universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die chemische Technologie der Brennstoffe

Chemischer Theil

Fischer, Ferdinand

1897

1. Wärmemessung

urn:nbn:at:at-ubi:2-3644

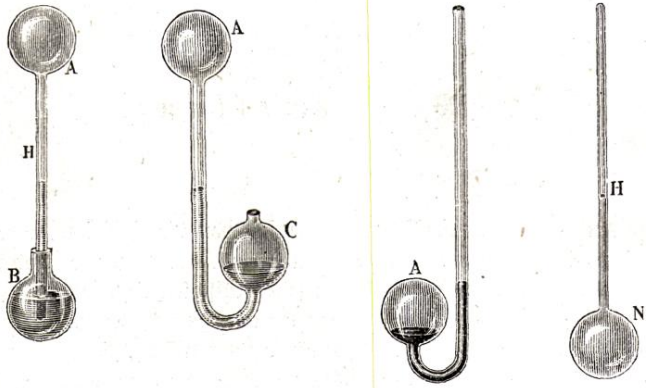
1. Wärmemessung.

Geschichte. Das erste Thermometer soll von Galilei im Jahre 1556 hergestellt sein. Dasselbe war nach Tait[1]) ein Luftthermometer und bestand aus einer Kugel mit einer Röhre, die in eine Flüssigkeit eintauchte. Es wurde zuerst benutzt, die Temperatur eines Kranken zu bestimmen, der zu diesem Zwecke die Kugel in den Mund nahm. Libri[2]) bezweifelt das, da sonst die Mitglieder der Florentiner Akademie dieses erwähnt haben würden. Dem entsprechend schreibt man in der Regel das erste Thermometer nach Dalence[3]) dem Cornelius Drebbel in Alkmaar für das Jahr 1638 zu. Dasselbe besteht aus einer Kugel A (Fig. 1, a. S. 2) mit angeschmolzener Röhre, deren Mündung in das Gefäß B mit einer sehr verdünnten Lösung von Kupfer in Scheidewasser gesenkt ist. Bei mittlerer Temperatur steht die Flüssigkeit bei H, sie sinkt beim Erwärmen und steigt beim Abkühlen; doch wurde diese Bewegung nach einer willkürlichen Scala abgelesen. Wolf[4]) nahm statt des unteren Gefäßes eine offene Kugel C (Fig. 2), um den Apparat bequemer aufhängen zu können. Da auf diese eingeschlossene feuchte Luft nicht nur die Wärme, sondern auch die äußere Atmosphäre wirkt, so waren diese Wärmemesser sehr unvollkommen. Becher[5]) ließ (1680) die Kugel C weg, bog die Röhre nach oben und füllte sie mit Quecksilber. Das Luftthermometer von Amontons[6]) bestand aus einer mit Luft gefüllten Kugel A (Fig. 3) und einem etwa 1,2 m langen Glasrohre, welches Quecksilber enthielt. Gehler[7]) verbesserte diesen Apparat; beide berücksichtigten bei ihren Messungen auch den veränderlichen Druck der äußeren Atmosphäre. Lambert[8]) bestimmte mit einem solchen Luftthermometer zuerst die Ausdehnung der trocknen Luft zu 0,0037.

[1]) Dingl. 227, 412. Nach anderen Angaben ist dieses Thermometer dem Arzt Sanctorius in Padua zuzuschreiben. Der eigentliche Erfinder des Thermometers wird wohl unbekannt bleiben. — [2]) Annal. de chim. phys. 40, 355. — [3]) Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres (Amsterdam 1688). — [4]) Nützliche Versuche, 2. Cap., V, §. *56. — [5]) Fischer, Physikalisches Wörterbuch 1804, B. 5, 50. — [6]) Mémoir. de l'Académie de Paris, 1702, 1; 1703, 260. — Physikalisches Wörterbuch 1839, Bd. 9, S. *832. — [8]) Pyrometrie (Berlin 1779).

Inzwischen waren die ersten Thermometer mit einer in Glas eingeschmolzenen Flüssigkeit unter der Leitung Rivieri's (gest. 1647) von Giuseppe Moriani, einem geschickten Glasbläser, ausgeführt. Diese Wärmemesser, mit denen die Florentiner Akademie [1]) u. a. fand, daß das Schmelzen des Eises stets bei derselben Temperatur stattfindet, bestand aus einer Kugel *N* (Fig. 4) mit angeschmolzenem Rohr, war bis *H* mit Weingeist gefüllt und auf einem mit einer

Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4.



Scala versehenen Holzbrettchen befestigt, in derselben Weise, wie dies bei unseren gewöhnlichen Zimmerthermometern noch heute der Fall ist. Newton [2]) füllte sein Thermometer mit Leinöl, Fahrenheit in Danzig, der die ersten Thermometer mit gleichförmiger Theilung lieferte, verwendete anfangs wieder Weingeist, dann aber 1709 (nach anderen Angaben (1714) Quecksilber zur Füllung. Reaumur [3]) nahm wieder Weingeist von der Stärke, daß er Schießpulver entzündete, Lutz [4]) Ammoniakflüssigkeit; auch wurden von Muncke [5]) concentrirte Schwefelsäure, Schwefelkohlenstoff und Petroleum besprochen, ohne daß jedoch diese Stoffe irgend welchen Beifall gefunden hätten.

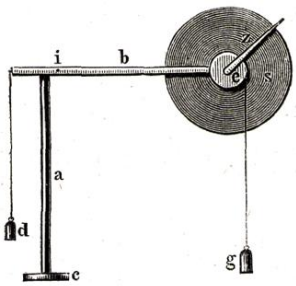
Nachdem bereits Muschenbroek [6]), welcher zuerst den Namen Pyrometer gebrauchte (1731), Ellicott (1736) u. A. die Ausdehnung der Metalle beim Erwärmen dadurch untersucht hatten, daß sie das eine Ende einer Stange festlegten, das andere aber durch Räder oder Hebelübertragung auf einen Zeiger wirken ließen, stellte Mortimer [7]) 1746 das erste Metallthermometer her. Der runde eiserne Stab *a* (Fig. 5) von etwa 1 m Länge wurde bei *c* in einem Gestell unbeweglich befestigt. Das freie Ende drückte gegen den kürzeren Arm des um *i* beweglichen Hebels *b*, dessen längerer Arm mit einer um die Rolle *e*

---

[1]) Tentamina Acad. del Cimento; Muschenbroek I, 2. — [2]) Philos. transact. 1701, Nr. 270. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris 1730, 452; 1731 250. — [4]) Anweisung, Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1781) 3. Aufl., 183 S. *258. — [5]) Gehler's Physikalisches Wörterbuch 9, *848. — [6]) Fischer Physikalisches Wörterbuch 1801, 4, *52. — [7]) Philosoph. trans. 44, *672.

laufenden Schnur verbunden war. Das Gegengewicht *g* hielt dieſe Schnur ſtraff, das Gewicht *d* ſorgte für die Berührung zwiſchen Hebel und Stange *a*. Sobald nun dieſe Stange durch die zu meſſende Wärme ausgedehnt wurde, drehte ſich mit der Rolle *e* der Zeiger *z* vor der unbeweglichen Scheibe *s*, auf der die Grade nach Fahrenheit aufgetragen waren. Löſer[1]) übertrug die Ausdehnung der Metallſtange durch Räder auf den Zeiger. Felter[2]) in Braunſchweig benutzte bald darauf die verſchiedene Ausdehnung zweier Metalle, indem er eine dünne, 1,2 m lange Meſſingſtange mit einer gleichen aus Eiſen durch Niete an einem Ende verband, während der Meſſingſtab am anderen Ende mit einem meterlangen Zeiger verbunden war, der durch den Eiſenſtab hindurch ging.

Fig. 5.



Mortimer hatte bei Beſchreibung ſeines Metallthermometers bereits bemerkt, daß man große Hitze durch die Zuſammenziehung von Pfeifenthon meſſen könne. Wedgwood[3]) ſetzte dem entſprechend einen beſtimmten Thon in Kugel-, Cylinder- und Würfelform der zu meſſenden Hitze aus und berechnete die Temperatur aus dem Schwinden deſſelben. Sein Nullpunkt war bei 1000° F. (538° C.), nach anderen Angaben bei 1077,5°, die höchſte von ihm erreichte Temperatur 160° ſeines Pyrometers angeblich 20 848° F. Die völlige Unbrauchbarkeit dieſer Apparate wurde namentlich von Guyton de Morveau[4]) nachgewieſen.

Die Florentiner Akademie theilte ihre Thermometer von dem Nullpunkt, welcher der Temperatur ihrer tiefen Keller und nach Libri[5]) 15° R. entſprach, ab nach oben und unten in willkürliche Grade ein. Renaldini[6]) ſchlug bereits die Anwendung von Eis und ſiedendem Waſſer zur Beſtimmung der feſten Punkte vor, worauf dann Newton den Nullpunkt ſeines Leinölthermometers mit Eis feſtſtellte, dann aber das Thermometer von 0° bis zur menſchlichen Blutwärme in 12 Grade theilte, ſo daß der Siedepunkt des Waſſers auf 34° fiel. Fahrenheit bezeichnete die im Winter 1809 in Danzig erreichte Kälte mit 0°, den Schmelzpunkt des Eiſes mit 32°, er hat aber außerdem jedenfalls ſchon das ſiedende Waſſer, 212° ſeines Thermometers, benutzt; mit ſeinen Angaben[7]) über die Herſtellung ſeiner Thermometer ſcheint er nur Andere haben irre führen zu wollen. Reaumur beſtimmte den Nullpunkt ſeiner ungemein großen Thermometer durch gefrierendes Waſſer, tauchte ſodann in ſiedendes Waſſer und ſchmolz ſie zu, ſobald der Weingeiſt die größte Höhe erreicht hatte; den Zwiſchenraum theilte er in 80°. Die Thermometer waren bei weitem nicht ſo genau,

---

[1]) Titus: Thermometri metallici (Leipzig 1763). — [2]) Gothaiſches Magazin Bd. 4, III, 89. — [3]) Philos. trans. 72, 305; 74, 385; 96, 390; Gehler's Phyſikaliſches Wörterbuch 7, S. *983. — [4]) Essay de Pyrometrie (Paris 1808). — [5]) Poggendorff's Ann. 21, 325. — [6]) Philosophia naturalis (Patav. 1694), 3, 776. — [7]) Philosoph. trans. 1724, Nr. 382, 78.

als die von Fahrenheit, wie namentlich de Luc[1]) nachwies, der auch für diese Thermometer die Vorzüge des Queckſilbers zeigte, die feſten Punkte genauer beſtimmte, die Eintheilung in 80° aber beibehielt, ſo daß dieſe Thermometer richtiger nach ihm benannt werden ſollten. Celſius[2]) endlich theilte das Thermometer vom Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt des Waſſers in 100°. Zahlreiche Vorſchläge, von dieſer einfachen Eintheilung wieder abzugehen, haben glücklicher Weiſe keine weitere Beachtung gefunden[3]).

Da noch jetzt in England und Nordamerika faſt ausſchließlich die Thermometer nach Fahrenheit, ſonſt aber namentlich in Deutſchland neben den Graden von Celſius auch noch die von Reaumur (de Luc) gebraucht werden, ſo wird die Bemerkung nicht überflüſſig ſein, daß die Umrechnung derſelben in folgender Weiſe ausgeführt werden kann:

$$\text{F.} = {}^9/_4\ \text{R.} + 32 = {}^9/_5\ \text{C.} + 32$$
$$\text{R.} = {}^4/_9\ (\text{F.} - 32);\ \text{C.} = {}^5/_9\ (\text{F.} - 32) = {}^5/_4\ \text{R.}$$

Nebenſtehende Tabelle giebt eine Umrechnung für die gebräuchlichſten Temperaturen.

Ueberſicht der gebräuchlichſten Thermometer. Die bisher gemachten zahlreichen Vorſchläge zur Wärmemeſſung ſuchen dieſe Aufgabe zu löſen durch Benutzung folgender Erſcheinungen:

1. Ausdehnung feſter, flüſſiger und luftförmiger Körper.
2. Aenderung des Aggregatzuſtandes.
3. Diſſociation.
4. Optiſche und akuſtiſche Erſcheinungen.
5. Elektriſche Erſcheinungen.
6. Vertheilung der Wärme.

1. Ausdehnung. Die Ausdehnung feſter Körper hat man namentlich zur Beſtimmung hoher Temperaturen benutzt. Um dieſe verhältnißmäßig geringe Ausdehnung leichter ſichtbar zu machen, wird ſie, wie bereits S. 3 erwähnt, meiſt durch Zahnräder oder Hebel auf einen Zeiger übertragen. Die der zu meſſenden Hitze ausgeſetzte Metallſtange *t* (Fig. 6, a. S. 6) berührt mit ihrem einen Ende bei *v* eine feſte Widerlage, während das andere Ende des Stabes gegen den kürzeren Arm *k* eines Winkelhebels ſtößt, deſſen längerer Arm *l* auf eine Scala bei *s* zeigt. Dehnt ſich die Stange *t* durch Erwärmen

---

[1]) Unterſuchungen über die Atmoſphäre (Leipzig 1776), **1**, 355. — [2]) Schwediſche Abhandlungen 1742, 197. — [3]) Fiſcher's Phyſik. Wörterb. Bd. **5**, 62; Gehler's Wörterb. 870; Lutz, Thermometer 274.

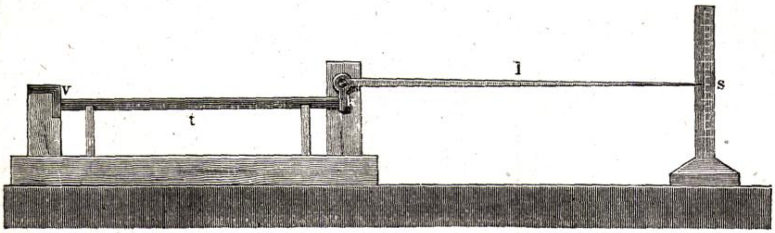
Es verdient noch bemerkt zu werden, daß bereits Cavendiſh (Phil. trans. 1757, 300) ein ſelbſtregiſtrirendes Thermometer beſchreibt, den Siedepunkt in Waſſerdampf beſtimmt, Hennert (Traité des thermomètres 1758, 44) die Correction eines Thermometers mittels eines abgeriſſenen Queckſilberfadens ausführt, und Rutherford (Edinburgh. Phil. trans. 1794) die erſten Thermometrographen aus Queckſilber- und Weingeiſtthermometer zuſammenſetzte.

Fahrenheit	Celsius	Reaumur (de Luc)	Celsius	Reaumur (de Luc)	Fahrenheit	Reaumur (de Luc)	Celsius	Fahrenheit
— 20	— 28,88	— 23,11	— 20	— 16,0	— 4,0	— 20	— 25,00	— 13,00
— 10	— 23,33	— 18,66	— 10	— 8,0	+ 14,0	— 10	— 12,00	+ 9,50
0	— 17,77	— 14,22	0	0,0	32,0	0	0,00	32,00
1	— 17,22	— 13,77	1	0,8	33,8	1	1,25	34,25
2	— 16,66	— 13,33	2	1,6	35,6	2	2,50	36,50
3	— 16,11	— 12,88	3	2,4	37,4	3	3,75	38,75
4	— 15,55	— 12,44	4	3,2	39,2	4	5,00	41,00
5	— 15,00	— 12,00	5	4,0	41,0	5	6,25	43,25
6	— 14,44	— 11,55	6	4,8	42,8	6	7,50	45,50
7	— 13,88	— 11,11	7	5,6	44,6	7	8,75	47,75
8	— 13,33	— 10,66	8	6,4	46,4	8	10,00	50,00
9	— 12,77	— 10,22	9	7,2	48,2	9	11,25	52,25
10	— 12,22	— 9,77	10	8,0	50,0	10	12,50	54,50
11	— 11,66	— 9,33	11	8,8	51,8	11	13,75	56,75
12	— 11,11	— 8,88	12	9,6	53,6	12	15,00	59,00
13	— 10,55	— 8,44	13	10,4	55,4	13	16,25	61,25
14	— 10,00	— 8,00	14	11,2	57,2	14	17,50	63,50
15	— 9,44	— 7,55	15	12,0	59,0	15	18,75	65,75
16	— 8,88	— 7,11	16	12,8	60,8	16	20,20	68,00
17	— 8,33	— 6,66	17	13,6	62,6	17	21,25	70,25
18	— 7,77	— 6,22	18	14,4	64,4	18	22,50	72,50
19	— 7,22	— 5,77	19	15,2	66,2	19	23,75	74,75
20	— 6,66	— 5,33	20	16,0	68,0	20	25,00	77,00
25	— 3,88	— 3,11	25	20,0	77,0	25	31,25	88,25
30	— 1,11	— 8,00	30	24,0	86,0	30	37,50	99,50
40	+ 4,44	+ 3,55	40	32,0	104,0	40	50,00	122,00
50	10,00	8,00	50	40,0	122,0	50	62,50	144,50
60	15,55	12,44	60	48,0	140,0	60	75,00	167,00
70	21,11	16,88	70	56,0	158,0	70	87,50	189,50
80	26,66	21,33	80	64,0	176,0	80	100,00	212,0
90	32,22	25,77	90	72,0	194,0	90	112,5	234,5
100	37,77	30,22	100	80,0	212,0	100	125,0	257,0
200	93,33	74,66	200	160,0	392,0	200	250,0	482,0
300	148,88	119,11	300	240,0	572,0	300	375,0	707,0

aus, so muß das Ende des Zeigers *l* an der Scala in die Höhe gehen. William[1]) befestigte in dem Raume, dessen Temperatur bestimmt werden sollte, eine Metallstange, deren freies Ende aus der Ofenwand herausragte und auf einen Hebel wirkte, dessen Bewegung auf einen mittels Uhrwerk vorübergezogenen Papierstreifen selbstthätig aufgezeichnet wurde. Da es wohl kaum möglich ist, bei gewerblichen Feuerungsanlagen einen unverrückbaren Punkt für das festgelegte Ende eines solchen Metallstabes zu finden, so sind derartige Metallthermometer schon aus diesem Grunde durchaus unzuverlässig.

Mehr Vertrauen verdienen schon die Apparate, welche den Unterschied in der Ausdehnung zweier verschiedener Körper benutzen. Als eine der ältesten

Fig. 6.



derartigen Vorrichtungen ist das Pyrometer von Borda[2]) zu bezeichnen. Zwei aus verschiedenen Metallen gebildete Stäbe sind ihrer Länge nach auf einander gelegt und, wie Fig. 7 zeigt, an dem einen Ende fest verbunden. Am anderen Ende trägt jeder Metallstab ein Messingstück, welches erst senkrecht aufsteigt und dann wagerecht umgebogen ist. Die horizontalen Arme des Ansatzstückes

Fig. 7.

können frei an einander hergleiten, wenn die Metallstäbe sich ungleich ausdehnen; da sie aber an der Berührungslinie eingetheilt sind, und zwar so, daß die Theilung des einen einen Nonius für den anderen bildet, daß also etwa 19 Thle. der einen Theilung gleich 20 Abtheilungen der anderen sind, so kann man mit Hülfe dieses Nonius sehr genau den Unterschied der Ausdehnung der beiden Metallstäbe ablesen und daraus die Temperatur berechnen.

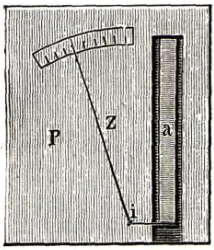
In der Regel wendet man aber auch hier eine Hebel- und Räderübersetzung an, um die verschiedene Ausdehnung deutlicher sichtbar zu machen. Guyton de Morveau[3]) legte (1803) bei seinem Pyrometer eine Stange von Platin *a*

---

[1]) Dingl. *1862, **166**, 144; vergl. 1828, **27**, *272. — [2]) Biot, Traité de physique 1816, **1**, *159; Dingl. 1824, **13**, 252. — [3]) Essay de Pyrometrie (Paris *1808); Annal. de chim. **46**, 276; Dingl. 1832, **43**, 190.

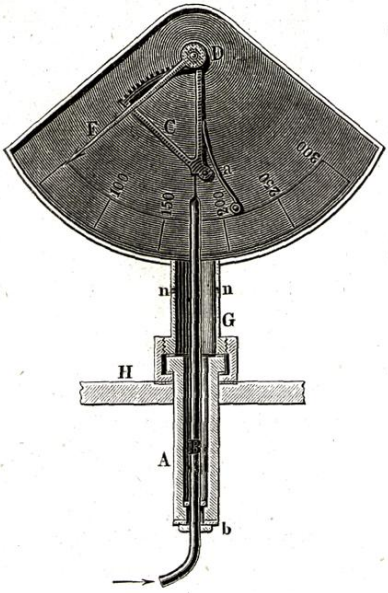
(Fig. 8) in den Ausschnitt einer Porcellanplatte *P*. Der Unterschied in der Ausdehnung beider wirkte auf den kürzeren Arm des um den Zapfen *i* drehbaren Hebels, mit welchem der Zeiger *Z* verbunden war. Aehnlich war das Pyrometer von Brogniart, während Daniell[1]) einen dünnen Platinstab in eine Röhre aus Graphit und Thon einschloß und die Ausdehnung auf einen Hebel mit Nonius-theilung übertrug.

Fig. 8.



Bussius[2]) giebt folgendes Thermometer für erhitzten Wind bei Hochöfen u. dergl. an. Der gut gebrannte Chamottecylinder *A* (Fig. 9) ist im Boden durchbohrt, um die Metallröhre *B* durchstecken zu können und sie dann durch die Mutter *b* damit zu verbinden. Das untere Ende derselben ist der Richtung des Windes entgegengesetzt, während die Spitze der Röhre den Zahnbogen *C* bei ihrer Ausdehnung in Bewegung setzt, dieser wieder das kleine Zahnrad *D*, auf dessen Welle der Zeiger *F* befestigt ist. Beim Erkalten drückt die kleine Feder *a* diese Vorrichtung in ihre frühere Lage zurück. Um eine zu große Erhitzung der Luft im Gehäuse *G* zu verhüten, ist dasselbe bei *n* durchbrochen, außerdem von dem Cylinder *A* und dem Düsenständer *H* durch Filzscheiben isolirt. Gibbon[3]) verwendet zu gleichem Zweck zwei Stäbe aus Eisen und Kupfer, deren verschiedene Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird.

Fig. 9.



Petersen[4]) verwendet zur Bestimmung hoher Temperaturen einen in ein eisernes Rohr eingeschlossenen starken Platindraht, dessen Ausdehnung auf einen Hebel übertragen wird, Oechsle[5]) befestigte dagegen in einem eisernen Rohre einen massiven Kupferdraht, dessen freies Ende mittels Hebel und Zahnrad auf einen Zeiger wirkte; später nahm er statt des Kupferdrahtes eine dünnwandige Messingröhre. Sehr ähnlich ist das Pyrometer von

[1]) Dingl. 1828, **29**, *416; 1832, **43**, *189; **46**, 174, 241. — [2]) Dingl. 1862, **164**, *107. — [3]) Dingl. 1838, **68**, *436; 1877, **225**, 273. — [4]) Gehler's Physik. Wörterb. **7**, *994. — [5]) Dingl. 1861, **160**, *112; 1870, **106**, *218.

Gauntlett und Desbordes[1]). Es besteht aus einer metallenen Hülse *A* (Figuren 10 und 11) mit gläsernem Zifferblatt, welches durch einen Ring festgehalten wird. Sie wird von einem hohlen metallenen Fuße *B* getragen, der auf einer Platte *E* ruht. Die Röhre *D* aus Schmiedeisen ist oben mit dem Fuße *B* fest verbunden, unten aber durch die Kapsel *b* mit dem inneren Kupferrohr *C*, welches sich im Uebrigen frei in dem Eisenrohre bewegen kann. Da das Eisenrohr beim Erwärmen sich weniger ausdehnt, als das innere Kupferrohr, so hebt dieses die Haube *a*, welche durch die Stange *n* mit dem Gabelstücke *d* verbunden ist. Dieses sitzt mittels des Bolzens *e* an einem Zahnsegmente *f*, welches in ein kleines Getriebe *h* eingreift und somit auf den an dessen Achse befindlichen Zeiger *l* einwirkt. Die auf den Stift *i* wirkende

Fig. 10.

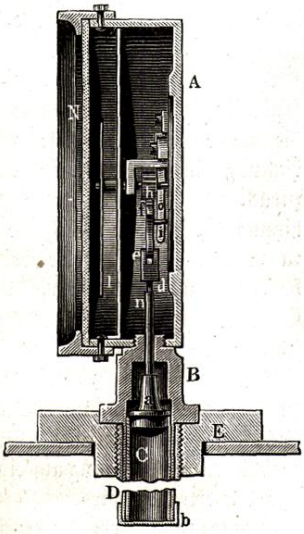
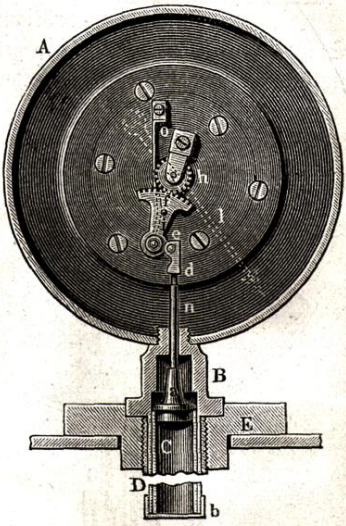


Fig. 11.



Feder *o* führt beim Erkalten den Zeiger in seine frühere Lage zurück. Bock[2]) verwendet in ähnlicher Weise ein in einem eisernen Rahmen befestigtes Messingstäbchen, Heseler[3]) für niedere Temperaturen Stahl und Zink. Bei Lion und Guichard[4]) umschließt ein kupfernes Rohr *A* (Fig. 12 und 13) zwei Stangen *B* und *C*, die eine von Kupfer, die andere von Eisen, welche unten an dem Cylinder *D* festgelöthet sind, während an die oberen Enden bei *E* und *F* ein Hebel *G* befestigt ist, der auf einer Seite die kleine Lagerpfanne *H* trägt. Das Rohr *A* ist mittels der Mutter *J* an einer Platte *I* festgeschraubt, von der sich die beiden Säulen *K* und *L* erheben, um die Achse *M* zu tragen. An diese Achse ist ein kleines trichterförmiges Lager *N* befestigt, welches mit

[1]) Dingl. 1875, **144**, *26; 1861, **160**, 393; 1860, **157**, *279. — [2]) Dingl. 1870, **195**, *312. — [3]) Dingl. 1875, **216**, *398 — [4]) Dingl. 1876, **220**, *37.

der Lagerpfanne H durch eine Stange verbunden ist; eine Drahtfeder X hält diese Theile N und H in ihrem richtigen Abstande. Ein an der Achse M befindlicher Hebel P ist mit der gebogenen Stange Q verbunden, welche in die zwischen zwei Trägern S und T gelagerte Schraube R eingreift und diese beim Senken oder Heben der Vorrichtung entsprechend dreht. Die Achse der Schraube ist zugleich die des die Temperatur angebenden Zeigers. Eine besondere an dem Träger S befestigte Feder führt die Schraube wieder in ihre ursprüngliche Lage

Fig. 12.

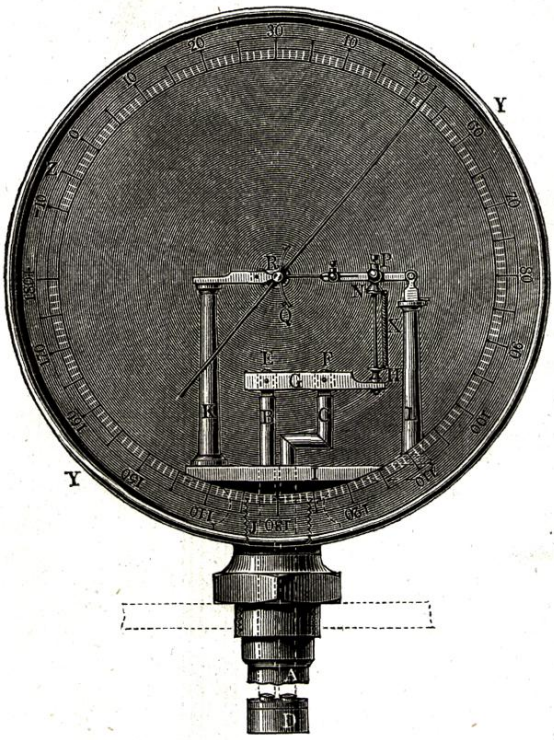
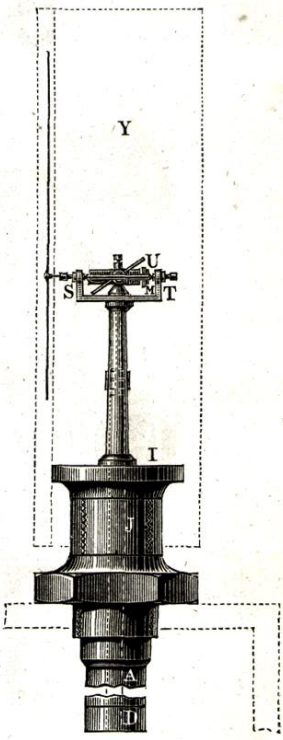


Fig. 13.



zurück. Die ganze Vorrichtung ist in ein Gehäuse Y eingeschlossen, welches ein in Centigrade getheiltes Zifferblatt Z umfaßt.

Für Temperaturen, welche 300° übersteigen, werden die Apparate mit beweglichem Zifferblatt hergestellt, damit sie nach jedesmaligem Gebrauch wieder richtig eingestellt werden können.

Das Pyrometer von Zabel[1]) beruht auf der ungleichen Ausdehnung zweier Metallstäbe. In dem geschlossenen Schutzrohre a (Fig. 14, a. f. S.),

[1]) Dingl. 1878, **230**, *320.

welches in den Körper *b* eingeschraubt ist, befindet sich ein Messingrohr, für höhere Temperaturen bis 900° ein Kupferrohr *c*. Dieses ist im Körper befestigt und trägt an seinem oberen Ende die Werkplatten eines Fühlhebelapparates. In dem Rohre *c* befindet sich ein zweites Rohr *d* aus gleichem Metall, welches an seinem unteren Ende ein Stahlrohr *e* trägt und an seinem

Fig. 14.

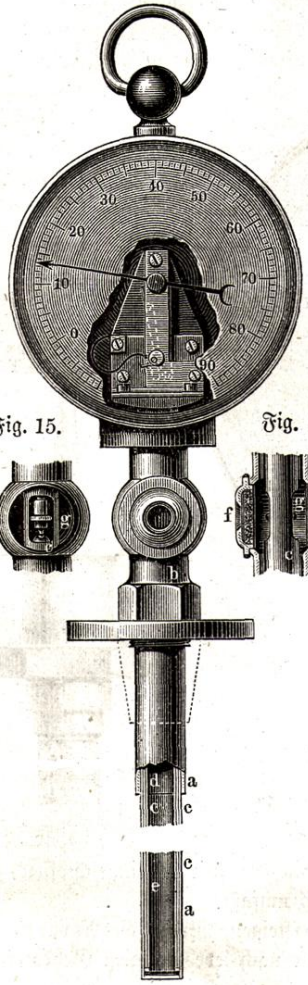
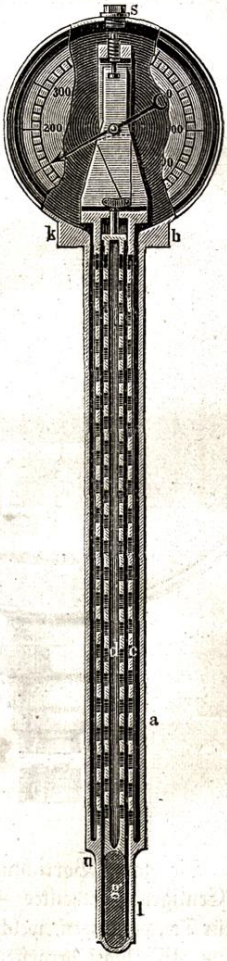


Fig. 15.

Fig. 16.

Fig. 17.

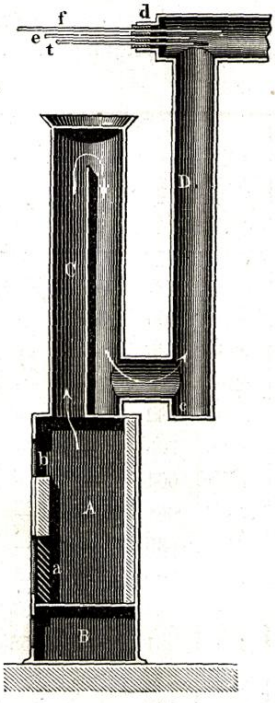


oberen mit dem Fühlhebel verbunden ist. Das Stahlrohr *e* ist unten mit dem Messingrohre *c* verschraubt. Taucht man nun den Schaft des Instrumentes, d. h. den Theil von Flansche, Conus oder Gewindezapfen abwärts, in die Flüssigkeit oder Feuerluft, deren Temperatur gemessen werden soll, so erwärmen und dehnen sich die Rohre *c* und *d* gleichmäßig, da dieselben aus gleichem

Metall bestehen; nur das Stahlrohr *e* dehnt sich weniger aus. Dieser Unterschied in der Ausdehnung wird durch das Fühlhebelwerk, welches in der Abbildung durch das auf dem Zifferblatt herausgeschnittene Stück sichtbar ist, auf den Zeiger übertragen, welcher die betreffende Temperatur auf der Scala anzeigt.

Damit zur gleichmäßigeren Erwärmung der Rohre die erhitzte Luft in den Rohren circuliren und austreten kann, ist der Körper mit zwei Oeffnungen versehen, welche mit einer eigenthümlichen Filtrirvorrichtung *f* (Fig. 16), bestehend aus zwei Drahtsieben mit zwischengelegtem Schwamme, zugeschraubt sind, damit auch in feuchten oder staubigen Räumen mit dem Instrument gearbeitet werden kann. Die Einstellung der Scala geschieht nach dem Abschrauben der erwähnten Filtervorrichtung mittels der gezahnten Scheibe *g* (Fig. 15).

Fig. 18.



Steinle und Hartung in Quedlinburg verfertigen Graphitpyrometer. Das geschlossene Schutzrohr *a* (Fig. 17) trägt auf seinem oberen Ende die Büchse *b* mit der Scala und ist an seinem unteren Ende bei *u* mit dem siebartig durchlöcherten Rohre *c* verbunden. Letzteres trägt auf seinem Kopfe, der bei *k* eine gute Führung im Schutzrohr *a* erhält, das Zeigerwerk, welches durch das ebenfalls durchlöcherte Rohr *d* in Verbindung mit dem Graphitstab *g* steht. Sobald das Rohr in Folge äußerer Temperatureinflüsse seine Länge verändert, wird der Graphitstab und durch Vermittelung des Rohres *d* auch der Zeiger in Bewegung gesetzt. Das Schutzrohr *a* kann seine Länge beliebig verändern, ohne auf das Zeigerwerk irgend welchen Einfluß zu üben, während die Rohre *c* und *d*, da sie durchlöchert und von einer großen Luftschicht umspült sind, immer gleiche Temperaturen und darum auch gleiche Längen behalten sollen. Die Einstellung geschieht nach dem Lösen der Schraube *s* mittels eines eingesteckten Schlüssels durch entsprechendes Drehen des Zeigers.

Der Güte der genannten Firma verdanke ich ein sehr gut gearbeitetes Graphitpyrometer, welches ich mehrfach mit dem Siemens'schen elektrischen Pyrometer (S. 49) und meinem kleinen Calorimeter (S. 64) für niedere Temperaturen mit einem Geißler'schen Quecksilber-Normalthermometer mit Stickstofffüllung verglichen habe. Die Apparate wurden unmittelbar neben einander in einen eigens für derartige Zwecke vorgerichteten Ofen gebracht (Fig. 18 zeigt den Durchschnitt desselben in $^1/_{20}$ nat. Größe), in dem statt der Thür *b* eine gut schließende Blechscheibe mit den genau schließenden Apparaten eingesetzt wurde. Der 0,5 m hohe Feuerraum *A* ist mit feuerfesten Steinen ausgesetzt; die Thüren zu der mit einer schrägen Rast versehenen Schüröffnung *a*

und die zum Aschenfall *B* sind mit einer Verschraubung versehen. Die Rauchgase gehen in der Pfeilrichtung durch den Aufsatz *C* und entweichen durch das Blechrohr *D* zum Schornstein. In dem Rohransatz *d* ist mittels eines gut schließenden Korkes das Thermometer *t* (Geißler'sches mit Stickstofffüllung), das zum Zugmesser führende Rohr *e* und das mit dem Apparat zur Untersuchung der Rauchgase verbundene Glasrohr *f* befestigt. Sämmtliche Fugen am Ofen sind mit einem Gemisch von Wasserglas, Asbest und Thon sorgfältig gedichtet. Durch die vielen Biegungen werden die Rauchgase völlig gemischt; gleichzeitig bei *c* und *d* genommene Gasproben hatten bis auf 0,1 Proc. genau dieselbe Zusammensetzung.

Während bei 150° die Temperaturangaben der Thermometer von Siemens (S. 49), Geißler (mit Stickstofffüllung) sowie Steinle u. Hartung[1]) sehr gut stimmten, gab eine der Versuchsreihen mit höheren Temperaturen z. B. folgendes Resultat:

Zeit Uhr	Min.	Steinle und Hartung	Siemens	B. Fischer	Geißler	Zeit Uhr	Min.	Steinle und Hartung	Siemens	B. Fischer	Geißler
8	40	843	751	754	—	2	25	945	696	—	—
9	0	910	837	—	—	2	30	945	766	741	—
9	15	862	778	761	—	2	35	939	796	—	—
9	20	860	750	—	—	2	40	928	798	788	—
9	23	858	751	—	—	2	50	850	732	—	—
9	27	852	747	—	—	2	55	820	705	—	—
9	30	848	744	730	—	3	5	788	664	—	—
9	40	810	710	697	—	3	10	768	651	—	—
10	0	670	585	—	—	3	15	730	633	—	—
10	10	581	502	—	—	3	25	700	609	—	—
10	14	560	495	482	—	4	10	438	284	—	285
10	20	511	449	440	—	4	15	405	261	—	256
10	35	312	308	—	304	4	25	320	212	—	208
10	40	294	290	—	287	4	30	228	142	—	138
2	5*	68	—	—	16	4	50	223	118	—	117
							**	88	17	—	16

* Im Zimmer. ** Am anderen Morgen.

Eine spätere Versuchsreihe, bei welcher der Ofen mit Piesberger Anthracit geheizt wurde, gab bei gleichzeitiger Untersuchung der Rauchgase folgendes Ergebniß:

[1]) Ein während des Druckes erhaltenes Graphitpyrometer ist nach vorläufigen Versuchen erheblich besser als das frühere.

Zeit Uhr	Min.	Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	Zugstärke mm	Abgangsgase Temperatur	Ofentemperatur Steinle und Hartung	Siemens	Fischer	Bemerkungen
	10	9,3	11,1	79,6	5	184°				11 Uhr 40 Min. aufgeworfen.
	20	10,2	10,1	79,1		214				Aschenthür wenig geöffnet.
	30	11,2	9,2	79,6		219				Ofen in der Mitte rothglühend.
	45	10,9	9,5	79,6		225	860	992	981	
1	—	10,7	9,8	79,5	5,3	228	850	959	948	Starker Südwind, Temp. 8°.
2	—	8,3	12,0	79,7	5—6	207	710	949	926	Dann frisch aufgeworfen.
	15	9,2	11,4	79,4		162				Thaupunkt 12°.
	30	10,3	10,0	79,7		202				
	45	11,7	8,7	79,6		228	700	845	826	10 l enthielten 64 mg SO_2 u.
3	—	13,6	6,7	79,7	6	234	750	820	809	[12 mg SO_3.
	15	12,8	7,5	79,7		241	909	800	797	
	30	12,1	8,3	79,6		237	830	766	748	
	45	11,8	8,8	79,4		234	838	713	700	
4	—	11,7	8,8	79,5		230	848	739	730	12 l enthielten 49 mg SO_2 u.
	15	11,2	9,3	79,5		226	820	731	719	[10 mg SO_3.
	30	10,9	9,7	79,4	6	221	807	722		Temp. im Laboratorium 24°.
	45	11,0	9,6	79,4		219	789	708	699	
5	—	10,5	10,0	79,5		218				
	30	10,4	10,3	79,3		216	762	691	683	
6	—	9,1	11,6	79,3		202	703	624	615	Thaupunkt 14°.

Das Pyrometer von Steinle und Hartung ist offenbar nach einem Quecksilberthermometer eingetheilt, ohne Rücksicht darauf, daß die Ausdehnung des Eisens in höheren Hitzegraden jedenfalls verhältnißmäßig viel größer ist. Daher werden die Abweichungen auch um so größer, je höher die Temperatur. Dieser Fehler läßt sich wohl durch eine passende Eintheilung künftig vermeiden. Große Temperaturschwankungen erträgt es aber nicht, wie die letzte Versuchsreihe zeigt. Langsam erwärmt stellt es sich etwas günstiger; in einem Ultramarinofen zeigte es z. B. am zweiten Tage 740°, während das Calorimeter (S. 64) 676° gab.

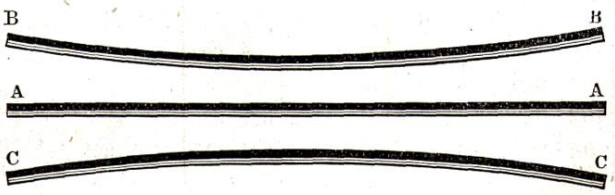
Diese Versuche zeigen, daß es wohl kaum gelingen wird, jemals ein zuverlässiges Metallpyrometer für hohe Temperaturen zu erhalten, da sich fast nach jeder Erhitzung der Molecularzustand der Metalle ändert, wenn auch die Volumänderung von Stäben aus Metallen, welche regulär krystallisiren, regelmäßiger

ist, als das der übrigen Metalle [1]). Jedenfalls aber muß ein Metallthermometer nach jedem Gebrauch genau wieder eingestellt werden können. Daß übrigens Pyrometer mit zwei verschiedenen Metallen noch weniger genau sind als solche mit einem Metall und einem so wenig veränderlichen Körper wie Graphit, liegt auf der Hand. Dem entsprechend mußte auch Weinhold [2]) mit den Pyrometern von Gauntlett und Bock für hohe Temperaturen ungenügende Resultate erhalten.

S. Maier [3]) in Ulm hat ein Pyrometer construirt, welches aus einem eisernen Rohre besteht, in dessen Achse sich eine Welle leicht bewegt. Um diese Welle ist ein Metallstab (ob aus einem oder zwei Metallen, ist nicht gesagt) spiralförmig gewickelt, von welchem das eine Ende am Rohr, das andere an dieser Welle befestigt ist. Durch die Erwärmung und Abkühlung dreht sich die Spirale auf und zu und bewirkt dadurch eine Drehung der Welle, welche auf einem Zifferblatt mittels eines Zeigers ohne alle Uebertragungsmittel sichtbar gemacht ist. Eine bleibende Ausdehnung des Metallstabes soll bei dem von Maier angewendeten Metall bis 450° nicht stattfinden; hat sie aber dennoch stattgefunden, so läßt sich das Pyrometer angeblich leicht wieder richtig stellen.

Wenn man bei mittlerer Temperatur zwei gleich lange Streifen von Metallen auf einander nietet oder löthet, welche ungleiche Ausdehnungscoefficienten haben, z. B. Kupfer und Eisen, so muß sich der Streifen bei jeder Temperaturveränderung krümmen, wie dieses Fig. 19 andeutet, und zwar so, daß das stärker sich ausdehnende Metall nach außen gekehrt ist, wie *BB*, wenn

Fig. 19.



die Temperatur steigt, während es die innere Seite des Bogens bildet, wenn die Temperatur abnimmt, wie bei *CC*.

Bei dem Metallthermometer von Stöhrer [4]) ist ein Zinkstreifen *ab* (Fig. 20) auf den Stahlstreifen *cd* aufgelöthet und beide sind mit ihrem unteren Ende in das Metallstück *n* fest eingelassen, während im Uebrigen der ganze Doppelstreifen sich frei bewegen kann. Bei steigender Temperatur krümmt er sich in der Art, daß sein oberes Ende nach der rechten Seite hingeht, was mittels einer feinen Kette auch die Drehung der Scheibe *s* und des Zeigers *t* nach derselben Seite zur Folge hat. Bei sinkender Temperatur wird das

[1]) Jahresber. d. Chem. 1869, 83. — [2]) Dingl. 1873, **208**, 125. — [3]) Dingl. 1878, **230**, 320. — [4]) Müller, Lehrbuch d. Physik, Bd. 2, *638.

Scheibchen s sammt dem Zeiger t durch die Spiralfeder o wieder zurückgezogen. Die Grade werden durch Vergleichung mit einem anderen Thermometer aufgetragen.

Derartige Thermometer, mögen sie nun aus zwei verschiedenen Metallen oder aus einem Metall und Hartgummi und dergleichen[1]) hergestellt sein, lassen sich leicht zu sogenannten Controlthermometern einrichten. Will man z. B. in einem Zimmer nur zwischen 15 und 20° Wärme haben, so verbindet man zwei Stifte auf dem 15. und 20. Grade mit den gleichartigen Polen zweier Batterien, die den Metallzeiger t tragende Scheibe s aber mit den anderen Polen; es wird dann eines der beiden eingeschalteten Läutewerke in Gang gesetzt werden, sobald der Zeiger einen der beiden Stifte berührt.

Auf demselben Princip beruht das Zimmerthermometer von Steinhauser[2]) und das Taschenthermometer von Wrench[3]). Jurgensen[4]) schlug dagegen vor, ein genaues Chronometer mit entsprechendem Compensationspendel zu Temperaturbestimmungen zu benutzen.

Bei dem sogenannten Quadrantenthermometer, Fig. 21, ist der Compensationsstreifen fgh aus Stahl und (innen) Kupfer bei f befestigt. Bei

Fig. 20.

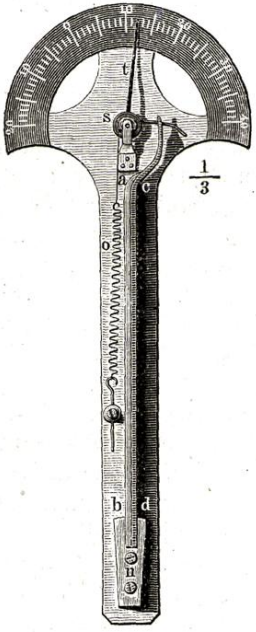
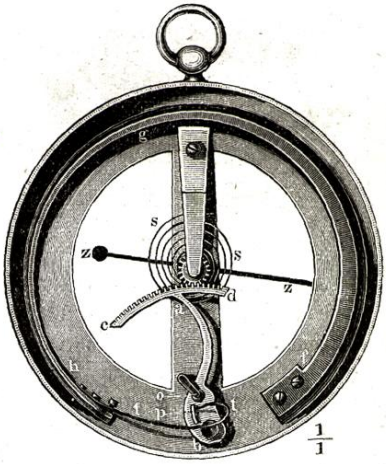


Fig. 21.



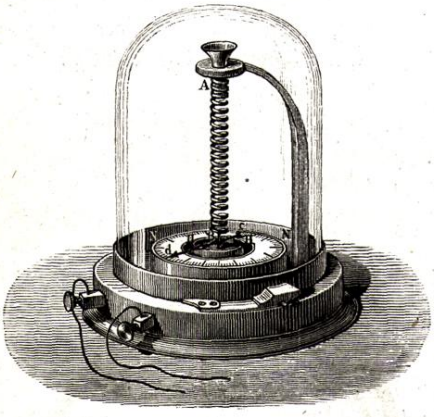
wachsender Temperatur streckt sich der Streifen etwas, das freie Ende h bewegt sich nach außen und zieht das untere Ende des um o drehbaren Hebels aob

[1]) Dingl. 1877, **225**, 274. — [2]) Dingl. 1876, **221**, *527. — [3]) Dingl. 1831, **41**, *102. — [4]) Dingl. 1836, **62**, 486; 1841, **82**, 72.

nach links, indem der bei h befestigte stählerne Haken t bei p gegen eine Hervorragung des Hebels drückt. Durch diese Drehung des Hebels wird der gezahnte Bogen cd nach rechts gedreht, der Zeiger z in Folge dessen in der Richtung von f nach g. Bei abnehmender Temperatur bewirkt die Spiralfeder s eine Drehung in entgegengesetzter Richtung.

Bei Breguet's Thermometer[1]) sind drei Metallstreifen, Silber, Gold und Platin, so auf einander gelöthet, daß sich das Gold zwischen dem stärker ausdehnbaren Silber und dem weniger ausdehnbaren Platin befindet. Die zusammengelötheten Metallstreifen sind dann zu einem sehr dünnen Bande ausgewalzt. Das schraubenförmige Band wird nun mit dem einen Ende bei A (Fig. 22) befestigt, an das untere Ende B aber wird eine leichte Nadel cd angehängt, deren Spitze d sich über einen getheilten Kreis hinbewegen kann. Jede Temperaturveränderung bewirkt nun in Folge der ungleichen Ausdehnung der Metalle des Spiralbandes, daß sich dasselbe mehr auf- oder zuwindet, wodurch dann die Nadel cd um einen entsprechenden Winkel gedreht wird. Die Theilung des Kreises, über welche sich die Nadelspitze d hinbewegt, wird durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer hergestellt. Das Quecksilbergefäß H und die Klemmschrauben an dem abgebildeten Apparate sind für die Bestimmung der Wärmeentwickelung schwacher elektrischer Ströme bestimmt.

Fig. 22.



Clement[2]) verwendet für sein Pyrometer eine kurze Spirale aus Platin und Silber, Oechsle[3]) für seine verschiedenen Wärmemesser Spiralen aus Eisen und Messing, später ebenfalls aus Platin und Silber, Hipp[4]) für sein elektromagnetisches Registrirthermometer Stahl und Messing.

Um von Gewächshäusern, Trockenräumen, Wohnzimmern und dergleichen Räumen aus, deren Temperatur nur wenig schwankt, auf größere Entfernung hin ein etwaiges Ueberschreiten des zulässigen höchsten oder niedrigsten Wärmegrades elektromagnetisch anzuzeigen, sind derartige aus zwei zusammengelötheten Metallstreifen gebildete Thermometer sehr wohl brauchbar, nur müssen sie von Zeit zu Zeit nach einem Quecksilberthermometer neu eingestellt werden. Daß derartige Apparate aber für höhere Temperaturen völlig unbrauchbar sind, fand schon Prinsep[5]); wahrscheinlich bilden sich an der Berührungsstelle der Metalle

[1]) Annal. de chim. phys. **5**, 312; Dingl. 1824, **13**, 250; 1860, **156**, 26. — [2]) Dingl. 1843, **88**, *241. — [3]) Dingl. 1836, **60**, 191; 1870, **195**, 313; 1871, **200**, *21. — [4]) Dingl. 1863, **168**, *241. — [5]) Dingl. 1828, **28**, 421.

Legirungen, welche die ſchon an ſich ungleichartige Ausdehnung jedes einzelnen Metalles beim ſtarken Erhitzen nur noch unregelmäßiger macht. Weinhold[1]) fand dem entſprechend, daß das Spiralpyrometer von Oechsle völlig unbrauchbar war, ich ſelbſt habe die gleiche Erfahrung mit einer Spirale von Eiſen und Kupfer gemacht.

Fig. 24.

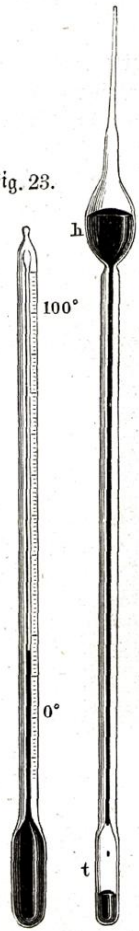


Fig. 23.

Von allen flüſſigen Körpern für Thermometer iſt das Queckſilber weitaus der wichtigſte.

Zur Herſtellung[2]) eines Thermometers wird an eine enge, der ganzen Länge nach gleich weite Glasröhre ein kugelförmiges oder cylindriſches Gefäß *t* angeblaſen, oben aber ein weiteres mit einem Röhrchen endigendes Gefäß *h* angeſetzt. Durch Erwärmen von *t* und *h* wird nun die Luft ausgedehnt, darauf die offene Spitze von *h* in Queckſilber getaucht, welches beim Abkühlen in das Gefäß angeſogen wird. Dann wird die Vorrichtung wieder in aufrechte Stellung gebracht, *t* abermals erwärmt, ſo daß die Luft theilweiſe entweicht, beim Abkühlen aber eine entſprechende Menge Queckſilber aus *h* nach *t* übertritt. Schließlich wird der kleine Behälter *t* ſo weit erwärmt, daß das darin enthaltene Queckſilber ſiedet und ſo die letzte Luft austreibt, worauf ſich beim Erkalten *t* nebſt dem Rohr völlig mit Queckſilber füllt. Das Queckſilbergefäß wird dann noch etwas höher erhitzt, als die Temperatur beträgt, welcher das Thermometer ſpäter ausgeſetzt werden ſoll, dann wird das Rohr oben zugeſchmolzen, während es noch völlig mit Queckſilber angefüllt iſt. (Fig. 23 und 24.)

Während ſomit dieſe Thermometer luftleer ſind, ſchloß Geißler in Bonn in dieſelben Stickſtoff ein, um bei der Beſtimmung hoher Temperaturen das Deſtilliren des Queckſilbers in den oberen Theil des Thermometers zu verhüten. Die Thermometer ſind empfehlenswerth, geſtatten allerdings nicht die Correction mit abgeriſſenem Queckſilberfaden.

Um das Queckſilberthermometer auch für Temperaturen bis 450° verwenden zu können, ſchlägt Perſon[3]) vor, über dem Queckſilber Luft von 4 Atmoſphären Druck einzuſchließen[4]).

---

[1]) Progr. d. Gewerbſch. Chemnitz 1873, 25. — [2]) Ueber die Herſtellung der Queckſilberthermometer vergl. Körner: Anleitung zur Verfertigung übereinſtimmender Thermometer (Jena 1824); Lutz: Anweiſung, Thermometer zu verfertigen (Nürnberg 1834); Dingl. 1850, **117**, 86; 1851, **122**, 317; 1853, **128**, 461; 1878, **230**, 192. — [3]) Compt. rend. **19**, 758. — [4]) Achard (Annal. chim. phys. III, **68**, 52) will Metalllegirungen in Porcellangefäßen von der Form gewöhnlicher Queckſilber-

Um dem Thermometer die in Fig. 23 (a. v. S.) angedeutete Eintheilung zu geben, ſind zunächſt die beiden feſten Punkte zu beſtimmen [1]) Zu dieſem Zweck ſetzt man das Queckſilbergefäß und die Röhre, ſoweit das Queckſilber etwa bei 0° reichen wird, wie Fig. 25 andeutet, in fein zerſtoßenes reines Eis oder auf reinen Flächen geſammelten Schnee. Iſt ſo der Nullpunkt gefunden und bezeichnet, ſo befeſtigt man das Thermometer mittels eines Korkes, wie Fig. 26 zeigt, in einem langhalſigen Gefäß, in welchem deſtillirtes Waſſer zum Sieden erhitzt wird, während der Dampf durch die Seitenöffnungen entweicht. Um etwaige

Fig. 25.

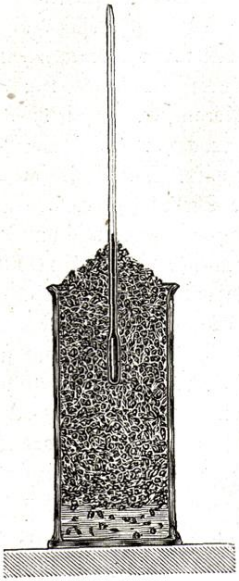
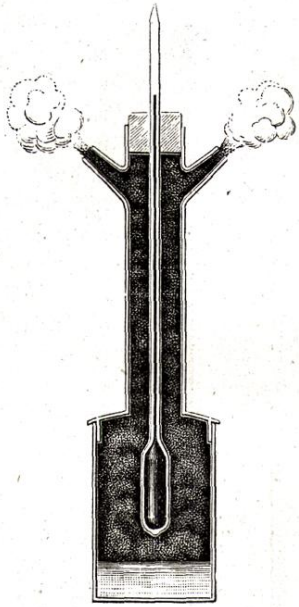


Fig. 26.



Ausſtrahlung zu verhüten, kann man den in Fig. 28 abgebildeten Apparat verwenden, während der in Fig. 27 dargeſtellte den Vorzug hat, daß er leicht zuſammenzuſtellen iſt, und daß die ganze Queckſilberſäule ſich im Dampfe befindet, während man bei den anderen Apparaten für genaue Beſtimmung eine entſprechende Correction für den überſtehenden Queckſilberfaden anbringen muß. Iſt bei dieſer Beſtimmung der Barometerſtand nicht genau 760 mm, ſo iſt zu

thermometer benutzen. Von anderer Seite (Dingl. 1829, **32**, S. *355) wurde vorgeſchlagen, in einer Kugelröhre aus Porcellan eine Legirung von Kupfer mit Zinn, die nach dem Wedgwood'ſchen Pyrometer bei 0° ſchmilzt, der zu meſſenden Temperatur auszuſetzen; die Ausdehnung derſelben wurde mittels einer in der Röhre luftdicht beweglichen Platinſcheibe auf einen Zeiger übertragen. Der Apparat iſt offenbar unbrauchbar.

[1]) Ueber die Beſtimmung der feſten Punkte vergl. namentlich Egen (Poggendorff's Annal. **9**, 349; **11**, 234 u. 517; **13**, 33); Rudberg (daſelbſt **40**, *60 u. 572).

berückſichtigen, daß dann das Waſſer nicht bei 100° ſiedet, ſondern bei der in nachfolgender Tabelle (a. f. S.) angegebenen.

Sind ſo die feſten Punkte beſtimmt, ſo wird die Theilung direct auf das Glasrohr aufgetragen oder auf eine Porcellanplatte, welche mit dem Thermo-

Fig. 27.

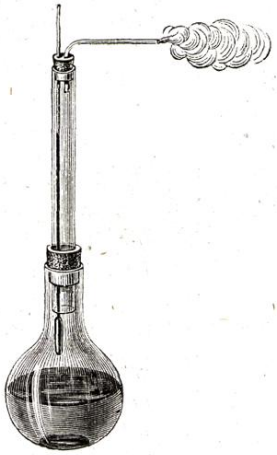
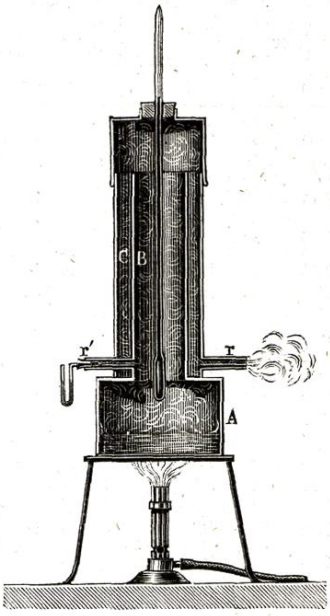


Fig. 28.



meterrohr zuſammen in ein weiteres Rohr eingeſchmolzen, bei gewöhnlichen Thermometern auch wohl durch eine Papierſcala erſetzt wird.

Man wird nun wohl kaum je in die Lage kommen, ſich ſelbſt ein Queckſilberthermometer anfertigen zu müſſen, wohl aber muß es ſich Jeder, der genaue Verſuche anſtellen will, zur Regel machen, zunächſt die Thermometer auf ihre Richtigkeit zu prüfen, um ſo mehr ſich, wahrſcheinlich in Folge des äußeren Luftdruckes, der Nullpunkt mit der Zeit ändert. Man beſtimmt nun den Nullpunkt und Siedepunkt in der eben angegebenen Weiſe. Sodann ſucht man durch Schütteln einen Queckſilberfaden von der Maſſe loszulöſen und beſtimmt durch Neigen des Thermometers die Anzahl der Theilſtriche, welche er in verſchiedenen Lagen einnimmt. Hat man z. B. für ein Thermometer den Eispunkt beim Theilſtrich 0,6 (welches wir mit 0,6 p bezeichnen wollen), den Siedepunkt des Waſſers für 760 mm bei 100,3 p gefunden, ſo trennt man eine Queckſilberſäule von nahezu 50° Länge ab und bringt ſie allmälig mit ihrem unteren Ende genau auf 0,50 p, 100 p u. ſ. w. Man habe nun beobachtet, daß dabei eingenommen werden die Theile

von	0 p	50	100	150	200	250	300
bis	50,9 p	100,4	150,3	200,0	249,6	299,7	350,1

Siedetemperatur des Wassers.

Barometer mm	Siede-temperatur	Barometer mm	Siede-temperatnr	Barometer mm	Siede-temperatur
720	98,49°	740	99,26°	760	100,00°
721	98,53	741	99,29	761	100,04
722	98,57	742	99,33	762	100,07
723	98,61	743	99,37	763	100,11
724	98,65	744	99,41	764	100,15
725	98,69	745	99,44	765	100,18
726	98,72	746	99,48	766	100,22
727	98,76	747	99,52	767	100,26
728	98,80	748	99,56	768	100,29
729	98,84	749	99,59	769	100,33
730	98,88	750	99,63	770	100,36
731	98,92	751	99,67	771	100,40
732	98,95	752	99,70	772	100,44
733	98,99	753	99,74	773	100,47
734	99,03	754	99,78	774	100,51
735	99,07	755	99,82	775	100,55
736	99,11	756	99,85	776	100,58
737	99,14	757	99,89	777	100,62
738	99,18	758	99,93	778	100,65
739	99,22	759	99,96	779	100,69

Indem man überall 0,9 abzieht, welche kleine Größe von allen Theilen der Röhre als gleich betrachtet werden kann, so findet man, daß einander gleich sind die Volumina

von	0	50	100	150	200	250	300
bis	50,0	99,5	149,4	199,1	248,7	298,8	349,2

Bezeichnen wir nun den mittleren Volumwerth eines Theiles zwischen 0 und 50 mit v, so ist also das Volumen von 0 p bis 99,5 $p = 100\ v$, und da nach der Eis- und Siedepunktsbestimmung 0,6 p bis 100,3 $p = 100$ Grade oder auch 0 p bis 99,7 $p = 100$, also 0 p bis 99,5 $p = 99{,}8$ Grade, so ist 100 $v = 99{,}8$ Grade und $v = 0{,}998$ Grade. Mit Hülfe dieser Angaben findet man leicht:

Von	bis	v	Von 0 p bis	v	Grade
0	50	50,0	50 p	50,0	= 49,9
50	100	50,5	100	100,5	= 100,3
100	150	50,6	150	151,1	= 150,8
150	200	50,9	200	202,0	= 201,6
200	250	51,3	250	253,3	= 252,8
250	300	51,2	300	304,5	= 303,9
300	350	50,8	350	355,3	= 354,6

Da nun dem Theilstrich + 0,6 die Temperatur 0, somit dem Theilstrich 0 die Temperatur — 06 Grade entspricht, so erhält man für das Thermometer folgende Correctionstabelle:

Theilstrich	Temperatur	Correction der Ablesung
0	0,6°	— 0,6
50	49,3	— 0,7
100	99,7	— 0,3
150	150,2	+ 0,2
200	201,0	+ 1,0
250	252,2	+ 2,2
300	303,3	+ 3,3
350	354,0	+ 4,0

Für einen zwischenliegenden Theilstrich findet man die Correction durch Interpolation aus der letzten Spalte [1]).

Da, wie namentlich Magnus [2]) und Regnault [3]) nachgewiesen haben, wegen der von einander abweichenden Ausdehnung verschiedener Glassorten, die von den Quecksilberthermometern angegebenen Temperaturen keineswegs immer übereinstimmen, so ist es dringend zu empfehlen, die für genaue Versuche bestimmten Quecksilberthermometer zunächst mit einem Lufthermometer (S. 36) zu vergleichen.

---

[1]) Vergl. F. Kohlrausch: Praktische Physik (Leipzig 1870); Bessel in Poggendorff's Annal. **6**, 287; Oettingen: Correction der Thermometer (Dorpat 1865). Marek, Carl's Repert. 1879, 300, 677, 770. — [2]) Poggendorff's Ann. **57**, 177. — [3]) Mémoir. de l'Acad. **21**, 226; Dingl. 1870, **195**, 57.

Thermometercorrection für den herausragenden Faden. Ist bei Temperaturbestimmungen der Quecksilberfaden nicht völlig der zu messenden Wärme ausgesetzt, so wird das Thermometer die richtige Temperatur nicht angeben. Bezeichnen wir nun die zu bestimmende Temperatur mit T, die mittlere Temperatur des hervorragenden Fadens mit τ, die Länge desselben mit l, so würde der Faden, wenn er ganz der zu messenden Temperatur ausgesetzt wäre, im Verhältniß $1 : 1 + \alpha (T - \tau)$ länger sein, wenn mit α der Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers im Glase bezeichnet wird. Anstatt der Länge l würde also die Länge $l + l\alpha (T - \tau)$ sein, oder die Anzahl der Grade, welche auf die Längeneinheit gehen, gleich ν gesetzt, so würde anstatt νl in Thermometergraden die Länge des Fadens $\nu l + \nu l\alpha (T - \tau)$ sein, oder das Thermometer würde, $\nu l = n$ gesetzt, um $n . \alpha (T - \tau)$ höher zeigen. Liest man also am Thermometer die Temperatur t ab, so ist die wirkliche Temperatur des betreffenden Raumes $T = t + n . \alpha (T - \tau)$ oder $= \frac{t - n\alpha\tau}{1 - n\alpha}$. Der mittlere Ausdehnungscoefficient des Quecksilbers zwischen 0 und 100° zu 0,000181, der des Glases zu 0,000026 angenommen, wird $\alpha = 0{,}000155$. Die mittlere Temperatur τ des Fadens wird meist so bestimmt, daß man ein kleines Thermometer in der Nähe der Fadenmitte neben das in seiner Angabe zu corrigirende Thermometer hängt und die an jenem abgelesene Temperatur der Luft als den Werth von τ annimmt. Wegen der Leitungsfähigkeit des Quecksilberfadens ist der so bestimmte Werth von τ aber zu klein, der damit berechnete Werth von T daher zu groß. Für kürzere Quecksilberfäden setzt man zur Ausgleichung dieses Fehlers nach Holtzmann für α nur 0,000135 ein, für lange Fäden wird man bei wissenschaftlich genauen Versuchen nach der von Wüllner[1]) angegebenen Methode den Werth für τ für jedes Thermometer besonders bestimmen.

Bestimmung der Lufttemperatur. Von den Anwendungen des einfachen Thermometers ist die Bestimmung der Lufttemperatur besonders wichtig.

Der Physiker bezeichnet der mechanischen Wärmetheorie entsprechend die Temperatur eines Glases als lebendige Kraft der als Wärme aufgefaßten unsichtbaren Bewegungen der Molecüle derselben. Concreter aufgefaßt, ist Temperatur einer bestimmten Menge trockenen Gases die Größe, welche bei freier Expansion desselben neben dem äußeren Druck den Volum- und Dichtigkeitszustand desselben nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz bedingt, oder bei constantem Volum des Gases dem letzteren zufolge die Spannkraft desselben verändert. Abgesehen von gewissen Correctionen ist daher beim Lufthermometer die gehobene Quecksilbersäule im offenen Schenkel ein genaues Maß der Temperatur des im Gefäß bis zur Marke eingeschlossenen, auf constantem Volum erhaltenen Gases. In der Meteorologie hat man dem entsprechend unter der Temperatur der freien Luft nur die Größe zu verstehen, welche, abgesehen von beigemengtem Wasserdampf, Kohlendioxyd und dergleichen, allein

---

[1]) Wüllner, Lehre von der Wärme (Leipzig 1871, S. 296).

neben dem äußeren Druck die jeweilige Dichtigkeit derselben bedingt. Die Dichtigkeit der Luft unter Berücksichtigung der Druck- und Zusammensetzungsverhältnisse derselben wird also hier als Maß ihrer Temperatur dienen können.

Das Lufthermometer läßt nun zwar mit Sicherheit die Temperatur der in sein Gefäß eingeschlossenen Luft messen; man würde aber, wie H. Wild[1]) ausführt, im Allgemeinen sehr irren, wenn man annehmen wollte, daß dasselbe zugleich auch die Temperatur der freien das Gefäß umgebenden Luft anzeige. Die festen Substanzen, welche bei allen Thermometern, sei es, wie hier, als Gefäß zur Aufnahme der durch die Wärme sich ausdehnenden gasförmigen oder tropfbaren Flüssigkeit, sei es direct, wie bei den Metallthermometern, thermo-elektrischen Ketten oder den elektrischen Widerstandsthermometern, zur Anwendung kommen, besitzen alle ein viel größeres Absorptions- und Ausstrahlungsvermögen für die Wärmestrahlen, als die Luft, und, da sich jeder Körper durch gegenseitige Wärmestrahlung mit seiner ganzen Umgebung in Beziehung setzt, so kann es sehr leicht geschehen, daß der in die Luft eingetauchte thermometrische Körper in Folge dieser Verschiedenheit der Strahlung eine ganz andere Temperatur als jene hat.

Das einzige Mittel, die Temperatur der Luft frei von dieser Fehlerquelle zu bestimmen, besteht darin, ihre Dichtigkeit zu messen. Der Gewichtsverlust in Milligramm, welchen ein am einen Arm einer Wage angehängter Glasballon vom äußeren Volum V Liter in gewöhnlicher, Kohlensäure haltiger, feuchter Luft an einem H Meter über dem Meer und unter der Breite φ gelegenen Orte erleidet, ist gegeben durch:

$$G = V \frac{h - 0{,}378\, h'}{760\,(1 + 0{,}003665\, t)}\,(1293{,}03 - 3{,}32\, \cos 2\varphi - 0{,}00027\, H),$$

wo h der auf 0^0 reducirte Barometerstand, h' die absolute Feuchtigkeit der Luft, beide in Millimeter, und t die gesuchte Temperatur der vom Glasballon verdrängten Luft ist.

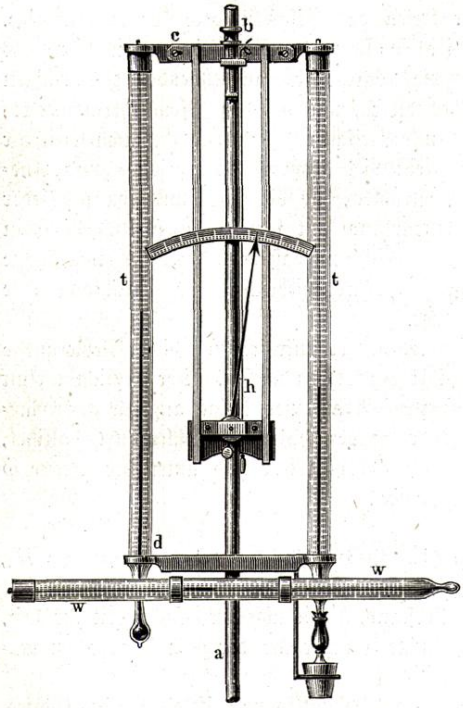
Da die Ausdehnung der Luft etwa 100 mal so groß ist als die des Glases, so zeigt t die Temperatur der umgebenden Luft unabhängig von der etwa durch Strahlungseinflüsse geänderten eigenen Temperatur des Glasballons. Letztere beeinflußt nur das Volum V und kann leicht für sich bestimmt und in Rechnung gebracht werden. Setzt man nun $h = 760$ mm, $\varphi = 45^0$, $H = 0$ und $V = 10$ l, so ergiebt sich $G = \dfrac{1 - 0{,}000497\, h'}{1 + 0{,}003665\, t}\, 12\,930$ mg. Hieraus folgt durch Differentiation mit genügender Annäherung: $dG = 12\,930 \times 0{,}000497\, dh'$ und $dG = 12\,930 \times 0{,}003665\, dt$.

Wenn also die Genauigkeit der Gewichtsbestimmung $dG = \pm 1$ mg ist, so wird man bei der Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit einen entsprechenden Fehler $dh' = \pm 0{,}16$ mm begehen dürfen und die Temperatur der Luft mit einer Sicherheit von $dt = \pm 0{,}021^0$ erhalten, da alle übrigen Größen[2]) des

[1]) Dingl. 1879, **233**, *400. — [2]) Wegen des wechselnden Sauerstoffgehaltes der Luft sind diese nicht so einfach zu bestimmen.

obigen Ausdruckes mit großer Genauigkeit zu bestimmen sind. Daß größte Hinderniß für die Ausführung dieser Methode der Temperaturbestimmung bildet jedenfalls die Bestimmung der absoluten Feuchtigkeit h', die beim gegenwärtigen Zustande der Hygrometrie kaum mit einer Sicherheit von $\pm 0{,}16$ mm zu erzielen ist. Aber auch dann, wenn diese Schwierigkeit überwunden sein wird, werden die schwierigen Operationen, welche diese Methode erfordert, nur eine Verwerthung derselben bei vereinzelten Fundamentaluntersuchungen gestatten.

Fig. 29.



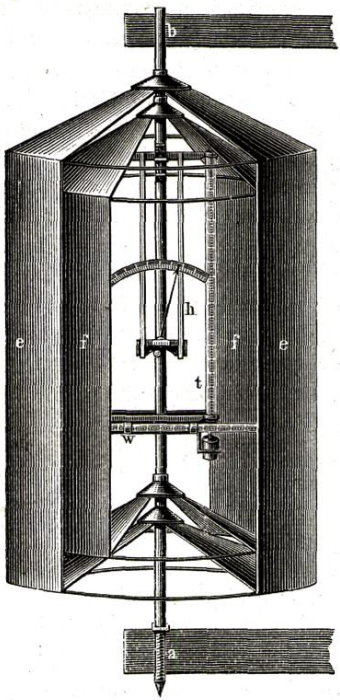
Für gewöhnlich wird man daher doch Thermometer zur Bestimmung der Lufttemperatur verwenden müssen. Um nun den störenden Einfluß der Sonnenstrahlen, sowie der Ausstrahlung gegen den kalten Weltraum und den festen Erdboden zu vermeiden, empfiehlt H. Wild, an einem unten mit einer Schraube versehenen runden Eisenstabe ab (Figuren 29 und 30) mittels der beiden verschiebbaren Querstücke c und d die zwei Psychrometerthermometer t, das Haarhygrometer h und das Weingeist-Minimumthermometer w zu befestigen. Nach außen werden diese Instrumente von den zwei halb offenen Zinkblechcylindern e und f mit conischem Dach und nach innen zu ansteigendem conischen Boden umhüllt. Um bequem ablesen zu können, wird der äußere kreisförmige Cylinder e so gedreht, daß seine gegenüberliegenden Oeffnungen sich mit denen des inneren elliptischen Cylinders f decken, wie Fig. 30 zeigt, während sie in der übrigen Zeit zur Abhaltung der Strahlung so gestellt werden, daß die Oeffnungen des inneren durch die Wände des äußeren Cylinders verdeckt sind; dasselbe ist dann auch der Fall mit den entsprechenden Oeffnungen des conischen Daches und Bodens. Durch die breiten Zwischenräume zwischen den Cylindern sowohl an den Seitenwänden wie im Dach und Boden ist auch bei dieser Stellung für genügend freien Luftwechsel gesorgt. Das Gehäuse wird vor einem nach Norden gewendeten Fenster befestigt, oder in einer besonderen Holzhütte aufgestellt.

Nach den Versuchen von H. Wild erhält man mit diesem Thermometergehäuse die wahre Lufttemperatur mit einer Sicherheit von mindestens $\pm 0{,}1^0$;

ja selbst die relative Feuchtigkeit der Luft wird, wenn man außer der Temperatur auch diese bestimmen will, durch diese Vorrichtung im Durchschnitt bis auf 3 Proc. genau angegeben gegenüber einem frei aufgestellten Psychrometer. —

Zur Bestimmung der Temperatur der abziehenden Rauchgase von Dampfkesselfeuerungen und dergleichen verwende ich 0,7 m lange Quecksilberthermometer, bei denen die Gradeintheilung mit dem Nullpunkt erst 0,4 m vom unteren Ende anfängt. Dasselbe wird dann durch ein enges Loch im Mauerwerk direct in den Fuchs eingeführt und oben entsprechend abgedichtet. Man kann so die Schwankungen der Temperatur genau verfolgen, ohne das Thermometer herausziehen zu müssen.

Fig. 30.



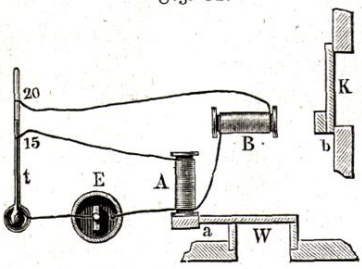
Um die höchste und niedrigste Temperatur während eines gewissen Zeitraumes zu bestimmen, ist noch heute das Thermograph von Rutherford[1]) (vergl. S. 4) vielfach im Gebrauch, welches aus zwei wagerecht angeordneten Thermometern besteht. Das Maximumthermometer ist ein Quecksilberthermometer, in dessen Röhre vor dem Quecksilber ein Eisenstäbchen liegt. Bei steigender Temperatur wird dieses Stäbchen vom Quecksilber vorgeschoben, bleibt aber beim Fallen liegen, giebt somit die höchste Temperatur an; durch Schütteln oder mittels eines Magneten kann es wieder an das Quecksilber zurückgeführt werden. Das Minimumthermometer ist mit Weingeist gefüllt, in welchem ein kleines Glasstäbchen liegt, das beim Sinken der Temperatur von dem Weingeist mitgenommen wird, beim Steigen aber liegen bleibt, somit die niedrigste Temperatur anzeigt. Walferdin[2]) hat ein Minimumthermometer angegeben, aus welchem beim Erwärmen eine entsprechende Quecksilbermenge austritt. Hennessy[3]) verbindet ein Quecksilberthermometer mit einer Vorrichtung, welche die Schwankungen der Temperatur selbstthätig aufzeichnet. Besonders eingehend bespricht Wildt[4]) derartige selbstregistrirende Thermometer.

Um auch auf größere Entfernungen hin sofort erkennen zu können, ob in einem Zimmer, einem Trockenraume und dergleichen die Temperatur die zulässige höchste oder niedrigste Temperatur überschreitet, kann man, wie dieses u. A.

[1]) Gilbert's Ann. **17**; vergl. Dingl. 1868, **188**, 500. — [2]) Dingl. 1836, **61**, 317. — [3]) Dingl. 1846, **99**, *38. — [4]) Wildt, Die selbstregistrirenden Instrumente (München 1866). Müller, Kosmische Physik (Braunschweig 1872), S. 433.

Morin[1]) und Kohlfürst[2]) vorgeschlagen haben, Leitungsdrähte für einen galvanischen Strom einschmelzen, und zwar einen in die Thermometerkugel, den anderen bei dem höchsten und niedrigsten Punkt, so daß ein eingeschaltes Läutewerk ein entsprechendes Signal giebt (vergl. S. 16). F. Kohlrausch[3]) macht den Vorschlag, ein solches Thermometer zur Selbstregulirung der Temperatur überall da zu benutzen, wo Luftheizung eingerichtet ist. Soll z. B. die Temperatur zwischen 15° und 20° gehalten werden, so werden in das Quecksilberthermometer *t* (Fig. 31) drei Leitungsdrähte eingeschmolzen, welche zu dem constanten galvanischen Elemente *E* und den beiden Elektromagneten *A* und *B* führen, denen die entsprechenden Anker *a* und *b* gegenüberstehen. Steht die Temperatur, wie dieses die schematische Figur andeutet, zwischen 15° und 20°, so ist sowohl die Oeffnung *W* für warme Luft, als die für kalte Luft *K* durch die mit den Ankern *a* und *b* verbundenen Klappen geschlossen. Sinkt die Temperatur unter 15°, so wird der Strom unterbrochen, der Elektromagnet *A* läßt den Anker *a* los, so daß die Klappe sich von der warme Luft zuführenden Oeffnung *W* hebt. Steigt dagegen die Temperatur über 20°, so bleibt *W* geschlossen, durch Schließung der zweiten Leitung wird aber der Anker *b* angezogen, so daß nun durch die Oeffnung *K* kalte Luft eintreten kann. — Denselben Gedanken verfolgt Symonds (D. R. P. Nr. 7198) bei seiner elektrisch selbstthätigen Ventilationsvorrichtung.

Fig. 31.

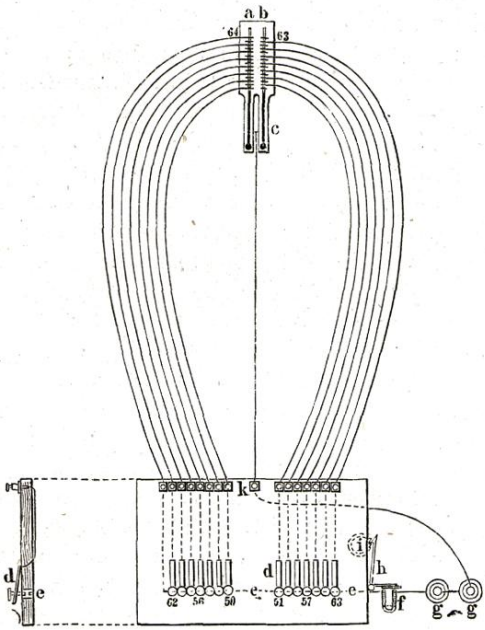


Folgende Vorrichtung von A. Eichhorn (D. R. P. Nr. 6937) soll auf größere Entfernungen hin die Temperatur genau angeben. Die beiden Thermometer *a* und *b* (Fig. 32) haben in dem Theile der Scalen, innerhalb welchem die dem beabsichtigten Zweck entsprechende Temperatur wechseln kann, eingeschmolzene Platindrähte für eine Darre z. B. zwischen 50 und 64°. Das Thermometer *a* zeigt die Platindrähte eingeschmolzen bei 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64°, das Thermometer *b* bei 51, 53, 55, 57, 59, 61 und 63°. Außerdem ist unterhalb der Scalen noch ein Draht *c* eingeschmolzen, welcher mit dem Quecksilber der Thermometer immer in Berührung bleibt. Sämmtliche Drähte führen nach den Klemmschrauben eines Brettes, auf welchem Tasten *d* angebracht und auf deren Knöpfe die Zahlen aufgetragen sind, welche den Graden entsprechen, mit denen sie in metallisch leitender Verbindung stehen. Der nebenstehende Durchschnitt durch das Brett zeigt die leitende Verbindung von den Klemmschrauben nach den Tasten *d*, welche ähnlich wie Federn oder in beliebiger anderer Weise angeordnet sein können. Ein Draht *e* ist quer unter die Tasten hinweggeführt und kann mit diesen durch Niederdrücken derselben in leitende Verbindung gebracht werden. Derselbe geht über einen Elektromagneten *f* nach den Elementen *gg*. Ein

[1]) Compt. rend. 1864, **59**, 1082. — [2]) Dingl. 1874, **213**, *390; Pogg. Ann. **125**, 626. — [3]) Dingl. 1865, **175**, *389.

Winkelhebel *h* wird durch den Elektromagneten *f* bei Schließung des Stromes aus den Zähnen des Rades *i* eines beliebigen Klingelwerkes ausgerückt und dieses dadurch in Thätigkeit gesetzt. Vom Platindraht *c* der beiden Thermometer führt die Leitung nach der Klemmschraube *k* und von da nach dem Element *g*. Hieraus geht hervor, daß die Leitungen an zwei Stellen unterbrochen sein können, erstens an den in den Scalen eingeschmolzenen Platindrähten, wenn die Quecksilbersäule im Thermometer noch nicht bis zu denselben gestiegen ist, und zweitens an den Tasten.

Fig. 32.



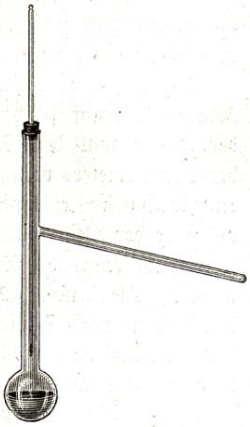
Angenommen, die Temperatur stehe auf 57,5° und der Heizer will den Stand des Thermometers vom Feuerungsraume aus erkennen, so drückt er der Reihe nach von links nach rechts die Tasten nieder. Die Tasten 62, 60 und 58 werden die Schließung des Stromes noch nicht vermitteln; sowie aber die Taste 56 niedergedrückt wird, schließt sich der von den Elementen *g* ausgehende Strom, was sich durch Auslösen des Klingelwerkes zu erkennen giebt. Der Heizer weiß nun, daß das Quecksilber zwischen 56 und 58 steht. Um die Höhe nun noch genauer zu bestimmen, braucht er nur von den ungeradzahligen Tasten, welche rechts auf dem Brette angeordnet sind, die mit 57 bezeichnete niederzudrücken. Dieselbe wird bei dem hier angenommenen Stande von über 57° angeben, d. h. das Läutewerk wird wiederum in Thätigkeit kommen.

Der Platindraht, welcher bei 64° in der Scala eingeschmolzen ist, ist nicht mit einer Taste *d*, sondern direct mit dem Draht *e* verbunden. Die Leitung ist also hier nur einmal und zwar in der Thermometerröhre unterbrochen. Steigt das Quecksilber bis zur Maximaltemperatur (im vorliegenden Fall ist 64° dafür angenommen worden), so circulirt der Strom vom Element *g* über die Klemme *k* durch die Quecksilbersäule des Thermometers *a*, den Platindraht 64 und seine Leitung, Draht *e* und Elektromagnet *f*. Dieser löst wieder den Winkelhebel *h* aus, und der durch ein beliebiges Uhrwerk getriebene Klingelapparat arbeitet so lange, bis die Maximaltemperatur wieder gesunken ist. Die Maximaltemperatur zeigt sich also stets selbstthätig und die selbstthätige Anzeige einer Minimaltemperatur läßt sich durch ähnliche Anordnung erreichen.

Soll die Temperatur einer Flüssigkeit bestimmt werden, so ist zunächst für eine gute Durchmischung zu sorgen. Ein praktisches Thermometer zur Bestimmung der Meerestemperatur in beliebigen Tiefen haben Negretti und Zambra[1]) angegeben.

Schmelzpunktbestimmung. Zur Bestimmung des Schmelzpunktes saugt man den geschmolzenen Körper in Haarröhrchen auf, läßt völlig erstarren, was oft mehrere Tage erfordert, und verbindet das Röhrchen mittels eines Stückchen Gummischlauches mit dem Quecksilbergefäß eines Thermometers. Nun taucht man diese Vorrichtung in ein Becherglas mit Wasser oder Paraffin, erwärmt langsam unter fortwährendem Umrühren mit dem Thermometer und beobachtet die Temperatur, bei welcher der Körper durchsichtig wird. Um speciell den Schmelzpunkt der Fette zu bestimmen, überzieht Pohl[2]) die Thermometerkugel mit Fett, taucht in langsam erwärmtes Wasser und nimmt die Temperatur als Schmelzpunkt an, bei welcher sich das Fett ablöst. Bouis[3]) senkt ein an beiden Seiten offenes Röhrchen mit Fett in Wasser und beobachtet die Temperatur, bei welcher das geschmolzene Fett von dem Wasser nach oben getrieben wird. Wimmel[4]) zeigt, daß einige Fette erst mehrere Grade über ihren Schmelzpunkt durchsichtig werden, daß demnach die genannten Schmelzpunktbestimmungen keine übereinstimmenden Resultate geben. Rüdorff[5]) senkt das Thermometer in das Fett selbst und bezeichnet als Schmelzpunkt diejenige Temperatur, bei welcher Wärme latent wird, und als Erstarrungspunkt die höchste Temperatur, bei welcher die latente Wärme frei wird. Löwe[6]) taucht einen mit dem zu untersuchenden Fett überzogenen dicken Platindraht in das langsam erwärmte Quecksilberbad, welches mit dem positiven Pole eines galvanischen Elementes verbunden ist, während der Platindraht mit dem negativen Pole in leitender Verbindung steht. Sobald das Fett schmilzt, wird es nach oben getrieben, dadurch die leitende Verbindung hergestellt, und durch den Strom eine Glocke in Bewegung gesetzt. Wolf[7]) zeigt, daß dieses Verfahren bei Anwendung eines feinen Platindrahtes sehr genaue Resultate giebt.

Fig. 33.

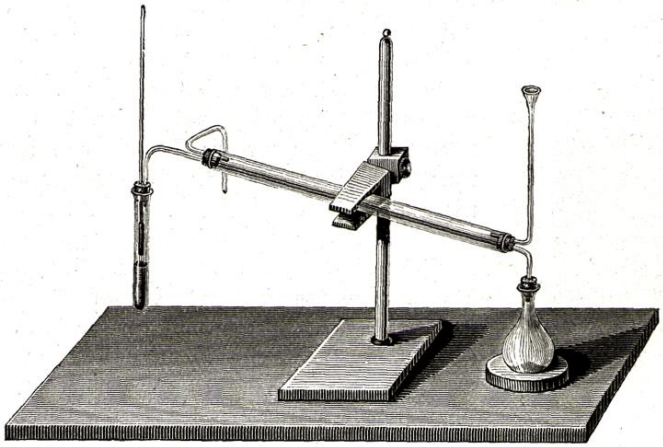


Bestimmung des Siedepunktes von Flüssigkeiten. Man kann zu diesem Zweck den in Fig. 27, S. 19 abgebildeten Apparat verwenden. Stehen nur geringe Flüssigkeitsmengen zu Gebote, so nimmt man statt dessen den in

[1]) Dingl. 1878, **203**, *33; 1879, **232**, *416. — [2]) Dingl. 1855, **135**, 141. — [3]) Annal. Ch. Pharm. **44**, 152. — [4]) Dingl. 1868, **188**, 421; 1871, **200**, 494. — [5]) Dingl. 1870, **198**, 531. — [6]) Dingl. 1871, **201**, *250. — [7]) Dingl. 1875, **217**, 411; 1876, **220**, *529.

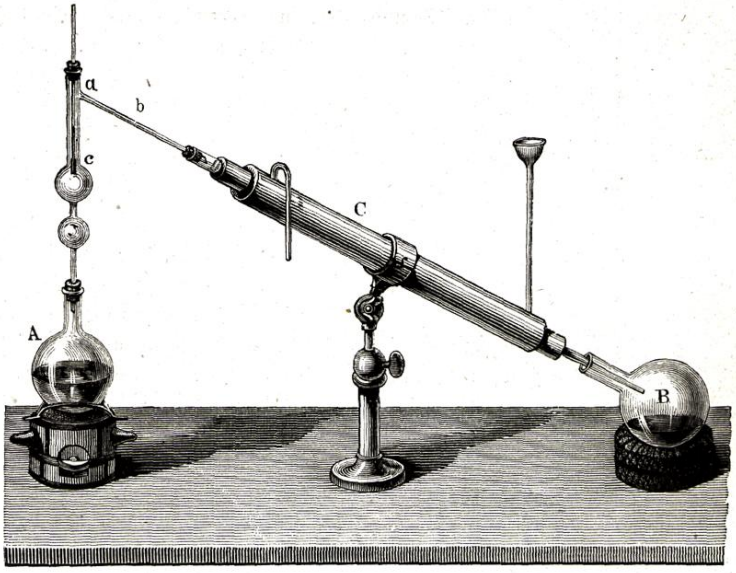
Fig. 33 dargestellten kleinen Glasapparat, der, wenn man die Flüssigkeit wiedergewinnen will, mit einem kleinen Kühler verbunden wird, wie Fig. 34 zeigt;

Fig. 34.



das hier angewendete Reagensgläschen ist weniger empfehlenswerth, weil hier das Thermometer nicht so tief in den Dampf eintaucht, als dort (S. 22).

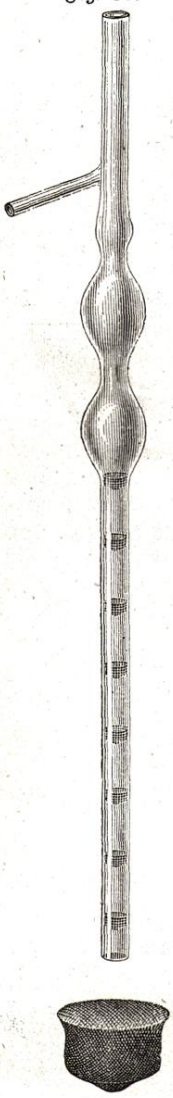
Fig. 35.



Will man bei Flüssigkeitsgemischen, z. B. Erdöl, gleichzeitig bestimmen, wie viel dasselbe von den bei der betreffenden Temperatur übergehenden Bestand-

theilen enthält, so setzt man nach dem Vorschlage von Wurtz auf die das Gemisch enthaltende Kochflasche *A* (Fig. 35, a. v. S.) einen Röhrenaufsatz *ac* mit zwei oder mehreren kugelförmigen Erweiterungen, so daß die schwerer flüchtigen Bestandtheile in den Kolben zurückfließen, während sich nur die flüchtigeren Antheile in der Vorlage *B* sammeln.

Fig. 36.



Noch vollständiger gelingt die Trennung, wenn man nach dem Vorschlage von Linnemann[1]) in die Glasröhre, in welcher die Dämpfe aufsteigen, eine Anzahl kleiner Näpfchen von Platingewebe *b* einsetzt, wie Fig. 36 zeigt.

Drehthermometer. Fig. 37 stellt das Thermometer von Kuntze[2]) in der Vorderansicht, Fig. 38 im Verticaldurchschnitt dar, welches in ähnlicher Weise, wie dieses bereits Mageough[3]) und Bertora[4]) ausführten, die Ausdehnung des Quecksilbers beim Erwärmen durch Schwerpunktsverschiebung mißt, und zwar unter Anwendung einer um eine Horizontalachse drehbaren scheibenförmigen Kapsel. Diese Kapsel besteht aus zwei Theilen *A* und *B* und schließt zwei concentrische Hohlräume ein, den scheibenförmigen Raum *C* und den ringförmigen Canal *D* (Fig. 38 und 39), welch letzterer durch eine beim Verschrauben der beiden Hälften *A* und *B* hineingepreßte Kautschukscheidewand *d f* (Fig. 39) unterbrochen ist. Dicht neben dieser Scheidewand befindet sich auf der einen Seite eine Oeffnung *d'*, welche den Ringcanal mit dem Hohlraum *C*, und auf der anderen Seite eine Oeffnung *f'*, welche ihn mit der äußeren Luft in Verbindung setzt.

Die ganze Anordnung ist, wie die Skizze (Fig. 40) näher veranschaulicht, dem Wesen nach nichts anderes, als ein um seine Achse drehbares cylindrisches Gefäß *C* mit einer aus demselben tretenden, an ihrem Ende offenen concentrischen Röhre *D*. Durch Hebung oder Senkung des Gegengewichtes *q* mittels der Mikrometerschraube *m* kann die Kapsel auf die stabile oder labile Gleichgewichtslage eingestellt werden. Nachdem bei einer gewissen Temperatur der ganze Raum *C* und der halbe Ringcanal *D* mit Quecksilber gefüllt worden ist, so wird das System bei dieser Temperatur im Gleichgewichte beharren, bei jeder Temperatur-

[1]) Annal. Ch. Pharm. **160**, *195. — [2]) Dingl. 1879, **233**, *121. — [3]) Dingl. 1828, **28**, 485. — [4]) Dingl. 1869, **192**, *202.

steigerung aber im Sinne eines Uhrzeigers, bei jeder Temperaturabnahme in entgegengesetzter Richtung sich drehen. Die größe des Drehungswinkels, welche

Fig. 37.

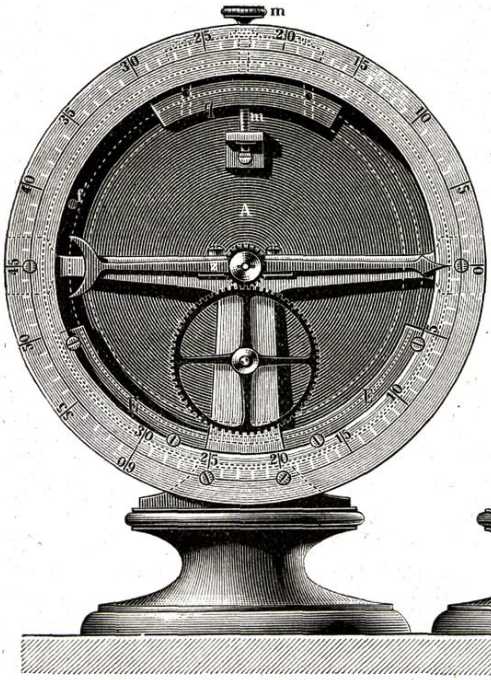
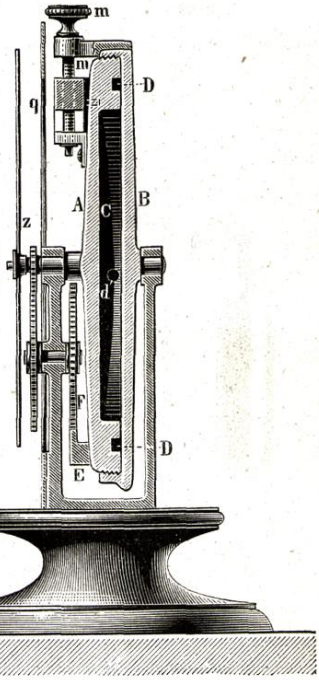


Fig. 38.



von der Schwerpunktslage der Kapsel und von den Dimensionen der Hohlräume abhängt, und mit ihr die Zeigerdrehung, wird dadurch vervielfältigt, daß ein am Umfange der Scheibenkapsel befestigtes Zahnsegment E in ein Rad F greift,

Fig. 39.

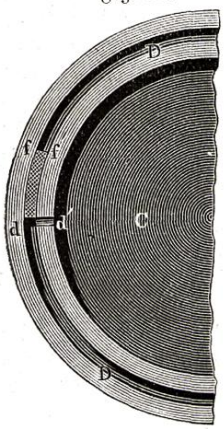
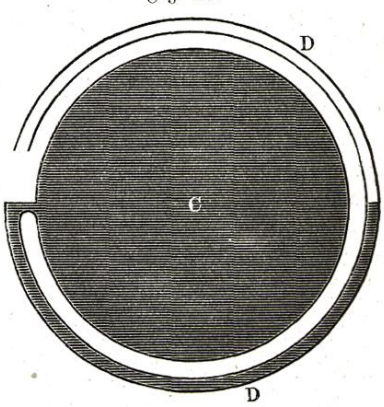


Fig. 40.



welches seine Bewegung auf das Getriebe des über einer thermometrischen Scala laufenden Zeigers z überträgt. So sinnreich derartige Anordnungen auch sind, so wenig werden sie auf irgend welche Verbreitung rechnen dürfen. Dasselbe gilt von dem Registrirthermometer von Mangon[1]).

Gewichtsthermometer. Magnus[2]), Kapeller[3]) und Regnault[4]) haben Thermometer angegeben, bei denen die Temperatur aus der Menge des austretenden Queckſilbers berechnet wird. Hat man z. B. ein Glasgefäß, welches in eine feine, gekrümmte Spitze ausgezogen iſt (Fig. 41) mit Queckſilber gefüllt, ſo fließt beim Erwärmen eine entſprechende Menge Queckſilber heraus, welche genau gewogen die zur Berechnung der Temperatur nöthigen Anhaltspunkte giebt.

Fig. 41.

Regnault[5]) macht den Vorſchlag, in eine Flaſche aus Platin, Eiſen oder Porcellan, von etwa 0,5 bis 1 l Inhalt, 15 bis 20 g Queckſilber zu bringen und nun die Flaſche auf die zu meſſende Temperatur zu erhitzen. Der Queckſilberdampf treibt die Luft aus, ſo daß man nach dem Herausnehmen und raſchen Abkühlen der Flaſche aus der Menge des zurückgebliebenen Queckſilbers die Temperatur berechnen kann. Oder aber die Flaſche wird mit Waſſerſtoff gefüllt, dieſes dann, wenn die zu meſſende Temperatur erreicht iſt, verdrängt, durch Kupferoxyd verbrannt und das gebildete Waſſer gewogen. Deville und Troost[6]) wollen in gleicher Weiſe ein ähnliches Gefäß mit Joddampf füllen und aus deſſen Menge die Temperatur berechnen. Aus leicht erklärlichen Gründen haben dieſe Vorſchläge keinen Beifall gefunden.

Lufthermometer. Hartig[7]) hat bei ſeinen Verdampfungsverſuchen die Temperatur der abziehenden Rauchgaſe dadurch beſtimmt, daß er ein mit Luft gefülltes Rohr der zu meſſenden Wärme ausſetzte, zuſchmolz und die Spitze unter Queckſilber öffnete. Die Menge des eindringenden Queckſilbers ergab die Ausdehnung der Luft, aus welcher dann die Temperatur berechnet wurde. Daſſelbe Verfahren wurde von Mitſcherlich[8]) angewendet.

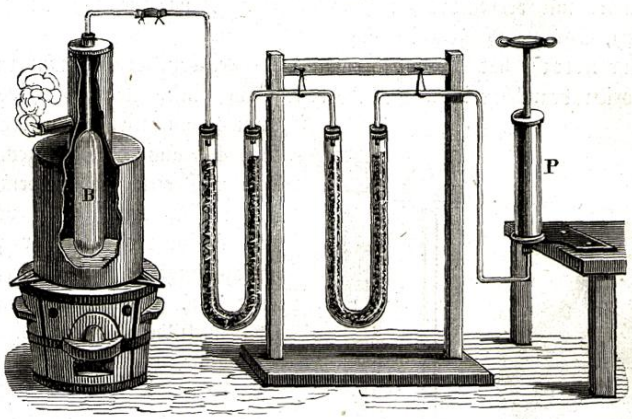
Rudberg und ähnlich Dulong und Petit verbanden das in ein enges Rohr endigende Gefäß B, wie Fig. 42 zeigt, mit Chlorcalciumröhren, pumpten mit der Handluftpumpe P wiederholt die Luft aus und ließen ſie durch das Chlorcalcium getrocknet wieder eintreten. Das ſo mit völlig trockener Luft gefüllte Gefäß B wurde nun in den Raum gebracht, deſſen Temperatur beſtimmt werden ſollte, und, nachdem es die Wärme hier angenommen hatte, wurde die Spitze des damit verbundenen Glasrohres zugeſchmolzen. Es wurde dann ſo durch ein Metallſchälchen A (Fig. 43) geſteckt, daß die Spitze in das Queckſilbergefäß C tauchte, dieſe dann abgebrochen und der Behälter B mit Eis umgeben. Durch

---

[1]) Dingl. 1878, **228**, 90. — [2]) Pogg. Ann. **40**, *139. — [3]) Dingl. 1847, **104**, 75. — [4]) Dingl. 1850, **117**, 86. — [5]) Dingl. 1850, **117**, 86; 1861, **162**, *362. — [6]) Annal. chim. phys. III, **68**, 257. — [7]) Unterſuchung über die Heizkraft der Steinkohlen, S. 18. — [8]) Pogg. Ann. **29**, 203.

Wiegen wurde nun das absolute Gewicht p des eingedrungenen Queckſilbers beſtimmt, deſſen Volumen der beim Erhitzen entwichenen Luft entſprach. Der

Fig. 42.

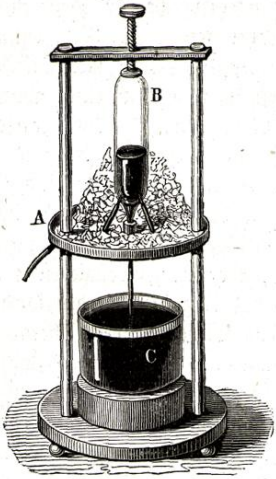


Behälter wurde darauf völlig mit Queckſilber gefüllt und bei 0^0 deſſen Gewicht P beſtimmt. Die geſuchte Temperatur findet man aus der Gleichung:

$$PH\,(1 + kt) = (P - p)\,(H' - h)\,(1 + \alpha t),$$

wenn k den Ausdehnungscoefficienten des Glaſes (0,000025), H den Barometerſtand beim Zuſchmelzen, H' den Barometerſtand beim Füllen mit Queckſilber, h den Höhenunterſchied des Queckſilberſpiegels in B und C (Fig. 43) und α den Ausdehnungscoefficienten der atmoſphäriſchen Luft bezeichnet, den wir nach Magnus zu 0,003665 annehmen können.

Fig. 43.



Bei dem Gewichtsthermometer von Davy[1]) wurde durch die ſich ausdehnende Luft Queckſilber verdrängt, ſo daß der Apparat entſprechend leichter wurde. Letztere Apparate bilden den Uebergang zu den Lufthermometern, bei denen die ſcheinbare Ausdehnung der Luft entweder direct gemeſſen, oder aus der Druckveränderung berechnet wird.

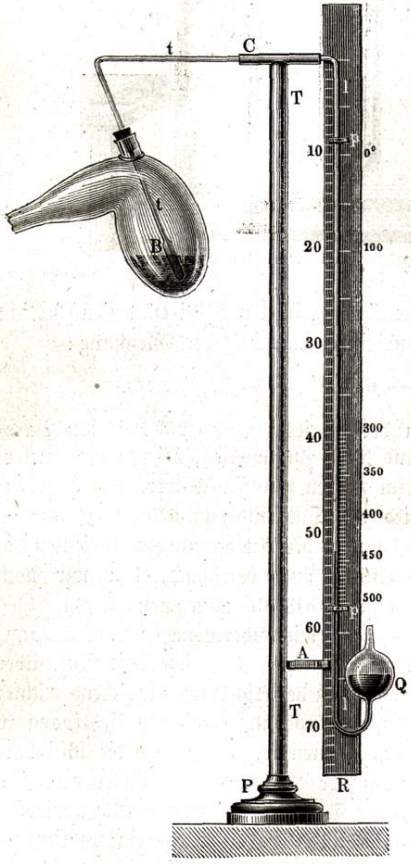
Schmidt (1805) verwendete eine Platinkugel mit langem Rohr, welches luftdicht in eine Flaſche mit Waſſer tauchte; die ausgedehnte Luft drückte auf das Waſſer, welches in einer engen Röhre aufſtieg[2]). Pouillet[3]) verwandte ebenfalls ein mit Luft gefülltes Platingefäß, berechnete aber die Temperatur aus der Luftmenge,

[1]) Dingl. 1832, **46**, *249. — [2]) Gehler's Wörterbuch Bd. **7**, *997. — [3]) Dingl. 1837, **63**, 220; Pogg. Ann. **39**, 567; **41**, 144.

welche in ein mit Quecksilber gefülltes Glasrohr überging. Regnault[1]) und Schinz[2]) zeigten bereits, daß dieses Verfahren für hohe Temperaturen wenigstens nicht empfindlich genug ist. Noch weniger empfehlenswerth sind die Lufthermometer mit verschiebbarem Quecksilberindex, wie sie Penot[3]) Gay-Lussac[4]), Eyk[5]) und Zabel[6]) angegeben haben.

Berthelot[7]) hat ein Lufthermometer angegeben, welches namentlich für Laboratorien brauchbar ist. Dasselbe besteht aus einem kleinen, cylindrischen, kaum 4 ccm fassenden Luftbehälter B (Fig. 44) aus Glas, Porzellan oder Silber. Derselbe ist mit dem 1,2 m langen Capillarrohre tl von nur 0,2 mm innerer Weite, von dessen Gleichmäßigkeit man sich vorher überzeugt hat, verbunden, welches in das Quecksilbergefäß Q endigt. Der horizontale Theil der Capillarröhre wird durch die Hülse C unterstützt, der senkrechte Theil l ist mittels der Plättchen p an die hölzerne Rückwand R befestigt, welche durch den Ansatz A von der Säule T mit entsprechend schwerem Untersatz P getragen wird.

Fig. 44.



Zum Gebrauch wird der Apparat zunächst in entsprechender Weise mit trockner Luft gefüllt (S. 33), dann wird die Kugel Q halb mit Quecksilber gefüllt und mit einer Luftpumpe verbunden, mittels der so viel Luft ausgepumpt wird, daß, nachdem B in Eis gestellt und Q wieder mit der Luft verbunden ist, das Quecksilber bis zum Nullpunkt aufsteigt, der durch Verschieben der Scala genau eingestellt werden kann. Durch das Einsenken des Thermometergefäßes B in Wasserdampf, Quecksilber- und Schwefeldampf werden dann eine Reihe fester Punkte gewonnen, nach denen die Scala hergestellt wird. Durch entsprechende Abänderung läßt sich dieses Lufthermometer leicht für niedrige und hohe Temperaturen erreichen.

---

[1]) Dingl. 1850, **117**, 84. — [2]) Dingl. 1865, **177**, *99. — [3]) Dingl. 1831, **40**, *93. — [4]) Dingl. 1833, **48**, *347. — [5]) Dingl. 1862, **166**, *28. — [6]) Dingl. 1870, **195**, *236. — [7]) Dingl. 1868, **188**, *257; 1869, **191**, 455.

Aehnlich ist das von Hallauer[1]) für Dampfkesselfeuerungen verwendete Luftpyrometer, nur nimmt dieser ein mit Stickstoff gefülltes Kupfergefäß. Für derartige Zwecke sind solche Apparate aber sehr wenig geeignet.

Genauer noch ist das Verfahren, die Temperatur aus der Druckzunahme bei unverändertem Volumen zu bestimmen, wie dieses Regnault[2]) u. A. ausführten. Bei dem Apparate von Regnault ist die Luft in einem Glasballon enthalten, der durch eine sehr enge Röhre Cn (Fig. 45) mit dem zweischenkligen Manometer nRq verbunden ist. Um nun zunächst den Ballon mit trockner

Fig. 45.

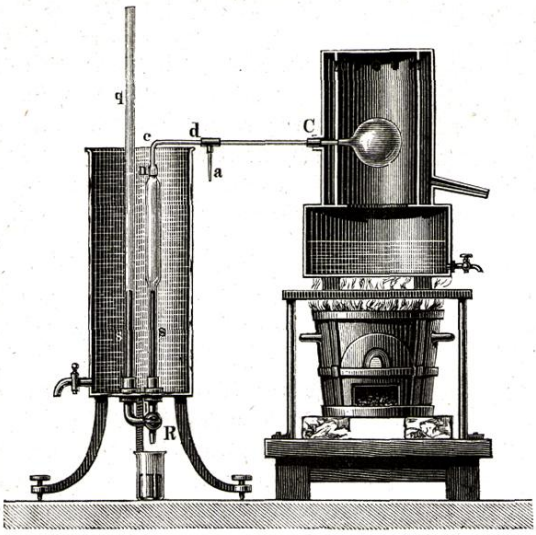


Fig. 46.

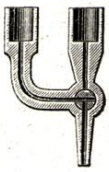


Fig. 47.

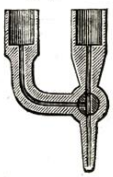
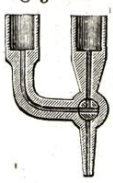


Fig. 48.

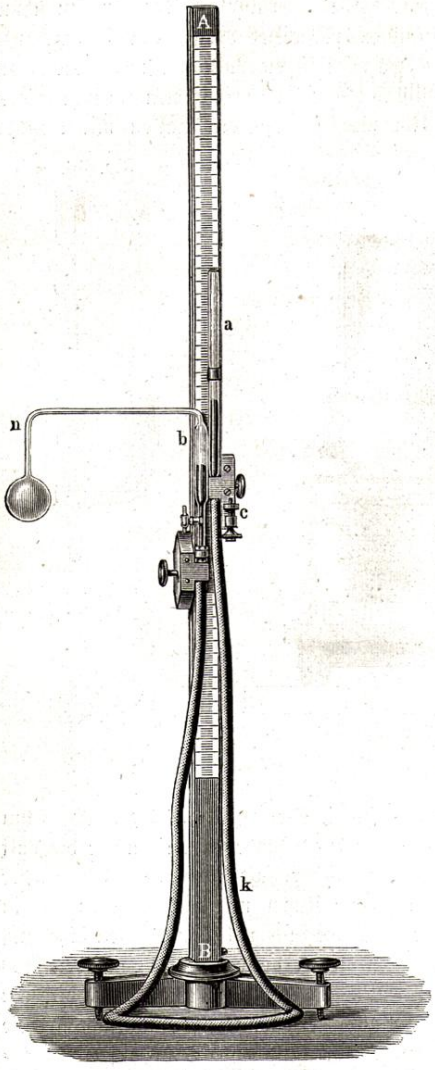


Luft zu füllen, wird der Dreiweghahn R in die Stellung Fig. 46 gebracht, dann saugt man mittels einer mit dem Röhrchen a verbundenen Luftpumpe die Luft aus und läßt durch ein Chlorcalciumrohr wieder Luft eintreten. Ist so der Ballon mit trockner Luft gefüllt, so wird die Kugel mit Eis umgeben und in den offenen Schenkel q, nachdem dieser durch die in Fig. 48 angedeutete Stellung des Dreiweghahnes mit dem anderen Schenkel verbunden ist, so lange Quecksilber eingegossen, daß es genau bis zur Marke n reicht, worauf das Röhrchen a zugeschmolzen wird. Sobald nun der Ballon erwärmt wird, so sucht sich die eingeschlossene Luft auszudehnen, übt dem entsprechend einen Druck auf die Quecksilbersäule aus, so daß man in das Rohr q Quecksilber nachgießen muß, um die Luft wieder auf ihr ursprüngliches Raummaß zusammenzupressen. Aus dieser Druckzunahme wird dann die Temperatur in der bekannten Weise berechnet.

[1]) Dingl. 1875, **215**, *516. — [2]) Dingl. 1850, **117**, 84; 1870, **195**, 58; vergl. auch Magnus in Pogg. Ann. **55**, *9.

Jolly[1]) hat diesen Apparat wesentlich verbessert; die Anordnung seines Lufttthermometers ist aus Fig. 49 leicht zu erkennen. Zwei innen gleich weite Glasröhren *a* und *b*, von denen die eine durch die Capillarröhre *n* mit der Glaskugel verbunden ist, stehen mit einander durch die mit Quecksilber gefüllte Kautschukröhre *k* in Verbindung. Durch das Quecksilber ist das in der Kugel, der Capillarröhre und der Glasröhre enthaltene Gas abgesperrt, die andere Röhre ist offen. Beide Röhren sind durch einen Schlitten verschiebbar, der mittels Klemmschraube in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Am oberen Ende der Röhre *b* ist im Innern eine Glasspitze angeschmolzen, wie dieses Fig. 50 deutlicher zeigt. Hat man die Röhre *a* so weit in die Höhe geschoben, daß das Quecksilber in *b* die Glasspitze berührt, so giebt der Höhenunterschied von *a* und *b*, mehr dem am Barometer abzulesenden Luftdruck, den Druck an, unter welchem sich das eingeschlossene Gas befindet. Da eine Erhöhung der Temperatur des Gases auch seine Spannkraft steigert, so muß man dann die Röhre *a* weiter in die Höhe schieben damit das Quecksilber wieder die Spitze berühre. Die genaue Einstellung wird wesentlich durch die Mikrometerschraube *c* am unteren Ende der Röhre *a* erleichtert. Der Druck, welchen das Gas bei dieser höheren Temperatur besitzt, wird wie im ersteren Falle abgelesen und ist zu diesem Zwecke auf dem Stabe *AB* eine Millimetertheilung auf einem Silberspiegel aufgetragen. Die Röhre *b* ist an ihrem unteren Ende durch eine Ueberwurfschraube mit dem Stahlstück verbunden, an welchem die Kautschukröhre befestigt ist, so daß man sie abschrauben

Fig. 49.



[1]) Pogg. Ann., Jubelbd. S. *82.

kann, während alles Uebrige ungeändert bleibt. Zur Füllung des Apparates mit trockner Luft wird mittels dieser Ueberwurfschraube die Röhre *b* mit einem im Teller der Luftpumpe mündenden Rohr verbunden. Die Kugel wird nun 10 bis 12 mal ausgepumpt und mit Luft gefüllt, die durch Kali von Kohlensäure, durch feste Phosphorsäure von Wasser völlig befreit ist. Mittels des am unteren Ende des Rohres *b* befindlichen Hahnes, den Fig. 51 im vergrößerten Durchschnitt zeigt, wird nach erfolgter Füllung die Röhre abgeschlossen, dann wird sie abgeschraubt und mit der Kautschukröhre verbunden. Nun bringt man durch Aufwärtsschieben der Röhre *a* das Quecksilber bei α zum Ausfluß, dreht, wenn die ersten Tropfen ausgetreten sind, den Hahn um 90^0 und verbindet so die Röhren *a* und *b*.

Fig. 50.

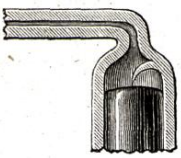
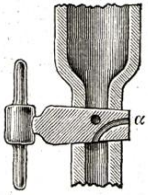


Fig. 51.



Der Apparat ist nun zum Gebrauch fertig. Man bringt die Kugel bis zu einer Marke *n* an der Capillarröhre in zerstoßenes Eis, dann bis zur gleichen Marke in den Raum, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Wenn in beiden Fällen das Quecksilber bis zur Berührung der Spitze gebracht war, so erhält man die Spannungen *d* und *D* des abgesperrten trocknen Gases bei der Temperatur Null und der gesuchten Temperatur *T*. Ist vorher das Volumen *V* der Kugel bis zur Marke *n* und das Volumen *v* der Capillarröhre sammt dem der Kuppe mit der Glasspitze vorher bei 0^0 genau bestimmt, so erhält man nach dem Dalton-Gay-Lussac'schen Gesetz:

$$Vd + \frac{vd}{1 + \alpha t} = VD\,\frac{(1 + \gamma T)}{(2 + \alpha T)} + \frac{vD}{1 + \alpha t_1},$$

wo α den Ausdehnungscoefficienten der Luft, γ den des Glases[1]), *t* die Temperatur der Capillarröhre bei der Bestimmung des Druckes *d*, t_1 dieselbe bei der Bestimmung des Druckes *D*, *T* die Temperatur des Gases der Kugel unter dem Drucke *D* bezeichnet. Aus obiger Gleichung erhält man nun die gesuchte Temperatur:

$$T = \frac{D - d + \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)}{\alpha\left[d - \frac{v}{V}\left(\frac{D}{1 + \alpha t_1} - \frac{d}{1 + \alpha t}\right)\right] - \gamma D}.$$

Für den Gebrauch empfiehlt es sich, in einer Tabelle die den Werthen von *D*, *t* und t_1 entsprechenden Temperaturen zusammenzustellen, worauf sich der Apparat auch ganz besonders dazu eignet, um die Angaben des Quecksilberthermometers auf die des Lufthermometers zu reduciren (S. 21.) Für ein solches Lufthermometer, mit den Constanten $\log \frac{v}{V} = 0{,}94528 - 3$ und $\log \gamma = 0{,}44436 - 5$, bei dem der Druck *d* der bis zur Glasspitze abgesperrten Luft bei 0^0 730,08 mm war, wurde z. B. die folgende Tabelle berechnet.

[1]) Jolly fand für die von ihm verwendete Glassorte 0,0000278.

D	T $t = 20,\ t_1 = 20$	Für eine Differenz von 1 mm	T $t = 20,\ t_1 = 15$	Für eine Differenz von 1 mm
460,08	— 108,585		— 108,582	
		0,36006		0,36024
510,08	— 90,582		— 90,570	
		0,36084		0,36104
560,08	— 72,540		— 72,519	
		0,36156		0,36168
610,08	— 54,462		— 54,434	
		0,36230		0,36232
660,08	— 36,347		— 36,317	
		0,36310		0,36320
710,08	— 18,192		— 18,158	
		0,36384		0,36316
760,08	— 0		0	
		0,36462		0,36540
810,08	+ 18,231		+ 18,275	
		0,36536		0,36546
860,08	+ 36,499		+ 36,548	
		0,36622		0,36628
910,08	+ 54,810		+ 54,862	
		0,36686		0,36702
960,08	+ 73,153		+ 73,213	
		0,36770		0,36786
1010,08	+ 91,538		+ 91,606	
		0,36834		0,36852
1060,08	+ 109,956		+ 110,032	

Da aber der Barometerstand bis auf Bruchtheile eines Millimeter abgelesen werden kann, so ist der Apparat sehr empfindlich.

Die von Pfaundler[1]) vorgeschlagene Form dieses Apparates hat keinen ersichtlichen Vorzug. Auch das Luftpyrometer von Codazza[2]) mit Luftcompressionsmanometer ist nicht besonders empfehlenswerth.

Crafts[3]) giebt ein Lufthermometer mit constantem Volumen an, welches an Stelle von Quecksilberthermometern verwendet werden kann (vergl. S. 17). Der kleine, mit Wasserstoff gefüllte, nur 0,75 ccm fassende Behälter a (Fig. 52) ist durch das 0,023 ccm fassende, 84 cm lange Capillarrohr b mit dem Manometer r und durch den Schlauch p mit dem Quecksilbergefäß f verbunden. Letzteres ist mittels der über die Rolle l gehenden Schnur auf dem Rohre i verschiebbar, in welchem am anderen Ende der Schnur ein entsprechendes Gegengewicht hängt.

Eigenthümlich ist der in Fig. 53 im Durchschnitt dargestellte Quecksilberabschluß. Das durch den Schlauch p zufließende Quecksilber tritt bei o aus einer kleinen Oeffnung des in das Rohr n mittels Kautschukschlauch luftdicht einge-

[1]) Carl's Rep. 1879, *527. — [2]) Dingl. 1873, **210**, *255. — [3]) Dingl. 1879, **233**, *401.

setzten Rohres *x* zum Manometer. Die Oeffnung *o* legt sich auf das obere, mit einer Gummischeibe überzogene Ende des eingekitteten Rohrendes *t*, neben welchem

Fig. 52.

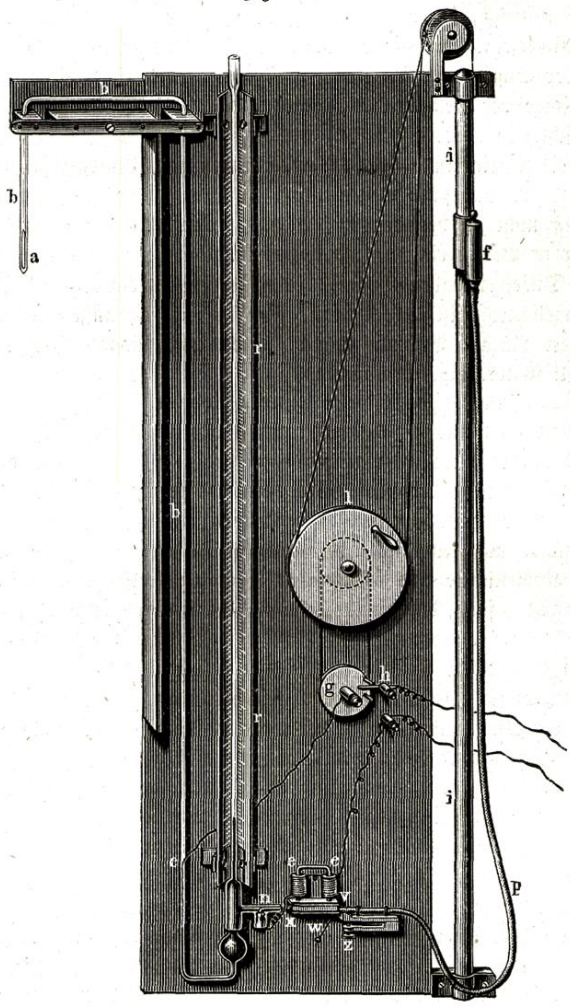


Fig. 53.

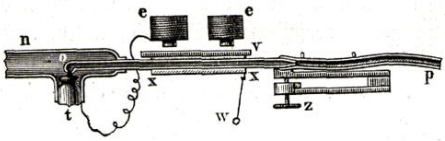


Fig. 54.

ein nach dem Elektromagnete *e* führender Platindraht eingeführt ist, während der andere Draht bei *c* eingeschmolzen wurde. Das Rohr *x* ist ferner in einer Kupferröhre befestigt, welche die dem Elektromagnete als Anker gegenüber gestellte Eisenplatte *v* trägt, deren Einstellung mittels der Schraube *z* bewirkt wird. Soll Quecksilber eintreten, so zieht man an der Schnur *w*, während sonst mittels eines auf der Scheibe *g* befestigten, an *h* anliegenden Stiftes der Strom und somit in Folge der Hebung des Rohres *x* durch den Elektromagnet die Oeffnung *o* geschlossen wird.

Für die Bestimmung hoher Temperaturen sind Glasgefäße wegen ihrer Erweichung, Metallgefäße wegen ihrer Durchlässigkeit und unregelmäßigen Ausdehnung nicht zu verwenden. Verfasser hat von der königl. Porzellanmanufactur in Berlin eine Anzahl Porzellanballons das Stück zu 3 Mk. 25 Pf. erhalten. Dieselben haben 9 cm Durchmesser, fassen etwa 360 ccm, das eingesetzte Porzellanrohr ist 13 cm lang; Fig 54 zeigt die äußere Form desselben. Eine größere Anzahl Versuche damit, welche noch längere Zeit in Anspruch nehmen, soll später besprochen werden.

Die Temperaturangaben dieser letzteren Apparate gelten allgemein als die zuverlässigsten, ja die einzig richtigen, auf welche alle anderen corrigirt werden müssen. Deville[1]) warnt zwar davor, zu großes Vertrauen auf die Genauigkeit dieser Bestimmungen hoher Temperaturen zu setzen, da noch keineswegs feststehe, daß sich die Gase gleichmäßig ausdehnen, zusammengesetzte Gase, z. B. die Kohlensäure, aber selbst schon bei Rothglut Dissociationserscheinungen zeigen, daß daher Kohlensäure und Feuchtigkeit sorgfältig entfernt werden müssen[2]).

Amagat[3]) fand, daß die Ausdehnung der atmosphärischen Luft bei 2 Atm. Druck und hohen Temperaturen dem Boyle-Mariotte'schen Gesetze nahe stehe; Mendelejew und Kirpitschew[4]) fanden dagegen, daß dieses Gesetz ebenso wenig genau sei für Luft bei geringem wie bei hohem Druck, und Regnault[5]) zeigte, daß der Ausdehnungscoefficient der atmosphärischen Luft mit dem Drucke zunimmt. Berücksichtigt man ferner, daß, da die Ausdehnung des Glases schon zwischen 0 bis 100° nicht gleichmäßig ist (S. 21), die Volumvergrößerung von Glas und Porzellan bei hohen Temperaturen auch nicht regelmäßig sein wird, so können selbst die Temperaturbestimmungen mittels der Luftpyrometer wohl kaum Anspruch auf absolute Genauigkeit machen. Immerhin sind diese Fehlerquellen gering und lassen sich größtentheils ausgleichen, so daß bei sorgfältiger Ausführung der Versuche, wie sie allerdings nur in wohleingerichteten Laboratorien möglich ist, das Lufttthermometer für hohe und niedere Temperaturen in der That als Normalthermometer angesehen werden muß.

Thermodynamometer. R. Pictet benutzt unter Anwendung des zweiten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie zur Temperaturmessung durch die mechanische Arbeit die Spannungen verschiedener Dämpfe, welche einerseits in einer festen Beziehung zu den Temperaturänderungen stehen, andererseits in dem auf die Gefäßwände ausgeübten, mittels Manometer meßbaren Druck einen in

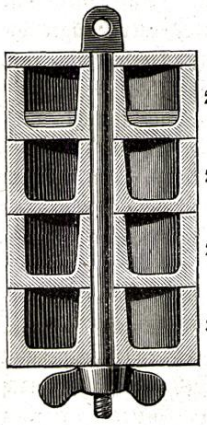
---

[1]) Dingl. 1872, **204**, 34. — [2]) Vergl. Dingl. 1876, **221**, 93. — [3]) Compt. rend. **75**, 479. — [4]) Berichte d. ch. G. 1874, 486. — [5]) Mémoir. de l'Acad. **26**, 565.

Meterkilogramm darstellbaren Werth liefern. Für Temperaturen von — 180 bis — 100° benutzt er eine Mischung aus gleichen Theilen Kohlensäure und Stickoxydul, von — 100 bis — 40° reine Kohlensäure, von — 40 bis + 25° reine Schwefligsäure, von + 25 bis + 90° Aether und von + 90 bis 200° Wasser. Bezüglich des Apparates und der umfassenden Berechnungen, welche diese für technische Zwecke wohl nicht brauchbaren Temperaturbestimmungen erfordern, muß auf die ausführliche Abhandlung in den Archives des Sciences physiques et naturelles, 1878, Bd. 64, S. *185 verwiesen werden [1]).

2. Aenderungen des Aggregatzustandes. Schon Prinsep [2]) (nach Anderen Princeps) bestimmte hohe Temperaturen mittels Legirungen aus Silber, Gold und Platin, deren Schmelzpunkt vorher festgestellt war. Gebr. Appolt [3]) verwendeten Legirungen aus Zinn und Kupfer, deren Schmelzpunkte mittels einer Eisenplatte calorimetrisch bestimmt waren. Von diesen Legirungen werden erbsengroße Stücke mittels einer Eisenstange, welche am vorderen Ende halbkugelförmige Vertiefungen hat, der zu messenden Temperatur ausgesetzt; der Schmelzpunkt der am schwersten schmelzbaren Legirung, welche hierbei geflossen ist, giebt die gesuchte Temperatur. F. Heeren [4]) hängt einen zweiarmigen Löffel aus feuerfestem Thon mit je 3 g einer Legirung aus Silber und Platin in den Feuerraum. M. Heeren [5]) schlägt vor, über einen Eisendorn ringförmige Schalen aus Gußeisen zu stecken, deren eine den Deckel der anderen bildet, während die obere Schale besonders zugedeckt ist, wie Fig. 55 zeigt. In jede Schale wird der Ring einer Metalllegirung gelegt, deren Schmelzpunkte z. B. 20° aus einander liegen; dieselben sind auf dem Boden der betreffenden Schale in vertieften Zahlen angegeben. Auf den Scheiben, welche bei der zu messenden Temperatur geschmolzen sind, findet man daher nach dem Erkalten diese Zahl abgedrückt; da die obere Seite glatt bleibt, so werden die Scheiben für jeden folgenden Versuch einfach umgekehrt.

Fig. 55.



Ducomet (D. R. P. 4882) sucht dieses Princip in folgender Weise auszunutzen. Die beiden Enden der von einem Gehäuse eingeschlossenen Feder *BCD* (Fig. 56 u. 57 a. f. S.) werden durch die kleinen Schrauben *a* und *b* der Führungsbüchse *c* festgehalten. Durch die Schraube *d* ist die Feder mit der Zahnstange *H* verbunden, welche in ein kleines Getriebe eingreift, auf dessen Achse ein Zeiger sitzt, der somit durch eine Verschiebung der aus Metall oder feuerfestem Thon hergestellten Stange *E* bewegt wird. Das untere Ende dieser durch eine Metallhülle geschützten Stange trägt eine Anzahl Scheiben von verschiedenem Schmelz-

[1]) Dasselbe Princip ist jetzt bei dem sogen. Thalpotasimeter von Klinghammer angewendet. — [2]) Dingl. 1828, **28**, 421; Edinburg. Journ. of Sc. **17**, 168. — [3]) Mitth. Gewerbver. f. Hannover 1865, 346. — [4]) Dingl. 1861, **161**, *105. — [5]) Dingl. 1877, **225**, *277.

punkt, durch deren Gewicht die Feder etwa in die angedeutete elliptiſche Form gezogen wird. Erreicht nun die Temperatur des bis zur Flanſche *f* der zu meſſenden Hitze ausgeſetzten unteren Theiles den Schmelzpunkt einer der Platten, ſo ſchmilzt dieſe ab, die Feder wird dadurch entſprechend entlaſtet und rückt den Zeiger vor. Wie Fig. 56 zeigt, kann man ſtatt der Platten auch Stifte durch die Stange *E* ſtecken, bei deren Abſchmelzen die Stange und ſomit auch der Zeiger entſprechend vorrückt. Es läßt ſich ferner unten an die Stange eine Schale hängen, die mit einer Flüſſigkeit gefüllt wird, durch deren Verdampfung aus den Oeffnungen *m* (Fig. 57) die Feder entlaſtet wird u. ſ. f. — Das Verfahren dürfte nur für wenige Fälle empfehlenswerth ſein.

Fig. 56.

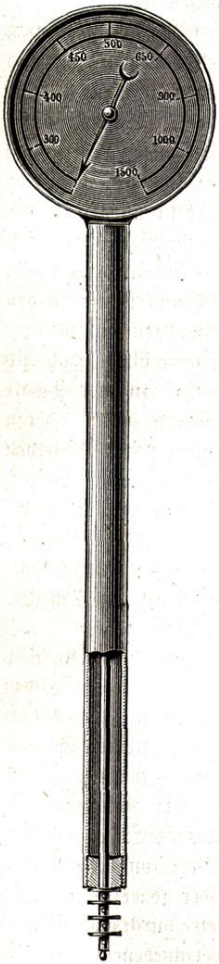
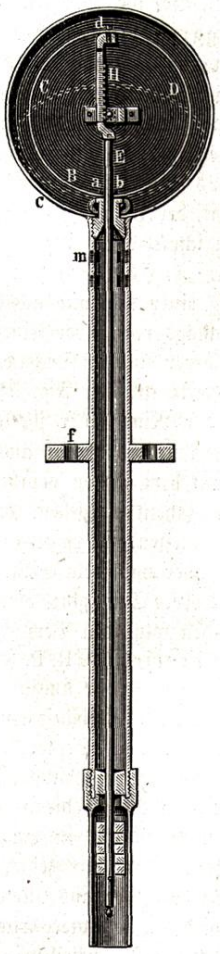


Fig. 57.

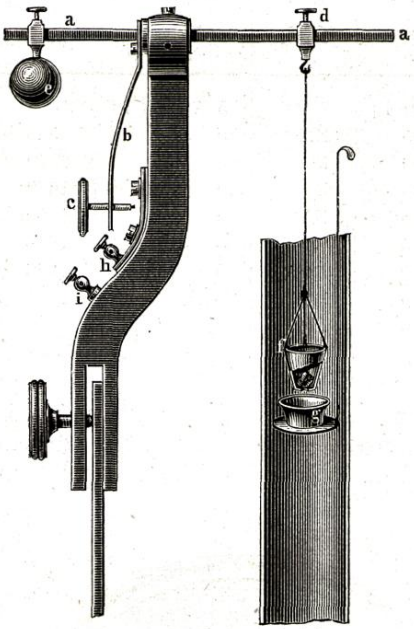


Um die Temperatur im Ultramarinofen zu beſtimmen, bringt Büchner[1]) ein 5 bis 8 cm weites Rohr aus feuerfeſtem Thon ſenkrecht im Ofen an. An daſſelbe iſt oben ein eiſerner Träger befeſtigt und an dieſem wiederum der eigentliche Apparat (Fig. 58) angeſchraubt. Letzterer trägt den verſchiebbaren Wagebalken *a*, an welchem der mit einer Schraube *c* ſtellbare Contact *b* angebracht iſt. An der einen Seite des Wagebalkens befindet ſich eine Stellſchraube *d*, an der anderen ein Gegengewicht *e*, welches ebenfalls nach Belieben geſtellt werden kann. An *d* wird mittels eines Platin- oder Eiſendrahtes der Tiegel *f* angehängt; derſelbe hat am Boden eine kleine Oeffnung. In dieſen Tiegel kommt nun, nachdem man ihn in das feuerfeſte Rohr eingehängt hat, die betreffende Legirung und es wird das Gewicht

[1]) Dingl. 1879, **232**, *431.

mit dem Gegengewicht *e* ausgeglichen. Unter dem Tiegel hängt man mittels eines starken Eisendrahtes die kleine Porzellanschale *g* auf. Die in Fig. 58 weiter ersichtlichen Polschrauben *h* und *i* stehen nun einerseits mit einer Batterie (ein mittelgroßes Flaschenelement genügt) und andererseits mit der Glocke *K* (Fig. 59 und 60 a. f. S.) in Verbindung. Sobald nun im Ofen die Temperatur so hoch gestiegen ist, daß das Metall zum Schmelzen kommt, wird dasselbe durch die Oeffnung in die Schale *g* tropfen, der Tiegel *f* an Gewicht abnehmen, das Gegengewicht *e* wirken, der Stab *b* mit *h* in Contact treten und die Glocke anfangen zu läuten. Man nimmt alsdann den Tiegel *f* und die Schale *g* heraus und hängt einen neuen Tiegel mit einem höher schmelzbaren Metall hinein. Da der Inhalt der Schale *g* immer wieder zu dem Inhalt des Tiegels kommt, so hat man auch keinen Verlust an Metall zu beklagen. Selbstverständlich muß man jeden Tiegel aufs Neue ausbalanciren.

Fig. 58.



Die Glocke *K* ist nun an einer starken, 8 Tage gehenden Uhr (ohne Schlagwerk) angebracht. Der Schlaghebel *l* der Glocke ist verlängert und trägt an dem Ende *m* einen Messingstift *n*. An der Uhr selbst ist der große Zeiger durch ein Zifferblatt ersetzt, dessen Eintheilung aus der Zeichnung leicht verständlich sein wird. Sobald also die Glocke zum Anschlag gebracht wird, so wird auch jedesmal der Stift *n* auf dem Zifferblatt einen Punkt eindrücken, womit also die betreffende Temperatur von selbst registrirt ist. Zu bemerken ist noch, daß der Stift *n* in dem Hebel *m* verschiebbar ist, man denselben also nach Ablauf von 12 Stunden nur auf einen anderen Kreisbogen einzustellen hat, um das Zifferblatt 72 Stunden lang gebrauchen zu können.

Th. Erhard u. A. Schertel[1]) haben die Schmelzpunkte einiger Legirungen von Silber, Gold und Platin mittels eines Luftthermometers in einem kleinen, mit einem Schlösing'schen Löthrohre geheizten Ofen bestimmt. Zur Herstellung der Legirungen wurden die Metalle abgewogen und, in Mengen von 100 bis 150 mg zur Kugel geschmolzen, der zu messenden Hitze ausgesetzt. Die Platin-Goldlegirungen zeigten große Neigung zum Entmischen. Die Beobachter glauben, daß diese bis 1400° gehenden Bestimmungen nur eine Ungenauigkeit bis 20°

[1]) Jahrb. Berg. Hüttenw. Sachsens 1879, *17.

zeigen; die höheren Temperaturen sind mit Benutzung der Angaben von J. Violle (S. 64) durch graphische Interpolation gefunden:

Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt	Zusammensetzung Proc.	Schmelzpunkt
Silber = Ag	954°	80 Au 20 Pt	1190°	35 Au 65 Pt	1495°
80 Ag 20 Au	975	75 25	1220	30 70	1535
60 40	995	70 30	1255	25 75	1570
40 60	1020	65 35	1285	20 80	1610
20 80	1045	60 40	1320	15 85	1650
Gold = Au	1075	55 45	1350	10 90	1690
95 Au 5 Pt	1100	50 50	1385	5 95	1730
90 10	1130	45 55	1420	Platin = Pt	1775
85 15	1160	40 60	1460		

Die Anwendung derartiger Legirungen ist für viele Fälle allerdings bequem, doch muß der Schmelzpunkt jedesmal vorher genau festgestellt werden. Bei dem großen Einfluß, den oft geringe Beimengungen auf den Schmelzpunkt haben

Fig. 59.

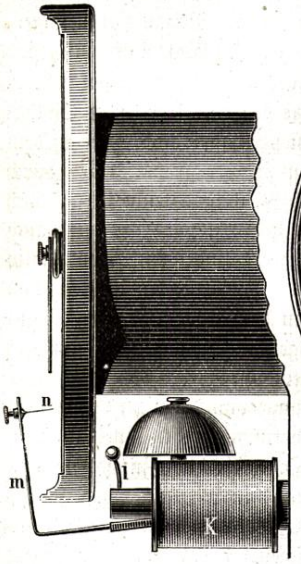
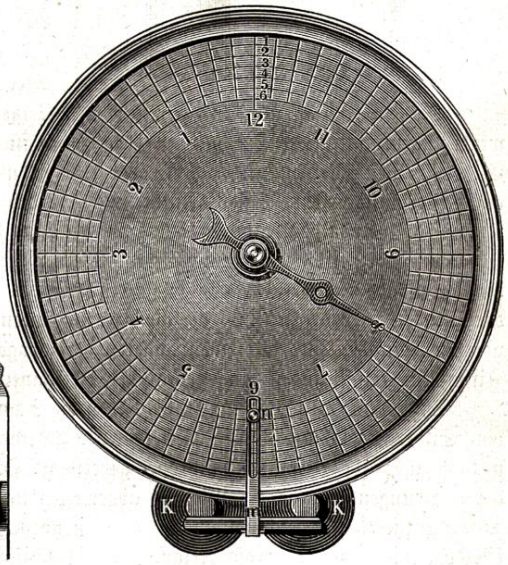


Fig. 60.



(Schmiedeisen, Gußeisen), und bei der Leichtigkeit, mit der sich die meisten Legirungen beim Umschmelzen zersetzen, ist ihre Anwendung nicht unbedenklich.

3. Diſſociation. Lamy[1]) verwendet die von Debray[2]) unterſuchte Diſſociation des kohlenſauren Calciums zu ſeinem Pyrometer, indem er aus der Spannung der Kohlenſäure aus dem in einem Porzellanrohre der zu meſſenden Hitze ausgeſetzten Marmor die Temperatur berechnet. Weinhold[3]) zeigt, daß daſſelbe völlig unbrauchbar iſt.

4. Optiſche und akuſtiſche Erſcheinungen. Bekanntlich giebt es eine Anzahl Körper, welche beim Erhitzen dauernd oder vorübergehend dunkler werden. Heß[4]) empfiehlt für niedere Temperaturen Jodkupferqueckſilber. Ob für höhere Temperaturen in gleicher Weiſe in einzelnen Fällen Eiſenoxyd, Zinnober, Queckſilberoxyd und andere Stoffe, die beim Erhitzen ihre Farbe ändern, zu Temperaturbeſtimmungen verwendet werden können, iſt erſt durch Verſuche feſtzuſtellen. Die Anlauffarben des Stahles, welche ebenfalls zur Beſtimmung hoher Temperaturen verwendet wurden, ſind nicht nur abhängig von der Höhe der Temperatur, ſondern auch von der Dauer der Erhitzung, können daher höchſtens annähernd richtige Reſultate geben.

Nach C. Decharme[5]) hängen die auch von Pouillet zur Temperaturbeſtimmung vorgeſchlagenen Glühfarben der Metalle, namentlich des Platins, von der Dicke und der Anordnung des betreffenden Metallfadens ab.

Becquerel[6]) beſtimmt die Temperaturen thermo-elektriſch, die von dem erhitzten Körper ausgeſtrahlten Lichtmengen mittels eines Polariſationsphotometers und drückt die Beziehung beider Größen durch eine Exponentialformel aus zur Berechnung der Temperaturen, die für ſein Thermoelement Platin-Palladium zu hoch ſind. Weinhold wendet dagegen ein, daß Becquerel die als einfarbig betrachteten Lichtarten mittels farbiger Gläſer erhalten hat, ſo daß ſeine Formeln nur für die von ihm gebrauchten Gläſer Geltung haben können.

Dewar und Gladſtone[7]) haben Verſuche gemacht, hohe Hitzegrade durch die Aenderung des Spectrums bei ſteigender Temperatur zu beſtimmen; doch ſtellten ſich ihnen bis jetzt unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen.

A. Crova[8]) beſtimmt aus den continuirlichen Spectren zweier Lichtquellen, deren eine die bekannte Temperatur T, die andere die unbekannte t hat, mittels Spectrometer die Intenſität eines rothen und eines grünen Strahles, deren Wellenlängen λ und λ_1 676 und 523 betragen. Der Quotient derſelben giebt das Verhältniß der Intenſitäten der Strahlen λ_1 in beiden Spectren, wenn das ſtärkere ſo abgeſchwächt wurde, daß der Strahl λ in beiden gleich iſt. Zwei Körper deſſelben Strahlungsvermögens haben aber dieſelbe Temperatur, wenn die Intenſitäten der einfachen Strahlen ihrer continuirlichen Spectren gleich bleiben, falls das ſtärkere durch zwei Nicols ſo geſchwächt wird, daß die Intenſitäten zweier Strahlen gleicher Wellenlänge in beiden Spectren gleich ſind. Crova giebt nun dem Lichte einer mit Rüböl geſpeiſten Moderateurlampe die optiſche Temperatur 1000 und vergleicht damit die Intenſitäten des grünen und rothen Strahles der unbekannten Lichtquelle. Das ſo erhaltene Verhältniß wird mit

[1]) Dingl. 1869, **194**, 209; **195**, 525. — [2]) Compt. rend. **64**, 603. — [3]) Dingl. 1873, **208**, 126. — [4]) Dingl. 1875, **218**, 183. — [5]) Jahresber. Chem. 1875, **49**. — [6]) Compt. rend. **55**, 826. — [7]) Chem. News **28**, 174. — [8]) Compt. rend. **88**, 171.

dem Strahlungsvermögen des Porzellanbehälters eines Luftthermometers verglichen und so auf die richtige Temperatur umgerechnet [1]).

Die folgende Tabelle giebt die „optischen" Temperaturen verschiedener Lichtquellen in der willkürlichen Scala:

Bis zur Rothglut in einer Gaslampe erhitztes Platin	524
Bis zur weißen Rothglut in einem Gebläse erhitztes Platin . .	810
Mit Rüböl gespeiste Moderateurlampe	1000
Stearinlicht	1162
Gaslicht (Argandbrenner)	1373
Hydrooxygenlicht (Leuchtgas und Sauerstoff auf Kalk)	1816
Elektrisches Licht (60 Bunsen'sche Elemente)	3060
Sonnenlicht	4049

Wie Becquerel für Porzellan, Kohle, Platin und Magnesia, so hat Crova für Kohle, Kalk und Platin gleiches Strahlungsvermögen gefunden.

Setzt man nach den Versuchen von J. Violle [2]) die Intensität I des von Platin beim Schmelzpunkt des Silbers (954°) ausgestrahlten Lichtes $= 1$, so erhält man für die Temperaturen zwischen 800 und 1775° folgende Werthe:

800°	$I = 0{,}108$	1200°	$I = 17{,}8$	1600°	$I = 327$
900	0,475	1300	45,2	1700	481
1000	1,82	1400	100	1775	587
1100	6,10	1500	194		

Diese der Formel $\log I = -8{,}244929 + 0{,}0114751\,t - 0{,}0000029\,69\,t^2$ entsprechenden Zahlen zeigen, daß das bei 500° kaum sichtbare rothe Licht anfangs rasch, dann langsam zunimmt, bei 1933° das Maximum von 696 erreicht, um bei 2910° wieder auf 1 herunter zu gehen. Die Intensität einer bestimmten Strahlung wächst somit nicht unbegrenzt mit der Temperatur, sondern wird bei einer gewissen hohen Temperatur gerade so wieder unmerklich, als sie bei einer anderen niederen Temperatur erst auftrat. Da nun ferner das Verhältniß der leuchtenden und dunkeln Strahlen in unseren verschiedenen Wärme- und Lichtquellen bekanntlich durchaus nicht dasselbe ist, so sind derartige spectroskopische Wärmemessungen noch mit großer Vorsicht aufzunehmen (S. 53).

Cagniard-Latour und Demonferrand [3]) berechnen die Temperatur aus der Aenderung der Tonhöhe einer Flötenpfeife. Auch Meyer [4]) berechnet bei seinem akustischen Pyrometer die Temperatur aus den durch die Erwärmung bewirkten Abweichungen in der Anzahl von Wellenlängen von in Röhren eingeschlossener Luft. J. Chautard [5]) hat dieses Pyrometer vereinfacht, bezweifelt aber selbst die praktische Brauchbarkeit desselben.

5. Elektrische Erscheinungen. Pouillet [6]) berechnet die Temperaturen aus der Stromstärke eines thermo-elektrischen Elementes von Eisen und Platin.

---

[1]) Vergl. Beibl. zu Annal. Phys. Chem 1879, 275. — [2]) Compt. rend. **88**, 171. — [3]) Compt. rend. **4**, 28. — [4]) Pogg. Ann. **148**, 287. — [5]) Pogg. Ann. **153**, 158; vergl. Dingl. 1878, **227**, 507. — [6]) Dingl. 1837, **63**, 221.

Solly[1]) verwendet ein solches von Eisen und Kupfer, Becquerel, wie bereits erwähnt, Platin und Palladium. Schinz[2]) zeigt, daß man mit dem Apparate von Becquerel völlig falsche Angaben erhält; er verwendet daher wieder Eisen und Platin. Nach den früheren Versuchen von Regnault[3]) giebt jedoch auch ein Eisen-Platinelement unzuverlässige Resultate. Zur Messung hoher Temperaturen ist demnach die Thermoelektricität nicht zu verwenden, sondern nur für ganz geringe Temperaturschwankungen, wie sie bei der Bestimmung der strahlenden Wärme vorkommen (S. 53).

Empfehlenswerth ist dagegen das elektrische Pyrometer von C. W. Siemens[4]) in London, welcher den mit der Temperatur wachsenden Leitungswiderstand verwendet. Von den älteren Versuchen, welche die Widerstandsänderung nur von 0 bis 100° verfolgen, lassen die von Arndtsen und W. Siemens die Widerstandsänderung der Temperaturänderung einfach proportional erscheinen[5]), während die von Matthiessen eine Abweichung von der Proportionalität ergeben, welche derselbe durch eine Formel ausdrückt, die aber wenig über 100° alle Gültigkeit verliert. Siemens hat für Platin, Kupfer, Eisen, Aluminium und Silber die Untersuchung zunächst bis auf Temperaturen von etwa 300° ausgedehnt und dabei gefunden, daß bei größeren Temperaturunterschieden die Abweichung von der Proportionalität zwischen Temperaturänderung und Widerstandsänderung eine erhebliche ist, daß aber für alle untersuchte Metalle die Beziehung zwischen Temperatur (t) und Widerstand (R) sich befriedigend ausdrücken läßt durch die Formel $R = \alpha\, T^{1/2} + \beta\, Tt + \gamma$, in welcher T die absolute Temperatur ($t + 273$) und α, β und γ Coefficienten sind, die von der Natur des Metalles abhängen. Beim Platin, das für pyrometrische Zwecke allein in Frage kommen kann, ändern sich diese Coefficienten sehr bedeutend durch ganz geringfügige Verunreinigungen des Metalles; die Leitungsfähigkeit verschiedener Platinsorten wurde bei 22,8° von 8,85 bis 4,7 schwankend gefunden (Leitungsvermögen des Quecksilbers = 1 gesetzt); die Zunahme des Leitungswiderstandes von 20 bis 100° schwankte von 22,4 bis 33,5 Proc. Das größte Leitungsvermögen zeigt das auf ältere Art durch Zusammenschweißen von Platinschwamm erzeugte Metall, jedenfalls weil es am reinsten ist; solches Platin verwendet Siemens ausschließlich zur Herstellung seiner Pyrometer.

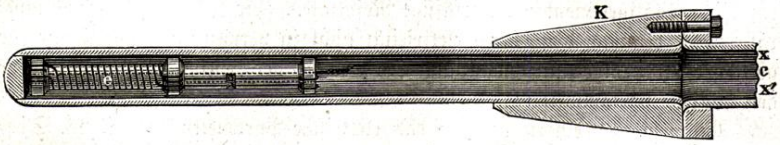
Bei diesem Widerstandspyrometer ist nun ein Platindraht (dessen Constanten für die obige Formel $\alpha = 0{,}039369$, $\beta = 0{,}00216407$ und $\gamma = -0{,}24127$) von 0,4 mm Dicke und 10 Siemens-Einheiten Widerstand in eine feine, schraubenförmig um einen Cylinder e (Fig. 61) aus hart gebranntem Pfeifenthon laufende Rinne eingelegt, die Enden sind an mäßig lange, dickere Platindrähte angeschmolzen, und an diese wieder sind kupferne Leitungsdrähte angelöthet; überdies ist Vorsorge getroffen, kleine Theile des dünnen Drahtes mittels einer verschiebbaren Klemme aus der Leitung aus oder in dieselbe einschalten zu können, damit

---

[1]) Phil. Mag. II, **19**, 391. — [2]) Dingl. 1865, **177**, *85; 1866, **179**, *436. — [3]) Mém. de l'Acad. **21**, 246. — [4]) Dingl. 1869, **193**, 516; 1877, **225**, 463; Electrical resistance thermometer (London *1875). — [5]) Vergl. Reißig, Dingl. 1864, **171**, 351; Benoit, Dingl. 1875, **215**, 471.

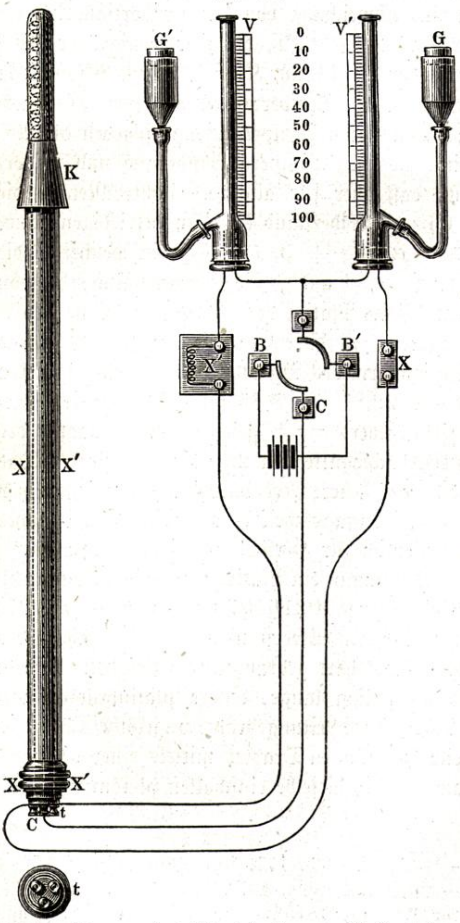
der Widerstand genau auf die verlangte Größe von 10 Einheiten gebracht werden kann. Das eine Ende des dünnen Drahtes ist mit einem dickeren Leitungsdrahte, das andere Ende ist mit zwei solchen Drähten verbunden; jeder dieser drei Drähte

Fig. 61.



ist eingeschoben in enge Thonröhren, die zur Isolation dienen, und der Thoncylinder mit dem feinen Drahte sammt den angesetzten drei stärkeren Leitungen

Fig. 62.



ist eingelegt in ein starkes, schmiedeisernes Rohr, welches an dem unteren Ende zugeschweißt ist, während das andere Ende auf einer in Messing gefaßten, isolirenden Thonplatte *t* (Fig. 62) drei Klemmschrauben trägt, welche mit den Enden der dickeren Leitungsdrähte verbunden sind. Der Thoncylinder ist durch ein umgewickeltes Platinblech geschützt und dieses ist noch durch eine Zwischenlage von Asbest von dem umhüllenden Eisenrohre getrennt. An einzelnen Exemplaren, welche vorzugsweise bestimmt sind, andauernd den höchsten Hitzegraden ausgesetzt zu werden, hat Siemens den ganzen, dem lebhaften Glühen ausgesetzten Theil des Eisenrohres durch ein Platinrohr ersetzt, da es sich gezeigt hat, daß bei sehr anhaltendem Glühen der Widerstand des Platindrahtes im Eisenrohre eine dauernde Vergrößerung erfährt, was nicht der Fall ist, wenn die Umhüllung des Drahtes aus Platin besteht; die im Innern des schmiedeisernen Rohres in starker Glühhitze sich erzeugende

reducirende Atmosphäre bewirkt eine Verunreinigung des Platindrahtes durch Spuren aus dem Thon des Cylinders herrührenden Siliciums, und diese Verunreinigung vermindert die Leitungsfähigkeit des Platindrahtes. Der Thoncylinder ist so wenig wie irgend ein anderer Körper ein absoluter Nichtleiter, und seine Isolationsfähigkeit nimmt noch ab, wenn er in der Hitze einigermaßen erweicht. Siemens hat deshalb den Widerstand desselben untersucht und gefunden, daß derselbe in der Kälte 1 000 000 Einheiten, in der stärksten im Ofen erreichbaren Glühhitze noch 500 Einheiten beträgt und beim Wiedererkalten des Cylinders zu seiner ursprünglichen Größe zurückgeht. Gegen den Widerstand des Platindrahtes (10 Einheiten bei 0^0, 39,18 Einheiten bei 1000^0) ist also der des Thoncylinders so groß, daß man diesen unbedenklich als Isolator ansehen kann; es macht sich kaum bei den allerhöchsten Temperaturen ein geringer Einfluß des Thoncylinders geltend, derart, daß der Widerstand des Drahtes etwas zu klein und dadurch die beobachtete Temperatur etwas zu niedrig erscheint.

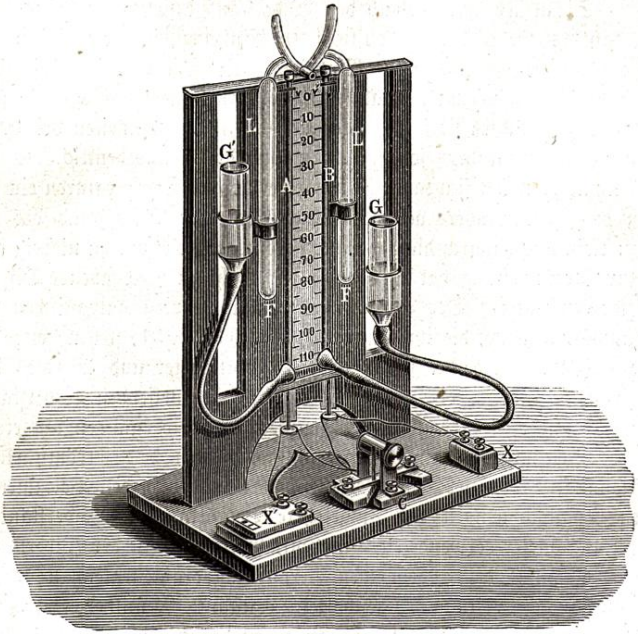
Zur Strommessung hat Siemens das leicht zu handhabende Differentialvoltameter construirt. Der Strom einer mäßig starken galvanischen Batterie (6 Leclanché-Elemente, die im Kasten *m*, Fig. 64, S. 51, stehen) wird in zwei Zweige getheilt, von denen jeder durch ein Voltameter und überdies der eine durch einen bekannten, der andere durch den zu messenden Widerstand geht. Da die Stromstärken in den beiden Zweigen den Widerständen umgekehrt und die in den Voltametern entwickelten Knallgasmengen den Stromstärken direct proportional sind, so giebt das Verhältniß der in den beiden Voltametern entwickelten Knallgasmengen das umgekehrte Verhältniß der Widerstände. Bei dem zum Pyrometer verwendeten Differentialvoltameter ist der Widerstand jedes Voltameters sammt den zugehörigen Verbindungsdrähten gleich 3, der in den einen Zweig der Leitung eingeschaltete constante Neusilberwiderstand gleich 17 Siemens-Einheiten. Bezeichnet man die in diesem Zweige entwickelte Knallgasmenge mit V, die in dem anderen Zweige entwickelte mit V' und den in diesem zweiten Zweig eingeschalteten, unbekannten Widerstand mit R, so ist

$$(17 + 3) : (R + 3) = V^1 : V \text{ und somit } R = 20\,\frac{V}{V'} - 3.$$

Eine Ansicht des Differentialvoltameters giebt Fig. 63 (a. f. S.), eine schematische Darstellung der Anordnung der Leitungen Fig. 62. Auf einem Holzgestell F sind zwei enge, genau gleich weite Glasröhren A und B angebracht, deren jede unten eine kleine Erweiterung trägt. Die erweiterten Theile enthalten je zwei Platinelektroden und stehen durch seitlich angesetzte Gummischläuche in Verbindung mit den Glasgefäßen G und G', welche in kleinen Holzschlitten sitzen und sich mit mäßiger Reibung an dem Gestell auf- und abschieben lassen. Sowohl die beiden Glasbehälter, als auch die Röhren A und B sind an und für sich offen; letztere werden aber für gewöhnlich verschlossen durch kleine Gummipolster, welche an den horizontalen Armen zweier Winkelhebel mit gemeinschaftlicher Drehungsachse sitzen. Die Gewichte L und L' ziehen die Winkelhebel für gewöhnlich abwärts und drücken dadurch die Gummipolster fest. Soll der Verschluß der Glasröhren gelüftet werden, so drückt man die aufwärts gerichteten Arme der Winkelhebel gegen einander, wodurch die Gummipolster gehoben werden.

Hinter den Glasröhren *A* und *B* liegen Scalen, deren Nullpunkte sich nahe unter dem oberen Ende der Glasröhren befinden. Die linke Scala trägt die Bezeichnung *V*, die rechte *V'*. Das linke Voltameter ist mit dem Widerstande von 17 Einheiten, der in einem Holzgehäuse *X'* auf dem Fußbrette steht, das

Fig. 63.

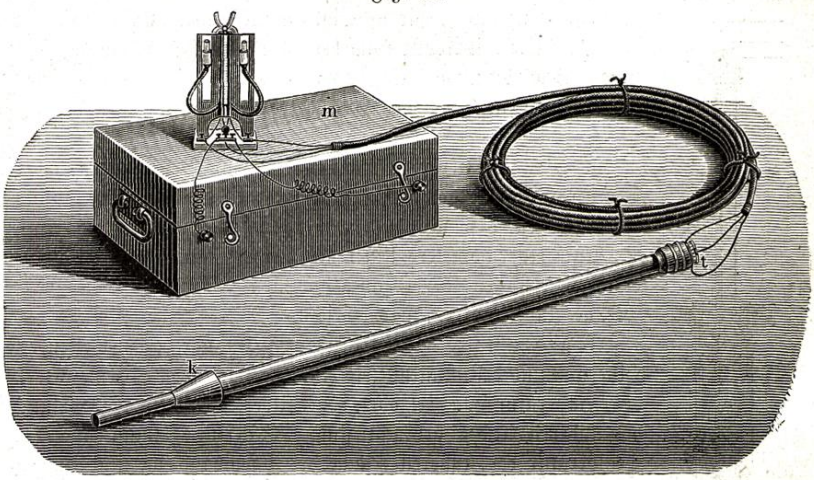


rechte mit der Klemmschraube *X* und überdies sind beide mit dem vorn in der Mitte des Fußbrettes befindlichen Commutator verbunden, und zwar mit dessen hinterer Klemme. Die vordere Klemme desselben ist mit *C* bezeichnet; an die linke und rechte Klemme *B* und *B'* werden die von der Batterie kommenden Zuleitungsdrähte angesetzt. Die drei Klemmschrauben an dem den Platinwiderstand enthaltenden Eisenrohr sind ebenfalls mit *X*, *X'* und *C* bezeichnet; die von *X'* und *C* kommenden Drähte sind beide mit dem einen Ende des dünnen Platindrahtes, der von *X* kommende ist mit dem anderen Ende desselben verbunden. Die zur Verbindung der gleich bezeichneten Theile am Voltameter und am Eisenrohr dienenden drei Kupferdrähte sind in einem kleinen Kabel von etwa 23 m Länge enthalten; man kann also das Voltameter ziemlich entfernt von dem Punkte aufstellen, dessen Temperatur gemessen werden soll.

Beim Gebrauch des Instrumentes werden die Theile in der durch Fig. 62 und 64 angedeuteten Weise verbunden, die Glasbehälter *G* und *G'* mit verdünnter Schwefelsäure (1 Vol. Säure auf 9 Vol. Wasser) gefüllt und so hoch gestellt, daß sich die Flüssigkeit in den Glasröhren *A* und *B* auf Null einstellt, wenn man den Röhrenverschluß aufhebt. Der Commutator bleibt zunächst in solcher Stellung, daß der Strom unterbrochen ist. Hierauf setzt man das Eisen-

rohr, welches den Platinwiderstand enthält, der zu messenden Temperatur aus, schließt den Strom und wechselt dessen Richtung mittels des Commutators etwa alle 10 Secunden, um ungleiche Polarisation zu vermeiden. Sobald sich jede der beiden Glasröhren A und B bis wenigstens zur Hälfte mit dem entwickelten Knallgase gefüllt hat, unterbricht man den Strom, schiebt die Behälter G und G' soweit herunter, daß in jedem die Flüssigkeit in gleicher Höhe mit der in der

Fig. 64.



zugehörigen Röhre A oder B steht und liest die entwickelten Knallgasmengen ab. Da es nur auf das Verhältniß dieser Volumen ankommt und dieselben unter gleichem Druck, bei gleicher Temperatur und gleichem Feuchtigkeitsgehalte gemessen werden, so ist eine Reduction derselben auf den Normalzustand gar nicht erforderlich. Um überdies jede Rechnung zu ersparen, wird dem Instrumente eine Tabelle beigegeben, welche für jede zwei Volumen V und V' unmittelbar die zugehörige Temperatur angiebt.

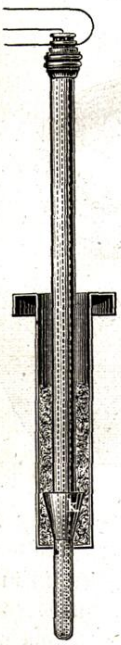
Nach den Versuchen von Chwolson[1]) verringert sich beim Ausglühen eines durch Zug oder Ablöschen gehärteten Platinadrahtes sein Widerstand bis zu etwa 5 Proc. Bei anhaltendem starken Glühen vergrößert er sich wieder, desgleichen beim Ablöschen. Dagegen vergrößerte sich nach heftigem, andauerndem Glühen der Widerstand eines weichen Platindrahtes um höchstens 0,14 Proc. Darauf folgendes Ablöschen gab keine Spur einer weiteren Veränderung. Ein zweiter weicher Platindraht hatte erst nach 25 Minuten andauernden Glühens eine Vergrößerung des Widerstandes um etwa 0,4 Proc. Diese Versuche zeigen, wie wenig sich der Widerstand des Platins selbst nach heftigem und lange anhaltendem Glühen ändert, und daß die Anwendung weichen Platindrahtes im Siemens'schen Pyrometer wohl als gerechtfertigt zu betrachten ist. Ich selbst benutze seit vier Jahren ein von Siemens bezogenes Pyrometer und kann nur

[1]) Carl's Repert. **14**, 23.

bestätigen, daß es bei sorgfältiger Behandlung durchaus übereinstimmende, gute Resultate giebt[1]) (vergl. S. 12). Seiner allgemeinen Einführung steht nur entgegen, daß es etwas schwierig zu handhaben und sehr theuer ist; das von mir bezogene kostete ab London 20 Pfd. St., hier also fast 500 Mark.

Zu bemerken ist noch, daß ich durchweg unregelmäßige Angaben erhielt, sobald der Conus *k* rothglühend wurde. Um dies zu verhüten, habe ich z. B. bei Temperaturbestimmungen in Ringöfen dasselbe mit einer Blechhülse umgeben, wie sie Fig. 65 im Durchschnitt zeigt, und den Conus *k* mit Asbest umgeben; diese Blechhülse wurde dann in die Schüröffnungen eingesetzt, so daß nur der untere Theil des Instrumentes von der Hitze getroffen wurde.

Fig. 65.



6. Vertheilung der Wärme. Zur Bestimmung hoher Temperaturen hat man mehrfach versucht, die Wärme durch Leitung oder Strahlung so weit zu vermindern, daß sie mittels eines Quecksilberthermometers bestimmt werden kann, oder aber die von dem erhitzten Körper aufgenommene Wärme auf eine große Menge eines anderen zu vertheilen.

Jourdes[2]) setzt das Ende einer Eisenstange der zu messenden Hitze aus und bestimmt mittels eines gewöhnlichen Thermometers die Temperatur von Oel oder Quecksilber, welche in die Höhlung des anderen Endes gebracht sind. Schinz[3]) suchte aus der Temperatur der äußeren Fläche der Ofenwand die im Innern des Ofens herrschende Hitze zu berechnen, überzeugte sich aber später, daß wegen der ungleichen Wärmeleitungsfähigkeit des Mauerwerkes auf diese Weise keine brauchbaren Resultate zu erlangen sind. Main[4]) umgiebt ein Quecksilberthermometer mit Asbest und berechnet aus den so erhaltenen Angaben die Temperatur heißer Gebläseluft, nachdem er für jeden Apparat die Wärmeleitungsfähigkeit der Asbestumhüllung festgestellt hat. Die damit erhaltenen Angaben können höchstens annähernd richtig sein.

Sweeny[5]) berechnete bereits im Jahre 1827 die Temperatur eines Ofens aus der strahlenden Wärme desselben, welche er mittels eines Hohlspiegels auf die Kugel eines Quecksilberthermometers concentrirt.

Bekanntlich wird sonst die strahlende Wärme mittels des Differentialthermometers von Leslie (Fig. 66) bestimmt, bestehend aus zwei durch das rechtwinklig gebogene, theilweise mit Schwefelsäure als Index gefüllte Rohr verbundene Glaskugeln *L* und *L'*[6]), meist aber durch Melloni's Thermomultiplicator. Er besteht aus einer thermoelektrischen Säule von Wismuth und Antimon, die an beiden Enden mit Ruß geschwärzt und mit ihrer Fassung *p*

---

[1]) Dingl. 1876, **221**, 470; 1878, **225**, 432. — [2]) Dingl. 1860, **187**, 151. — [3]) Dingl. 1862, **163**, *321; 1865, **177**, *85. — [4]) Dingl. 1876, **221**, *117. — [5]) Pogg. Ann. **14**, 531. — [6]) Vergl. Dingl. 1821, **6**, *236; Müller, Physik, Bd. 2, S. *813.

(Fig. 67), welche entweder viereckig oder rund ist, auf einem Stativ befestigt (Fig. 68) und durch die aufgesteckten Hülsen *a* und *b* gegen schädliche Einflüsse geschützt sind. Die der Wärmequelle, hier einem Leslie'schen Würfel *H*, zugewendete Hülse ist offen, die andere ist geschlossen. Die von den Klemmschrauben *x* und *y* ausgehenden Drähte *g* und *h* sind durch die Schrauben *m* und *n* mit dem Multiplicator *M* verbunden. Jeder Temperaturunterschied der beiden geschwärzten Seiten der Säule giebt einen entsprechenden Ausschlag der Nadel. — (Inwieweit es gelingen wird, das Mikrophon oder Mikrotasimeter [1]) zu Wärmemessungen zu benutzen, ist noch fraglich.)

Fig. 66.

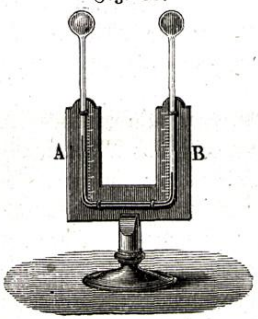
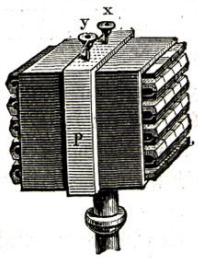
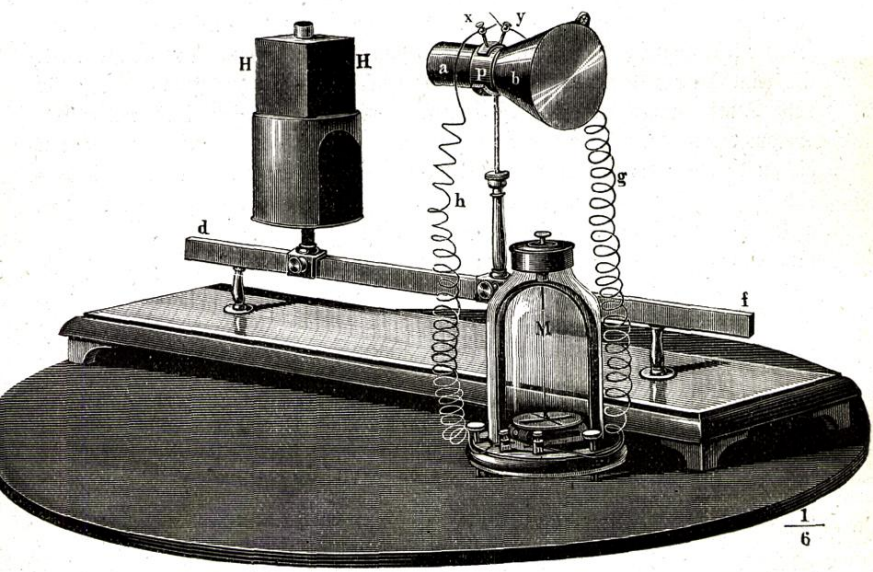


Fig. 67.



F. Rosetti[2]) hat versucht, auf diese Weise die Temperatur der Sonne zu messen. Es wurde dazu zunächst die Strahlung eines mit Quecksilber gefüllten

Fig. 68.



Leslie'schen Würfels, der bis auf 300° erhitzt werden konnte, mittels einer Thermosäule und eines Wiedemann'schen Galvanometers bestimmt; es ergab sich für den thermischen Effect der Strahlung *Y*, wenn *T* die absolute Tempe-

[1]) Dingl. 1878, 229, 151, *266. — [2]) Beibl. z. Annal. Phys. 1878, 695.

ratur des strahlenden, δ die der Umgebung der Thermosäule und a und b Constante sind, sehr angenähert:

$$Y = a\,T^2\,(T - b) - b\,(T - \delta).$$

Diese Formel wurde noch dadurch geprüft, daß eine Kupferkugel in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners auf etwa 700 bis 800° erhitzt wurde, und ihre Temperatur sowohl aus der Formel berechnet, als auch auf calorimetrischem Wege bestimmt wurde.

Ferner wurde das Strahlungsvermögen verschiedener Körper (Kupfer 0,943, Kupfer mit Ruß bedeckt 1, Eisen 0,882, Platin 0,35 und Magnesiumoxychlorid 0,58) bestimmt, indem Scheibchen dieser Substanzen an einer bestimmten Stelle der Bunsen'schen Brenner erhitzt wurden. Rosetti fand nun unter Zugrundelegung obiger Werthe und der Berücksichtigung der Absorption der Erdatmosphäre aus Versuchen über die Erwärmung einer Thermosäule durch die Strahlung der Sonne, die effective Temperatur[1]) derselben zu 9965,4° oder 20380,7°, je nachdem man auf die Absorption innerhalb der um die Photosphäre liegenden Sonnenatmosphäre Rücksicht nimmt oder nicht.

So sehr wichtig es nun auch wäre, die Temperatur unserer Schmelzöfen für Glas, die verschiedenen Metalle u. dergl., die man bis jetzt auf keine andere Weise genau bestimmen kann, durch Messung der strahlenden Wärme festzustellen, so wenig Aussicht ist doch, vorläufig wenigstens, auf Erfüllung dieses Wunsches. Nicht allein ist das Wärmeausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper sehr ungleich, die Ausstrahlung ist auch nicht der Temperatur proportional. So zeigt Soret[2]) neuerdings, daß das Gesetz von Dulong und Petit für hohe Temperaturen keine Gültigkeit hat. Läßt man nämlich einen elektrischen Strom durch einen leitenden Draht gehen, so steigt die Temperatur desselben bis zu dem Grade, daß die Wärme, welche er durch Strahlung, durch die Berührung mit der Luft und durch die Leitung an den Befestigungspunkt verliert, gleich ist der Wärme, welche die Elektricität in seinem Innern entwickelt. Man kann nun einerseits diese Wärmemenge berechnen, andererseits, indem man die Temperatur schätzt, welche der Draht annimmt, die Wärmemenge bestimmen, die er nach dem Dulong und Petit'schen Gesetze ausstrahlen muß. Ein 0,32 mm dicker und 385 mm langer Platindraht, dessen Oberfläche somit

[1]) Effective Temperatur der Sonne ist nach Rosetti diejenige, welche ein glühender Körper von gleichen Dimensionen in gleicher Entfernung haben müßte, um eine gleiche thermische Wirkung zu erzeugen, falls er ein Emissionsvermögen gleich Eins besäße. — Sonstige neuere Angaben über die Temperatur der Sonne sind:

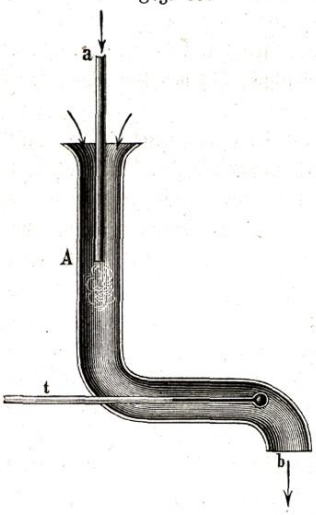
Secchi (1873)	5 801 846°
Derselbe (1874)	133 780 bis 169 980°
Zöllner	61 350°
Berthelot (1878)	über 2 500°
Deville	2 500 bis 2 800°
Violle (1876)	2 500°

Wohl der beste Beweis, wie wenig wir bis jetzt im Stande sind, hohe Temperaturen mittels des Spectroskopes, des Thermomultiplicators und ähnlicher Apparate auch nur annähernd zu bestimmen.

[2]) Dingl. 1879, **233**, 405.

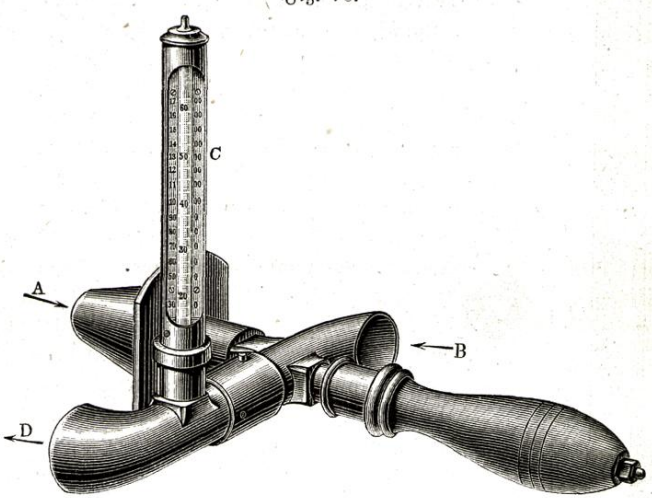
385 qmm betrug, wurde nun durch den Strom einer dynamo-elektriſchen Maſchine von 42,3 W.-E. Wärmeentwickelung in der Minute zum Schmelzen gebracht, während ſchon die Oberfläche von 3 qcm bei 1700° nach der Dulong u. Petit'ſchen Formel in der Minute 146 W.-E. ausſtrahlen ſollte, was nicht möglich iſt, da höchſtens 42 W.-E. zugeführt wurden. Ferner zeigt Buff[1]), daß feuchte Luft weniger diatherman iſt als trockne Luft, und Crown[2]), daß Feuchtigkeit, Rauch und ſonſtige Verunreinigungen der Luft die Abſorption der Wärmeſtrahlen verſtärkt — alles kaum zu vermeidende Fehlerquellen.

Fig. 69.



Die Temperatur des heißen Gebläſewindes wird häufig dadurch beſtimmt, daß derſelbe mit einer beſtimmten Menge kalter Luft gemiſcht wird, ſo daß die Temperatur des Gemiſches nun mit einem Queckſilberthermometer beſtimmt werden kann. Bradbury[3]) ſucht dieſes dadurch zu erreichen, daß er heiße und kalte Luft unter demſelben Druck in ein Gehäuſe leitet, in welchem das

Fig. 70.

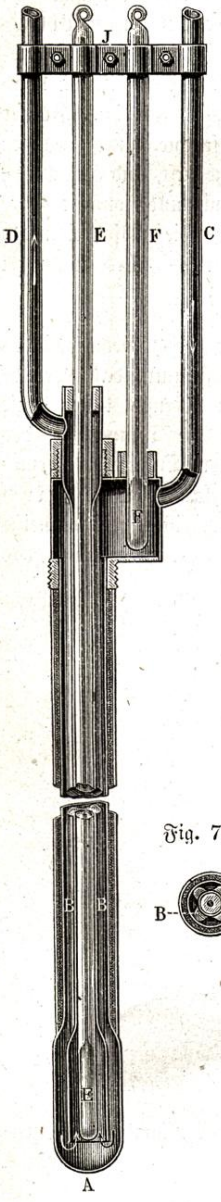


Queckſilberthermometer eintaucht. Wenn man nach ſeiner Angabe den Querſchnitt des Kaltwindrohres 9 mal ſo groß nimmt als den des Heißwindrohres,

[1]) Pogg. Ann. 158, 177; Dingl. 1876, 222, 189. — [2]) Ann. chim. phys. 11, 433; Dingl. 1878, 227, 507. — Dingl. 1877, 223, *620.

so erhält man die Temperatur des heißen Gebläsewindes, wenn man von dem 10fachen der Mischtemperatur das 9fache der Temperatur des kalten Gebläsewindes abzieht, eine Angabe, die wegen der verschiedenen Temperatur und der Reibungswiderstände doch wohl nicht ganz richtig ist.

Fig. 71.



Durch Einfachheit zeichnet sich der auf dem Eisenwerk Denain verwendete Apparat aus[1]). Durch das Rohr *a* (Fig. 69, a. v. S.) wird heiße Luft in das weitere Rohr *A* geblasen, welche wie bei den bekannten Strahlgebläsen seitlich kalte Luft ansaugt; die Temperatur des bei *b* entweichenden Gemisches wird durch das Thermometer *t* gemessen. In ähnlicher Weise tritt bei dem Pyrometer von Hobson[2]) der heiße Wind durch das Rohr *A* (Fig. 70, a. v. S.) ein, welcher mittels einer entsprechenden Vorrichtung durch das Rohr *B* kalte Luft ansaugt. Die Temperatur des aus dem Rohre *D* austretenden Gemisches wird durch das Thermometer *C* bestimmt. Für beide Apparate ist durch Vorversuche festzustellen, in welchem Verhältniß die Temperatur des heißen Windes und die Angabe des Thermometers *C* stehen.

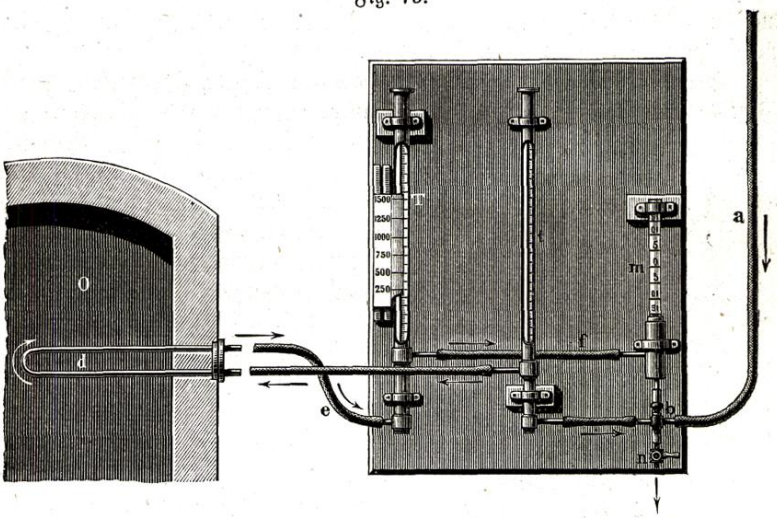
Das Pyrometer von Möller (D. R. P. Nr. 5882) besteht im Wesentlichen aus einem kleinen Kessel *A* (Fig. 71) und dem Halse *B*, welcher diesen mit dem Zuleitungsrohre *C* und dem Ableitungsrohre *D* verbindet. Diese Theile sind aus dünnem Kupferblech hergestellt; der Kessel *A* ist außen vergoldet. Der Hals besteht aus zwei concentrischen Röhren, von denen die äußere cylindrisch, die innere, wie der Querschnitt Fig. 72 zeigt, cannelirt ist, unten aber cylindrisch ausläuft und hier die Kugel eines Thermometers *E* umschließt, dessen Glasrohr durch das cannelirte Kupferrohr nach oben geht. Beim Gebrauche wird der untere Theil des Apparates der zu messenden Temperatur ausgesetzt, durch das Rohr *C* aber Wasser eingeführt, dessen Temperatur an dem Thermometer *F* abgelesen wird. Das Wasser fließt zwischen dem cannelirten inneren und äußeren Rohr des Halses nach unten, wird an den Wandungen des Kessels erwärmt, steigt im inneren Rohre, welches das Thermometer enthält, wieder nach oben und fließt durch das Rohr *D* ab. Die Temperatur wird aus der durch die beiden Thermometer *E* und *F* bestimmten Wärmezunahme des durchfließenden Wassers auf Grund vorheriger Versuche berechnet.

Fig. 72.

[1]) Kerpely: Eisen und Stahl (Leipzig 1879), S. 21. — [2]) Dingl. 1876, 222, *46.

Dasselbe Princip wendet Graf Saintignon (D. R. P. Nr. 5731) an. Durch das Rohr *a* mit Hahn *b* (Fig. 73) fließt ein gleichmäßiger Strom Wasser zu, dessen Temperatur durch das Thermometer *t* bestimmt wird. Derselbe geht dann durch das im Ofen *O* liegende Kupfer- oder Porzellanrohr *d*, von hier

Fig. 73.



durch das Rohr *e* zum Thermometer *T* und durch das Rohr *f* nach dem offenen Manometer *m*, um schließlich durch den Hahn *n* wieder abzufließen. Die Temperatur des Ofens wird hier ebenfalls aus der Wärmeaufnahme des Wassers berechnet, wie sie von den beiden Thermometern angezeigt wird.

Da es wohl kaum ein Wasser giebt, welches nicht wenigstens Spuren eines Niederschlages absetzt, der aber, wie auch jede noch so geringe Oxydschicht oder Rußablagerung, die Wärmeübertragung beeinflußt, da es ferner sehr zweifelhaft ist, ob der Wärmeübergang der äußeren Temperatur proportional ist, so wird man derartige Temperaturbestimmungen nur mit Vorsicht aufnehmen dürfen.

Besonders häufig sind hohe Temperaturen dadurch bestimmt worden, daß man die von einem festen Körper aufgenommene Wärme, welcher auf die zu messende Temperatur erhitzt war, durch Eintauchen auf eine größere Menge Flüssigkeit vertheilte. Coulomb[1]) bestimmte so die zum Härten von Stahl angewendete Hitze, Clement-Desormes[2]) mittels einer in Wasser getauchten Eisenplatte die Temperatur der aus dem Schornstein entweichenden Gase. Auch Gay-Lussac[3]) empfahl, Metallringe der zu messenden Hitze auszusetzen und aus der Temperaturzunahme des durch Einlegen der Ringe erwärmten Wassers dieselbe zu berechnen. Pouillet[4]) bestimmte gleichzeitig hohe Temperaturen mittels einer 178 *g* schweren Platinkugel und Wasser. Aehnliche Bestimmungen führte Arago aus[5]).

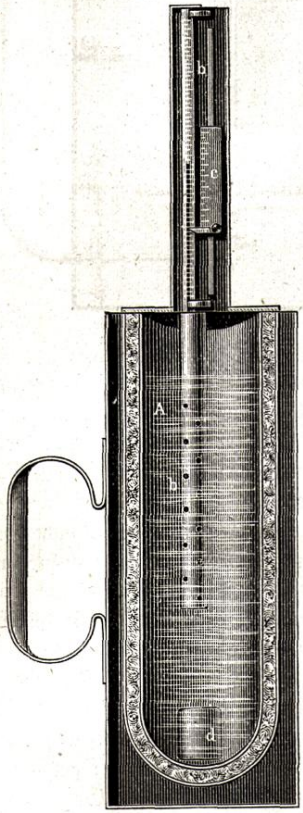
[1]) Pogg. Ann. **14**, 530. — [2]) Dingl. 1829, **33**, 145. — [3]) Dingl. 1887, **63**, 285. — [4]) Dingl. 1837, **63**, 219. — [5]) Ann. chim. phys. **64**, 334.

Miller[1]) kühlt den erhitzten Platincylinder in Queckſilber, ein Verfahren, welches L. Schwartz bereits im Jahre 1826 anwendete und von dem Schubarth[2]) zeigt, daß es ungenau iſt.

Wilſon[3]) verwendet wieder Waſſer mit Platin oder kleinen Thonſtücken. Auch Schinz[4]) beſpricht die Beſtimmung hoher Temperaturen mittels Platinkugel und Waſſer. Ein dieſem ähnliches Pyrometer hat ſich Byſtrom[5]) im Jahre 1862 in England patentiren laſſen.

Siemens nimmt wie Wilſon[6]) als Calorimeter ein Kupfergefäß *A* (Fig. 74) mit einer Pinte (568 ccm) Waſſer, welches zur Verminderung der Wärmeausſtrahlung mit zwei Gehäuſen umgeben iſt, wovon das eine Luft enthält, das andere aber mit Filz gefüllt iſt. Das durch eine durchlöcherte Metallhülſe geſchützte Queckſilberthermometer *b* hat neben der gewöhnlichen noch eine verſchiebbare Scala *c*, die mit 50 Graden auf je einen Grad des Thermometers graduirt iſt. Man ſchiebt nun den Nullpunkt der Pyrometerſcala *c* an den Temperaturgrad des Waſſers, welchen das Queckſilberthermometer angiebt, ſetzt einen Kupfercylinder *d*, deſſen Wärmecapacität genau $^1/_{50}$ von dem des mit Waſſer gefüllten Calorimeters beträgt, der zu meſſenden Temperatur aus und läßt ihn dann ins Waſſer fallen. Man erhält die geſuchte Temperatur, wenn man zu der an der Scala *c* abgeleſenen die Temperatur des Waſſers zuzählt.

Fig. 74.



Salleron[7]) füllt in ein ähnliches Calorimeter 500 ccm Waſſer, wirft einen auf die meſſende Wärme erhitzten 100 g ſchweren Kupfercylinder hinein und rührt um. Die Temperatur berechnet er mittels der Formel $T = 50\ (t' - t) + t'$. Hat z. B. vor dem Einſenken des Kupfercylinders das Waſſer im Calorimeter die Temperatur $t = 15^0$, nach Beendigung des Verſuches $t' = 25^0$, ſo iſt die geſuchte Temperatur $T = 50\ (25 - 15) + 25 = 525^0$. Da hier und bei dem Pyrometer von Siemens keine Rückſicht genommen iſt auf die bei höherer

[1]) Dingl. 1848, **108**, *115. — [2]) Dingl. 1848, **110**, 32. — [3]) Dingl. 1852, **125**, *432. — [4]) Wärmemeßkunſt, 1858, S. 53. — [5]) Mechanics Journ. II, **8**, 15. — [6]) Dingl. 1860, **158**, *108. — [7]) Scient. Ann. 1875, *50.

Temperatur voraussichtlich zunehmende specifische Wärme des Kupfers, so sind die mit diesen Pyrometern erhaltenen Resultate wohl nicht genau.

Weinhold[1]) fand, daß sich beim Platin eine Zunahme der mittleren specifischen Wärme bis gegen 250° zeigt; dann nimmt dieselbe ab, später wieder zu (vergl. S. 64). Die specifische Wärme des Schmiedeisens wächst dagegen mit der Temperatur so regelmäßig, daß sie die Anwendung einer Interpolationsformel zuläßt. Die wahre specifische Wärme des Schmiedeisens bei der Temperatur t ist hiernach: $c_t = c_0 + \alpha t + \beta t^2$, die mittlere specifische Wärme zwischen t_1 und t_2:

$$\frac{W}{t_2 - t_1} = c_0 + \frac{\alpha}{2}(t_2 + t_1) + \frac{\beta}{3}\frac{t_2^2 + t_1^2 + (t_2 + t_1)^2}{2}.$$

Die Constanten sind $c_0 = 0{,}105907$, $\alpha = 0{,}00006538$ u. $\beta = 0{,}00000066477$.

Schneider[2]) bedient sich dieser Formel zur Bestimmung hoher Temperaturen mittels einer schmiedeisernen Kugel. Er hat zu diesem Zweck eine Anzahl von Tabellen berechnet, welche S. 62 verkürzt wiedergegeben sind. Dieselben enthalten die von 1 kg Schmiedeisen abzugebende Wärmemenge, wenn dasselbe von der Temperatur T auf t_1 abgekühlt wird, also den Werth:

$$c_m (T - t_1) = \frac{(G_s + W)(t_1 - t_0)}{P}.$$

Soll z. B. die Temperatur T bestimmt werden, und hat man eine schmiedeiserne Kugel vom Gewichte $P = 14{,}352$ g auf dieselbe Temperatur erwärmt, und findet man, nachdem die Kugel im Calorimeter, dessen Wasserwerth 23,6 g ist und welches 1020,4 g Wasser von $t_0 = 16{,}4°$ enthält, eine Endtemperatur $t_1 = 18{,}8°$, so ergiebt sich die Temperatur T aus der Gleichung:

$$T - t_1 = \frac{(G_s + W)(t_1 - t_0)}{c_m P} = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352\, c_m},$$

in welcher c_m die mittlere specifische Wärme des Schmiedeisens innerhalb der Temperaturen T und t_1, also eine Function der noch unbekannten Temperatur T ist. Statt für c_m den oben angegebenen Werth in die Gleichung einzusetzen, deren Lösung sehr zeitraubend wäre, findet man leicht:

$$c_m (T - t_1) = \frac{1044 \times 2{,}4}{14{,}352} = 174{,}58 \text{ W.-E.}$$

Für t_1 ist die Differenz für 0,1° zwischen 10 bis 20° = 0,0107, 20 bis 30° = 0,0108, 30 bis 40° = 0,0108, somit $c_m (T - 19) = 174{,}601$ W.-E. In der Horizontalreihe für $t_1 = 19$ findet man für den zunächst kleineren Werth 170,87 die Temperatur 1050°. Mit Hülfe der unten angegebenen Differenzwerthe für 1° von T ergiebt sich für 174,60 — 170,87 der Zuschlag 3,73 : 0,253 = 15, also eine Gesammttemperatur von 1065°.

---

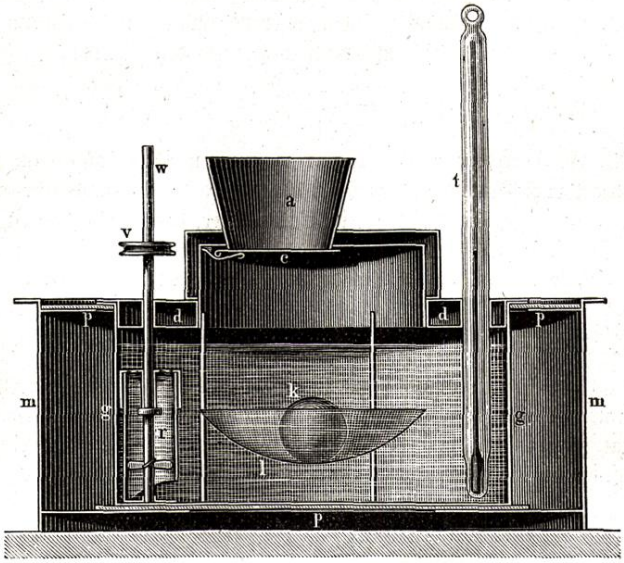
[1]) Programm der Gewerbsch. Chemnitz, 1873, 32. — [2]) Zeitschr. Ver. Deutsch. Ing. 1875, *16.

Die Differenzwerthe für $T = 1^0$ betragen für:

300 bis 350°	= 0,1342	700 bis 750°	= 0,1883
350 „ 400	= 0,1398	750 „ 800	= 0,1965
400 „ 450	= 0,1457	800 „ 850	= 0,2051
450 „ 500	= 0,1520	850 „ 900	= 0,2140
500 „ 550	= 0,1586	900 „ 950	= 0,2233
550 „ 600	= 0,1655	950 „ 1000	= 0,2329
600 „ 650	= 0,1728	1000 „ 1050	= 0,2428
650 „ 700	= 0,1803	1050 „ 1100	= 0,2530

Schneider hat das von Weinhold angegebene Calorimeter dahin abgeändert, daß das Calorimetergefäß g (Fig. 75) in ein größeres Gefäß m von Weißblech eingesetzt und gegen dasselbe durch starke Pappendeckel p isolirt ist, so daß zwischen den Wandungen der beiden Gefäße eine Luftschicht bleibt. Das

Fig. 75.

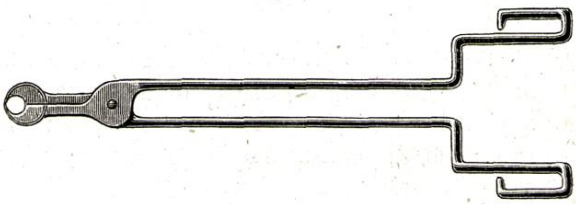


Gefäß m wird dann noch in einen Holzeimer eingesetzt. Der Deckel d trägt das Thermometer t, die Welle w des durch die Scheibe v in Umdrehung versetzten Rührers r und einen Aufsatz mit dem Trichter a. Die doppelt durchbohrte schmiedeiserne Kugel k wird mittels der Zange Fig. 76 der zu messenden Temperatur ausgesetzt, dann in den Trichter a geworfen, worauf sich der Deckel c öffnet, die Kugel in das Sieb l fallen läßt und dann sofort wieder schließt.

Die von Weinhold und von Schneider angegebenen Calorimeter sind etwas schwerfällig, auch nicht hinreichend gegen Wärmeverluste geschützt; ich habe mir daher folgenden einfachen Apparat herstellen lassen, dessen Durchschnitt

Fig. 77 in $^1/_3$ natürlicher Größe zeigt. Der 50 mm weite Cylinder A aus dünnem Kupferblech hängt in der Holzbüchse B. Der Raum zwischen Holzbüchse

Fig. 76.



und Blechgefäß ist mit langfaserigem Asbest oder Glaswolle gefüllt. Der Apparat wird durch eine dünne Messingplatte geschlossen, welche eine größere Oeffnung d von 20 mm Durchmesser für den Rührer c und zum Einwerfen der Metallcylinder, sowie eine kleine Oeffnung für das Thermometer t hat. Das Normalthermometer von Geißler in Bonn, mit sehr kleinem Quecksilbergefäß

Fig. 77.

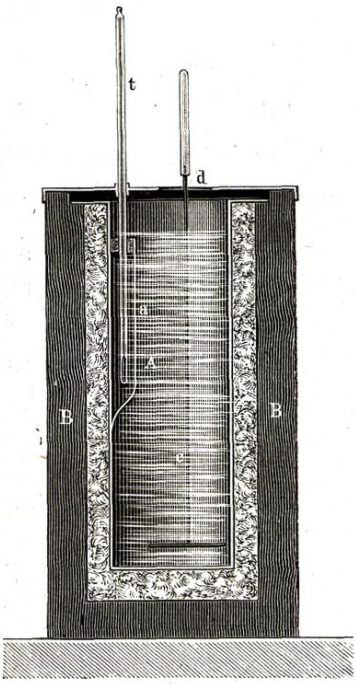
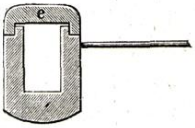


Fig. 78.



für 0 bis 50° ist in 0,1° getheilt, so daß man noch 0,01 Grade schätzen kann; es wird durch den Bügel a aus dünnem Kupferblech vor Zerbrechen durch den Rührer geschützt. Der Rührer besteht aus einer runden Kupferscheibe, welche an einen starken Kupferdraht gelöthet ist; derselbe ist oben in einen Glasstab eingeschmolzen, der als Handgriff dient. Das Kupfergefäß wiegt z. B. 35,905 g, der Rührer ohne Glasstab 6,445 g, daher Wasserwerth des Calorimeters (specifische Wärme des Kupfers 0,094) 3,98 g, mit dem Thermometer 4 g; als Kühlwasser verwendete ich 246 g, so daß der Wasserwerth des gefüllten Calorimeters 250 g betrug.

Zur Messung der Temperaturen benutze ich doppelt durchbohrte schmiedeiserne Cylinder von 13 mm Durchmesser und etwa 20 mm Länge, welche 20 g wiegen. Dieselben werden in einem bedeckten eisernen Gefäß (Fig. 78), welches an einem 0,5 bis 1 m langen eisernen Stiele mit hölzernem Handgriff befestigt ist, der zu messenden Hitze ausgesetzt, zum Calorimeter gebracht und nach Abheben

$T =$	300	350	400	450	500	550	600	650
$t_1 =$ 10	34,250	40,959	47,949	55,235	62,833	70,762	79,036	87,674
11	34,143	40,853	47,842	55,128	62,726	70,655	78,929	87,567
12	34,036	40,746	47,735	55,021	62,620	70,548	78,823	87,460
13	33,929	40,639	47,628	54,914	62,513	70,441	78,716	87,353
14	33,823	40,532	47,521	54,807	62,406	70,334	78,609	87,246
15	33,716	40,425	47,414	54,700	62,299	70,227	78,502	87,139
16	33,609	40,318	47,307	54,593	62,192	70,120	78,395	87,032
17	33,502	40,211	47,201	54,486	62,085	70,013	78,288	86,925
18	33,395	40,104	47,094	54,379	61,978	69,907	78,181	86,819
19	33,288	39,997	46,987	54,273	61,871	69,800	78,074	86,712
20	33,181	39,890	46,880	54,166	61,704	69,693	77,967	86,605
21	33,074	39,783	46,772	54,058	61,657	69,585	77,860	86,497
22	32,966	39,675	46,665	53,950	61,549	69,478	77,752	86,390
23	32,858	39,568	46,557	53,842	61,442	69,370	77,644	86,282
24	32,751	39,460	46,450	53,735	61,334	69,262	77,537	86,174
25	32,643	39,353	46,342	53,628	61,226	69,155	77,429	86,067
26	32,536	39,245	46,234	53,520	61,119	69,147	77,322	85,959
27	32,428	39,137	46,127	53,413	61,011	68,940	77,214	85,852
28	32,321	39,030	46,099	53,305	60,904	68,832	77,107	85,744
29	32,213	38,922	45,912	53,197	60,796	68,724	76,999	85,637
30	32,105	38,815	45,804	53,090	60,689	68,617	76,891	85,529
31	31,997	38,706	45,696	52,982	60,580	68,509	76,783	85,421
32	31,889	38,598	45,588	52,873	60,472	68,400	76,675	85,312
33	31,781	38,490	45,479	52,765	60,364	68,292	76,567	85,204
34	31,672	38,382	45,371	52,657	60,255	68,184	76,458	85,196
35	31,564	38,273	45,263	52,548	60,147	68,075	76,350	84,988
36	31,456	38,165	45,154	52,440	60,039	67,967	76,242	84,879
37	31,348	38,057	45,046	52,332	59,931	67,859	76,134	84,771
38	31,239	37,948	44,938	52,224	59,822	67,751	76,025	84,663
39	31,130	37,840	44,830	52,115	59,714	67,642	75,917	84,554
40	31,023	37,732	44,721	52,007	59,606	67,534	75,809	84,446
41	30,914	37,623	44,612	51,898	59,497	67,425	75,700	84,337
42	30,805	37,514	44,503	51,789	59,388	67,316	75,591	84,228
43	30,696	37,405	44,394	51,680	59,279	67,207	75,482	84,119
44	30,587	37,296	44,285	51,571	59,170	67,098	75,373	84,010
45	30,478	37,187	44,176	51,462	59,061	66,989	75,264	83,901

Chemisches Institut * Universität Innsbruck

700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
96,691	106,10	115,93	126,18	136,89	148,05	159,69	171,83	184,48
96,584	106,00	115,82	126,08	136,78	147,94	159,59	171,72	184,38
96,477	105,89	115,72	125,97	136,67	147,84	159,48	171,62	184,27
96,370	105,78	115,61	125,86	136,56	147,73	159,37	171,51	184,16
96,263	105,68	115,50	125,76	136,46	147,62	159,26	171,40	184,05
96,156	105,57	115,39	125,65	136,35	147,51	159,16	171,30	183,95
96,049	105,46	115,29	125,54	136,24	147,41	159,05	171,19	183,84
95,942	105,36	115,18	125,44	136,14	147,30	158,94	171,08	183,73
95,386	105,25	115,07	125,33	136,03	147,19	158,84	170,98	183,63
95,729	105,14	114,97	125,22	135,92	147,09	158,73	170,87	183,52
95,622	105,03	114,86	125,12	135,82	146,98	158,62	170,76	183,41
95,514	104,93	114,75	125,02	135,71	146,87	158,52	170,65	183,31
95,407	104,82	114,65	124,90	135,60	146,77	158,41	170,55	183,20
95,299	104,71	114,54	124,79	135,49	146,66	158,30	170,44	183,09
95,191	104,60	114,43	124,69	135,39	146,55	158,19	170,33	182,98
95,084	104,50	114,32	124,58	135,28	146,44	158,09	170,22	182,88
94,976	104,39	114,21	124,47	135,17	146,33	157,98	170,12	182,77
94,869	104,28	114,11	124,36	135,06	146,23	157,87	170,01	182,66
94,761	104,17	114,00	124,25	134,96	146,12	157,76	169,90	182,55
94,653	104,07	113,89	124,15	134,85	146,01	157,65	169,79	182,44
94,546	103,96	113,78	124,04	134,74	145,90	157,55	169,69	182,34
94,438	103,85	113,68	123,93	134,63	145,80	157,44	169,58	182,23
94,329	103,74	113,57	123,82	134,52	145,69	157,33	169,47	182,12
94,221	103,63	113,46	123,71	134,42	145,58	157,22	169,36	182,01
94,113	103,53	113,35	123,61	134,31	145,47	157,11	169,25	181,90
94,005	103,42	113,24	123,50	134,20	145,36	157,01	169,14	181,80
93,896	103,31	113,13	123,39	134,09	145,25	156,90	169,04	181,69
93,788	103,20	113,03	123,28	133,98	145,15	156,79	168,93	181,58
93,680	103,09	112,92	123,17	133,87	145,04	156,68	168,82	181,47
93,571	102,98	112,81	123,06	133,77	144,93	156,57	168,71	181,36
93,463	102,88	112,70	122,96	133,66	144,82	156,46	168,60	181,25
93,354	102,77	112,59	122,85	133,55	144,71	156,36	168,49	181,15
93,245	102,66	112,48	122,74	133,44	144,60	156,25	168,39	181,04
93,136	102,55	112,37	122,63	133,33	144,49	156,14	168,28	180,93
93,027	102,44	112,27	122,52	133,22	144,39	156,03	168,17	180,82
92,918	102,33	112,16	122,41	133,11	144,28	155,92	168,06	180,71

des Deckels *e* durch die Deckelöffnung *d* eingeworfen. Der Eisencylinder fällt regelmäßig auf die Platte des Rührers; durch Heben und Senken desselben wird die Wärme sehr rasch dem Wasser gleichmäßig mitgetheilt, so daß nach kaum einer Minute das Thermometer die Endtemperatur anzeigt. Correctionen wegen Verdampfung von Wasser oder Temperaturunterschiede der äußeren Luft sind nicht erforderlich, da die Verdunstung verschwindend klein, die Isolirung des Calorimeters aber so vollkommen ist, daß bei einer Lufttemperatur von 18,6° die Temperatur desselben von 25,1° innerhalb 2 Stunden auf nur 22,8° fiel. Die mit dem Apparat [1]) erzielten Resultate sind sehr befriedigend, und kann ich denselben namentlich auch für Reisen empfehlen [2]). Das Kühlwasser muß gewechselt werden, sobald dasselbe etwa 40° warm wird. Bei Bestimmung hoher Temperaturen ist es kaum zu umgehen, den eisernen Cylinder nach jedem Versuch abzuputzen und wieder zu wiegen, so daß man sich mit einer entsprechenden Anzahl derselben versehen muß. Um dieses zu vermeiden, habe ich auch Versuche mit einem 18,472 *g* schweren Platincylinder gemacht. Nach J. Violle [3]) ist die specifische Wärme des Platins zwischen 0 und 1200° $C_0{}^t = 0{,}0317 + 0{,}000006\,t$. Daraus ergeben sich folgende Werthe:

$C_0{}^{100} = 0{,}0323$	$C_0{}^{500} = 0{,}0347$	$C_0{}^{900} = 0{,}0371$
$C_0{}^{200} = 0{,}0329$	$C_0{}^{600} = 0{,}0353$	$C_0{}^{1000} = 0{,}0377$
$C_0{}^{300} = 0{,}0335$	$C_0{}^{700} = 0{,}9359$	$C_0{}^{1100} = 0{,}0383$
$C_0{}^{400} = 0{,}0341$	$C_0{}^{800} = 0{,}0365$	$C_0{}^{1200} = 0{,}0389$

Die wahre specifische Wärme des Platins $\frac{dQ}{dt}$ bei t° ist innerhalb derselben Grenzen $\gamma_t = 0{,}0317 + 0{,}000013\,t$, woraus sich ergiebt:

$$\gamma_{100} = 0{,}0329,\ \gamma_{500} = 0{,}0377,\ \gamma_{1000} = 0{,}0437,\ \gamma_{1200} = 0{,}0461.$$

Die Schmelztemperatur des Platins ergab sich mit Hülfe dieser Werthe zu 1779°, wird aber wohl noch etwas niedriger sein, da die specifische Wärme des Platins in der Nähe des Schmelzpunktes offenbar rascher wächst.

Die mit dem Platincylinder erhaltenen Angaben stimmen zwar gut, die Vortheile desselben entsprechen aber doch wohl nicht immer den Kosten (26,50 Mk.) eines solchen, im Verhältniß zu den Eisencylindern.

Nach den ferneren Versuchen von Violle [4]) schmilzt Palladium bei 1500°, mit einer latenten Schmelzwärme von 36,3 W.-E. Die mittlere specifische Wärme zwischen 0° und *t*° beträgt:

t	t	t
100 = 0,0592	500 = 0,0632	900 = 0,0672
200 = 0,0602	600 = 0,0642	1000 = 0,0682
300 = 0,0612	700 = 0,0652	1200 = 0,0702
400 = 0,0622	800 = 0,0692	1300 = 0,0712

[1]) W. Apel in Göttingen liefert den Apparat mit fünf Eisencylindern, aber ohne Thermometer, für 25 Mark. — [2]) Dingl. 1879, **232**, 432; **233**, 139. — [3]) Compt. rend. **85**, 543. — [4]) Compt. rend. **87**, 981.

entsprechend der Formel $0{,}0582 + 0{,}00001\,t$; die wahre specifische Wärme ist $= 0{,}0582 + 0{,}00002\,t$, somit bei $0^0 = 0{,}0582$, bei $1000^0 = 0{,}0782$. Des hohen Preises wegen wird sich aber Palladium kaum zu solchen Versuchen eignen.

Es dürfte sich noch fragen, wie weit bei diesen calorimetrischen Bestimmungen die specifische Wärme des Wassers zu berücksichtigen ist.

Bekanntlich leitete Regnault aus seinen Untersuchungen folgenden Ausdruck für die specifische Wärme des Wassers bei t^0 her:

$$c_t = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}000\,0009\,t^2.$$

Nach dieser Formel ist die Aenderung mit der Temperatur so klein, daß man sie bei den gewöhnlichen Untersuchungen über specifische Wärme vernachlässigen darf.

Pfaundler, Hirn u. A. fanden dagegen wesentlich höhere Zahlen, Jamin und Amaury die Formel: $c_t = 1 + 0{,}0011\,t + 0{,}000\,0012\,t^2$. Aus den umfassenden Versuchen von Henrichsen[1]) ergiebt sich nun die wahre Wärmecapacität des Wassers bei t^0:

$$c_t = 1 + 0{,}000\,3156\,t + 0{,}000\,004\,045\,t^2.$$

Die specifische Wärme des Wassers ist demnach bei $10^0 = 1{,}0034$ und bei $20^0 = 1{,}0079$. Nach den neuesten Versuchen von Baumgartner[2]) ist $c_t = 1 + 0{,}000\,307\,t$, für 10^0 also 1,00 307, für 20^0 1,00 614, so daß also die Wärmecapacität des Wassers nahezu constant ist.

Für 100^0 ist die specifische Wärme des Wassers nach Regnault $= 1{,}013$, nach Jamin $= 1{,}122$, nach Stamo $= 1{,}125$, nach Münchhausen $= 1{,}030$, und nach Henrichsen $= 1{,}071$, nach Baumgartner 1,0307.

Die verschiedene specifische Wärme des Wassers ist daher wohl nur bei wissenschaftlich genauen Temperaturbestimmungen zu berücksichtigen.

Zuverlässige Apparate zur Bestimmung hoher Temperaturen sind demnach nur das Luftpyrometer, das Siemens'sche elektrische Pyrometer und das Calorimeter mit Eisen- oder Platincylinder. Ersteres ist nur für wohl eingerichtete Laboratorien geeignet, muß aber auch ferner als Normalwärmemesser bezeichnet werden, das elektrische Pyrometer ist leider theuer und etwas schwierig zu handhaben, sonst aber recht gut, das zuletzt beschriebene kleine Calorimeter ist dagegen billig, leicht zu handhaben und zuverlässig, wenn auch für längere Versuchsreihen nicht so bequem als das elektrische Pyrometer.

[1]) Ann. Phys. 8, 83. — [2]) Das. 8, 652.