

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Hand- und Hilfsbuch zur Ausführung physiko-chemischer Messungen

**Ostwald, Wilhelm
Luther, Robert**

Leipzig, 1902

Fünftes Kapitel: Thermostaten

Quecksilberthermometer für höhere Temperaturen.

Dank den Bemühungen der Jenaer Glaswerke ist es gelungen, Gläser herzustellen, welche erst oberhalb etwa 600° zu erweichen beginnen, und sich dabei zur Herstellung von Thermometern bis zu etwa 550° eignen. Da Quecksilber bei etwa 350° siedet, so ist der Raum über dem Quecksilber in derartigen Thermometern mit Kohlensäure oder Stickstoff unter Druck gefüllt. Teils wegen der Nachwirkungserscheinungen des Glases, hauptsächlich aber wegen der Unsicherheit in der Korrektur für den herausragenden Faden sind Quecksilberthermometer bei höheren Temperaturen zunehmend unsichere Instrumente. Zu grossen Fehlern, eventuell zum Verderben des Thermometers, kann das Abdestillieren des Quecksilbers (siehe oben) führen.

Die Bestimmung sehr hoher und sehr niedriger Temperaturen sowie sehr kleiner Temperaturdifferenzen geschieht am besten auf elektrischem Wege. Das Erforderliche wird im Kapitel über elektrische Messungen besprochen werden.

Das Luftthermometer wird bei physikalisch-chemischen Arbeiten wohl relativ selten Anwendung finden. Es wird daher genügen über die Behandlung desselben sowie über einige Formen Litteraturcitate zu geben: Kohlrausch, Leitfaden 8. Aufl. S. 111, Winkelmann Handbuch der Physik. II, 2. S. 40, Holborn u. Day, Wied. Ann. 68, 817 und Drude's Ann. 2, 505, Langer und Meyer, Pyrochemische Untersuchungen (Braunschweig), Mensching und Meyer, Zeitschr. physik. Chem. 1, 145.

Fünftes Kapitel.

Thermostaten.

Schmelztemperaturen. Da die meisten Vorgänge im Gebiete der physikalischen Chemie von der Temperatur in hohem Masse beeinflusst werden, so ist die Herstellung und Erhaltung konstanter Temperaturen eine Aufgabe, welche immer wieder gelöst sein muss, wenn Messungen von einigem Wert gemacht werden sollen. Es giebt hierzu zwei Prinzipien: man führt entweder mehr Wärme zu, als den unvermeidlichen Verlusten entspricht, und führt den Überschuss bei konstanter Temperatur ab, oder man sorgt

durch eine selbstthätige Regulierung dafür, dass genau der Verlust gedeckt wird. Dies gilt, wenn eine Temperatur zu halten ist, die höher liegt als die der Umgebung; die Regel für den umgekehrten Fall ergibt sich von selbst.

Den ersten Fall verwirklicht man mit Hilfe der Änderungen der Formarten. Hierher gehört zunächst das beste derartige Verfahren, die Erhaltung der Schmelztemperatur des Eises. Durch die grosse Sicherheit, mit welcher diese Temperatur sich herstellen und erhalten lässt, ist sie für diesen Zweck in erster Linie geeignet.

An Orten, wo reiner Schnee selten ist, wie in allen grösseren Städten, dient am besten für diesen Zweck gestossenes Eis. Man lässt sich aus hartem Holze einen Mörser von 30 oder mehr cm Weite und Tiefe drehen, den man mit einem übergreifenden, in der Mitte durchlöcherten Deckel von Zinkblech und einer gewichtigen Keule ausstattet. Das Zerkleinern des Eises geht in einem solchen Mörser sehr schnell vor sich, wobei der Deckel das Herumspringen der Stückchen verhindert. Man Sorge dafür, dass niemals das zu Kältemischungen benutzte Kochsalz in den Mörser gelangt, am besten, indem man den Kochsalzvorrat in einem anderen Raume unterbringt.

Um die Temperatur von 0° sicher zu erhalten, ist es erforderlich, die fraglichen Gegenstände ganz in das zerkleinerte Eis einzubetten, und nicht allzuviel Schmelzwasser sich ansammeln zu lassen. Wasser, in welchem Eisstücke herumschwimmen, hat auch bei stetigem Umrühren nie die Temperatur 0° , sondern stets eine höhere, welche von der Grösse des Gefässes und der Ausgiebigkeit des Rührens abhängt.

Handelt es sich um sehr genaue Temperaturen (innerhalb 0.01°), so ist das gewöhnliche Eis nicht immer rein genug. Man benutzt es dann dazu, ein Gefäss mit destilliertem Wasser, welches zum Teil gefroren ist, auf Null zu halten, und hat in letzterem die gewünschte Temperatur.

Ausser dem Eis sind andere Flüssigkeiten bei ihren Erstarrungspunkten zum Konstanterhalten von Temperaturen nicht in Gebrauch gekommen. Die Ursache davon liegt daran, dass es schwer ist, andere Stoffe ausser Wasser in grösseren Mengen rein zu erlangen, und noch schwerer, sie beim Gebrauch in diesem Zustande der Reinheit zu erhalten. Als Beispiel für den gelegentlichen Gebrauch

anderer Flüssigkeiten sei das mit Essigsäure beschickte „Essigkalorimeter“ von de Visser¹⁾ erwähnt.

Zur Konstanterhaltung von Temperaturen unter 0° bis -30° können wässrige „Kryohydrate“ dienen²⁾. Man stellt sich dieselben durch Ausfrierenlassen konzentrierter Salzlösungen her. Unter beständigem Sinken der Temperatur scheidet sich solange Eis oder Salz aus, bis die kryohydratische Temperatur erreicht ist. Von da ab bleibt die Temperatur bis zum vollständigen Erstarren konstant. Der umgekehrte Weg: Vermengen von Eis resp. Schnee mit überschüssigem Salz giebt keine genügend konstanten Resultate. Beim Gebrauch wird der mit dem kryohydratischen Gemenge beschickte Thermostat in eine Kältemischung gestellt von etwas niedrigerer Temperatur, als die Gefriertemperatur des Kryohydrats ist. Zwischentemperaturen stellt man sich durch Gemenge mehrerer Salze her. Folgende Tabelle enthält die angenäherten kryohydratischen Temperaturen einiger in genügend reinem Zustande billig zu erhaltender Salze³⁾.

$NaCl + NH_4NO_3$	}	-31°
$NH_4Cl + NaNO_3$		
$NaCl + KNO_3$	}	-25°
$KCl + NaNO_3$		
$NaCl$		-22°
$(NH_4)_2SO_4$		-17
$(NH_4)NO_3$		-17
$NaNO_3$		-17
NH_4Cl		-17
KCl		-11
$MgSO_4 + 7H_2O$		-5
$ZnSO_4 + 7H_2O$		-5
KNO_3		-3
$Na_2CO_3 + 10aq$		-2
$Na_2SO_4 + 10aq$		-0.7

Siedetemperaturen. Viel ausgiebiger erweist sich die zweite Art der Änderung der Formart, das Sieden. Hier haben wir eine ganze Reihe von Flüssigkeiten, welche zur Erhaltung konstanter Temperaturen durch Sieden angewendet werden können.

1) Zeitschr. physik. Chem. **9**, 767, 1892.

2) Roloff, Zeitschr. physik. Chem. **18**, 372, 1895.

3) Vergl. Guthrie, Wied. Beibl. **1**, **1** und Mazzotto, ibid. **15**, 324.

Der typische Apparat für diesen Zweck ist in Fig. 33 angegeben. Er besteht aus zwei in einander gesetzten Gefässen von zweckentsprechender Form (meist cylindrisch) und Grösse. In dem Zwischenraum zwischen beiden Gefässen befindet sich die fragliche Flüssigkeit, welche im Sieden erhalten wird und die im Überschuss gebildeten Dämpfe treten in den Kühler, aus dem sie in flüssigem Zustande wieder in den Kessel zurückgelangen. Je nach der zu erhaltenden Temperatur stellt man den Apparat aus Weissblech,

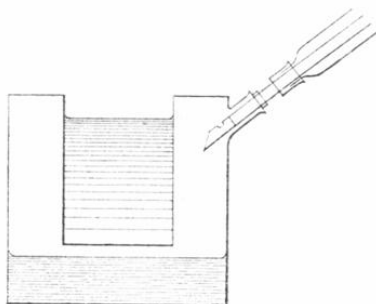


Fig. 33.

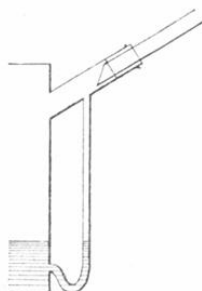


Fig. 34.

weich gelötet, aus Kupfer, hart gelötet, aus Glas oder Porzellan her. Für Wasser ist Weissblech schlecht geeignet, da es bald durchrostet; viel besser ist verbleites Eisenblech. In den inneren Raum, der die zu erwärmenden Gegenstände aufnimmt, wird Wasser, Glycerin, Paraffinöl oder sonst eine geeignete Flüssigkeit gebracht.

Das Zurücklaufen der im Kühler verdichteten Flüssigkeit regelt sich mit Hilfe einer umgekehrt heberförmig gebogenen Röhre, wie in Fig. 34. Man kann sich indessen diese immerhin etwas umständlich herzustellende Einrichtung ersparen, wenn man dafür sorgt, dass die Kühlröhre weit genug ist, und eine Lage hat, dass sie nicht ihrem ganzen Querschnitt nach durch Flüssigkeit verschlossen werden kann; so ist es gut, das Ende schräg abzuschneiden. Von grossem Nutzen erweist sich die in Fig. 33 angedeutete Anbringung eines oben belegenen Loches am unteren Ende der Kühlerröhre; dadurch wird, selbst wenn die untere Öffnung durch einen Tropfen verschlossen sein sollte, dem Dampf ein freier Weg gewahrt, und das schädliche Aufstauen der Flüssigkeit im Kühler wird sicher vermieden.

Der Boden solcher Gefässe leidet sehr schnell an den Stellen Not, an welche die Heizflammen unmittelbar schlagen, wobei

insbesondere die aus dem Schwefelgehalt des Leuchtgases stammende Schwefelsäure schädlich wirkt. Man schützt die unmittelbar getroffenen Stellen durch ein mit Wasserglas aufgeklebtes Pflaster aus Asbestpapier; wenn auch die Wärmeleitung dadurch an der gedeckten Stelle viel geringer wird, so ist doch bei breiten Bodenflächen die Ausnutzung der Wärme nicht erheblich geschädigt. Auch wirkt ein Anstrich aus Magnesia, mit verdünntem Wasserglas angerührt, vorteilhaft für die Dauer solcher Apparate. Man spart viel Heizgas, wenn man den Thermostaten von aussen mit einer Lage Filz oder Asbest umkleidet.

Häufig kann man den Apparat insofern vereinfachen, als man das innere Bad fortlassen und die Gegenstände (Flaschen, Cylinder, zugeschmolzene Röhren u. dergl.) unmittelbar der Wirkung des Dampfes aussetzen kann. Ist beispielsweise Wasser die Siedeflüssigkeit, so erhält der Apparat die Gestalt Fig. 35, indem man den inneren Erhitzungsraum *A* mit einem Dampfmantel umgiebt, der ihn gegen äussere Abkühlung schützt, was wegen der viel geringeren Wärmekapazität des Dampfes gegenüber den Flüssigkeiten wichtig

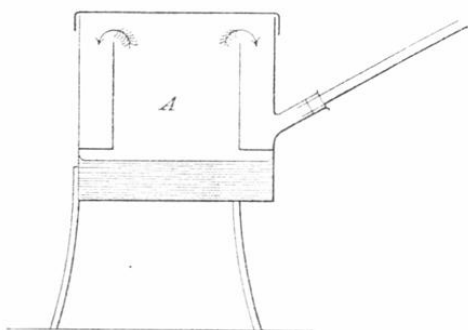


Fig. 35.

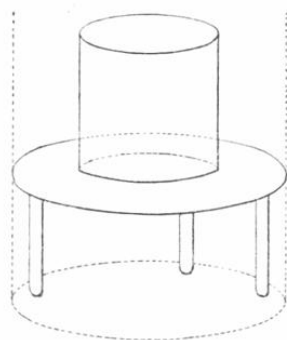


Fig. 36.

ist. Man kann ein derartiges Gerät aus jeder cylindrischen Konservenbüchse mit Deckel herstellen, wenn man eine Vorrichtung aus Blech von der beistehend gezeichneten Gestalt hineinstellt (Fig. 36).

In diesem Falle ist es auch einfacher, auf den Rückfluss, der einen Anschluss an die Wasserleitung erfordert, zu verzichten, und das verdampfte Wasser nach Massgabe seines Verbrauches zu ersetzen. Dazu dient ein seitlicher Röhrenansatz *a* unterhalb des normalen Wasserstandes, und eine Mariotte'sche Flasche, *M* Fig. 37, die beide durch einen Gummischlauch verbunden werden. Die

Krümmung der Röhre *a* nach unten ist wesentlich, da sonst das heisse Wasser aus dem Kessel mit dem kalten der Mariotte'schen Flasche in einen unerwünschten Kreislauf gelangen könnte. Das

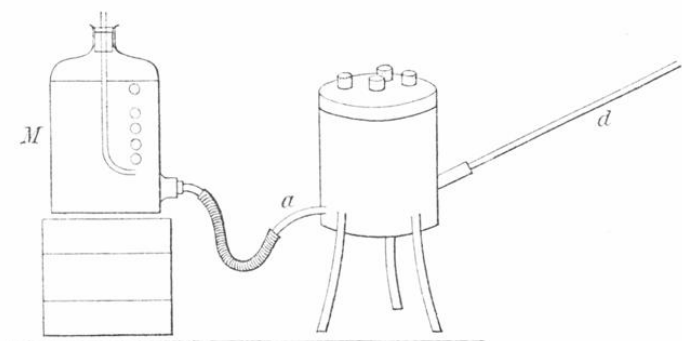


Fig. 37.

Dampfrohr *d* wird soweit nach oben geführt, dass der abströmende Dampf keine Belästigung bewirkt; man nimmt dazu dünnwandiges Metallrohr von 1—2 cm Weite, in welchem bei einiger Länge (1—2 m) durch Luftkühlung eine ziemlich ausgiebige Verflüssigung eintritt.

Auch bei hochsiedenden Flüssigkeiten (Schwefel, Diphenylamin, Benzophenon u. s. w.) kann man auf das innere Bad und den Kühler verzichten, wenn man ein cylindrisches gläsernes Siedegefäss verwendet und die Heizflamme so einreguliert, dass die Kondensationsgrenze des Dampfes die gewünschte Höhe hat.

Die erforderlichen Temperaturen stellt man sich durch die Wahl geeigneter Flüssigkeiten her, wobei fast nur Rücksicht auf leichte Beschaffung, Wohlfeilheit und Unveränderlichkeit beim längeren Sieden zu nehmen ist. Ein allgemeines Mittel, jede beliebige Temperatur einzustellen, liegt ferner in der Änderung des Druckes, unter welchem man die Flüssigkeit sieden lässt. Zu solchem Zweck verbindet man den Kühler mit einem grösseren Gefäss, in welchem man den gewünschten Druck hergestellt hat. Da es einige Schwierigkeiten macht, den zusammengesetzten Apparat vollkommen luftdicht zu erhalten, so ist weiterhin die Anbringung eines selbstthätigen Druckregulators, der den ursprünglichen Druck immer wieder herstellt, nicht wohl zu umgehen, wodurch die ganze Anordnung ziemlich umständlich wird und sich nur zu dauernder Aufstellung eignet¹⁾.

¹⁾ Ramsay u. Young, Journ. Chem. Soc. 1885. 640. — Pomplum, Ztschr. f. Instrum. 10, 1, 1891. — Smits, Zeitschr. physik. Chem. 33, 43, 1900.

Ein anderes Mittel, Siedetemperaturen innerhalb kleiner Gebiete zu ändern, besteht in dem Zusatz anderer Stoffe. Das Verfahren gewährt allerdings wegen der Verschiedenheit der Zusammensetzung von Dampf und Flüssigkeit beim Sieden (auch wenn die Verdichtung der Dämpfe sehr vollständig ist) keine so konstanten Temperaturen, wie sie bei der Anwendung reiner Flüssigkeiten erhalten werden; doch können ganz befriedigende Ergebnisse erzielt werden, wenn man diese Unterschiede so klein als möglich macht. Dies gelingt am besten mit solchen Flüssigkeiten, die sich erfahrungsmässig durch Destillation nur schwer trennen lassen, insbesondere mit homologen Verbindungen. So kann man mit Gemengen von Benzol und Toluol, oder von Toluol mit käuflichem Xylol, ebenso mit den Kohlenwasserstoffen des Petroleums ganz gute Konstanz der Siedetemperatur erlangen.

Alle so erhaltenen Temperaturen sind vom Barometerstand abhängig; die Abweichungen betragen durchschnittlich 0.03 Grad für jedes Millimeter Druckänderung.

Thermostaten mit konstantem Temperaturgefälle (Wärmefluss). Das Bad wird durch einen stromdurchflossenen Metallwiderstand geheizt. Es befindet sich in einem Luftmantel, dessen äussere Wände (etwa durch schmelzendes Eis) auf einer konstanten tieferen Temperatur gehalten werden. Wenn sich der stationäre Zustand des Wärmeaustausches hergestellt hat, so bleibt die Temperatur des Bades bei konstanter Stromintensität innerhalb weniger als 0.01° konstant (Crew¹⁾).

Auf einem ähnlichen Prinzip beruhen Thermostaten, bei denen vor die Heizflamme ein Gasdruckregulator eingeschaltet ist, so dass eine konstante Wärmezufuhr erzielt wird. Lässt man die Abkühlungsverhältnisse des Bades während der Versuchsdauer ungeändert, so kann man besonders höhere Temperaturen dauernd auf etwa 5° konstant erhalten. Über Gasdruckregulatoren siehe das Kapitel über Molekulargewichtsbestimmungen.

Selbstthätige Temperaturregulierung. Das andere Prinzip zur Erhaltung konstanter Temperaturen, die Zu- oder Abfuhr der Wärme nach Bedarf, wird mit Hilfe der Temperaturregulatoren durchgeführt. Diese beruhen sämtlich darauf, dass durch die Temperaturveränderung ein Vorgang ausgelöst wird, durch welchen ein erhöhter Wärmez- oder -abfluss bewirkt wird. Prinzipiell leiden diese Regulatoren wie alle anderen an dem Fehler, dass der Vorgang,

¹⁾ Phil. Magaz. (5) 33, 89, 1892.

zu dessen Vermeidung der Regulator da ist, erst eingetreten sein muss, damit der Regulator ihn rückgängig macht; man kann also auf diese Weise nur ein Schwanken um eine mittlere Lage, nicht aber eine vollkommene Konstanz erlangen. Praktisch lässt sich aber in sehr vielen Fällen an Stelle der konstanten Temperatur eine innerhalb enger Grenzen um eine Mittellage schwankende setzen, ohne dass wesentliche Bedenken dadurch entstünden.

Indessen lassen sich die Schwankungen um die Mitteltemperatur erforderlichenfalls auf beliebig enge Grenzen einschränken. Dies wird erreicht 1. durch gesteigerte Empfindlichkeit des Regulators: grosse Ausdehnung, geringe Wärmekapazität, gute Wärmeleitung, grosse Oberfläche; 2. durch richtige Wahl des Ortes des Regulatorgefässes: letzteres muss an der Stelle angebracht sein, wo die grössten Temperaturschwankungen stattfinden, also bei Bädern, die von unten durch eine Gasflamme geheizt werden, dicht über dem Boden des Bades; 3. durch Verringerung des Unterschiedes zwischen maximalem Wärmez- und -abfluss auf das zulässige Minimum; 4. durch Umhüllung des Objektes, welches auf konstante Temperatur gehalten werden soll mit einer relativ schlecht die Wärme leitenden Schicht. Die Temperaturschwankungen des Bades pflanzen sich dann mit stark gedämpfter Amplitude durch die Schicht hindurch. Alle Mittel, welche den konvektiven Wärmeaustausch vermindern sind hierzu geeignet: Umhüllung des Objektes mit Filz, Umgebung mit einem grösseren Gefäss, in dessen Innerem die Badflüssigkeit nicht gerührt wird etc. Derselbe Zweck kann häufig auch durch Verminderung der Durchrührung der Badflüssigkeit erreicht werden.

Sämtliche bekannten Temperaturregulatoren werden durch die Ausdehnung betrieben, welche die Stoffe durch die Wärme erfahren. Durch diese Ausdehnung wird ein bewegliches Glied bethätigt, dessen Lagenänderung den regulierenden Vorgang auslöst. Je nach der Beschaffenheit dieser beiden Teile kommen sehr verschiedene Formen des Regulators zustande.

Als ausdehnbarer Körper kann zunächst ein Gas dienen; man gelangt dann zu einer erheblichen Empfindlichkeit, die Thätigkeit des Regulators ist aber vom Barometerstande abhängig. Das Gleiche gilt von den noch empfindlicheren Regulatoren, welche auf den Eigenschaften der gesättigten Dämpfe beruhen.

Flüssigkeiten haben den Nachteil einer geringeren Wärmeausdehnung, und geben daher Regulatoren von geringerer Empfindlichkeit als Dämpfe und Gase. Sie haben dagegen den grossen Vorteil, dass ihr Volum vom Barometerstand praktisch unabhängig

ist, und sind dadurch in erster Linie für langdauernde Konstanterhaltung der Temperatur zu benutzen.

Feste Körper gestatten im allgemeinen einfachere Apparatenformen, als Flüssigkeiten und Gase, weil bei ihnen die Notwendigkeit eines Gefässes fortfällt. Dagegen sind sie durch den sehr geringen Betrag ihrer Wärmeausdehnung im Nachteil, da zur Erreichung genügender Empfindlichkeit grössere Längen notwendig sind. Durch Umsetzung der geringen Längenänderung in andere Bewegungen von grösserer Amplitude kann man diesen Uebelstand verringern; dies geschieht in besonders einfacher Weise an den aus zwei Metallen von verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten zusammengesetzten Streifen, in welchen die ungleichförmige Ausdehnung eine viel beträchtlichere Änderung der Gestalt oder Krümmung hervorruft.

Die beweglichen Glieder, welche den Wärmezufuss bedingen, erhalten ihre Gestalt wesentlich durch die Art der Heizung. Für unsere Zwecke kommt fast ausschliesslich Leuchtgas in Betracht, dessen Zufluss zur Heizflamme durch die Glieder zu regeln ist; in zweiter Linie wäre elektrische Heizung zu erwähnen¹⁾. Zunächst fassen wir die mechanische Regelung der Gasheizung ins Auge.

Der Reguliermechanismus. Das Gefäss, welches den Stoff enthält, dessen Ausdehnung den Mechanismus betreiben soll, wird mit einem U-Rohr in Verbindung gesetzt, in dessen Bug Quecksilber enthalten ist und welches an seinem anderen Schenkel den Gaszufluss und -abfluss trägt (Fig. 38). Dieser Teil, der sich in ganz ähnlicher Weise bei allen Regulatoren wiederfindet, ist insofern wesentlich, als von seiner Konstruktion die Empfindlichkeit des Regulators in entscheidender Weise mitbedingt wird.

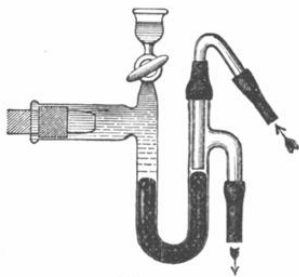


Fig. 38.

Die Weite des Schenkels muss sich nach der erforderlichen Gasmenge richten; für die meisten Zwecke genügen 3 mm. Natürlich kann man die Schenkel, statt sie nebeneinander anzuordnen, ineinander legen, und erhält eine Form wie Fig. 39. Diese hat für manche Zwecke, insbesondere bei der Anwendung von gesättigten Dämpfen, Vorteile durch ihre bequemere Gestalt, dagegen den Nachteil eines überflüssig grossen toten Raumes, resp. einer überflüssig grossen Quecksilbermenge.

¹⁾ Gouy taucht zu diesem Zweck Glühlampen, welche von geschlossenen Messingrohren umgeben sind, in die Badflüssigkeit.

Das Gaszuflussrohr muss, um kleine Regulierungen zu ermöglichen, verschiebbar angebracht sein. Das untere Ende des Zuflussrohres ist bisher merkwürdigerweise stets so konstruiert worden, dass der Regulator recht unempfindlich, d. h. unbrauchbar wird, indem man es schräg abgeschnitten oder mit seitlichen Schlitzfenstern versehen hat, so dass eine beträchtliche Bewegung des Quecksilbers dazu gehört, um eine wesentliche Änderung der zufließenden Gasmenge hervorzurufen. Es ist offenbar am rationellsten, das Zuflussrohr vollkommen eben abzuschneiden, so dass es durch eine ganz geringe Hebung des Quecksilbers verschlossen, durch eine ebenso geringe Senkung wieder freigegeben wird. Muss aus irgend welchen

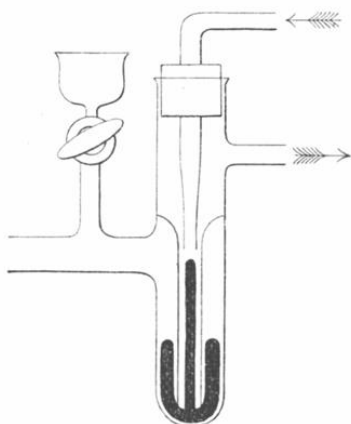


Fig. 39.

Gründen z. B. bei sehr grossen Thermostaten die Oberfläche des verschliessenden Quecksilbers gross sein, so lässt man ein kreisrundes ebenes Gummiplättchen auf dem Quecksilber schwimmen.

Der Reguliermechanismus muss eine Vorrichtung haben, dass die gewünschte Temperatur eingestellt und festgehalten werden kann. Dazu dient der Hahn, welchen man offen lässt, bis die beabsichtigte Temperatur erreicht ist, und alsdann schliesst. Kleine Einstellungen, welche etwa noch nötig werden, bewirkt man durch Verschiebungen der Zuflussröhre.

Wird der Regulator durch eine Flüssigkeit bethätigt, welche das Hahnfett löst, so wird der Hahn am Quecksilber-U-Rohr angebracht. Denselben Dienst leistet ein seitlich angebrachtes Rohr in welches eine eiserne Schraube hineingedreht werden kann.

Wenn der Regulator ausser Betrieb gesetzt wird, muss der Hahn geöffnet werden, anderenfalls wird das Quecksilber durch die Zusammenziehung der Regulierflüssigkeit hineingesogen. Man kann dies vermeiden, wenn man die mit Quecksilber gefüllten Schenkel des U-Rohrs genügend lang macht, oder eine genügend grosse Erweiterung anbringt. Dies Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass das grosse Quecksilber-Volum der wechselnden Zimmertemperatur ausgesetzt ist. Vermieden ist dieser Fehler in den Fig. 40 und 41 abgebildeten Regulatoren.

Heizung. Für Temperaturen bis etwa 100° werden für

längeren Betrieb zweckmässig Specksteinsternbrenner angewandt, da sie sich viel weniger leicht verstopfen als Metallbrenner. Man heizt dann mit leuchtender Flamme.

Wird mit der nichtleuchtenden Bunsenflamme geheizt, so vermeidet man das „Zurückschlagen“ durch Überschieben einer Kappe von Drahtnetz über die Öffnung des Brenners.

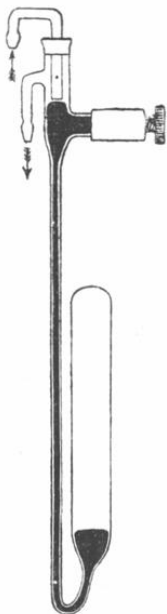


Fig. 40.

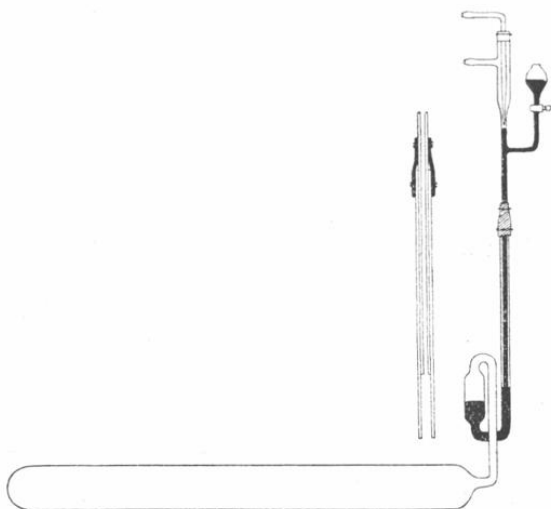


Fig. 41.

Um das völlige Verlöschen zu vermeiden, wenn der Regulator den Gasstrom abschliesst, ist es am einfachsten, in dem Zuflussrohr in der Nähe des seitlichen Stutzens der U-Röhre eine kleine Öffnung anzubringen, die eben weit genug ist, um ein kleines Flämmchen zu speisen und beim Verschluss der unteren Öffnung das Brennen zu unterhalten. Etwas umständlicher, aber in viel bequemer regulierbarer Gestalt, erlangt man das gleiche, wenn man vor dem Zuflussrohr eine Röhre abzweigt, welche unmittelbar zum Brenner führt, und in diese Röhre einen Hahn (am einfachsten einen Gummischlauch mit Schraubenquetschhahn) einschaltet, durch welchen man die Grösse der Dauerflamme einzustellen vermag. Fig. 42 zeigt die Schaltung, r ist der Quetschhahn.

Die Grösse der Dauerflamme lässt sich bei Thermostaten, die längere Zeit in Betrieb bleiben sollen, etwas umständlicher, jedoch

viel reproduzierbarer, durch Einschalten von Glaskapillaren einstellen, deren Länge und Lumen durch Versuche leicht gefunden wird.

Gasregulatoren. Wegen des grossen Temperaturkoeffizienten und der geringen Wärmekapazität der Gase lassen sich Gasregulatoren sehr empfindlich machen. Indessen ist es zwecklos, die Empfindlichkeit sehr weit zu treiben, da die Änderungen des Barometerstandes Schwankungen der Temperatur bedingen, welche die

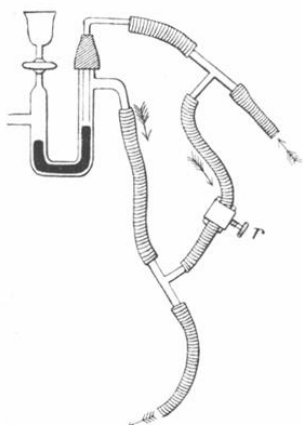


Fig. 42.

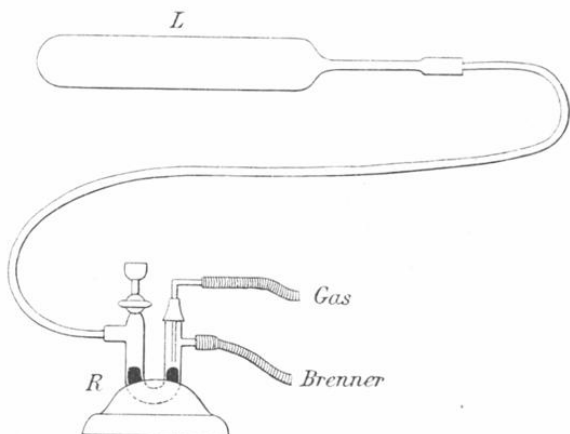


Fig. 43.

Fehler des Apparates bald überschreiten, da eine Änderung des Barometerstandes um 1 mm die Temperatur um etwa 0.4° verschiebt. Man wird deshalb Luftregulatoren nur für kürzer dauernde Versuche mit Erfolg verwenden.

Die Verbindung der drei Teile: Luftgefäss, Regulator und Brenner kann natürlich in mannigfaltigster gegenseitiger Stellung erfolgen; man wählt die für den vorliegenden Zweck bequemste, Fig. 43 zeigt eine mögliche Anordnung. Das möglichst länglich gestaltete und durch den ganzen regulierenden Raum gelegte Luftgefäss *L* ist durch eine Kapillare, am bequemsten von Blei, mit dem Regulator *R* verbunden, welcher in der Nähe des Brenners aufgestellt ist, durch welchen der fragliche Raum geheizt werden soll.

Dampfregulatoren. Da der Druck der gesättigten Dämpfe nur von der Temperatur und nicht vom Volum abhängt, so hat man bei Dampfthermostaten für gegebene Temperaturänderungen gegebene Änderungen in der Höhe der abschliessenden Quecksilbersäule, unabhängig von den übrigen Verhältnissen des Apparates. Dadurch wird bedingt, dass man den Dampfraum so klein machen

kann, wie man will, ohne an Empfindlichkeit zu verlieren, andererseits gewinnt man nicht durch Vergrößerung. Soll eine möglichst weitgehende Empfindlichkeit erzielt werden, so bleibt nur übrig, den Querschnitt der abschliessenden Quecksilbermasse zu vergrössern, damit eine geringere Bewegung derselben eine grössere Änderung im Gaszufluss bewirkt. Damit wachsen freilich auch die Anforderungen, welche an die Beschaffenheit und horizontale Stellung der Ausflussöffnung des Gaszuführungsrohres zu stellen sind. Eine Steigerung der Wirkung auf diesem Wege kommt indessen nur selten in Frage, weil der Regulatur schon unter gewöhnlichen Verhältnissen sehr empfindlich ist, und andererseits auch die Änderungen des Barometerstandes bald grössere Schwankungen bedingen.

Das Prinzip dieser Apparate ist von Andreae¹⁾ angegeben worden, nach dessen Beobachtungen sie die Temperatur auf $0,04^{\circ}$

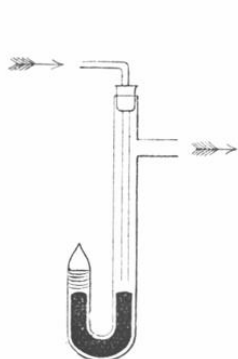


Fig. 44.

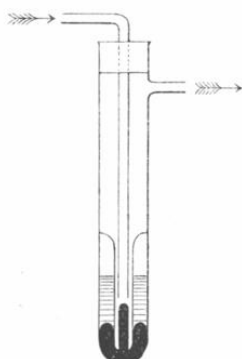


Fig. 45.

bis $0,05^{\circ}$ konstant halten. Die Zeichnung Fig. 44 ist ohne weiteres verständlich; die Flüssigkeit, deren Siedepunkt bei der gewünschten Temperatur liegen muss, wird in den kurzen Schenkel gebracht und alsdann wird die Spitze abgeschmolzen. Bei der grossen Einfachheit der Vorrichtung wird man eine ganze Reihe von solchen Apparaten mit verschiedenen

Flüssigkeiten vorrätig halten können.

Gedrungener und bequemere Formen erhält man, wenn man die beiden Schenkel in einander legt, wie in Fig. 45 angedeutet.

Neben seinen oben erwähnten Vorteilen hat der Dampfregulator in diesen einfachen Gestalten den Nachteil, dass auch das zum Abschluss dienende Quecksilber an der konstanten Temperatur Teil nehmen muss. Dies hat bis etwa 50° nicht viel zu sagen; darüber hinaus kommt aber die Verdampfung des Quecksilbers um so mehr in Frage, als seine Oberfläche dem beständigen Strome des Leuchtgases ausgesetzt ist, und der Quecksilberdampf durch den Brenner

1) Wied. Ann. 4, 614. 1878.

sich der Luft des Arbeitsraumes mitteilt. Dieser Nachteil besteht bei Luftregulatoren nicht, da man das Quecksilber beliebig weit von dem erhitzten Gefäss anbringen kann. Will man diesen Nachteil vermeiden, so kann man die Form Fig. 46 anwenden, in welcher das Verbindungsrohr zwischen dem Dampfgefäss und dem Regulator aus starkwandigem Glasrohr von etwa 1 mm Weite hergestellt und mit der Flüssigkeit vollkommen gefüllt ist. Man kann dadurch den Regulator aus dem erhitzten Raume hinaus verlegen, und erlangt den oben erwähnten Vorteil des Luftregulatoren.

Von Benoit¹⁾ ist zwischen das Dampfgefäss und den Regulator ein längerer mit Quecksilber gefüllter Gummischlauch eingeschaltet worden, damit man durch Veränderung der Druckhöhe eine Änderung der Temperatur erzielen kann. Indessen ist diese Einrichtung nur für geringere Gebiete brauchbar, insbesondere wird bei geringen Drucken der Apparat weniger empfindlich, während bei grösseren die Empfindlichkeit allerdings zunimmt.

Flüssigkeitsregulatoren. Handelt es sich um langdauernde konstante Temperaturen, so haben Flüssigkeitsregulatoren vor den mit Gasen und Dämpfen bethätigten wegen der fast vollständigen Unabhängigkeit vom Barometerstande den Vorzug. Um eine genügende Empfindlichkeit zu erzielen, muss man ziemlich grosse Flüssigkeitsmengen anwenden, die des besseren Wärmeausgleiches wegen nicht in kugelförmigen, sondern in möglichst ausgedehnten röhrenförmigen eventuell zu einer flachen Spirale gewundenen Gefässen unterzubringen sind. Als Material für die Gefässwandungen nimmt man der besseren Leitfähigkeit wegen vorteilhaft Metall.

Die Gestalt und Anordnung, in welcher sie für viele Untersuchungen gedient haben, ist in beistehender Fig. 47 abgebildet. Auf dem Boden des Wasserbades liegt das längliche Flüssigkeitsgefäss, dessen Hals sich längs der Gefässwand erhebt, und oben

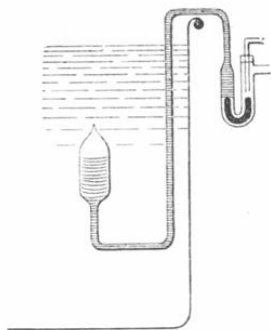


Fig. 46.

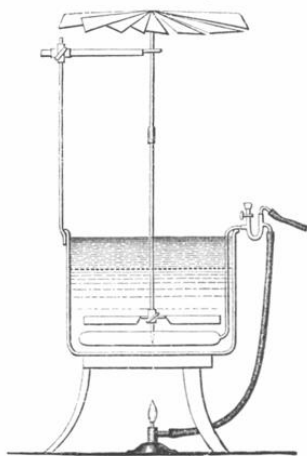


Fig. 47.

¹⁾ Journ. de phys. 8, 346. 1879.

horizontal umgebogen ist. Die Verbindung des Halses mit dem Regulator geschieht falls es sich um Flüssigkeiten handelt, welche Gummi nicht angreifen, durch Zwischenlegung eines Stückchens Gummischlauch, wie in Fig. 38 angedeutet ist. Anderenfalls muss man sich durch Verlegen der Verbindungsstelle oder dadurch helfen, dass man den Apparat ganz aus Glas herstellt (Fig. 41 u. 40).

Von den verschiedenen Flüssigkeiten sind solche mit grosser Wärmeausdehnung und geringer Wärmekapazität und Kompressibilität am geeignetsten; man wendet Petroleum, Toluol, Chloroform an. Diese Flüssigkeiten haben allerdings bei längerem Gebrauch die Neigung zwischen Glas und Quecksilber „durchzukriechen“, so dass die Temperatur von Zeit zu Zeit nachreguliert werden muss. Quecksilber ist wegen seines grossen Gewichtes unbequem, wenn man empfindliche Regulatoren, welche daher grosse Flüssigkeitsmengen enthalten, herstellen will; dagegen fällt seine gute Wärmeleitung und sein hoher Siedepunkt günstig ins Gewicht. Wasser ist eine sehr unzuweckmässige Flüssigkeit, namentlich bei niedrigeren Temperaturen, da seine Wärmeausdehnung nur gering ist. Salzlösungen haben gegenüber dem Wasser den Vorzug, sich namentlich bei niedrigen Temperaturen viel stärker und im ganzen viel

gleichförmiger auszudehnen, als Wasser. Man wendet Lösungen zerfliesslicher Salze an, z. B. eine 10–20 % Chlorcalciumlösung.

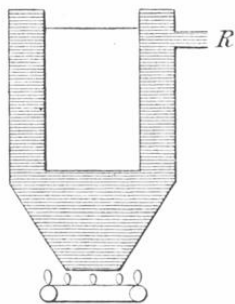


Fig. 48.

Eine originelle Gestalt hat d'Arsonval den Flüssigkeitsthermostaten gegeben (Fig. 48), indem er die regulierende Flüssigkeit gleichzeitig als Heizbad verwendete, und so eine grosse Empfindlichkeit erzielte. Durch zwei in einander gesetzte Cylinder ist ein ringförmiger Raum abgeschlossen, welcher mit Flüssigkeit vollständig gefüllt ist; diese Flüssigkeit wirkt durch ihre Volumänderung auf den bei R an-

gebrachten Regulator.

Durch die grosse Menge der regulierenden Flüssigkeit und den Umstand, dass die Heizflammen unmittelbar auf diese, und nicht erst durch Vermittelung eines Bades wirken, ist die Anordnung sehr empfindlich. Die grosse Empfindlichkeit ist indessen teilweise illusorisch, da Ungleichförmigkeit in der Temperaturverteilung bei der grossen Wassermasse, welche nicht mechanisch durchgemischt werden kann, sich gar nicht vermeiden lässt. Auch ist der hohe Preis des Apparates, welcher aus starkem Kupfer hergestellt werden

muss, damit nicht kleine Durchbiegungen der Wände die Regulierung vereiteln, sowie seine geringe Anpassungsfähigkeit an die mannigfaltigen Formen des Bedürfnisses offenbar ein Hindernis für seine Verbreitung gewesen.

Thermostaten mit festen Körpern. Feste Körper haben neben den Nachteilen geringer Ausdehnungsverschiedenheit den Vorteil, dass sie für höhere Temperaturen brauchbar sind und dass die Bewegung sich auf mechanischem Wege um ein Vielfaches vergrössern lässt¹⁾. Man wird daher aus ihnen wesentlich Thermostaten von geringerer Empfindlichkeit für höhere Temperaturen konstruieren.

Ein derartiger Regulator ist von v. Babo²⁾ angegeben worden, um die Temperatur in einem Röhrenofen innerhalb einiger Grade konstant zu erhalten. Doch scheint er nicht viel in Gebrauch gekommen zu sein. Eine

sehr einfache Form, die für den gedachten Zweck gut anwendbar ist, findet sich beistehend abgebildet (Fig. 49). Der

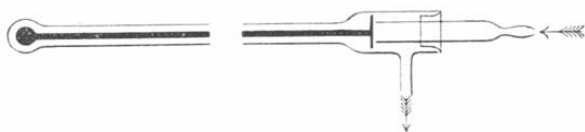


Fig. 49.

Regulator besteht aus einer 5 mm dicken Glasröhre von der Länge des Ofens, welche an einem Ende eine Erweiterung mit seitlichem Stutzen trägt. In die Erweiterung ist das ziemlich weite, an der Mündung eben abgeschliffene Gaszuflussrohr verschiebbar angebracht. Der regulierende Teil besteht aus einem Zinkdraht, welcher am hinteren Ende der Glasröhre durch etwas Gips befestigt ist, und vorn eine eben abgedrehte Metallplatte trägt, die der Mündung des Gaszuflussrohres nahe gegenüber steht. Die Regulierung erfolgt dadurch, dass das Zink sich viel stärker ausdehnt, als das Glas, und daher bei steigender Temperatur die Platte sich der Mündung des Zuflussrohres nähert, und den Gaszufluss vermindert, und umgekehrt. Für rohe Regulierungen von $\pm 5^\circ$ ist der Apparat ganz brauchbar, und empfiehlt sich durch die Einfachheit seiner Herstellung und Wartung.

¹⁾ Denselben Vorteil gewähren dünnwandige, gekrümmte, ganz mit Flüssigkeit gefüllte Metallröhren von ovalem Querschnitt, wie solche zu Federmanometern verwendet werden: bei Temperaturerhöhung verringert sich die Krümmung, bei Temperaturerniedrigung umgekehrt. Leider sind derartige Röhren nur schwierig im Handel zu haben, trotzdem bereits medizinische Thermometer nach diesem Prinzip gebaut werden, z. B. von Loewe in Zittau.

²⁾ Berl. Ber. 13, 1222. (1880).

Bei dem von Bodenstein¹⁾ nach dem Vorgang von L. Meyer konstruierten Thermostaten wird der Unterschied der Ausdehnungen eines Porzellanstabes und der gusseisernen Wand des Thermostatentopfes durch einen ungleicharmigen Hebel auf den 25 fachen Betrag vergrößert. Die Bewegung des Endes des langen Hebelarmes wirkt auf einen Regulator, welcher nach dem Prinzip der umgekehrten hydraulischen Pumpe konstruiert ist: die Verschiebung eines Schwimmers im weiteren der zwei kommunizierenden mit Quecksilber gefüllten Röhren bewirkt eine etwa 10 mal so grosse Verschiebung des Quecksilberniveau's im engeren Rohr. In letzterem befindet sich die Mündung des Gasleitungsrohres, welche durch die Bewegung des Quecksilbers geschlossen oder geöffnet wird. Dieser Regulator hat sich im Verein mit dem später zu beschreibenden Bleibad bis ca. 600° gut bewährt (Schwankungen weniger als 1°). Ganz geeignet zur Konstruktion von Thermoregulatoren dürften Spiralen aus einem aus zwei Metallen von möglichst verschiedenem Ausdehnungskoeffizienten (Stahl oder Nickel mit Messing) zusammengewalztem oder gelötetem Bande sein. Die gewöhnlich gewählte Schneckenform ist dafür nicht so zweckmässig, wie die Schraubenform, denn die Änderung der Krümmung durch die Temperatur ist der vorhandenen Krümmung proportional, woraus sich unmittelbar ergibt, dass man das Band am besten in Gestalt einer ziemlich engen (1—2 cm) Schraube aufwickelt. Bisher dienen solche Spiralen nur für ganz grobe Wirkungen, indem man sie als Sicherung beim zufälligen Auslöschen von Gasflammen anwendet.

Eine Verwertung der Spiralen zu feineren Zwecken ist wahrscheinlich ganz gut auszuführen, insbesondere, wenn man sie nicht mit mechanisch, sondern mit elektromagnetisch bethätigten Regulatoren verbindet²⁾.

Elektromagnetische Regulatoren. Jeder der vorherbeschriebenen Regulatoren kann naturgemäss dazu verwendet werden, einen elektrischen Kontakt zu schliessen und zu öffnen, durch welchen ein Elektromagnet bethätigt wird, der den Gaszufluss abschliesst oder öffnet. Die einfachste derartige Konstruktion ist die eines grossen, oben offenen Quecksilber-Thermometers, Fig 50, in welches ein Platindraht bis zu der Stelle hineinragt, welche das Quecksilber bei der gewünschten Temperatur einnimmt. Ein zweiter Platindraht ist durch das Thermometergefäss geführt, und zwischen beide wird

1) Zeitschr. physik. Chem. 30, 113. (1899).

2) Vergl. z. B. Gumlich, Zeitschr. f. Instrum. 18, 317. (1898).

die Batterie B und der Elektromagnet E geschaltet, dessen Thätigkeit den Gasstrom regelt. So kann man z. B. den Anker des Elektromagnets, wenn er angezogen ist, einen Hahn schliessen oder einen Gummischlauch zusammendrücken lassen u. s. w. Der wesentliche Vorzug der elektromagnetischen Regulierung besteht darin, dass das Regulatorrohr viel enger, also die Regulierung unter sonst gleichen Umständen viel empfindlicher gemacht werden kann als bei Gasregulatoren. Die Dimensionen sind ferner unabhängig vom erforderlichen Gasstrom, ein Umstand, der besonders bei sehr grossen Thermostaten und bei hohen Temperaturen günstig ins Gewicht fällt. Über eine praktisch ausgeführte Form vergl. Dolezalek, Zeitschr. physik. Chem. 26, 326, 1897.

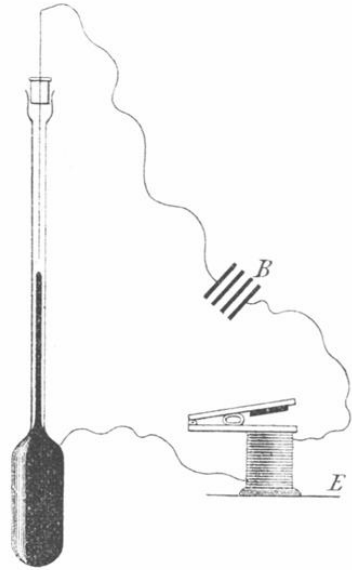


Fig. 50.

Der wesentlichste Übelstand dieser einfachen Regulatoren besteht in der raschen Verschmierung der Quecksilber-Kuppe durch den Öffnungsfunken, und in dem relativ grossen Stromverbrauch. Ersterer Übelstand wird durch Einschalten eines Relais, durch Übersichten des Quecksilbers mit reinem Petroleum oder Alkohol verringert. Der zweite Übelstand ist ausserdem in der nachstehend skizzierten Anordnung vermieden (Fig. 51).

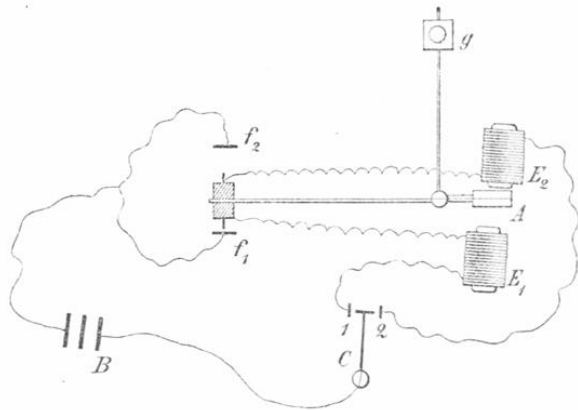


Fig. 51.

Der Apparat ist so konstruiert, dass das jedesmalige Verkleinern oder Vergrössern der Flamme nur einen einmaligen kurzen Stromschluss verlangt, was nach dem Prinzip der Selbstunterbrechung in

mancherlei Gestalt ausführbar ist. Die Batterie B sendet ihren Strom einerseits zu dem beweglichen Kontakt, welcher durch die Wirkung der Wärme zwischen den beiden Punkten 1 und 2, die beliebig nahe bei einander liegen können, derart bethätigt wird, dass er sich bei der Abkühlung nach 1, bei der Erwärmung nach 2 begibt. Legt er sich an 1, so geht der Strom durch den Elektromagnet E_1 , der um d drehbare Anker wird angezogen. Hierdurch legt sich das Gewicht g nach rechts über, der federnde Kontakt f_1 öffnet sich und der Strom ist unterbrochen. Durch diese Bewegung ist mittelst irgend einer Vorrichtung (Drehen eines Hahnes, Lüften eines Verschlussstückes u. s. w.) der Gasstrom verstärkt worden. Die eintretende Temperaturerhöhung treibt c nach 2; im Augenblick der Berührung ist wieder der Strom über E_2 und f_2 geschlossen, der Hebel Adg legt sich auf die andere Seite, schwächt den Gasstrom und öffnet den Kontakt bei f_2 , bis wiederum c nach 1 gelangt, und das Spiel von neuem anfängt. Damit der Hebel in seinen beiden Lagen verbleibt, auch wenn die Elektromagneten nicht wirksam sind, ist das Gewicht g so angeordnet, dass es der mittleren Stellung des Hebels gerade über der Drehungsachse d liegt und sowohl die rechte wie die linke Lage desselben stabil macht.

Zur Bethätigung des Kontakts c ist vermutlich eine Messingstahl-Spirale (S. 94) gut geeignet. Oder man benutzt ein U-Rohr mit Quecksiber, welches in bekannter Weise mit einem Flüssigkeitsgefäß (S. 88) verbunden ist und die Kontakte in Form von Platindrähten enthält. Da die Entfernung zwischen 1 und 2 sehr klein genommen werden kann, so kann der Apparat sehr empfindlich gemacht werden.

Temperaturen unter Zimmertemperatur. Sämtliche bisher beschriebenen selbstthätigen Regulatoren geben die überschüssige Wärme an die Umgebung ab, sind also nur für Temperaturen über der Zimmertemperatur zu gebrauchen. Um sie für niedrigere Temperaturen verwendbar zu machen, kühlt man das Bad dauernd durch einen Strom Leitungswasser, entweder indem man das Wasser eine auf den Boden des Bades gelegte Bleirohrspirale durchfließen lässt, oder falls die Badflüssigkeit aus Wasser besteht, einfach indem man das Leitungswasser zufließen und den Überschuss durch einen Überlauf abfließen lässt. Die Mündung des Zuflussrohres muss sich in der Nähe des Rührwerkes befinden. Durch passende Regulierung des Kaltwasserstroms und der Gasheizung kann man den Verbrauch von Wasser und Gas auf ein

Minimum beschränken. Für Temperaturen herunter bis 0° wird der Wasserstrom durch Eis vorgekühlt.

Ebenfalls zum Konstanthalten von Temperaturen unter der des Zimmers dient der Kaltwasserregulator von Foote (Zeitschr. f. physik. Chem. 1900. **33**, 740). Er reguliert die Wärmeabfuhr (bewirkt durch kaltes Wasser), während die Wärmezufuhr auf Kosten der höheren Temperatur des Zimmers erfolgt (Fig. 52).

Die in *a* befindliche Flüssigkeit dehnt sich beim Überschreiten der gewünschten Temperatur aus und verschliesst durch das in *c* befindliche Quecksilber die Mündung *d* des Abflussrohres *d-f*. Das aus *h* in langsamem Strom fließende kalte Wasser nimmt durch *g* seinen Weg in das Badwasser. Sinkt die Temperatur, so wird *d* geöffnet und das Wasser fließt durch *f* ausserhalb des Thermostaten ab.

Das Bad. Die vorbesprochenen Regulier-
vorrichtungen sind in dem Raum anzubringen,
welcher auf konstanter Temperatur erhalten
werden soll. Dieser Raum kann ein Luft- oder
Flüssigkeitsbad sein. Ersteres ist für unsere
Zwecke nach Möglichkeit auszuschliessen, da
in einem Luftbade Körper von anderer Tem-
peratur nur äusserst langsam die Temperatur
der Umgebung annehmen. Von Flüssigkeiten ist zunächst Wasser
zu benutzen, wo es irgend angeht. Für Temperaturen unter Null
setzt man dem Wasser Salze oder besser Alkohol zu, um das Gefrieren zu verhindern. Oberhalb 50° wird die Verdunstung des Wassers störend; man kann sich durch eine dünne darüber gegossene Schicht Paraffinöl ausserordentlich einschränken. Kommt es auf unveränderten Wasserstand an, so bedient man sich einer hinreichend grossen Mariotteschen Flasche zur Ergänzung des Abganges.

Oberhalb 90° setzt man dem Wasser Salze zu. Eine konzentrierte Chlorcalciumlösung kann z. B. noch bis ca. 150° gebraucht werden. Bis etwa 200° dient Paraffinöl, bis 300° hochschmelzendes Paraffin oder Palmin (ein Speisefett). Für noch höhere Temperaturen sind Bäder aus geschmolzenem Kali-Natronsalpeter, oder Blei verwendet worden; ersteres ist bis 600° , letzteres wohl noch viel

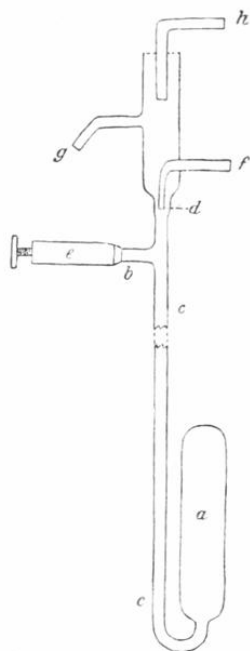


Fig. 52.

weiter hinauf brauchbar, muss aber (durch einen langsamen Strom Leuchtgas) vor Oxydation geschützt werden¹⁾.

Die Badflüssigkeiten befinden sich in Gefässen, deren Material je nach der Temperatur und den speziellen Versuchsbedingungen verschieden ist. Für die meisten Zwecke sind emaillierte Eisengefässe sehr brauchbar, für höhere Temperaturen gusseiserne oder Porzellan-gefässe. Gefässe aus schwer schmelzbarem Glase können bis ca. 500° hinauf verwendet werden. Bei Metallgefässen ist es ratsam, die direkt von den Flammengasen getroffenen Stellen durch ein Pflaster von dünnem Asbestpapier vor frühzeitiger Korrosion zu schützen.

Ein guter Wärmeschutz gegen die Umgebung ist wesentlich für Heizgasersparnis und Verringerung der Temperaturschwankungen. Man erreicht ihn durch Umhüllen des Bades mit Filz, oder durch Umgeben mit einem etwas weiteren Mantel aus Blech, wodurch die Flammengase nicht nur den Boden, sondern auch die Seiten des Badgefässes umspülen. Bei Thermostaten für höhere Temperaturen wählt man als Material für die äusserste Hülle Weissblech oder Aluminiumblech wegen ihrer geringen Ausstrahlung. Eine sehr vollkommene Wärmeisolation geben sog. Dewarsche Gefässe, die jetzt für die Konservierung flüssiger Luft im Handel zu haben sind. Die Heizung der Badflüssigkeit muss dann auf elektrischem Wege erfolgen.

Das Rührwerk. Durch die einseitige Wirkung der Wärmequelle und der abkühlenden Einflüsse bilden sich in jedem Thermostaten örtliche Temperaturverschiedenheiten aus, welche durch mechanische Vermischung des Bades beseitigt werden müssen, wenn die Gleichheit und Beständigkeit der Temperatur gesichert werden soll.

Aus naheliegenden Gründen wird man Rührwerke mit Drehung solchen mit Hinundwiedergang vorziehen. Auf dem Boden des Bades sind daher Rührarme anzubringen, welche um eine senkrecht stehende Achse gedreht werden. Die Arme tragen schräge Flügel; sie wirken besser, wenn die niedrigere Kante vorangeht, das Wasser also nach oben getrieben wird, als umgekehrt.

Je kürzer die Flügel sind, um so rascher muss die Schraube rotieren. Schliesst man die Schraube in ein etwas weiteres Rohr ein, welches fast vom Boden bis zum Flüssigkeitsspiegel reicht, so wird ständig die Badflüssigkeit an dem einen Ende des Rohres angesaugt und aus dem andern herausgestossen, wodurch ein sehr

¹⁾ Vergl. Bodenstein, Zeitschr. physik. Chem. 30, 113 (1899).

energisches Vermischen des Thermostateninhalts bewirkt wird. Denselben Zweck erfüllen die Fig. 53 und 54 abgebildeten Rührer, die

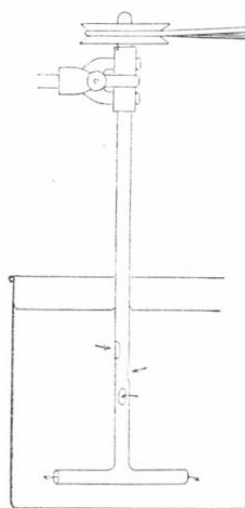


Fig. 53.

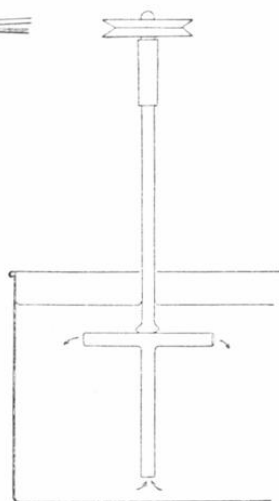


Fig. 54.

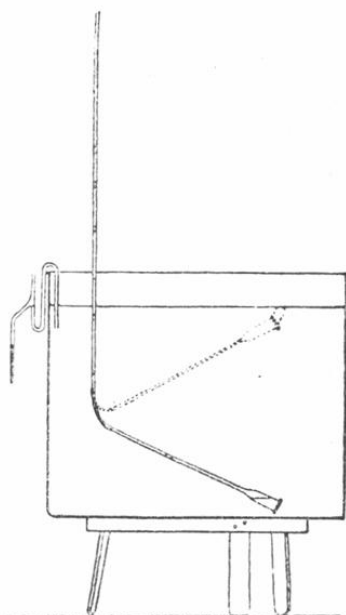


Fig. 55.

man sich leicht selbst anfertigen kann. Besonders wirksam sind alle derartigen Rührer, wenn ihre Rotationsachse nicht genau senkrecht ist.

Eine sehr einfache Art des Rührens ist schliesslich die durch einen Luftstrom. Man leitet Luft in grossen Blasen durch die zu bewegende Flüssigkeitsmasse und erzielt so eine recht wirksame Durchmischung. Den Luftstrom entnimmt man, wenn eine Anlage für komprimierte Luft nicht vorhanden ist, am bequemsten einem Wassertrommelgebläse. Es liegt in der Natur der Sache, dass bei höheren Temperaturen wegen der starken Verdampfung dieses Verfahren weniger anwendbar ist als bei niederen.

Für Temperaturen unter der des Zimmers dient der in Fig. (55) abgebildete Rührer, der gleichzeitig das erforderliche kalte Wasser zuleitet. Ein langstieliger Glastrichter ist durch ein Gummirohr beweglich an ein Glasrohr angebracht, durch welches ein Luftstrom, unterbrochen durch Wassertropfen tritt¹⁾. Sobald sich im Trichter

¹⁾ Über die Erzeugung desselben vergl. das Kapitel über Molekulargewichtsbestimmungen.

eine genügende Menge Luft angesammelt hat, wird der Trichter gehoben und die Luft entweicht in Gestalt einer grossen Blase. Diese Art von Durchrührung ist wirksamer, als das einfache Durchleiten von Luft.

Kleine Motoren. Zur Bethätigung des Rührwerks, sowie für viele andere Zwecke sind im Laboratorium Motoren erwünscht, bei denen es häufig weniger auf erhebliche Arbeitsleistung, als auf andauernde Thätigkeit ankommt.

Die einfachste Vorrichtung zum Betreiben eines Rührers ist die in Fig. 47 abgebildete Windmühle, welche man unmittelbar auf die Achse des Rührers setzt und durch den aufsteigenden Luftzug eines darunter gesetzten Flämmchens betreibt. Man stellt sie aus Draht und steifem Papier, dünnem Aluminiumblech oder Glimmer her und giebt ihr einen Durchmesser von 40 bis 50 cm. Eine solche Mühle kann allerdings nur wenig Arbeit leisten und es ist daher sehr wichtig die Achse möglichst senkrecht zu stellen und für eine leichte Drehung derselben durch eine metallene Spitze in einem Achathütchen als Lager Sorge zu tragen. Doch gelangt man bei einiger Sorgfalt bald dahin, sie in regelmässigen Betrieb zu bringen und darin zu erhalten.

Grössere Leistung liefern Gewichts-, Wasser-, Heissluft-, und elektromagnetische Motoren.

Einen sehr einfachen mechanischen Motor erhält man durch Benutzung des Gehwerkes einer ausser Kurs gesetzten, möglichst starken Wanduhr, indem man an die verlängerte Achse des Steigrades eine Kurbel oder ein Excenter befestigt. Um die für einen langsamen Gang erforderliche Hemmung zu erzielen, kann man mit der Kurbel eine Stange verbinden, mittelst deren ein Kolben in einem Cylinder auf und ab bewegt wird; der Kolben schliesst nicht vollständig und in den Cylinder wird Glycerin oder schwerflüssiges Öl gegossen. Da durch die Kurbel die Kolbenstange hin und her geneigt wird, so macht man den Cylinder um eine der Kurbelachse parallele Achse beweglich. Bei der Bewegung der Kurbel und sonach des Kolbens muss das Öl abwechselnd über und unter den Kolben treten und man ermittelt leicht die Verhältnisse zwischen Kolbenspielraum, Hubhöhe und Zähigkeit der Füllung, welche die gewünschte Geschwindigkeit ergeben. Die erzielte Bewegung ist keine gleichförmige, sondern (in den beiden toten Punkten des Kolbens) eine ruckweise, was für viele Zwecke, insbesondere Umrühren bei thermochemischen Arbeiten ein Vorteil ist.

Für nicht allzugrosse Arbeitsleistungen dienen Turbinen, wie

sie in bequem aufstellbarer Form u. a. von Raabe konstruiert und in den meisten Apparatenhandlungen für 10 bis 12 Mk. käuflich sind. Die Turbine besteht aus einem in einem Gehäuse untergebrachten Schaufelrade, welches durch einen Wasserstrahl angetrieben wird; ausserhalb des Gehäuses ist an der Achse eine Schnurrolle angebracht, von welcher mittelst einer übergelegten Schnur ohne Ende der Antrieb übertragen wird. Man wählt eine recht weiche Schnur, um möglichst wenig Arbeit zu verlieren und sorgt für irgend eine einfache Vorrichtung zum Nachspannen.

Für mancherlei Zwecke verwendbar sind kleine Heissluftmotoren, welche von Heinrici in Zwickau für etwa 40 Mk. geliefert werden und mittelst eines kleinen Flämmchens in andauerndem Betrieb erhalten werden können. Sie drehen sich drei bis fünf Mal in der Sekunde und geben bei der erforderlichen Umsetzung auf langsames Tempo genügend Arbeit ab, um kleinere Rührwellen u. dergl. in Betrieb zu halten.

Sehr brauchbar und manigfaltig in ihren Anwendungen sind endlich elektromagnetische Motoren, wie sie für verschiedene Arbeitsleistung und verschiedene Betriebsspannung u. a. von Heinrici, Siemens u. Halske, der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, Belle in Aachen u. a. zum Preise von etwa 40 Mark aufwärts in den Handel gebracht werden. Sollen die Motoren für Dauerbetrieb dienen, so müssen sie eine zuverlässige Schmiervorrichtung besitzen. Bei Motoren für kleine Arbeitsleistung sehe man darauf, dass der Anker mit möglichst wenig Reibung beweglich ist, da anderenfalls auf die Überwindung dieser Reibung ein allzugrosser Bruchteil der elektrischen Energie verbraucht wird. Eine Vorrichtung um die Bürsten drehen und nachstellen zu können ist sehr bequem, ebenso angenehm ist es besonders bei Motoren mit Doppel-T-Anker, wenn Bürsten und Kommutator leicht auswechselbar sind, denn ein hoher Nutzeffekt kann bei kleinen Motoren meist nur auf Kosten einer relativ raschen Abnutzung von Kommutator und Bürsten erzielt werden. Hat man den Anschluss an eine elektrische Centrale, so lassen sich solche Motoren mit grosser Bequemlichkeit in Betrieb setzen. In vielen Fällen wird es zweckmässiger sein, sie unmittelbar durch Akkumulatoren zu bethätigen, wodurch man unabhängiger von vorhandenen Leitungen wird. Der Betrieb mit gewöhnlichen galvanischen Elementen ist dagegen überaus umständlich und kostspielig.