebräuchlichen Anordnung eines Gewichtsatzes kann man nach folgendem Schema verfahren. Wir bezeichnen die gröfseren Stücke mit

$$50' \; 20' \; 10' \; 10'' \; 5' \; 2' \; 1' \; 1'' \; 1'''.$$

Man führe eine Doppelwägung mit 50′ einerseits und der Summe der übrigen Gewichte andrerseits aus. Man habe gefunden, dafs die Wage einsteht (der Zeiger in der Stellung ist, welche er bei unbelasteter Wage annimmt), wenn

Links	Rechts
$50'$	$20' + 10' + \cdots + r\,\mathrm{mg}$
$20' + 10' + \cdots + l\,\mathrm{mg}$	$50'$

so ist das Verhältnis der Wagearme (**10**)

$$R/L = 1 + (l - r)/100000$$

und $$50' = 20' + 10' + \cdots + \tfrac{1}{2}(r + l).$$

Ebenso vergleicht man 20′ mit 10′ + 10″ und 10′ mit 10″ sowie mit 5′ + 2′ + ⋯ Man wird dabei das Balkenverhältnis im allgemeinen von der Belastung etwas abhängig finden. Doch wird dasselbe so weit konstant sein, dafs für die kleineren Stücke nun eine einzelne Wägung genügt. Es bedeutet dann ein Stück p, rechts aufgelegt, auf die Balkenlänge der linken Seite reducirt, $p \cdot R/L$.

Beispiel. Es sei $r = -0{,}63$ $\quad l = +2{,}73$ mg, so ist

$$50' = 20' + 10 + \cdots + 1{,}05 \text{ mg} \quad \text{und} \quad R/L = 1{,}0000336.$$

Ferner sei bei der Vergleichung des 5 g-Stückes mit der Summe der kleinen Gewichte gefunden, dafs die Wage einsteht, wenn

links $5' + 0{,}06$ mg $\qquad$ rechts $2' + 1' + 1'' + 1'''$,

so würden an einer gleicharmigen Wage sich das Gleichgewicht halten $5' + 0{,}06$ mg und $(2 + 1' + \cdots) \times 1{,}0000336$ oder $2' + 1' + \cdots + 0{,}17$ mg.

Folglich ist $\quad 5' = 2' + 1' + 1'' + 1''' + 0{,}11$ mg.

Diese Wägungen mögen ergeben haben, wobei den durch A, B etc. allgemein bezeichneten gefundenen Unterschieden gleich Zahlen als Beispiel beigeschrieben werden sollen:

$$\begin{array}{rlll} 50' & = 20' + 10' + \cdots + A & & + 0{,}48 \text{ mg} \\ 20' & = 10' + 10'' & + B & + \;,06 \;\text{„} \\ 10'' & = 10' & + C & + \;,17 \;\text{„} \\ 5' + 2' + 1' + 1'' + 1''' & = 10' & + D, & - \;,29 \;\text{„} \end{array}$$

wo natürlich A, B, C, D positiv oder negativ sein können. Aus den Gleichungen mufs der Wert der fünf Stücke, die

Summe der einzelnen Gramme vorläufig als ein Stück betrachtet, in irgend einer Einheit ausgedrückt werden. Man wird, wenn man nicht etwa zugleich eine Vergleichung mit einem Normalgewicht vornimmt, diese Einheit so wählen, dafs die Korrektionen der einzelnen Stücke möglichst klein werden, und das ist der Fall, wenn man die ganze Summe als richtig annimmt, d. h. wenn man setzt

$$50' + 20' + 10' + \cdots = 100\,\text{g}.$$

Setzt man zur Abkürzung

$$S = \tfrac{1}{10}(A + 2B + 4C + 2D) \qquad +0{,}070\,\text{mg}$$

so ist, wie man leicht nachweisen kann,

$$\begin{aligned}
10' &= 10\,\text{g} - S && -0{,}07\,\text{mg}\\
10'' &= 10\,\text{„} - S + C && +\ {,}10\ \text{„}\\
5' + \cdots &= 10\,\text{„} - S + D && -\ {,}36\ \text{„}\\
20' &= 20\,\text{„} - 2S + B + C && +\ {,}09\ \text{„}\\
50' &= 50\,\text{„} - 5S + A + B + 2C + D = 50\,\text{g} + \tfrac{1}{2}A. && +\ {,}24\ \text{„}
\end{aligned}$$

Die Probe für die Richtigkeit der Rechnung ist dadurch gegeben, dafs, wenn man die Korrektionen in Zahlen bestimmt hat, die Summe derselben $=0$ sein mufs und dafs die vier Beobachtungs-Gleichungen erfüllt sein müssen.

Ferner habe man durch Vergleichung der Stücke $5'$ $2'$ $1'$ $1''$ $1'''$ untereinander gefunden

$$\begin{aligned}
5' &= 2' + 1' + 1'' + 1''' + a && +0{,}54\,\text{mg}\\
2' &= 1' + 1'' \qquad + b && +\ {,}02\ \text{„}\\
1'' &= 1' \qquad + c && -\ {,}10\ \text{„}\\
1''' &= 1' \qquad + d. && -\ {,}13\ \text{„}
\end{aligned}$$

Setzen wir zur Abkürzung

$$s = \tfrac{1}{10}(a + 2b + 4c + 2d + S - D), \qquad +0{,}028\ \text{„}$$

so ist ähnlich wie oben

$$\begin{aligned}
1' &= 1\,\text{g} - s && -0{,}03\,\text{mg}\\
1'' &= 1\,\text{„} - s + c && -\ {,}13\ \text{„}\\
1''' &= 1\,\text{„} - s + d && -\ {,}16\ \text{„}\\
2' &= 2\,\text{„} - 2s + b + c && -\ {,}14\ \text{„}\\
5' &= 1\,\text{„} - 5s + a + b + 2c + d. && +\ {,}09\ \text{„}
\end{aligned}$$

Ebenso wird mit den kleineren Gewichtstücken verfahren, wobei aber in der Regel die Ungleicharmigkeit der Wage nicht mehr berücksichtigt zu werden braucht.

Befolgt man nun die Regel, stets zu bilden

die Gewichte									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 etc gr
aus den Stücken									
$1'$	$2'$	$2'+1'$	$2'+1'+1''$	$5'$	$5'+1'$	$5'+2'$	$5'+2'+1'$	$5'+2'+1'+1''$	$10'$,

so kann man für jede Ziffer aus den verschiedenen Dekaden gleich die Korrektion aufstellen, so für das obige Beispiel die Korrektionen in Hunderteln mg

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Zehner	−7	+9	+2	+12	+24	+17	+33	+26	+36
Einer	−3	−14	−17	−30	+9	+6	−5	−8	−21
	etc. für Zehntel, Hundertel.								

Wir haben bisher die Summe der gröfseren Gewichtstücke als richtig angenommen, um die Fehler so klein wie möglich zu erhalten. Für die meisten Arbeiten (chemische Analyse, specifisches Gewicht), welche nur relative Wägungen verlangen, genügt dies. Soll die Fehlertabelle auf richtiges Grammgewicht bezogen werden, so ist es notwendig, die Gewichtstücke oder eins derselben mit einem Normalgewicht zu vergleichen (**11**). Die Rechnung ist ähnlich wie oben.

Ein Schema zur Prüfung eines Gewichtsatzes von anderer Anordnung wird man leicht finden.

Zur Unterscheidung der Gewichtstücke von gleichem Nennwerte sollten die Ziffern in verschiedener Weise eingeschlagen oder mit einem Index versehen sein; andernfalls mufs man zufällige Merkzeichen aufsuchen. Bei den Blechgewichten hilft man sich durch das Umbiegen verschiedener Ecken. — Auf den Gewichtsverlust in der Luft braucht keine Rücksicht genommen zu werden, wenn die gröfseren Stücke von gleichem Material sind, weil bei den kleineren der Unterschied ohne merklichen Einflufs ist. — Zur Prüfung der kleineren Stücke wendet man womöglich eine leichtere, d. h. bei gleicher Schwingungsdauer empfindlichere Wage an. — Die Wägungen sind durch Schwingungsbeobachtung nach **8** auszuführen, wobei die Nullpunktsbeobachtung häufig wiederholt wird.

Die Gewichtstücke pflegen durch den Gebrauch leichter zu werden, so dafs es kein Nachteil ist, wenn in einem neuen Satz die kleinen Stücke relativ etwas zu schwer sind.

13. Dichtigkeit oder specifisches Gewicht.

Dichtigkeit oder specifisches Gewicht s eines Körpers (vgl. Tab. 1 u. 3) nennt man das Verhältnis seiner Masse zu der Masse eines gleichen Volumens Wasser von 4^0. Letzteres

Wasser also bildet die Einheit. Die Wahl einer anderen Temperatur (0^0 oder häufig 15^0) muſs im allgemeinen verworfen werden, insofern dem metrischen Maſssystem Wasser von 4^0 zu Grunde liegt.

Anstatt des Massen-Verhältnisses kann auch das Verhältnis der Gewichte im leeren Raum gesetzt werden. Vorausgesetzt, daſs man nach dem Meter- (Centimeter-) und Gramm-System misst, kann man specifisches Gewicht auch das Verhältnis des Gewichtes zum Volumen nennen oder, einen homogenen Körper vorausgesetzt, das Gewicht der Volumeinheit. Dabei gehören natürlich mg und mm, g und cm, kg und dm paarweise zusammen. Den beiden Bezeichnungen Dichtigkeit (specifische Masse) oder specifisches Gewicht, welche im Princip unterschieden werden, legt die Praxis die gleiche Bedeutung bei (vgl. Anhang: Einleitung und 5a).

Specifisches Volumen. So nennt man den reciproken Wert der Dichtigkeit, d. h. das Volumen der Masse Eins einer Substanz. Molekularvolumen heiſst das Molekulargewicht eines Körpers multiplicirt mit seinem specifischen Volumen oder dividirt durch seine Dichtigkeit; das ist also das Volumen eines „Gramm-Moleküls", d. h. einer Masse des Körpers von einer Anzahl Gramme gleich seinem Molekulargewicht. Entsprechende Bedeutung haben Äquivalent- oder Atom-Volumen.

Ein Gas nimmt man, wenn nicht anderes bemerkt wird, bei 0^0 und 760 mm Quecksilberdruck. Meistens aber vergleicht man ein Gas, anstatt mit Wasser, mit trockener atmosphärischer Luft (für chemische Zwecke auch mit Wasserstoff) von gleicher Temperatur und gleichem Druck, wobei die nähere Bezeichnung der Verhältnisse unnötig wird. Wir werden in der letzteren Bedeutung den Ausdruck Dichte gebrauchen (**16**).

I. Bestimmungsmethoden.

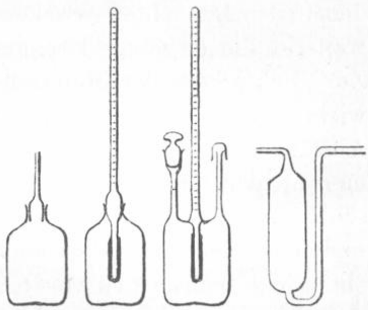
Die anzubringenden Korrektionen siehe unter II und III.

A. Für Flüssigkeiten.

1. Kalibrirtes Gefäſs. (Flasche, Meſscylinder, Bürette, Pipette **19**.) Man wägt ein abgemessenes Volumen. Beträgt die Menge m g, das Volumen v cbcm, so ist die Dichtigkeit

$s = m/v$. Wegen der Kapillar-Erhebung wird in einem geteilten Rohre das Volumen zweckmäſsig nach dem Eingieſsen einer kleinen Menge durch Differenzbeobachtung gemessen, wobei man stets den Stand des horizontalen Oberflächenteiles abliest. Vgl. **19**. Für genäherte Bestimmungen ist oft eine Pipette, auch eine kleine, brauchbar.

2. Pyknometer. Man wägt die Flüssigkeitsmenge m und die Wassermenge w, welche von einem und demſelben Gefäſs aufgenommen wird. Dann ist $s = m/w$. Eine kleine Flasche, bis zum Rande oder zu einem Strich am Halse gefüllt, liefert leicht die 3te Decimale noch richtig. Genauer arbeiten die mit den Namen Pyknometer, Tarirfläschchen, bezeichneten konstanten Gefäſse, welche ganz oder bis zu einer Marke gefüllt werden, am genauesten die dritte und vierte Form, bei welchen die eine Öffnung zum Einlassen der Flüssigkeit, die andere zum Auslassen bez. Absaugen der Luft dient. Verfügt man nur über einige Tropfen, so lassen sich ganz kleine Fläschchen, wie sie zu Dampfdichte-Bestimmungen (**16**, B) gebraucht werden, anwenden. — Nr. 4 (Sprengel-Ostwald) hängt man mit einem Drahte an die Wage. Die Kenntnis der Temperatur wird hier durch ein Bad von konstanter Temperatur erzielt, in welchem das Pyknometer sich aber hinreichend lange befunden haben muſs. Über Füllung und Temperaturbestimmung von Nr. 1 vgl. B, 2. Bequemer als Austrocknen des Gefäſses vor einer Neufüllung wird meistens Vorspülen mit der neuen Flüssigkeit sein.



3. Auftriebsmethode. Man wägt einen Körper (Glaskörper) in der Luft (p_l), in der Flüssigkeit (p_f) und im Wasser (p_w). Beträgt der Gewichtsverlust $m = p_l - p_f$ in der Flüssigkeit, $w = p_l - p_w$ im Wasser, so ist wieder $s = m/w$. Fehlerquelle ist hauptsächlich die Reibung in der Oberfläche bez. die Unregelmäſsigkeit in der Benetzung des Aufhängefadens, welche bei Metalldrähten erheblich ist, besonders im Wasser. Platin-

draht, den man platinirt (7, 18) und dann geglüht hat, vermeidet den Fehler. — Bequem ist ein Senkkörper, der durch ein Thermometer gebildet wird.

Mohr'sche Wage. Ein Glaskörper ist mit einem feinen Draht an einem decimal geteilten Wagebalken äquilibrirt. Der Auftrieb des Körpers in Wasser ist gleich dem Gewichte des gröfsten Reiters; die anderen sind 10, 100 bez. 1000 mal leichter. Die Teilstriche des Wagebalkens, auf welche die Reiter aufgesetzt werden müssen, um den Auftrieb der Flüssigkeit auf den untergetauchten Glaskörper zu kompensiren, geben ohne weiteres die einzelnen Decimalen des specifischen Gewichtes an. Zur Richtigkeit der Mohr'schen Wage gehört 1) dafs die Gewichte oder Reiter sich wie 1:10:100 verhalten; 2) dafs die Abstände der Teilstriche gleich sind. Um dies zu prüfen, hängt man an den anderen Wagebalken eine kleine äquilibrirte Wagschale, setzt den gröfsten Reiter auf den Teilstrich 1, 2 etc. auf und untersucht, ob derselbe dabei Gewichten auf der Wagschale entspricht, welche sich wie 1:2 etc. verhalten; 3) dafs die Wage im Wasser von der Temperatur t diejenige Dichtigkeit zeigt, welche in Tab. 4 zu t gehört. Zeigt die Wage Q' statt Q, so sind alle Angaben derselben mit Q/Q' zu multipliciren. Eine gute Mohr'sche Wage kann mit feinem Platindraht (vgl. oben) die 4te Decimale noch einigermafsen richtig liefern.

Über die Beobachtungsweise bei Anspruch auf sehr grofse Genauigkeit s. K. u. Hallwachs, Wied. Ann. 50, 118. 1893; 53, 15. 1894; 56, 185. 1895.

4. Skalenaräometer. Diese geben an dem Teilstrich, bis zu welchem sie einsinken, entweder die Dichtigkeit, oder deren reciproken Wert, das specifische Volumen, oder den Gehalt einer Lösung, oder endlich sogenannte „Dichtigkeitsgrade" (Tab. 2). Die Ablesung des Aräometers geschieht an der Oberfläche durch die Flüssigkeit hindurch, indem man das Auge so hält, dafs die Fläche als Linie verkürzt erscheint. Das Aräometer soll in Wasser von der Temperatur t die Zahl ergeben, welche laut Tab. 4 zu t gehört. Man prüft andere Punkte der Skale in Flüssigkeiten von bekanntem spec. Gewicht.

Über ein Gewichtsaräometer für genaue Bestimmungen s. Lohnstein, Z. S. f. Instr. 1894, 164.

5. Hydrometer. Die Höhen zweier Flüssigkeitssäulen,

welche sich in kommunicirenden Röhren das Gleichgewicht halten, stehen im umgekehrten Verhältnis der Dichtigkeiten.

B. Für feste Körper.

Die den Körpern anhaftenden Luftbläschen sind bei gröfseren Stücken durch wiederholtes Herausziehen oder mit dem Pinsel, bei kleinen durch Schütteln oder Auskochen oder mit der Luftpumpe zu beseitigen.

1. Wägung und Volummessung. Haben m g des Körpers das Volumen v cbcm, so ist die Dichtigkeit $s = m/v$. Die Ausmessung kann bei regelmäfsiger Gestalt des Körpers mit dem Mafsstabe ausgeführt werden. Bei unregelmäfsiger Gestalt kann man das Volumen messen, um welches ein in einer kalibrirten Röhre enthaltenes Flüssigkeitsquantum bei dem Hineinwerfen des Körpers ansteigt. Besonders auf zerkleinerte Substanzen ist die Methode leicht anwendbar. Für in Wasser lösliche Substanzen dient z. B. Alkohol, Petroleum, Toluol, oder auch eine gesättigte Lösung der Substanz.

Auch kann man das Volumen bestimmen, indem man den Körper in ein ganz gefülltes Gefäfs mit genau definirtem Ausgufs bringt und die ausfliefsende Menge wägt.

2. Pyknometer. Dasselbe wiege mit Wasser gefüllt P, mit Wasser und dem Körper P', während der Körper selbst m wiege. Dann ist die verdrängte Wassermenge $w = P + m - P'$ und $s = m/w$. Besonders bei kleinen Körpern wird das Verfahren gebraucht, doch sind alsdann auch möglichst kleine Fläschchen anzuwenden, bei denen man sich überzeugt hat, dafs sie bei wiederholter Füllung mit Wasser nach Anbringung der Korrektionen III 1 u. 2 hinreichend konstante Gewichte geben.

Hat das Pyknometer kein Thermometer, so nimmt man entweder die Temperatur der Spritzflasche, oder man füllt zunächst nur so weit, dafs man ein kleines Thermometer einführen kann. Demnächst füllt man den kleinen Rest auf und setzt den durch Aussaugen von Tropfen befreiten, mit einer unwägbaren Spur von Fett eingeriebenen Stöpsel rasch ein. Hat derselbe eine hinreichende Wandstärke, so füllt er sich; man trocknet ausgespritztes Wasser sofort ab und tupft nötigenfalls mit einem Fliefspapier-Spitzchen das Wasser bis zur Marke aus. Spätere Temperaturänderungen sind gleichgiltig, wenn nicht durch dieselben Wasser austritt. Die Flüssigkeit soll also nicht kälter als die Zimmerluft sein.

3. *Auftriebsmethode.* Ist m das Gewicht des Körpers, wiegt derselbe unter Wasser p, ist also der Auftrieb $w = m - p$, so ist $s = m/w$.

Mit der Wage. Man hängt den Körper mit einem dünnen fettfreien Faden oder Draht an einer Wagschale auf. Das Drahtgewicht bestimmt man für sich und zieht dasselbe von p ab (oder addirt es, aber nur bei der Berechnung des Auftriebes w, zu m). Von dem so gefundenen Auftriebe w ist nötigenfalls der Auftrieb des Drahtes abzuziehen, den man leicht schätzen kann, indem man aus dem Verhältnis der untergetauchten zur ganzen Länge das Gewicht des untergetauchten Stückes berechnet. Letzteres, dividirt durch die Dichtigkeit des Drahtes (Tab. 1), giebt den Gewichtsverlust des Drahtes.

Bei der Wägung im Wasser nehmen die Schwingungen der Wage rasch ab; man wird meistens die Ruhelage beobachten müssen. — Der Aufhängefaden soll dünn sein und durch die Oberfläche nur *einmal* hindurchtreten, um die Kapillarkräfte

möglichst zu vermindern; vgl. auch A 3. Das Wasser soll nahe die Zimmertemperatur haben, oder man muſs besonders geschützte Bäder anwenden. Bei Beobachtung im geschlossenen Wagekasten ist ein Thermometer von beistehender Form bequem.

In Wasser lösliche Körper wägt man in einer anderen Flüssigkeit von bekannter Dichtigkeit. Mit letzterer ist dann das wie oben berechnete Resultat zu multipliciren.

Leichte Körper werden durch Verbindung mit einem anderen von hinreichendem Gewicht zum Untersinken gezwungen; z. B. mit einer Metallklemme, oder einer Glocke von Drahtnetz, unter welcher man den Körper aufsteigen läſst. Der Belastungskörper kann bei allen Wägungen im Wasser bleiben.

Zerkleinerte Körper legt man in ein Schälchen, welches unter Wasser hängt und tarirt ist.

Kann man den Körper nicht an die Wagschale hängen, so läſst sich vielleicht ein Gefäſs mit Wasser auf die Wage stellen und seine Gewichtszunahme bestimmen, wenn der mit einem Faden an einem festen Stativ aufgehängte Körper untergetaucht wird. Diese Zunahme ist gleich dem scheinbaren Gewichtsverlust des Körpers im Wasser.

Mit der Nicholson'schen Senkwage. Man belastet die obere Schale des Schwimmers, jedesmal bis zu dessen Einsinken bis an die Marke am Halse: 1) durch Gewichte; 2) durch Körper und Gewichte; 3) durch Gewichte, während zugleich der Körper unter Wasser auf der unteren Schale liegt. 1) minus 2) giebt das Gewicht des Körpers, 3) minus 2) das Gewicht des von diesem verdrängten Wassers. Temperaturschwankungen beeinträchtigen die Genauigkeit, um so mehr, je kleiner der Körper gegen die Senkwage ist. Die Sicherheit der Einstellung wird durch Reinigen des Halses mit Weingeist erhöht.

Mit der Jolly'schen Federwage. Ein spiraliger Draht trägt zwei übereinander gehängte Wagschalen, von denen die untere konstant in ein Gefäfs mit Wasser taucht. Um die Parallaxe beim Ablesen zu vermeiden, ist die Teilung auf einem spiegelnden Glase angebracht. 0,1 mm läfst sich noch schätzen. Mit einem Gewichtsatz kann man Wägungen genau wie an der Senkwage ausführen, indem man eine Marke am unteren Ende des Spiraldrahtes immer auf einen bestimmten Teilstrich bringt.

Ein einfacheres Wägungsprincip mit der Federwage ist auch ohne Gewichtsatz dadurch gegeben, dafs die Senkung h dem angehängten Gewichte p nahe proportional ist, wonach $p = A . h$. Durch eine einmalige Belastung mit einem bekannten Gewicht kann A bestimmt werden. Da bei Dichtigkeitsbestimmungen die Gewichtseinheit sich heraushebt, so kann man hier einfach den Skalenteil der Federwage als Einheit nehmen. Senkt sich die Wage durch Auflegung des Körpers auf die obere Schale um h, dagegen um h', wenn der Körper unter Wasser auf die untere Schale gelegt wird, so ist also $s = h/(h - h')$.

Genauer setzt man $p = Ah + Bh^2$. Man bestimmt A und B aus zwei Belastungen, deren eine etwa die gröfste anzuwendende Senkung bewirke, während die andre halb so grofs sein mag.

Man kann hiernach leicht eine Tabelle aufstellen, welche zu den Senkungen die zugehörigen Belastungen angiebt.

4. Schwebemethode. Sehr kleine, sogar pulverförmige Körper kann man bestimmen, indem man eine Flüssigkeit mischt, in welcher die Körper nicht sinken oder steigen. Geeignet können Mischungen von Chloroform (1,52) oder Bromoform (2,9) oder Methylenjodid (3,3) mit Benzol (0,89), Toluol (0,89), Xylol (0,86) oder wässerige Lösungen von Kaliumquecksilberjodid (Thoulet'sche Lösung; bis 3,20) sein.

Zur genauen Abgleichung korrigirt man zweckmäfsig etwa eine noch ein wenig zu leichte mit einer etwas zu schweren Mischung. Auch kann man Temperaturänderungen zur Abgleichung benutzen, da die Flüssigkeiten sich stark, die festen Körper sich schwach ausdehnen.

Die Dichtigkeit der Flüssigkeit ermittelt man am einfachsten mit der Mohr'schen Wage, während die Körper schweben. — Durch partielles Abdestilliren zerlegt man die Flüssigkeiten nach dem Gebrauch wieder.

Vgl. auch Retgers, Z. S. f. physik. Chemie 3, 289. 497, 1889; 4, 189. 1889; 11, 328. 1893.

II. Reduktion der Wägung auf den leeren Raum und auf Wasser von 4^0.

Für flüssige wie für feste Körper sind unter Nr. 1 die gefundenen Gewichte, wenn die Genauigkeit es erfordert, auf den leeren Raum zu reduciren (**11** II; Tab. 8).

Die unter Nr. 2 und 3 aufgezählten Methoden der Dichtigkeitsbestimmung mit dem Pyknometer und nach dem Archimedischen Gesetz verlangen eine Korrektion, welche nach folgender gemeinschaftlicher Regel ausgeführt wird.

Man mufs erstens darauf Rücksicht nehmen, dafs das Wasser eine andere Temperatur als $+4^0$ hat. (Absorbirte Luft vermindert die Dichtigkeit des Wassers höchstens um einige Einheiten der 6ten Decimale.) Zweitens sind die Wägungen auf den leeren Raum zu reduciren. Es bedeute

Q die Dichtigkeit des Wassers, welches zur Beobachtung gedient hat (Tab. 4);

λ die Dichtigkeit der Luft bezogen auf Wasser (der Mittelwert $\lambda = 0{,}00120$ genügt fast immer; andernfalls vgl. **15** u. Tab. 6);

m das scheinbare d. h. von der Wage angegebene Gewicht des in der Luft gewogenen festen oder flüssigen Körpers; oder bei Bestimmung einer Flüssigkeit mit dem Glaskörper den scheinbaren Gewichtsverlust des in die Flüssigkeit getauchten Körpers;

w das scheinbare Gewicht des dem Volumen des Körpers gleichen Volumens Wasser von der Dichtigkeit Q.

Die Gröfse w kann also sein:

1. für Flüssigkeiten: das beobachtete Gewicht des Wassers in dem Tarirfläschchen, oder des von dem Glaskörper verdrängten Wassers;

2. für feste Körper: der beobachtete Gewichtsverlust des Körpers im Wasser bei einer Bestimmung nach dem Archimedischen Gesetz mit Wage oder Senkwage; oder das Gewicht des durch Einbringen des Körpers ausgeflossenen Wassers bei Anwendung des Tarirfläschchens.

m/w ist das rohe unkorrigirte specifische Gewicht. Das richtige ist

$$s = \frac{m}{w}(Q - \lambda) + \lambda \text{ oder auch } = \frac{m}{w} Q + \left(1 - \frac{m}{w}\right)\lambda.$$

Vgl. über die Rechnung auch die folgende Seite und über ihre Vereinfachung, falls man denselben Glaskörper oder dasselbe Pyknometer wiederholt benutzt, III 4.

Der Einflufs des Gewichtsverlustes in der Luft verschwindet nur, wenn die Dichtigkeit gleich Eins ist. Er erreicht für $s = 20$ den Wert 0,023. Würde man noch die Ausdehnung des Wassers vernachlässigen, so könnte man hier ein um 0,08 zu grofses Resultat erhalten.

Strenge Vorschriften s. z. B. bei R. Kohlrausch, Prakt. Regeln zur genauen Best. d. spec. Gewichtes. Marburg 1856.

Beweis. Wenn der Körper, fest oder flüssig, in der Luft das Gewicht m hat, während er die Luftmenge l verdrängt, so wiegt er im leeren Raume $m + l$. In betreff der Bestimmung von w können wir drei Fälle unterscheiden. Hat man das Gewicht w des gleichen Volumens Wasser durch Abwägen bestimmt, so ist das Gewicht des Wassers im leeren Raume $= w + l$. Oder wenn der scheinbare Gewichtsverlust w eines festen Körpers durch Eintauchen in Wasser gemessen wurde, so ist derselbe ebenfalls um l zu vermehren, da das Gewicht im leeren Raume um l gröfser gewesen wäre als in der Luft. Ebenso ist drittens, wenn die Dichtigkeit einer Flüssigkeit dadurch bestimmt wird, dafs man den scheinbaren Gewichtsverlust eines und desselben Körpers in der Flüssigkeit und im Wasser ermittelt, jeder Verlust um l zu vergröfsern.

Das Wasser aber habe nicht die Dichtigkeit 1, sondern Q gehabt, so würde dasselbe Volumen Wasser bei der Normaltemperatur $(w+l)/Q$ wiegen. Man erhält also in allen Fällen die wahre Dichtigkeit s des Körpers $s = Q(m+l)/(w+l)$. Da nun $(w+l)/Q$ das Volumen der verdrängten Luftmasse, welche die Dichtigkeit λ (bezogen auf Wasser) hat, so ist $l = \lambda(w+l)/Q$, woraus $l = w\lambda/(Q-\lambda)$. Den letzteren Wert für l in s eingesetzt, erhält man obigen Ausdruck.

Beispiel. Ein Stück Silber wiege in der Luft . . $m = 24{,}312$ g
im Wasser von 19,2° . . . . 21,916 g
so ist der scheinbare Gewichtsverlust im Wasser $w = 2{,}396$ g

Das unkorrigirte specifische Gewicht würde also sein

$$m/w = 24{,}312/2{,}396 = 10{,}147.$$

Das korrigirte erhält man, da nach Tab. 4 für 19,2° $Q = 0{,}99840$,

$$s = 10{,}147\,(0{,}99840 - 0{,}00120) + 0{,}0012 = 10{,}119.$$

Man rechnet im Kopf, wenn man $0{,}99840 - 0{,}00120 = 1 - 0{,}00280$ setzt.

III. Korrektion der Beobachtungen mit dem Pyknometer oder dem Glaskörper wegen der Temperatur-Änderungen.

Ändert sich zwischen den verschiedenen Wägungen die Temperatur, so kommt noch eine Korrektion wegen der Ausdehnung des Wassers und des Glases. Man kann auf folgende Weise aus einer einmal ausgeführten Wägung des Gefäfses mit Wasser, bez. des Glaskörpers im Wasser, das Gewicht, bez. den Auftrieb für beliebige Temperatur berechnen.

Es bedeute für die ausgeführte Wägung t_0 und Q_0 die Temperatur und Dichtigkeit (Tab. 4) des Wassers, p_0 das gefundene Nettogewicht des Wassers bez. den Auftrieb im Wasser; einer anderen Temperatur t mögen Q und p entsprechen. p ist zu berechnen.

1. Ausdehnung des Wassers. Soll nur diese Korrektion angebracht werden, so hat man $p = p_0 \cdot Q/Q_0$ oder merklich $p = p_0 + p_0(Q - Q_0)$.

2. Ausdehnung des Glases. Das Volumen für t ist im Verhältnis $1 + 3\beta(t - t_0)$ gröfser als für t_0, wo 3β den kubischen Ausdehnungskoefficienten des Glases (für gewöhnliches Glas im Mittel $3\beta = 1/40000$; vgl. auch 7, 5) bezeichnet.

Es ist also (Beweis s. unten)

$$p = p_0[1 + 3\beta(t - t_0)] \cdot \frac{Q}{Q_0} = p_0 + p_0[3\beta(t - t_0) + Q - Q_0].$$

3. Dichtigkeitsbestimmung fester Körper mit dem Pyknometer. Ohne die Korrektionen kann man bei kleinen Körpern zu ganz falschen Resultaten gelangen. Man erhält das scheinbare Gewicht w des dem Körper gleichen Volumens Wasser aus der Formel

$$w = m + P_0 - P + (P_0 - \pi)[Q - Q_0 + 3\beta(t - t_0)].$$

Hierin bedeutet

m das Gewicht des Körpers in der Luft,

P_0 das Gewicht des mit Wasser gefüllten Gefäſses,

P das Gewicht des mit Wasser und dem Körper gefüllten Gefäſses,

π das Gewicht des leeren Gefäſses (nur angenähert zu bestimmen).

Ferner sind die Temperatur und Dichtigkeit des Wassers:

t_0, Q_0 bei der Wägung mit Wasser allein,

t, Q bei der Wägung mit Wasser und Körper.

Beweise. Offenbar ist, wenn p_0 und p die Nettogewichte des Wassers bei den Temperaturen t_0 und t bedeuten, $p = p_0[1 + 3\beta(t - t_0)]Q/Q_0$.

In Anbetracht dessen, daſs Q und Q_0 wenig von 1 verschieden sind, kann man (Formel 8, S. 9) zunächst schreiben

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1 + (Q - 1)}{1 + (Q_0 - 1)} = 1 + (Q - Q_0).$$

Nach Formel 7 S. 9 entsteht dann, da 3β sehr klein ist,

$$p = p_0[1 + 3\beta(t - t_0) + Q - Q_0] = p_0 + p_0[3\beta(t - t_0) + Q - Q_0].$$

d. h. der unter 2 aufgestellte Ausdruck.

Das Glas mit Wasser würde also bei der Temperatur t wiegen

$$P_0 + (P_0 - \pi)[3\beta(t - t_0) + Q - Q_0].$$

Nach dem Einbringen des Körpers vom Gewicht m, wobei die Wassermenge w ausgeflossen ist, hat man das Gewicht $= P$ gefunden. Also ist

$$P + w = P_0 + (P_0 - \pi)[3\beta(t - t_0)] + Q - Q_0] + m,$$

woraus der gesuchte Ausdruck für w unter 3 folgt.

Das Gewicht π des leeren Gefäſses kommt nur mit einer Korrektionsgröſse multiplicirt vor, braucht also nicht genau bekannt zu sein.

4. Korrektion von Temperaturschwankungen bei der Dichtigkeitsbestimmung von Flüssigkeiten mit dem Pyknometer bez. dem Glaskörper. Beide Korrektionen sind

offenbar identisch. Es sei gefunden das Nettogewicht der Füllung des Pyknometers bez. der Auftrieb des Glaskörpers für Wasser gleich p_0 bei der Temp. t_0, für die Flüssigkeit gleich m bei t.

Man berechne $w = p_0[1 + 3\beta(t - t_0)]$; dann ist, wenn Q_0 die Dichtigkeit des Wassers bei t_0 bedeutet, wieder (vgl. II)

$$s = m/w \cdot (Q_0 - 0{,}00120) + 0{,}00120.$$

Bei wiederholtem Gebrauch desselben Gefäfses bez. Glaskörpers stellt man für Q_0/w eine Tabelle auf und rechnet $s = m \cdot Q_0/w - 0{,}00120(m/w - 1)$. (Wenn s von 1 wenig verschieden ist, so heben sich die 0,0012 heraus.)

IV. Reduktion auf eine Normaltemperatur.

s gilt für die Wägungstemperatur t. Für einen festen Körper ist t seine Temperatur im Wasser.

Hieraus wird die Dichtigkeit S bei einer anderen Temperatur T mit Hilfe des kubischen Ausdehnungskoefficienten α (oder 3β; Tab. 9) gefunden $S = s[1 + \alpha(t - T)]$.

Die meisten Flüssigkeiten haben eine ungleichförmige Ausdehnung, welche aus Formeln oder aus Tabellen entnommen werden mufs. Die Volumina derselben Flüssigkeitsmenge seien für die Temperaturen T und t gleich V und v angegeben. Dann ist $S = s \cdot v/V$.

Vgl. Tab. 3a u. 9 sowie Hofmann-Schädler, Tabellen für Chemiker; Gerlach, Salzlösungen; Forch, Wied. Ann. 55, 100. 1895; Landolt u. Börnstein Tab. 30 ff.

14. Volumenometer (Say; Kopp).

Eine konstante Luftmenge ist über Quecksilber zunächst unter dem atmosphärischen Druck H mm Quecksilber (Barometerstand) abgesperrt. Man vergröfsere bez. vermindere das Volumen um die gemessene Gröfse v und beobachte die dabei stattfindende Druckänderung h mm Quecksilber, so ist das ursprüngliche Volumen

$$V = v\frac{H-h}{h} \text{ bez. } = v\frac{H+h}{h}.$$

Nachdem so das Volumen des leeren Gefäfses gemessen worden ist, bringt man den Körper in dasselbe und verfährt ebenso. Die Differenz der gefundenen Werte ist das Volumen des Körpers, die Dichtigkeit also ist sein Gewicht, dividirt durch diese Differenz.

v und h dürfen nicht zu klein sein, wenn ein brauchbares Resultat entstehen soll. — Man vermeide Temperaturänderungen der abgeschlossenen Luftmenge durch die Nähe des Körpers u. s. w. während des Versuches.

Ein bequemer Volumenometer, dem Jolly'schen Luftthermometer ähnlich angeordnet, s. bei Paalzow, Wied. Ann. 13, 332. 1881.

15. Berechnung der Dichtigkeit der Luft oder eines anderen Gases aus Druck und Temperatur.

Die Dichtigkeit s eines vollkommenen Gases für die Temp. t und den Druck H mm Quecksilber wird aus derjenigen für 0° und 760 mm nach dem Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetz berechnet

$$s = \frac{s_0}{1+0{,}00367 \cdot t} \cdot \frac{H}{760}.$$

Die Ausdrücke $1+0{,}00367t$ und $H/760$ siehe in Tab. 7. 0,00367 ist $= 11/3000$ oder nahe $1/273$.

Die Dichtigkeit der trocknen atmosphärischen Luft für 0° und 760 mm unter 45° geogr. Breite ist $\lambda_0 = 0{,}001293$ (Regnault). Der Temperatur t und dem auf 0° und die Schwere unter 45° Br. nach **20** reducirten Quecksilberdruck H entspricht also die Dichtigkeit der Luft

$$(1) \qquad \lambda = \frac{0{,}001293}{1+0{,}00367 \cdot t} \cdot \frac{H}{760}.$$

Man findet diese Gröfse in Tab. 6. Aus derselben wird man die Dichtigkeit eines anderen Gases für H und t durch Multiplikation mit der auf Luft bezogenen Gasdichte (Tab. 1 unten)[1]) am einfachsten berechnen.

Leichter kondensirbare Gase haben etwas gröfsere Aus-

1) Die Dichtigkeit der Luft hängt natürlich von ihrer Zusammensetzung ab. Wäre z. B. der Kohlensäure-Gehalt fünfmal so grofs als der normale, so wäre λ_0 etwa $= 0{,}001294$. Für die meisten Zwecke würde selbst eine solche Änderung ohne Bedeutung sein. Für sehr feine Messungen mag man aber vorher lüften. Im Freien wurden die gröfsten relativen Abweichungen vom Mittelwert $= \pm 1/3000$ gefunden (Jolly).

dehnungskoefficienten. Mit steigendem Druck oder sinkender Temperatur wachsen dieselben ein wenig.

Ist ein Gasvolumen v über einer Flüssigkeit (z. B. Wasser) gemessen, mit deren Dämpfen der Raum v gesättigt ist, so erhält man nach dem Dalton'schen Gesetz den Druck des trockenen Gases, indem man von dem gemessenen Gesamtdruck die Dampfspannung der Flüssigkeit abzieht. Für Wasser vgl Tab. 13, für andere Flüssigkeiten s. Landolt und Börnstein Tab. 22 ff.

Dichtigkeit feuchter Luft. Wasserdampf ist nahe $^5/_8$ so dicht wie Luft von gleichem Druck und gleicher Temperatur. Man findet also die Dichtigkeit feuchter Luft, wenn die Spannkraft (der Druck) des Wasserdampfes in derselben $= e$ ist (**28**), indem man $^3/_8 e$ von dem gesamten Druck (Barometerstand) abzieht und mit dem so korrigirten Werte H in Tab. 6 oder die obige Formel eingeht.

In Ermangelung der Kenntnis von e mag man im Mittel die Luft zur Hälfte mit Wasserdampf gesättigt annehmen. Diese Annahme ist für Zimmertemperatur nahe gemacht, wenn man für H den ganzen Druck nimmt, aber rechnet

$$\lambda = \frac{0{,}001295}{1+0{,}004 \cdot t} \cdot \frac{H}{760}. \tag{2}$$

Feuchte Luft kann bis 1% leichter sein als cet. par. trockene Luft.

16. Bestimmung der Dampfdichte.

Dampfdichte nennt man die Dichtigkeit eines Dampfes (oder Gases) bezogen auf trockene atmosphärische Luft von gleicher Temperatur und Spannung (Druck) als Einheit. Nach dem Avogadro'schen Gesetz enthalten gleiche Volumina der verschiedenen Gase und Dämpfe bei gleichem Druck und gleicher Temperatur eine gleiche Anzahl Moleküle: mit anderen Worten, die Molekularvolumina aller Gase und Dämpfe sind einander gleich. Die Dampfdichte ist gleich dem Molekulargewicht geteilt durch 28,9; z. B. für Wasser H_2O gleich $18/28{,}9 = 0{,}623$.

Die Chemie pflegt statt der Luft ein Gas von der halben Dichtigkeit des Wasserstoffs als Einheit zu nehmen, d. h. die auf Luft bezogene Dampfdichte mit 28,9 zu multipliciren (da

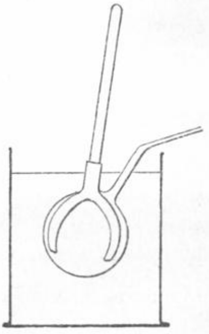
Wasserstoff 14,44 mal leichter ist als Luft). Dann ist die Dampfdichte einfach gleich dem Molekulargewicht.

Jedes Gramm-Molekül, d. h. so viel Gramme, wie das chemische Molekulargewicht des Körpers angiebt, hat bei 760 mm Quecksilberdruck und der Temperatur t in Dampfform das Volumen $22{,}4\,(1 + 0{,}00367\,t)$ Liter.

Ist die wirkliche Dampfdichte d gröſser oder kleiner als die berechnete d_0, so hat der Körper als Dampf ein in dem gefundenen Verhältnis d_0/d gröſseres oder kleineres Molekül, als die chemische Formel annimmt. Bei manchen Dämpfen wird das Molekül mit wachsender Temperatur kleiner (Dissociation). Bei dem Zerfall in zwei Moleküle nennt man $\frac{d_0}{d} - 1$, allgemein bei dem Zerfall in n Moleküle $\left(\frac{d_0}{d} - 1\right) \cdot \frac{1}{n-1}$ den Dissociationsgrad, d. h. das Verhältnis der Zahl der Moleküle, welche sich gespalten haben, zu der ursprünglichen Gesamtzahl.

A. Durch Wägung eines bekannten Dampfvolumens (Dumas).

Ein leichter, ausgetrockneter Glaskolben von $^1/_{10}$ bis $^1/_4$ Liter Inhalt, z. B. eine Glaskugel mit angeblasener und nach dem Austrocknen in eine Spitze von etwa 1 qmm Öffnung ausgezogener Röhre wird gewogen. Alsdann bringt man einige gr der zu bestimmenden Flüssigkeit in das Gefäſs. Zu diesem Zweck erwärmt man dasselbe und läſst die Flüssigkeit während des Abkühlens einsaugen.



Das Gefäſs wird dann mit einem geeigneten Halter (Fig.) gefaſst und so in ein Bad gebracht, daſs die offene Spitze herausragt; das Bad wird 10—20° über den Siedepunkt der Flüssigkeit erhitzt. Ist alle Flüssigkeit verdampft, so schmelzt man den Ballon mit der Stichflamme vollständig zu, am sichersten durch Abziehen der Spitze. Die Temperatur des Bades und der Barometerstand wird in diesem Augenblicke abgelesen.

Nach dem Entfernen aus dem Bade läſst man durch Umkehren den durch Abkühlen verdichteten Tropfen an die Spitze fliefsen und überzeugt sich, dafs die letztere keine Luft eintreten läfst. Darauf wird der abgekühlte und gut gereinigte Ballon, ev. nebst der abgezogenen Spitze, wieder gewogen, unter Beobachtung des Barometerstandes und der Temperatur der Luft im Wagekasten.

Endlich hält man die Ballonspitze in vorher ausgekochtes oder unter der Luftpumpe luftfrei gemachtes Wasser [oder in Quecksilber], feilt sie an und bricht sie ab, worauf die Flüssigkeit in den Ballon steigt. Der gefüllte Ballon nebst der abgebrochenen Spitze wird wiederum gewogen. Über die zurückgebliebene Luft siehe Nr. III.

Statt der Glaskugel kann vorteilhaft ein Gefäfs mit zwei Röhren und aufgeschliffenen Stöpselchen dienen, welches sich bequemer austrocknen und füllen und wiederholt verwenden läfst. (Pawlewski.)

Es sei 1. m das Gewicht des mit Luft gefüllten Ballons;
2. m' „ „ „ „ Dampf „ „
3. M „ „ „ „ Wasser [od. Quecks.] „
4. t und b bei dem Zuschmelzen Temperatur des Dampfes und Barometerstand;
5. t' und b' bei der Wägung mit Dampf Temperatur im Wagekasten und Barometerstand. Von b' (aber nicht von b) sei $^3/_8$ der Spannkraft des Wasserdampfes (**28**) im Wagezimmer abgezogen (vgl. **15**);
6. λ' die Dichtigkeit der Luft, wie sie zu t', b' aus **15** oder aus Tab. 6 gefunden wird.

I. Näherungsformel. Die Dampfdichte ist, wenn mit Wasser gewogen wurde,

$$d = \left(\frac{m' - m}{M - m}\,\frac{1}{\lambda'} + 1\right)\frac{b'}{b}\,\frac{1+0{,}00367\cdot t}{1+0{,}00367\cdot t'}.$$

[Für Quecksilber $13{,}56/\lambda'$ anstatt $1/\lambda'$.]

Beweis. Bezeichnen D und L den Dampf bez. die Luft im Ballon, so ist offenbar $D - L = m' - m$, also $D = m' - m + L$. Die Dampfdichte d würde, wenn der Dampf wie die Luft t' und b' gehabt hätte, einfach dargestellt werden durch $d = D/L = (m' - m)/L + 1$, oder, da $L = \lambda'(M - m)$ ist, durch $d = \frac{m' - m}{M - m}\,\frac{1}{\lambda'} + 1$. Der Faktor $\frac{b'}{b}\,\frac{1+0{,}00367\cdot t}{1+0{,}00367\cdot t'}$ kommt hinzu, da der abgesperrte Dampf nicht t' und b', sondern t und b gehabt hat.

II. Genauere Formel: mit Rücksicht auf die Ausdehnung des Glases und des Wassers und auf den Gewichtsverlust des Wassers in der Luft. (Aber nicht auf Änderungen im Luftauftrieb der Gefäſswände und der Gewichtstücke oder darauf, daſs der Tropfen, welcher in dem Ballon bleibt, nicht die Dichtigkeit des Wassers hat.)

Es sei 7. Q die Dichtigkeit des zur Wägung angewandten Wassers (Tab. 4) [oder Quecksilbers (Tab. 1 u. 9)];

8. 3β der kubische Ausdehnungskoefficient des Glases $= 0{,}000025 = 1/40000$ (vgl. auch **7**, 5); so ist

$$d = \left(\frac{m' - m}{M - m}\,\frac{Q - \lambda'}{\lambda'} + 1\right)\left[1 - 3\beta(t - t')\right]\frac{b'}{b}\,\frac{1 + 0{,}00367 \cdot t}{1 + 0{,}00367 \cdot t'}.$$

Beweis ähnlich wie in **13**.

III. Wenn der Ballon sich nach Abbrechen der Spitze unter Wasser nicht ganz füllt, so hat der Dampf die Luft nicht vollständig verdrängt. Will man hierauf keine Rücksicht nehmen, so fülle man vor der Wägung vollständig mit der Spritzflasche und rechne nach den früheren Formeln. Anderenfalls tauche man den Ballon nach dem Abbrechen der Spitze so weit ein, daſs die innere und äuſsere Oberfläche gleich hoch steht, und wäge ihn so weit gefüllt. Erst dann füllt man den Rest mit Flüssigkeit und führt die Wägung M aus. Wir setzen

9. Das Gewicht des partiell mit Wasser [oder Quecksilber] gefüllten Ballons $= M'$.

Dann ist die Dampfdichte

$$d_0 = \frac{(m' - m)\,Q/\lambda' + M' - m'}{(M - m)\dfrac{b}{b'}\,\dfrac{1 + 0{,}00367\,t'}{1 + 0{,}00367\,t}\left[1 + 3\beta(t - t')\right] - (M - M')}.$$

Vgl. R. Kohlrausch, Prakt. Regeln z. genaueren Bestimmung d. spec. Gewichtes.

Beweis. Das Volumen der Luftblase folgt aus den Wägungen M und M' bei der Temperatur der Füllung $= (M - M')/(Q - \lambda')$; dasselbe war also bei dem Zuschmelzen

$$v = \frac{M - M'}{Q - \lambda'}\,\frac{b'}{b}\,\frac{1 + 0{,}00367\,t}{1 + 0{,}00367\,t'}.$$

Der Ausdruck d unter II ist demnach die Dampfdichte eines Gemisches der Volumina v Luft und $V - v$ Dampf, und es ist, wenn wir die Dichte des reinen Dampfes durch d_0 bezeichnen, $Vd = v + (V - v)d_0$, woraus $d_0 = (Vd - v)/(V - v)$.

Hierein den Wert für d unter II, den obigen Wert für v, endlich $V = (M - m)/(Q - \lambda') \cdot [1 + 3\beta(t - t')]$ eingesetzt, findet sich nach einigen Umformungen, zum Teil mittels der Formeln S. 9 der Ausdruck unter III.

Beispiel. Es wurde gefunden:

$m = 29{,}6861$ g (Luft), $M = 142{,}41$ g (ganz mit Wasser);
$m' = 29{,}8431$ g (Dampf), $M' = 141{,}32$ g (teilweise mit Wasser);
ferner $b = 745{,}6$ mm, $t = 99{,}^05$ (beim Zuschmelzen);
$b' = 742{,}2$ mm, $e = 9{,}4$ mm. $t' = 18{,}^07$ (beim Wägen mit Dampf).

Das Wasser zur Wägung hatte $17{,}^04$, also (Tab. 4) $Q = 0{,}9988$.

Man findet (**15**) $\lambda' = 0{,}001182$ ohne Rücksicht auf e,
$\lambda' = 0{,}001176$ mit „ „ „

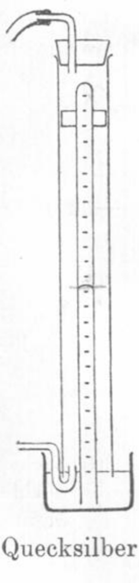
Nach der richtigen Formel III erhält man die Dampfdichte 2,777; II ergiebt 2,755, I 2,765. Die Vernachlässigung von e macht die Zahlen um 0,006 gröſser.

Die auf Wasserstoff = 2 bezogene Dampfdichte oder das Molekulargewicht des Dampfes ist also (S. 66) $2{,}777 \cdot 28{,}9 = 80{,}3$.

Den Ausdruck $1 + 0{,}00367\,t$ siehe in Tab. 7. Sonst schriebe man bequemer

$$\frac{272{,}5 + t'}{272{,}5 + t} \text{ statt } \frac{1 + 0{,}00367\,t'}{1 + 0{,}00367\,t}.$$

B. Durch Messung des Dampfvolumens einer gewogenen Flüssigkeitsmenge. (Gay-Lussac. Hofmann.)



Ein dünnwandiges Glaskügelchen, welches man nach dem Füllen zuschmelzt, oder ein Kügelchen mit offenem Kapillarrohr, oder ein ganz kleines Fläschchen mit eingeriebenem Stöpsel, von etwa 0,1 bis 0,2 cbcm Inhalt, wird zuerst leer und dann mit der Flüssigkeit, deren Dampfdichte bestimmt werden soll, gewogen. Gläschen und Inhalt läſst man in einer mit trockenem und luftfreiem Quecksilber (**19**) gefüllten und über Quecksilber umgestürzten Glasröhre aufsteigen, die von dem geschlossenen Ende an geteilt ist, entweder nach cbcm oder einfach in mm, die nach **19** in Volumen verwandelt werden. Ist die Flüssigkeit leicht flüchtig, so springt das Kügelchen oder der Stöpsel während des Aufsteigens von selbst; in diesem Falle muſs man während des Aufsteigens, um ein Zertrümmern zu vermeiden, die Glasröhre so weit neigen, daſs das Quecksilber oben fest anliegt!

Nun erwärmt man den oberen Teil der Röhre in einem geeigneten Dampfbade (Figur; Wasser, Amylalkohol 130°, Amylacetat 140°, Anilin 183°, Äthylbenzoat 212°, Amylbenzoat 260°; vgl. Tab. 16a; die letzteren Flüssigkeiten mit Rückflufskühler s. **7**, 27) zu einer Temperatur, die mindestens etwa 10° über derjenigen liegt, bei welcher die ganze Flüssigkeit gerade verdampft ist. Nennen wir

m das Gewicht der verdampften Substanz in Grammen,

t, v Temperatur und Volumen des Dampfes in cbcm; ist v_0 das Volumen der Dampf-gefüllten Glasröhre bei 15°, so ist $v = v_0[1 + 0{,}000025\,(t - 15)]$,

b den äufseren Barometerstand,

h die Höhe der Quecksilbersäule, über welcher der Dampf sich befindet; b und h auf 0° und bei feineren Messungen auf 45° geogr. Breite reducirt (**20**),

e die Spannkraft des Quecksilberdampfes für die Temperatur t (Tab. 14),

so ist die gesuchte Dampfdichte (vgl. Anf. des Art.)

$$d = \frac{m}{v} \cdot \frac{1 + 0{,}00367 \cdot t}{0{,}001293} \cdot \frac{760}{b - h - e} \quad \text{oder} = \frac{m}{v} \cdot \frac{1}{\lambda}.$$

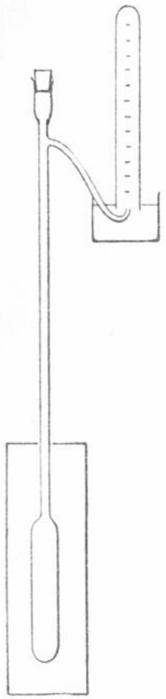
λ siehe in Tab. 6, wo $b - h - e$ für H einzusetzen ist.

C. Verdrängungsmethoden.

1. **Luftverdrängung** (V. Meyer). Das Dampfvolumen einer gewogenen kleinen Menge der Substanz wird aus der bei der Verdampfung verdrängten Luftmenge ermittelt.

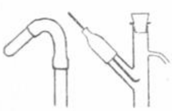
Ein Glas-, oder für hohe Temperatur Porzellan-Kölbchen mit Steigrohr und einem engen, etwa 1 mm weiten Gas-Entbindungsrohre, gut ausgetrocknet, mit etwas Asbest am Boden wird — im Luftbade oder im Dampfbade von Wasser, Anilin 183°, Schwefel 448°, oder auch in geschmolzenem Paraffin (bis über 300°) oder Salpeter, Blei über 330° etc. (Tab. 16a und **7**, 27) — auf die erforderliche Temperatur oberhalb des Siedepunktes der untersuchten Substanz gebracht. Man wartet, bis die Temperatur konstant geworden ist, d. h. bis aus dem Entbindungsrohre unter Wasser keine Luftblasen mehr entweichen.

Die Substanz hat man, wenn nötig, in ein Körbchen oder Glasröhrchen, wenn sie flüssig ist, in ein Fläschchen oder in



ein ganz gefülltes, zugeschmolzenes Glaskügelchen (welches durch die Ausdehnung der Substanz springt) eingewogen. Man lüftet den Kork, wirft rasch die Substanz in den Kolben und schliefst die Öffnung sofort wieder. Alsdann schiebt man über das Gasentbindungsrohr einen mit, am besten ausgekochtem, Wasser gefüllten Mefscylinder, fängt in demselben die Luft auf, welche durch die verdampfende Substanz verdrängt wird, und liest ihr Volumen ab.

In mancher Hinsicht bequemer als der Kork, bei welchem man sehr rasch verfahren mufs, ist ein über den Rand des Verdampfungsrohres gestülpter kurzer, gut schliefsender Kautschukschlauch mit einem unten geschlossenen, oder, damit man bei zufälliger Temperaturerniedrigung das Eintreten von Wasser in das Rohr vermeiden kann, mit einem verschliefsbaren Hahn versehenen Glasröhrchen. (Fig.) In das letztere hat man den einzuwerfenden Körper gebracht und läfst ihn im geeigneten Zeitpunkt durch Aufrichten des Röhrchens hinunterfallen. Oder man hält den Körper mit einem luftdicht von der Seite eingeführten Stäbchen, durch dessen Zurückziehen man ihn hinunterfallen läfst. (Fig.)



Es ist wesentlich, dafs der Vorgang in kurzer Zeit verlaufe, damit z. B. kein Dampf in die kälteren Teile des Rohres gelangt, wo er sich kondensirt und das Volumen zu klein finden läfst. Daher soll die Temperatur des Bades beträchtlich über dem Siedepunkte der Substanz liegen. (Länger dauernde Luftentbindung kann eine Zersetzung der Substanz anzeigen.)

Es sei m die eingebrachte Substanz in Grammen,
v das gemessene Luftvolumen in cbcm,
t die Zimmertemperatur,
H der Druck, unter welchem die gemessene Luft steht, in mm Quecksilber von 0^0,

so ist die gesuchte Dampfdichte

$$d = \frac{m}{v}\,\frac{760}{H}\,\frac{1+0{,}004\,t}{0{,}001293} = 587800\,\frac{m}{Hv}(1+0{,}004\,t).$$

Der Dampf hat nämlich eine Luftmenge verdrängt, welche unter gleichen Verhältnissen das gleiche Volumen besafs. Folglich ist das Dampfgewicht m, geteilt durch das Gewicht dieser Luftmenge, die gesuchte Dampfdichte. Die gemessene Luft aber wiegt $v\,\frac{0{,}001293 \cdot H}{(1+0{,}004\,t)\cdot 760}$, wonach man ohne weiteres den obigen Ausdruck erhält. Der Faktor 0,004 ist anstatt des Ausdehnungskoefficienten 0,00367 genommen, um der Luftfeuchtigkeit Rechnung zu tragen. Derselbe entspricht in gewöhnlicher Temperatur ungefähr der Annahme, dafs die Luft im Kolben zweidrittel gesättigt, diejenige, welche über dem Wasser gemessen wird, ganz gesättigt war. Vgl. V. Meyer, Ber. d. chem. Ges. 1878, S. 2253; auch dessen kritische Bemerkungen ib. 1888, S. 2018.

Der Druck H ist gleich dem Barometerstande b, vermindert um die in Quecksilber umgewandelte Druckhöhe h der Wassersäule unter der Luft. Also $H = b - \frac{1}{13{,}6}\,h$. Taucht man vor der Ablesung das Mefsrohr bis zur Gleichstellung der inneren und äufseren Oberfläche in das Wasser, so ist H der Barometerstand.

Behufs genauer Bestimmung und Rechnung hätte man noch das Volumen v' der eingeworfenen Substanz zu berücksichtigen. Nehmen wir ferner an, der Glaskolben sei vorher mit trockener Luft gefüllt worden, so rechnet man hinreichend genau

$$d = \frac{587800}{\dfrac{v}{1+0{,}00367\,t} + \dfrac{v'}{1+0{,}00367\,t'}}\,\frac{m}{H-e}.$$

e bedeutet die Spannkraft des Wasserdampfes bei der Temperatur t (Tab. 13); t' die Temperatur des Bades, die nur genähert bekannt zu sein braucht.

Über eine Anordnung, um mit vermindertem Druck zu arbeiten, s. Lunge u. Neuberg, Ber. Deut. Chem.-Ges. 1891 I, 729.

2. **Metallverdrängung.** Der verdampfende abgewogene Körper (vgl. B und C, 1) verdrängt eine Flüssigkeit, welche selbst eine geringe Dampfspannung besitzt (in niederer Temperatur Quecksilber, Hofmann, vgl. Tab. 14; in höherer Temperatur Wood'sches Metall, V. Meyer). Es bedeute

m das Gewicht der verdampfenden Substanz,

M, s und M', s' das Gewicht bez. das specifische Gewicht des Metalls vor und bei der Verdrängung,

t die Zimmertemperatur,

T die Temperatur des Bades, z. B. 448° für siedenden Schwefel,

b den Barometerstand,

h die Druckhöhe des flüssigen Metalls im anderen Schenkel.

Dann erhält man die Dampfdichte

$$d = \frac{m}{\frac{M}{s}[1 + 0{,}000025\,(T - t)] - \frac{M'}{s'}} \cdot \frac{760\,(1 + 0{,}00367\,T)}{\left(b + \frac{h\,s'}{13{,}56}\right) 0{,}001293}.$$

Den letzten Faktor siehe in Tab. 6. Die specifischen Gewichte sind bei einer Temperatur t

für Quecksilber 13,60 (1 — 0,00018·t)
für Wood'sches Metall 9,6 (1 — 0,00009·t).

17. Gasdichte-Bestimmung.

Über die Herstellung einiger Gase und über das Trocknen derselben s. **7**, 3.

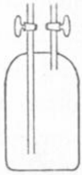
A. Durch Wägung.

Um die Dichte eines permanenten Gases zu bestimmen, fülle man mit demselben einen Glasballon mit angeschmolzenem Glasrohr (am bequemsten mit Hahnverschlufs), etwa indem man den Ballon zunächst mit Quecksilber füllt, ihn über einer Quecksilberwanne umstürzt und nun das Quecksilber durch das aufsteigende Gas verdrängen läfst. Der Ballon wird geschlossen und gewogen (m'). Dann wird das Gas durch einen hinreichenden Luftstrom (Luft des Wagezimmers, nicht getrocknet) verdrängt und der Ballon offen gewogen (m). Endlich habe die Wägung des mit Quecksilber gefüllten Ballons das Gewicht M ergeben. Wie in **16** A sollen b und t den Barometerstand und die Temperatur im Augenblick des Abschliefsens des Gases bedeuten, wobei eventuell die Höhe der noch vorhandenen Quecksilbersäule bei b bereits in Abzug gebracht sei. t' und b' gelten für die Wägung des mit Gas gefüllten Ballons. Dann berechnet man die Gasdichte nach Formel I oder II, S. 68 u. 69.

Eine etwaige bei der Füllung mit Gas zurückgebliebene

Quecksilbermenge ist ohne Einfluſs, wenn man sie bei allen Wägungen ungeändert läſst.

Verfügt man über eine hinreichend groſse Menge des Gases, so kann man auch ein Glaskölbchen (oder das Pyknometer; Fig. zu **13**) mit zwei Ansatzrohren verwenden, aus welchem man die Luft durch einen anhaltenden Gasstrom verdrängen läſst. Ist das Gas schwerer als Luft, so füllt man durch das lange Rohr und umgekehrt. Wiegt der Kolben, mit Luft gefüllt m, mit Gas gefüllt m', mit Wasser [oder Quecksilber] M, so hat man einfach nach den unter **16** A gegebenen Formeln zu rechnen.



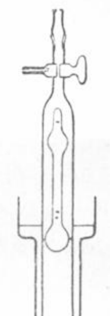
Richtet man es ein, daſs die Temperatur und der Luftdruck bei beiden Füllungen und Wägungen dieselben sind, so hat man (Formel unter **16** A II) die Gasdichte

$$d = \frac{m'-m}{M-m}\,\frac{Q-\lambda}{\lambda} + 1.$$

Die atmosphärischen Schwankungen fallen auch heraus, wenn man als Haupt-Gegengewicht für den Ballon ein ebenso groſses geschlossenes Gefäſs nimmt. Füllt man mit trockener Luft, so fallen dann die Korrektionen wegen b, e und t fort.

B. Durch Beobachtung der Ausströmungszeit (Bunsen).

Gasdichten verhalten sich nahe umgekehrt wie die Quadrate der Ausströmungsgeschwindigkeiten, mit denen die Gase unter gleichem Druck aus enger Wandöffnung austreten. Vergleicht man also die Zeit, welche eine bestimmte Gasmenge zum Ausströmen bedarf, mit der Zeit, welche ein gleiches Luftvolumen unter denselben Bedingungen braucht, so giebt das Zeitverhältnis, ins Quadrat erhoben, die Gasdichte.



Nach Bunsen nimmt man hierzu einen Glascylinder mit Hahn, der oben durch ein aufgeschmolzenes dünnes Metallblech mit ganz feiner Öffnung geschlossen ist, und füllt denselben über reinem Quecksilber (**19**) mit trockener, durch ein Wattefilter staubfrei gemachter Luft, bez. mit dem zu bestimmenden Gas. Ein doppelt durchbohrter Hahn ist zum Füllen bequem; sonst benutzt man die obere Öffnung nach Entfernung des Schliffes mit dem Platinblech. Nun taucht man den Cylinder so tief in das Quecksilber ein, dafs der Schwimmer unsichtbar wird, und öffnet den Hahn. Den Gasstand, welchen das undurchsichtige Quecksilber nicht direkt ablesen läfst, beobachtet man mittels des Schwimmers, der von dem Quecksilber im Cylinder getragen wird und der einige gut sichtbare Marken hat, eine am oberen Ende, die andere einige cm über dem unteren Ende. Man beobachtet die Zeitpunkte, wann diese Marken eben aus der Quecksilberoberfläche austreten. Irgendwelche dicht über den Marken befindliche Zeichen sollen auf den Austritt der ersteren vorbereiten.

Beispiel.	Luft	Kohlensäure
Austritt der oberen Marke um	14,3 sec	42,5 sec
„ „ unteren „ „	51,2 sec	1^{min} 27,8 sec
Dauer =	36,9 sec	45,3 sec

Also Kohlensäure auf Luft bezogen $d = (45{,}3/36{,}9)^2 = 1{,}507$. Auf Wasserstoff = 2 bezogen oder Molekulargewicht $= 1{,}507 \cdot 28{,}9 = 43{,}6$.

Vgl. Bunsen, Gasometrische Methoden.