

wird ein Spiegelgalvanometer benutzt. Der Spiegel wirft das Bild eines erleuchteten schmalen Schlitzes durch einen zweiten Schlitz, der senkrecht zum ersten ist und in der Ausschlagebene des Galvanometers liegt, auf das lichtempfindliche Papier und zeichnet auf diesem einen kleinen quadratischen Fleck, falls das Papier in Ruhe ist, und eine Schaulinie, falls sich das Papier in einer Ebene senkrecht zur Ausschlageebene des Galvanometers bewegt. Die Schaulinie ist eine Gerade, wenn das Galvanometer keinen Ausschlag hat. Wenn das Galvanometer Ausschläge zeigt, so wird durch den Spiegel eine Schaulinie abgebildet, deren Koordinaten in der Bewegungsrichtung des Papiers die Zeiten, in der dazu senkrechten Richtung die Größe der Ausschläge und damit die Temperaturen angeben.

In praktischen Betrieben herrschen gewöhnlich starke Erschütterungen; es empfiehlt sich dann die mechanische Aufzeichnung. Die Spiegelgalvanometer sind gegen Erschütterungen meist zu empfindlich.

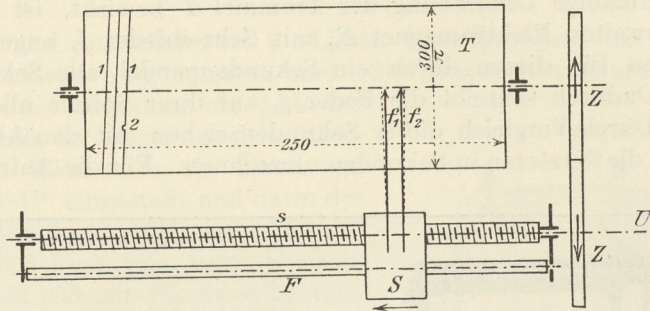
Zur Selbstaufzeichnung von z, t -Linien dagegen sind nur die Vorrichtungen mit optischer Übertragung durch Spiegelgalvanometer verwendbar. Wie wir später sehen werden, ist die Selbstaufzeichnung für die Aufnahme von z, t -Kurven nur eine Bequemlichkeit. Man erreicht mittels der später zu beschreibenden nicht selbsttätig wirkenden Vorrichtungen dieselbe Genauigkeit. Die Behauptung, daß bei Selbstaufzeichnung größere Genauigkeit erzielt werde, ist unbegründet.

3. Die Verfahren zur Aufnahme der z, t , $\Delta z, t$ und $t, \Delta e$ -Linien.

187. Die Zeitmessung kann mit der gewöhnlichen Sekundenuhr geschehen. Damit aber der Beobachter bei der Aufnahme der z, t - und $\Delta z, t$ -Linien seine Aufmerksamkeit den Vorgängen in der erstarrenden und abkühlenden Schmelze schenken kann, ist es zweckmäßig, zur Zeitmessung einen Zeitschreiber (Chronographen) heranzuziehen. Hierzu empfiehlt sich ein Apparat, wie er von Richard Frères, Paris und von der Firma Toepfer & Sohn, Potsdam, Mamonstraße, geliefert wird (vgl. Abb. 125 und 126). Er besteht aus einer Messingtrommel T , die durch ein Uhrwerk U mit Hilfe der Zahnräder Z in gleichmäßige Umdrehungen versetzt wird. Die Uhrwerkswelle treibt unmittelbar die Schraubenspindel s an, die einen an der Stange F geführten Schlitten S , der mit einer Mutter m über die Spindel greift, parallel zur Drehachse der Trommel T bewegt. Auf dem Schlitten S sind zwei Schreibfedern f_1 und f_2 angebracht. Vermittels je eines Elektromagneten E_1 und E_2 kann jede der Federn f bei Stromschluß um einen kleinen Winkel in die punktierte Lage (Abb. 125) abgelenkt werden. Auf der Trommel T wird Papier aufgespannt. Ist das Uhrwerk in Gang und wird die Feder f_1 nicht abgelenkt, so zeichnet sie auf dem Papier eine Spirale auf, wie bei 1 1 in der Abb. 125. Wird dagegen die Feder f_1 durch den Elektromagneten E_1 vorübergehend abgelenkt, so beschreibt sie ein Zeichen, wie bei 2 in Abb. 125. Wird das Papier auf der Trommel parallel zur Trommelachse aufgeschnitten und aufgewickelt, so erhält man gerade Linien, die durch die Zeichen 2 unterbrochen sind, wie in Abb. 127. Die Trommel T hat einen Umfang von 300 mm und macht in 1 Minute 1 Umdrehung. Die Zeitdauer zwischen zwei durch Schließen des Stromes im Elektromagnet gegebenen Zeichen ist proportional dem Abstand $r_1, r_2 \dots$ in Abb. 128. Zur Messung von r wird immer der Beginn α des Zeitzeichens verwendet, da das Ende von der Dauer des Stromschlusses abhängt, die willkürlich ist. Da für $r = 300$ mm die Zeit 1 Minute ist, so gibt $r/300$, wenn r in Millimetern gemessen wird, die Zeit in Minuten an, die zwischen den beiden Zeitzeichen verstrichen ist.

Der Strom für den Elektromagnet wird durch einen Akkumulator *A* geliefert. Der Stromschluß erfolgt durch einen Drücker *Dr*, ähnlich wie er für die Telegraphie verwendet wird (vgl. Abb. 129). *Cr* ist der Zeitschreiber.

Abb. 125.



s: 2 Gänge rechts, Steigung 6mm

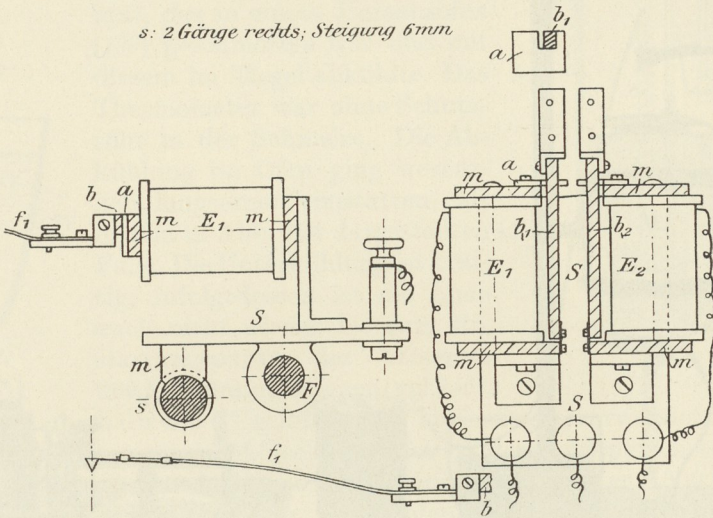


Abb. 126.

Abb. 127.

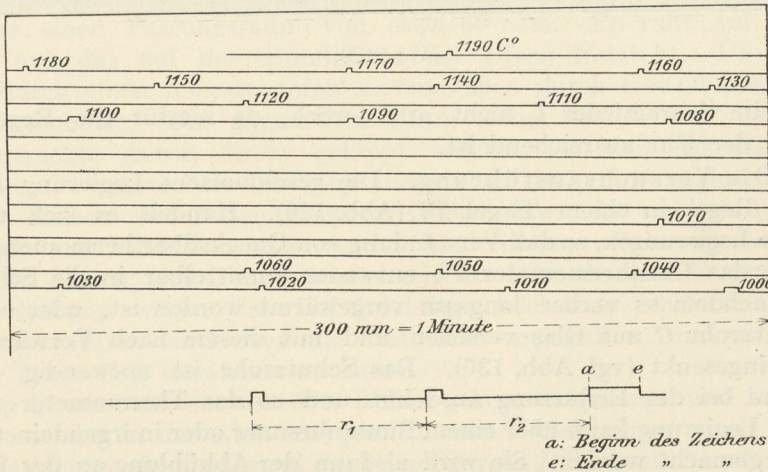


Abb. 128.

Ebenso wie es für die Ermittlung der z, t -Linien genügt, die Temperatur nur vergleichsweise richtig zu ermitteln, genügt auch für die Feststellung der Zeit vergleichsweise Genauigkeit. Man kann sich deswegen für die meisten Fälle damit begnügen, die Abstände $r_1, r_2 \dots$ in Millimetern zu messen. Um auch wirkliche Zeitmessungen ausführen zu können, selbst für den Fall, daß das Uhrwerk nicht ganz gleichmäßige Umdrehung der Trommel T bewirkt, ist an dem Schlitten S noch ein zweiter Elektromagnet E_2 mit Schreibfeder f_2 angebracht. Der Stromschluß kann für diesen durch ein Sekundenpendel alle Sekunden herbeigeführt werden. Dadurch schreibt die Feder f_2 auf ihrer Spirale alle Sekunden ein Zeitzeichen. Durch Vergleich dieser Sekundenzeichen mit den Abständen r_1, r_2 kann man dann die letzteren in Sekunden umrechnen. Für die Aufnahme von z, t -Linien

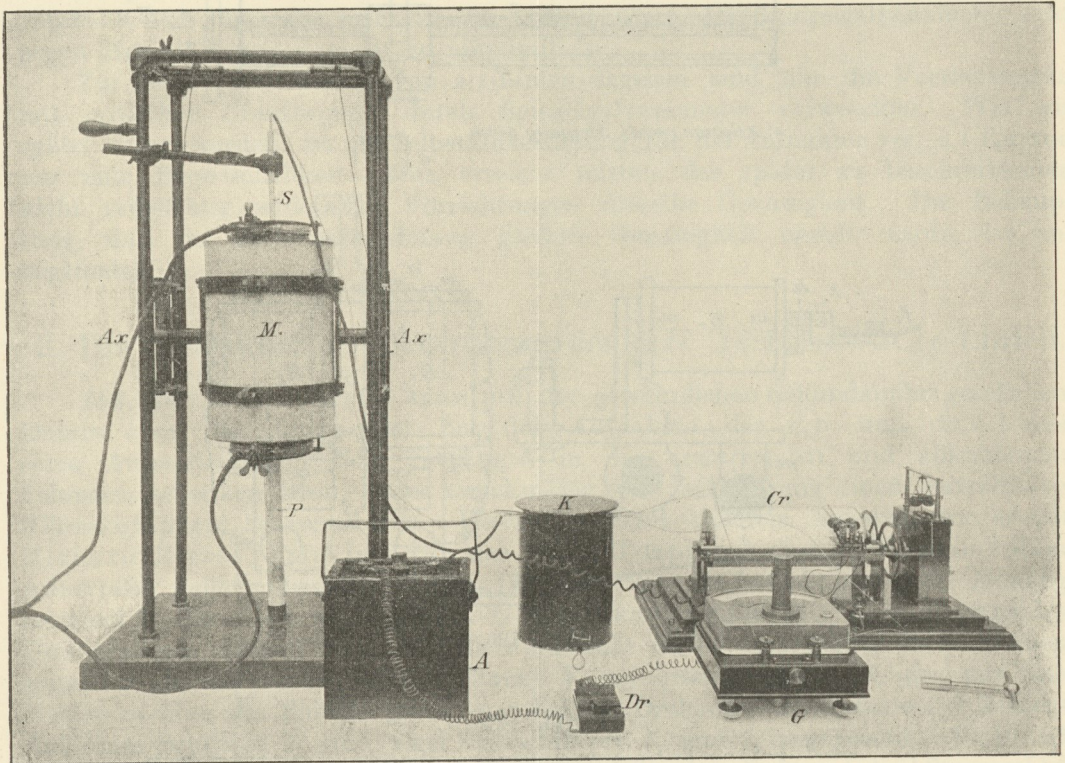


Abb. 129.

ist die zweite Schreibfeder f_2 nicht erforderlich, da hierfür die Regelmäßigkeit des Ganges der Uhr ausreichend ist.

188. Die Versuchsausführung. Die geschmolzene Legierung Fl befindet sich in der Regel in einem Tiegel T_i (Abb. 130). Handelt es sich um niedrig schmelzende Legierungen, so daß Verwendung von Quecksilberthermometern möglich ist, so wird das Glasthermometer Th entweder unmittelbar in die Schmelze eingetaucht, nachdem es vorher langsam vorgewärmt worden ist, oder es wird mit einem Schutzrohr G aus Glas versehen und mit diesem nach Vorwärmen in die Schmelze eingesenkt (vgl. Abb. 130). Das Schutzrohr ist notwendig, wenn sich die Schmelze bei der Erstarrung ausdehnt und so das Thermometer zerdrücken würde. Die Legierung kann über einem Bunsenbrenner oder in irgendeinem Schmelzofen flüssig gemacht werden. Sie wird alsdann der Abkühlung an der freien Luft, oder besser nach Einsetzen in einen zylindrischen Hohlraum überlassen, der die

unmittelbare Wirkung von Luftzug abhält. Am Thermometer beobachtet man den Temperaturabfall während der Abkühlung. Man ermittelt die Zeit Δz , die für den Abfall der Temperatur um 1 C° (bei sehr genauen Messungen um $0,1\text{ C}^\circ$) erforderlich ist. Die Zeitmessung geschieht mit dem Zeitschreiber. Zur Ablesung der Temperatur empfiehlt sich Verwendung eines Kathetometers mit Fadenzug im Fernrohr.

In den Abb. 104 und 105 sind zwei z, t -Linien wiedergegeben, die mit Hilfe des Quecksilberthermometers aufgenommen sind. Sie entsprechen reinem Wismut.

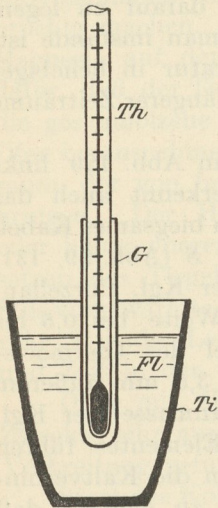


Abb. 130.

Bei der Aufnahme der Abb. 104 wurde der Tiegel mit dem flüssigen Wismut in ein Ölbad von 180 C° eingestellt und darin der Abkühlung überlassen. Die Unterkühlung war nur schwach. Abb. 105 gilt für dasselbe Wismut, das in einem Heraeusofen (189) geschmolzen war und mit diesem im Tiegel abkühlte. Das Thermometer war ohne Schutzrohr in der Schmelze. Die Abkühlung im Ofen ging wesentlich langsamer vonstatten, als in dem in Abb. 104 dargestellten Falle. Die Unterkühlung ist kräftig, infolgedessen ist die Linie auch nicht wieder bis zum Erstarrungspunkt des Wismuts $269,5\text{ C}^\circ$ heraufgestiegen (vgl. 156).

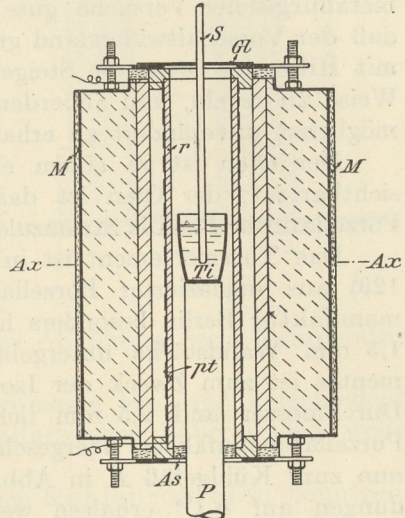


Abb. 131.

189. Für oberhalb 400 C° schmelzende Legierungen verwendet man am zweckmäßigsten das Thermoelement (seltener das Widerstandspyrometer bis 1000 C° herauf). Zum Schmelzen der Legierungen, soweit dies unter 1300 C° möglich ist, eignet sich ein elektrisch geheizter Röhrenofen, wie ihn z. B. W. C. Heraeus in Hanau als Type 3 liefert (s. Abb. 131 und 129). Er hat ein Heizrohr r aus feuerfester Masse von 50 mm lichter Weite und 300 mm Länge, das mit Platinfolie außen umwickelt ist (pt). Durch die letztere wird ein elektrischer Heizstrom geschickt. Der Ofen ist nach außen isoliert durch einen Außenmantel M . Der Tiegel Ti hat einen Fassungsraum von etwa 50 ccm . Er ruht auf dem Porzellanrohr P auf, das auf der Grundplatte des Ofens feststeht. Das Heizrohr wird unten durch einen Asbestpropfen As und oben durch eine Glimmerplatte Gl vor Luftzug geschützt. Der ganze Ofen kann, wenn das Rohr P entfernt ist, um die wagerechte Achse $Ax Ax$ gekippt werden, so daß das Heizrohr in senkrechter und wagerechter Stellung benutzbar ist. In letzterer Stellung dient es zum Heizen von festen Körpern, Glühen usw.; in ersterer vorwiegend zur Aufnahme von z, t -Linien erstarrender Legierungen. Bei wagerechter Lage des Heizrohres lassen sich Temperaturen bis zu 1400 C° im Ofen erzielen, bei senkrechter Stellung wegen des Luftdurchzugs höchstens 1300 C° . Bei den höchsten Temperaturen wird aber die Platinfolie angegriffen, und es empfiehlt sich, sie nur kurze Zeit einwirken zu lassen.

Der Ofen ist an Drähten, die über Rollen gehen, aufgehängt und kann durch eine Kurbel aus der in der Abb. 131 gezeichneten Mittelstellung nach oben und nach unten bewegt werden, während das Porzellanrohr P und mit ihm der Tiegel Ti seine Lage unverändert beibehält. Dadurch ist es möglich, daß beim Senken des

Ofens der Tiegel oben herausragt, was zur Beschickung und Bedienung sehr zweckmäßig ist.

Der Widerstand der Platinfolie des Ofens beträgt bei Zimmerwärme 2,7 Ohm. Bei 900 C° ist nach v. Pirani (L_2 18) der Widerstand des Platins etwa 4 mal, bei 1400 C° etwa 5,3 mal so groß als bei Zimmerwärme, so daß also der Widerstand bei diesen Temperaturen auf 10,8 und 14,3 Ohm ansteigt. Man hält die Stromstärke anfangs niedrig, steigert sie allmählich bis auf 10 bis 12 Amp. bei Rotglut, und geht erst oberhalb Rotglut auf 14 Amp., aber nicht höher.

Da der Ofen außer zur Bestimmung der z, t -Linien noch für eine ganze Reihe metallurgischer Versuche gute Dienste leistet, hat man Wert darauf zu legen, daß der Vorschaltwiderstand gute Abstufungen erlaubt, so daß man imstande ist, mit Hilfe des Ofens die Steigerung und den Abfall der Temperatur in beliebiger Weise zu regeln, und außerdem auch die Temperatur während längerer Zeiträume möglichst unverändert zu erhalten.

Der Ofen ist in einem eisernen Gestell eingebaut, das in Abb. 129 links sichtbar ist; der Ofen ist daselbst mit M bezeichnet. Man erkennt auch das Porzellanrohr P . Die Stromzuleitung zum Ofen erfolgt durch ein biegsames Kabel.

Das Thermoelement ist in einem dünnwandigen Schutzrohr S (Abb. 99, 131, 129) aus unglasierter Porzellanmasse (für den Zweck von der Kgl. Porzellanmanufaktur Berlin besonders hergestellt) von 4,5 mm lichter Weite bei 0,5 bis 1,5 mm Wandstärke untergebracht. Über den einen Schenkel des Thermoelementes ist zum Zweck der Isolation ein Röhrchen b von etwa 3,5 mm äußerem Durchmesser und 2,5 mm lichter Weite ebenfalls aus Porzellanmasse der Kgl. Porzellanmanufaktur übergeschoben. Die beiden Drähte des Elementes führen nun zum Kühlgefäß K in Abb. 129 (vgl. auch Abb. 115), in dem die Kaltverbindungen auf 0 C° erhalten werden. Es ist natürlich darauf zu achten, daß zwischen den Drähten des Thermoelementes untereinander und mit anderen metallischen Gegenständen keine metallische Berührung stattfindet. Von K aus führen Kupferdrähte nach dem Galvanometer G , das die Temperatur anzeigt. Cr ist der Zeitschreiber, A der zugehörige Akkumulator, Dr der Drücker für den zeitweiligen Stromschluß zur Erzielung eines Zeitzeichens des Zeitschreibers.

Man beobachtet die Zeit Δz , die für den Temperaturabfall um 10 C° = 1 Skalenteil der Temperaturskala des Galvanometers erforderlich ist. In dem Augenblick, in dem der Galvanometerzeiger gerade durch einen Teilstrich geht, gibt man mit dem Drücker Dr das Zeitzeichen. Gleichzeitig beobachtet man noch die Temperatur eines etwaigen Stillstandes des Galvanometerzeigers; diese kann bei einiger Übung auf Grade geschätzt werden.

Abb. 127 gibt verkleinert die Aufzeichnung des Zeitschreibers für die Erstarrung von Kupfer wieder. Die daraus abgeleitete z, t -Linie s. in Abb. 133 Nr. 1.

Zweckmäßig ist es, mit dem Schutzrohr S so lange die flüssige Schmelze umzurühren, als dies noch möglich ist.

Hat man leicht oxydierbare Schmelzen, so ist die Schmelze mit Schutzdecke aus Holzkohlenpulver oder geschmolzenen Salzen zu versehen. Die Auswahl des Schutzmittels hat mit Rücksicht auf die Eigenart der Legierung zu geschehen. Unter Umständen muß man zum Schutz vor der Oxydation den Raum innerhalb des Heizrohres r abschließen und ein neutrales Gas durchleiten.

190. Hat man zum Zwecke der Verflüssigung der Legierung höhere Temperaturen als 1300 C° zu erzielen, so benutzt man zweckmäßig den Kohlengriesofen, der von J. Bronn in die Heiztechnik eingeführt worden ist (L_2 19). Die Bauart des Ofens von Simonis (L_2 20) ausgebildet und von der Kgl. Porzellanmanufaktur Berlin geliefert, ergibt sich aus Abb. 132. Er besteht aus einem inneren Heiz-

rohr r von 135 mm Durchmesser. Dieses ist umgeben von feinkörniger Widerstandsmasse K aus Kohle, durch die mittels der Stromzuführungen ss ein Strom von 100 bis 220 Volt Spannung geschickt wird. Bei 220 Volt Spannung läßt sich der Ofen in 3 bis 4 Stunden auf 1600 C° bei einem Energieverbrauch von 12 Kilowatt bringen. Der die Legierung enthaltende Tiegel Ti aus Graphit oder aus Magnesia wird auf den in der Abb. 132 sichtbaren Untersatz U gestellt. Es empfiehlt sich nicht, das Thermoelement in den Ofen einzuführen, da dieser mit reduzierenden Gasen (CO) gefüllt ist, die das Metall des Thermoelementes brüchig machen. Sorgt man durch Aufstreuen von Magnesia auf den Untersatz U unter dem Tiegel dafür, daß der Tiegel nicht anbäckt, so kann man die geschmolzene und überhitzte Legierung aus dem Ofen herausnehmen und in einen zylindrischen Hohlraum, der von feuerfester Masse umgeben ist, einbringen. Der Hohlraum ist vorher auf Rotglut oder höher vorgewärmt worden. Sofort nach Einsetzen des Tiegels in den Raum wird das ebenfalls vorgewärmte Thermoelement mit seinem Schutzrohr S in die Legierung eingetaucht. Während der Abkühlung wird Temperatur und Zeit in der üblichen Weise gemessen.

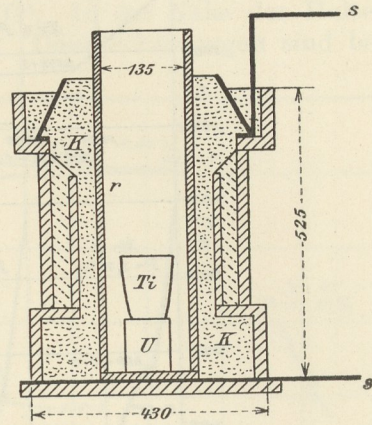


Abb. 132.

Öfen mit Heizung durch körnige Widerstandsmasse sind für verschiedene Zwecke sehr anpassungsfähig und haben in metallurgischen Laboratorien weite Verbreitung gefunden.

Statt des Kohlenriesofens kann man auch einen Kohlenrohrföfen benutzen. Hierbei wird ein Rohr aus Retortenkohle durch einen Wechselstrom von niedriger Spannung erwärmt. (Vgl. Ruer, L_1 13.) Steht in einem Laboratorium nur Gleichstrom zur Verfügung, so wird eine ziemlich kostspielige Einrichtung zum Umformen des Stromes erforderlich.

191. Beispiel: Ermittlung der z, t -Linien der Legierungen von Kupfer und Phosphor. Zugehöriges c, t -Bild nach E. Heyn und O. Bauer (L_1 21).

Die Versuchsausführung geschah in der in 189 beschriebenen Weise. Abgebildet sind die z, t -Linien folgender Legierungen:

| Nr. der Legierung | $c =$ Gehalt an P in % | Nr. der Legierung | $c =$ Gehalt an P in % |
|-------------------|---------------------------|-------------------|---------------------------|
| 1. H | 0 | 6. R | 8,27 |
| 2. H | 1,67 | 7. R | 10,23 |
| 3. H* | 2,76 | 8. H | 12,72 |
| 4. H* | 3,90 | 9. H | 14,00 |
| 5. R | 6,55 | 10. R | 14,28 |

Die chemische Zusammensetzung ist stets durch Analyse festgestellt und weicht von der Zusammensetzung der Beschickung des Tiegels (Kupfer und roter Phosphor) etwas ab. Der Phosphorgehalt ist immer etwas niedriger als der aus der Beschickung berechnete. Es ist überhaupt zu raten, in allen Fällen den Gehalt der Legierungen nach dem Schmelzen nachzuprüfen, es sei denn, daß man es mit sehr edlen Metallen zu tun hat. Aber auch da können Verunreinigungen durch andere Stoffe entstehen, die unter Umständen die ganze auf die Ermittlung des c, t -Bildes verwendete Mühe vergeblich machen. Eine ganze Reihe von

in der Literatur aufgetauchten c, t -Bilder tragen den Stempel dieser Unterlassungs-
sünde an sich. Die z, t -Linien sind in den Abb. 133 und 134 wiedergegeben. Sie
tragen dieselben Nummern wie die Legierungen. Die Temperatur τ der Kaltlöt-

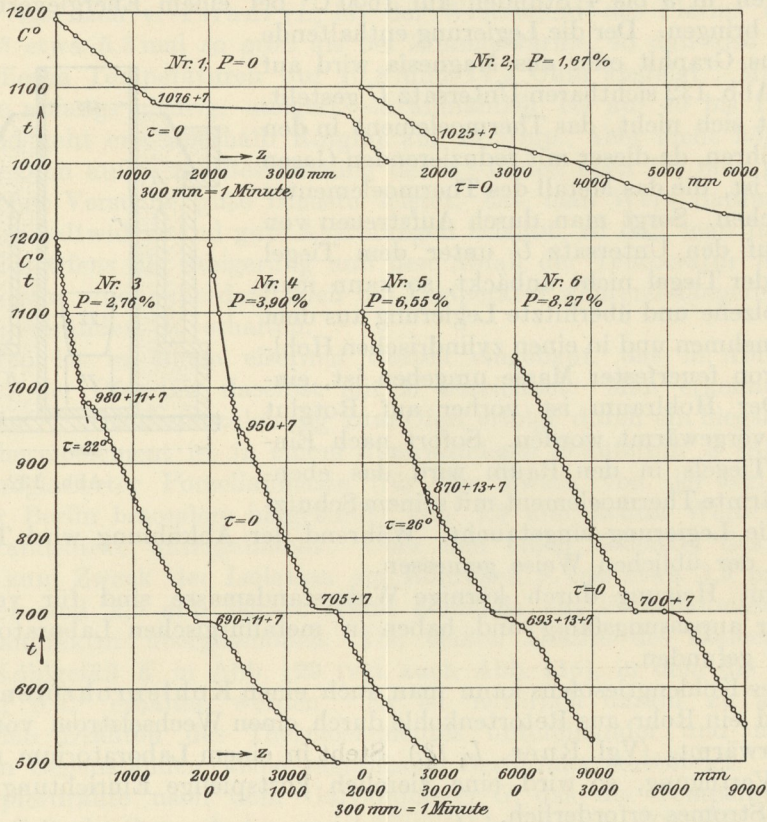


Abb. 133. Legierungen von Kupfer und Phosphor. z, t -Linien.

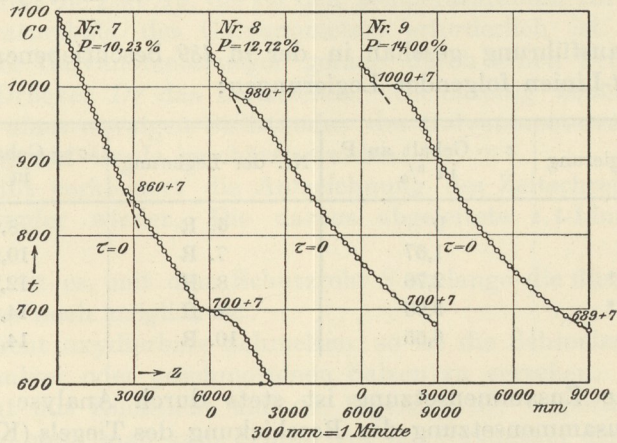


Abb. 134. Legierungen von Kupfer und Phosphor. z, t -Linien.

stelle ist allen z, t -Linien beige-schrieben. Den unmittelbar gemessenen Tempera-
turen ist sonach der Betrag $0,5\tau$ zuzuzählen. Außerdem ist noch eine weitere
Berichtigung anzubringen, die durch Vergleich des Thermo-elementes mit derselben
Eintauchtiefe mit Erstarrungspunkten von Metallen (173) ermittelt wurde und im

Mittel etwa $+7\text{ C}^\circ$ für die in Betracht kommenden Temperaturen beträgt. Ist sonach die aus den Schaubildern unmittelbar zu entnehmende Temperatur t_1 , so ist die wirkliche Temperatur t

$$t = t_1 + 0,5 \tau + 7.$$

Die Temperaturablesung erfolgte von 10 zu 10 C°. In der Nähe der Haltepunkte wurde die Temperatur auf Grade geschätzt. Diese Schätzungen sind bei der Aufzeichnung der z, t -Linien benutzt. Die Schmelzung der Legierungen geschah teils im Heraeusofen (in der Tabelle mit H angedeutet), teils in dem mit Gas geheizten Roßlerofen (R in Tabelle). Die Abkühlung geschah im Ofen selbst mit Ausnahme der in der Tabelle mit * bezeichneten Legierungen 3 und 4, bei denen der Tiegel mit der geschmolzenen Legierung aus dem Ofen herausgenommen und der schnellen Abkühlung an der Luft überlassen wurde. Dadurch ist die Verschiedenheit der Zeitmaßstäbe für die Legierungen 3 und 4 gegenüber den anderen erklärlich.

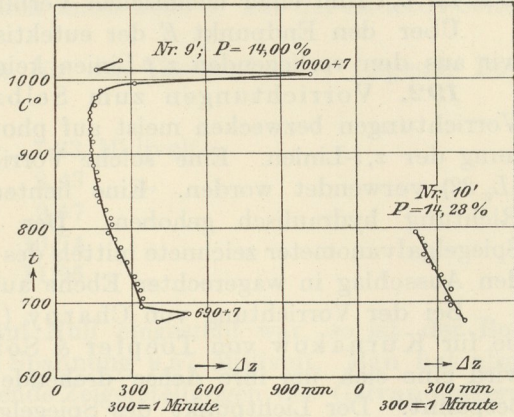


Abb. 135. Legierungen von Kupfer und Phosphor. $\Delta z, t$ -Linien.

Aus den z, t -Linien ergibt sich das in Abb. 136 dargestellte c, t -Bild der Legierungsreihe, das der Erstarrungsart $Aa2\gamma$ entspricht. Die eutektische Temperatur liegt bei 707 C° , der eutektische Punkt bei $c = 8,27\%$ Phosphor. Bei den Legierungen 1 und 2 wurde die Abkühlung nicht

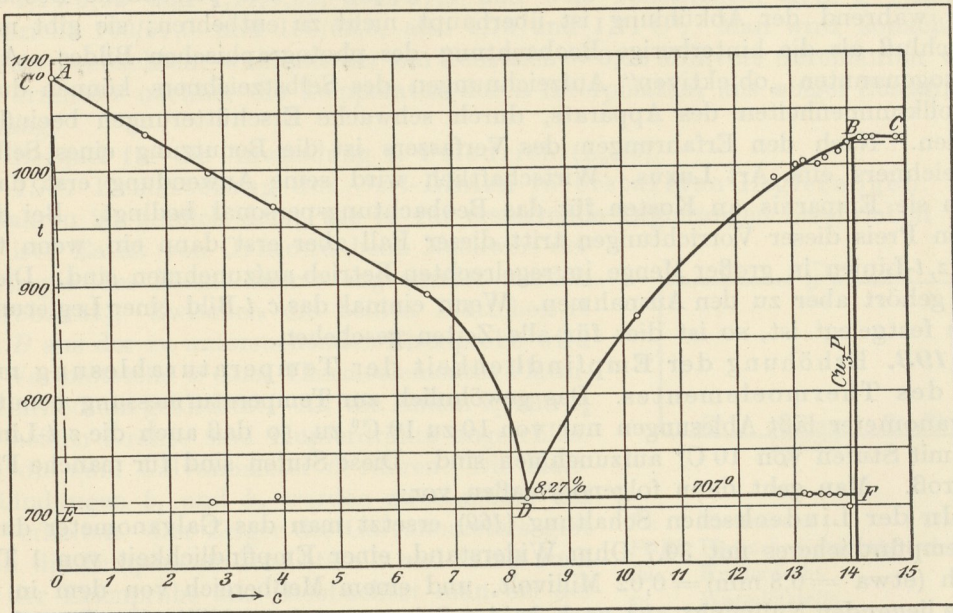


Abb. 136. c, t -Bild der Legierungen von Kupfer und Phosphor.

herunter bis zur eutektischen Temperatur verfolgt; es ist deswegen ungewiß, ob dort noch Wärmeentwicklungen beobachtbar gewesen wären. Bei der Legierung 9 mit 14% Phosphor (dieser Gehalt würde der chemischen Verbindung Cu_3P ent-

sprechen) war noch schwache Wärmeentwicklung in der Nähe der eutektischen Temperatur bemerkbar. Sie ergibt sich zwar nicht aus der z, t -Linie Nr. 9, Abb. 134, wohl aber aus der zugehörigen $\Delta z, t$ -Linie Nr. 9', in Abb. 135, bei einem Wärmegrade von $690 + 7 = 697 \text{ C}^\circ$. Für die Legierung Nr. 10 ist die z, t -Linie nicht angegeben, von der $\Delta z, t$ -Linie ist aber der untere Teil (10' in Abb. 135) abgebildet. Sie läßt keine eutektische Wärmetönung mehr erkennen. Die eutektische Linie muß also bei F in Abb. 136 ihr Ende finden. Das würde darauf hindeuten, daß die Ordinate BF im c, t -Bild einer chemischen Verbindung Cu_3P entspricht.

Über den Endpunkt E der eutektischen Linie im c, t -Bild Abb. 136 können wir aus den vorliegenden z, t -Linien keine weiteren Schlüsse ziehen.

192. Vorrichtungen zum Selbstaufzeichnen der z, t -Linien. Diese Vorrichtungen bezwecken meist auf photographischem Wege selbsttätige Aufzeichnung der z, t -Linien. Eine solche Vorrichtung ist zuerst von Roberts-Austen (L_2 22) verwendet worden. Eine lichtempfindliche Platte wurde in senkrechter Richtung hydraulisch gehoben. Der Hub war proportional der Zeit. Das Spiegelgalvanometer zeichnete mittels des Spiegels den der Temperatur entsprechenden Ausschlag in wagerechter Ebene auf die Platte (vgl. 186).

Bei der Vorrichtung von Charpy (L_2 23) und in der verfeinerten Form, wie sie für Kurnakow von Toepfer & Sohn in Potsdam gebaut worden ist (L_2 24) wird eine sich um ihre Achse drehende Trommel mit lichtempfindlichem Papier bespannt. Der Lichtpunkt des Spiegelgalvanometers wird auf dieses Papier geworfen.

Man macht zugunsten der Selbstaufzeichner geltend, daß etwaige kleine Wärmetönungen, die sich innerhalb kleiner Temperaturabstände vollziehen könnten, durch den Selbstaufzeichner abgebildet werden, dem Auge des Beobachters aber entgehen könnten. Hiergegen ist einzuwenden, daß der Beobachter kleine Wärmetönungen ebensogut erkennen kann wie der Apparat. Die persönliche Beobachtung während der Abkühlung ist überhaupt nicht zu entbehren; sie gibt mehr Aufschluß als die hinterherige Beobachtung des photographischen Bildes. Auch die sogenannten „objektiven“ Aufzeichnungen des Selbstzeichners können durch Unvollkommenheiten des Apparats, durch schwache Erschütterungen beeinflusst werden. Nach den Erfahrungen des Verfassers ist die Benutzung eines Selbstaufzeichners eine Art Luxus. Wirtschaftlich wird seine Anwendung erst dann, wenn sie Ersparnis an Kosten für das Beobachtungspersonal bedingt. Bei dem hohen Preis dieser Vorrichtungen tritt dieser Fall aber erst dann ein, wenn täglich z, t -Linien in großer Menge im regelrechten Betrieb aufzunehmen sind. Dieser Fall gehört aber zu den Ausnahmen. Wenn einmal das c, t -Bild einer Legierungsreihe festgelegt ist, so ist dies für alle Zeiten geschehen.

193. Erhöhung der Empfindlichkeit der Temperaturablesung mittels des Thermoelementes. Das gewöhnlich zur Temperaturmessung benutzte Galvanometer läßt Ablesungen nur von 10 zu 10 C° zu, so daß auch die z, t -Linien nur mit Stufen von 10 C° aufzunehmen sind. Diese Stufen sind für manche Fälle zu groß. Man geht dann folgendermaßen vor:

In der Lindeckschen Schaltung (169) ersetzt man das Galvanometer durch ein empfindlicheres mit 30,7 Ohm Widerstand, einer Empfindlichkeit von 1 Teilstrich (etwa = 0,8 mm) = 0,02 Millivolt, und einem Meßbereich von dem in der Mitte liegenden Nullpunkt aus nach beiden Seiten von $\pm 1,2$ Millivolt. Ein solches Instrument läßt sich noch als Zeigergalvanometer ausführen.

Es werde z. B. angenommen, daß die z, t -Linie einer Legierung in der Nähe von 1000 C° aufzunehmen sei, daß es aber darauf ankomme, in der Nähe dieser Temperatur die z, t - oder $\Delta z, t$ -Linie mit Rücksicht auf kurzdauernde schwache Haltepunkte festzulegen. Man erhitzt das Thermoelement auf 1000 C° , was

man ja mit der Lindeckschen Schaltung feststellen kann. Bei dieser Temperatur von 1000 C° wird durch die Schaltung des Lindeckschen Apparates die elektromotorische Kraft des Thermoelementes gerade kompensiert, so daß der Zeiger des Galvanometers auf Null steht. In dieser Stellung beläßt man die Schaltung. Das Thermoelement wird nun in die geschmolzene Legierung eingeführt, und die Beobachtung der Abkühlung geschieht in der üblichen Weise. Der Zeiger des Galvanometers wird bei Temperaturen über 1000 C° auf der einen Seite des Nullpunktes, und bei Temperaturen unter 1000 C° auf der anderen Seite des Nullpunktes stehen.

Nehmen wir an, daß laut Eichschein für das Thermoelement folgende Beziehungen zwischen *t* und *e* gelten:

| | |
|---------|----------------|
| 800 C° | 7,33 Millivolt |
| 900 C° | 8,43 „ |
| 1000 C° | 9,57 „ |
| 1100 C° | 10,74 „ |
| 1200 C° | 11,95 „ |

Da das Galvanometer bei 1000 C° auf Null eingestellt war, so ist der Betrag der gegen das Element geschalteten Spannung 9,57 Millivolt. Man hat also bei den verschiedenen Temperaturen folgende Zeigerstellungen des Galvanometers zu erwarten:

| | |
|---------|--------------------------------|
| 900 C° | 8,43 — 9,57 = — 1,14 Millivolt |
| 1000 C° | 9,57 — 9,57 = 0,00 „ |
| 1100 C° | 10,74 — 9,57 = + 1,17 „ |

Da auf 0,02 Millivolt 1 Teilstrich kommt, entsprechen 1,14 und 1,17 Millivolt 1,14/0,02 und 1,17/0,02, also 57,0 und 58,5 Teilstrichen, d. h. 1 Teilstrich entspricht 100/57,0 und 100/58,5, also 1,75 und 1,71 C°. Man wird sonach die Zeit Δz beobachten, während der ein Teilstrich = 0,02 Millivolt durchlaufen wird, und ermittelt nachher die Temperatur durch Interpolation aus obiger Zusammenstellung.

Beispiel für die Anwendung s. Friedrich (*L*₂ 25).

194. Ermittlung der $\Delta z, t$ -Linien in erstarrten Legierungen. Das Verfahren ist ähnlich dem, wie es für erstarrende Legierungen beschrieben worden ist. Es ist von Osmond beim Nachweis der Allotropie des Eisens zuerst angewendet worden (s. Abb. 137). Zwischen die beiden Plättchen *A* und *B* aus der zu untersuchenden Eisenprobe wird die Warmlötstelle *w* eines Thermoelementes Platin-Platinrhodium geklemmt. An die Enden *k*₁ und *k*₂ der beiden Drähte sind Kupferdrähte angeschlossen, die zum Galvanometer *G* führen. Die Kaltverbindungen *k*₁ und *k*₂ werden zweckmäßig auf 0 C° erhalten. Der Zeiger des Galvanometers gibt dann die Temperatur der Lötstelle und damit auch die der Eisenprobe an. Beobachtet man bei der Abkühlung oder auch bei Erhitzung der Eisenprobe die Zeit Δz , die erforderlich ist, um eine Temperaturverminderung, bzw. -vermehrung um Δt C° herbeizuführen, und trägt die Zeiten Δz als Abszissen zu den zugehörigen Temperaturen als Ordinaten ein, so erhält man die $\Delta z, t$ -Linie. Beispiele hierzu s. II B, 11.

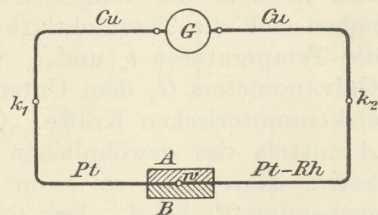


Abb. 137.

- Pt: Platindraht
- Pt-Rh: Platinrhodiumdraht
- Cu: Kupferdraht
- w: Warmlötstelle
- k₁, k₂: Kaltverbindungen
- A, B: Eisenplättchen

Das Verfahren läßt sich auch auf andere Legierungen anwenden; nur muß man darauf achten, daß die Legierung bei den zu beobachtenden Wärmegraden keine Legierung mit den Drähten des Thermoelements bildet. Ist dies zu befürchten, so verwendet man andere Thermoelemente als Platin-Rhodium, oder man schützt die Warmlötstelle des Elementes mit Glimmerplättchen vor der unmittelbaren Berührung mit der zu untersuchenden Legierung.

195. Differentialverfahren nach Roberts-Austen. Das Verfahren ist besonders geeignet zum Nachweis kleiner Wärmetönungen in bereits erstarrten Legierungen (L_2 22). Es soll im folgenden in der Ausführungsweise beschrieben

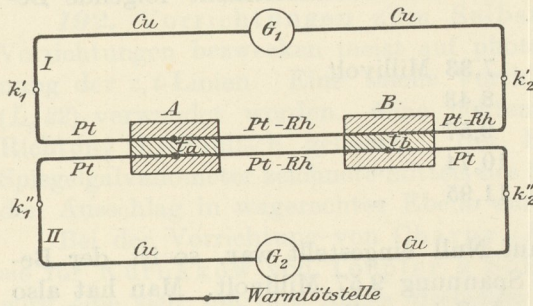


Abb. 138.

Pt: Platindraht
 Pt-Rh: Platinrhodiumdraht
 Cu: Kupferdraht
 k_1', k_2', k_1'', k_2'' : Kaltverbindungen auf 0°C erhalten.

Doppelemente befindet sich zwischen den beiden Halbzylindern des Vergleichskörpers B . Dieser ist aus Platin oder irgendeinem anderen Stoff hergestellt, der frei ist von Wärmetönungen im festen Zustand, und dessen spezifische Wärme nicht allzuweit von der des zu untersuchenden Metalls A entfernt ist. In jeder der beiden Lötstellen des Doppelthermoelementes wird eine thermoelektromotorische Kraft erzeugt; im Körper A eine, die der Temperatur t_a des Körpers A , und in B eine, die der Temperatur t_b des Körpers B entspricht. Beide elektromotorischen Kräfte wirken in entgegengesetztem Sinne, da ja bei A der Thermostrom vom Platin zum Platin-Rhodium, also von links nach rechts in der Abb. 138 und in B in der umgekehrten Richtung läuft. Ist die Temperatur $t_a = t_b$, so heben sich die Thermokräfte auf und das Galvanometer G_2 zeigt auf Null. Sind die Temperaturen t_a und t_b verschieden, so entspricht der Zeigerausschlag des Galvanometers G_2 dem Unterschied Δe der beiden in A und B erzeugten thermoelektromotorischen Kräfte. Gleichzeitig kann man die Temperatur t_a der Probe A mittels des gewöhnlichen Thermoelementes I und des Galvanometers G_1 ablesen. Man erhält so Δe in Abhängigkeit von der Temperatur t_a der zu untersuchenden Probe A . Das Galvanometer G_2 muß empfindlicher sein, als das Galvanometer G_1 . Zu empfehlen ist die Verwendung des in Abs. 193 beschriebenen Zeigergalvanometers.

Die Kaltverbindungen k_1', k_2' und k_1'', k_2'' der beiden Elemente werden auf Null Grad abgekühlt. Die beiden Körper A und B liegen nahe hintereinander im Heizrohr eines Heraeusofens. Man erhitzt auf einen oberhalb der Umwandlungstemperatur gelegenen Wärmegrad, stellt dann den Heizstrom ab und überläßt die Körper A und B der Abkühlung im Rohr. Im allgemeinen wird der Zeiger des Galvanometers G_2 einen Ausschlag zeigen, da ja wegen der verschiedenen spezifischen Wärmen der Körper A und B ein kleiner Temperaturunterschied zwischen beiden bestehen muß. Der Zeiger des Galvanometers be-

werden, wie es im Kgl. Materialprüfungsamt, Gr.-Lichterfelde, verwendet wird. Die Probe A , deren Haltepunkt ermittelt werden soll, besteht aus drei Teilen, die zusammen einen Zylinder bilden (Abb. 138). Zwischen diese Teile wird die Warmlötstelle eines gewöhnlichen Thermoelementes I und ferner die eine Lötstelle eines Doppelthermoelementes II geklemmt. Die einzelnen Teile des Zylinders A werden durch dünne Platindrähte zusammengehalten. Das Doppelthermoelement II besteht aus zwei Platindrähten Pt , die an zwei Lötstellen mit einem Draht aus Platin-Rhodium $PtRh$ verbunden sind. Die zweite Lötstelle des

wegt sich stetig und langsam in einer Richtung. Tritt nun aber infolge einer Umwandlung in A Wärmeentwicklung ein, so wird die Abkühlung von A plötzlich verzögert und der Zeiger des Galvanometers G_2 schlägt plötzlich nach einer Richtung aus. Man beobachtet gleichzeitig die Temperatur t_a am Galvanometer G_1 und erhält so zu jedem t_a das zugehörige Δe . Die Werte von Δe trägt man als Ordinaten zu den Werten von t_a als Abszissen auf und erhält auf diese Weise ein Schaubild, das als $t, \Delta e$ -Bild bezeichnet werde. Beobachtet man zu den einzelnen Ablesungen von t_a auch noch die Zeit Δz mit Hilfe des Zeitschreibers, so kann man außerdem noch die $\Delta z, t$ -Linie aufzeichnen, wie es in 194 besprochen wurde. Man hat somit bei dieser Art der Versuchsausführung den Vorteil, daß man zwei verschiedene Linien nach verschiedenen Grundsätzen erhält, deren Übereinstimmung Gewähr bietet, daß bei der Versuchsausführung kein störender Zufall eingetreten ist. (Beispiele s. II B, 13.)

In vielen Fällen ist es wichtig, die Wärmetönungen kennen zu lernen, die sich bei der Erhitzung eines im metastabilen Gleichgewicht befindlichen Stoffes abspielen. So wandelt sich z. B. der gehärtete Stahl beim Erwärmen (Anlassen) allmählich in die stabilere Form um, und zwar unter Abgabe von Wärme. Es ist von Interesse zu wissen, bis zu welcher Höchsttemperatur noch Wärmeentwicklung stattfindet.

Die Aufnahme von z, t -Linien bei der Erhitzung leidet ohnehin an der Schwierigkeit, die Erhitzung stetig vorzunehmen, so daß nicht etwa Unstetigkeitsstellen in der Schaulinie auf Unstetigkeiten in der Erhitzung zurückzuführen sind. Verteilt sich nun die Wärmetönung bei der Erhitzung über ein größeres Temperaturbereich, wie z. B. in dem soeben angegebenen Falle, so würde man von der Wärmetönung unter gewöhnlichen Umständen gar nichts merken. Anders ist es bei Anwendung des Differentialverfahrens. Die Warmlötstelle des Doppелеlementes befindet sich einerseits in einer Probe A' des zu prüfenden Körpers im metastabilen Zustand (z. B. Stahl gehärtet), andererseits in einer Probe desselben Körpers A im stabilen Zustand (z. B. Stahl gegläht). Der Unterschied Δe entspricht dann bei der Erhitzung dem Unterschied in der Temperatur der beiden Lötstellen. Anwendung des Verfahrens s. II B, 27.

196. Auch zur Aufzeichnung der $t, \Delta e$ -Linien sind Selbstzeichner entworfen worden. Eine auf sehr interessanter Grundlage aufgebaute Vorrichtung ist die von Saladin-Le Chatelier (L_2 26). Sie ist schematisch in Abb. 139 wiedergegeben. G_1 ist das gewöhnliche, G_2 das empfindliche Galvanometer, wie oben angegeben. Ein Lichtstrahl, von der Lichtquelle S ausgehend, trifft auf den Spiegel des Galvanometers G_2 , dessen Ausschlag den Wert Δe mißt. Der Ausschlag in der wagerechten Ebene wird durch das total reflektierende Prisma M , das unter einem Winkel von 45° aufgestellt ist, in die senkrechte Ebene gedreht. Der Spiegel des Galvanometers G_1 steht rechtwinklig zum Spiegel des Galvanometers G_2 , wenn das Galvanometer stromlos ist. Er reflektiert den Lichtstrahl in wagerechter Ebene auf die lichtempfindliche Platte P . Der Lichtfleck erhält somit zwei Bewegungen unter rechtem Winkel zueinander, so daß er auf der lichtempfindlichen Platte P eine Kurve beschreibt, deren Abszissen von dem Ausschlag des Galvanometers G_1 und deren Ordinaten von dem Ausschlag des Galvanometers G_2 abhängig sind.

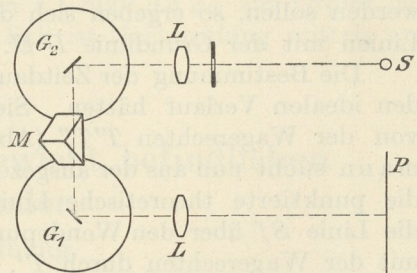


Abb. 139.