

G. WOBSE

Zur Geschichte der Thermostatisierung

Zur Geschichte der Thermostatisierung *)

G. WOBSE, Lauda **)

Einleitung

Die Geschichte des Thermostatisierens, oder allgemein gesprochen, des Temperierens, ist so alt wie die Chemie selbst und hat wie diese ihren Ursprung in der Alchimie. Zusammenfassende Darstellungen zur geschichtlichen Entwicklung der Laboratoriumstechnik, und somit auch des Temperierens, fehlen jedoch im Gegensatz zur Geschichte der Chemie. Hierzu kann diese Arbeit nur als Beitrag verstanden werden, der in der Auswahl oft vom Zufall bestimmt ist und auch wegen des zur Verfügung stehenden Platzes nicht vollständig sein kann.

Um von vornherein Mißverständnissen vorzubeugen, sei folgendes vermerkt: Der Begriff „Thermostat“ wird hier im Sinne der DIN-Norm 58966 [1] verwendet, d.h. für vollständige Einrichtungen, die es ermöglichen, Objekte zu temperieren und die je nach dem verwendeten Betriebsmittel Luftthermostate, Flüssigkeitsthermostate oder Festkörperthermostate sein können. Temperaturregler für sich sind noch keine Thermostate, obwohl im nichtwissenschaftlichen Bereich und im angelsächsischen Sprachraum meist so bezeichnet (Entstehung des Begriffs „Thermostat“ und Verständnis desselben siehe weiter unten). Der heutige Thermostat beinhaltet zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Temperatur immer eine (selbsttätig wirkende) Temperaturregelung. Um nun die geschichtliche Betrachtung nicht von vornherein zu sehr einzuengen, werden im folgenden nicht nur Thermostate betrachtet, sondern allgemeine Einrichtungen zum Temperieren. Wir verfolgen dabei insbesondere die Art der Wärmeerzeugung, ob und wie die Temperatur geregelt wird, die Art des Betriebsmittels (gasförmig, flüssig, fest) sowie die jeweilige Anwendung. Bei Betrachtung der jüngeren Vergangenheit beschränken wir uns, sowohl aus Gründen des Platzes als auch des heutigen Verständnisses wegen, auf Flüssigkeitsthermostate, verfolgen also z.B. Luftthermostate (Wärmeschränke) nicht bis in die jüngste Vergangenheit.

1. Alchimie (ca. 1200 bis 1600)

Im Alchimistenlabor spielte das Temperieren eine überragende Rolle, und zwar zum Destillieren, Sublimieren oder Schmelzen. Als zusammenfassende Darstellungen zur Destillation seien genannt: BRUNDSCHWIG [2] 1512 und GESSNER [3] 1583. Der Ofen (Athanor) in den unterschiedlichen Ausführungsformen entsprechend der Anwendung stand im Mittelpunkt des Labors. Als Energiequelle diente Holzkohle. Der „Faule Heintz“ war eine Art Dauerbrandofen, bei dem ein größerer Vorrat von Holzkohle eingelegt werden konnte, die im Idealfall gleichmäßig abbrannte und auch für annähernd gleiche Temperatur sorgte. Für höhere Temperaturen wurde zusätzlich ein Blasebalg verwendet. Die zu temperierenden Objekte (meist Retorten) wurden entweder direkt durch die Flamme erhitzt (teilweise unter Umleitung der Flamme) oder, weit schonender, dadurch, daß die Flamme ein Wasser- oder Ölbad erhitzte, in dem sich die Retorte befand (Abb. 1). Dieses Bad wurde „balneum mariae“ oder Marienbad genannt, der Vorläufer unseres heutigen Wasser- oder Ölbadens. Selbstverständlich enthielten diese Bäder keine Temperaturregelung; beim Wasserbad herrschte jedoch die konstante Siedetemperatur des Wassers. Unseres Wissens nach wurden außer Wasser keine anderen Flüssigkeiten zum Sieden gebracht, um damit reproduzierbare und konstante Temperaturen zu erzeugen. Neben Flüssigkeiten wurde auch Sand als „Betriebsmit-

tel“ verwendet, der Vorläufer der (recht selten angewendeten) heutigen Sandthermostate. Das Beispiel der Destillation aus der Alchimie ist deswegen so bedeutsam, da die Destillation (oder allgemeiner: thermische Trennverfahren) heute ein wichtiger Anwendungsfall für Thermostate aller Bauarten ist (Heizbäder, Badthermostate, Umwälzthermostate) und sich weiterhin der Begriff „Marienbad“ im romanischen Sprachgebiet (franz. bain marie, ital. bagno maria, span. baño maria) erfolgreich für Wasserbad und Badthermostat behauptet hat.

Abb. 2 zeigt u.a. die Alchimisten-Symbole für Wasserbad, Dampfbad und Sandbad [4]. Eindrucksvolle Beispiele für das Alchimistenlabor geben Rekonstruktionen im Deutschen Apotheken-Museum Heidelberg und im Deutschen Museum München.



Abb. 1: Destillation auf dem Wasserbad nach BRUNDSCHWIG [2]



Abb. 2: Alchimisten-Symbole für Ofen (Athanor) und verschiedene Bäder [4]

2. Die Öfen des Cornelis DREBBEL (1620)

Nach O. MAYR [5] ist in den Öfen des Holländers DREBBEL die erste Temperaturregelung, sogar die erste technische Regelung, der Neuzeit enthalten. Zwei Öfen sind uns bekannt: ein „Brutschrank“ (Abb. 3) zum künstlichen Ausbrüten von Hühnern und ein Destillationsofen (Abb. 4). DREBBEL war als universaler Erfinder auch au

*) Zum 25jährigen Bestehen des Meißner-Werkes Lauda, Dr. R. Wobser KG

**) Dr. Gerhard Wobser, Meißner-Werk Lauda Dr. R. Wobser KG, Obmann der Normenausschüsse „Thermostate“ und „Heizbäder“

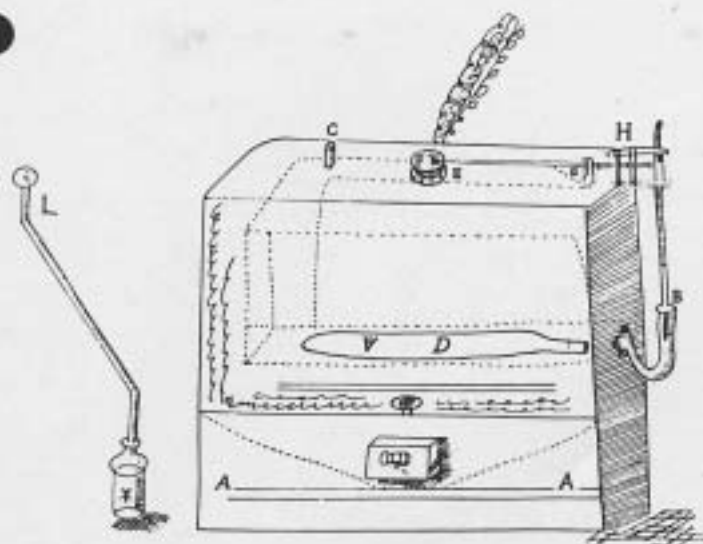


Abb. 3: Brutschrank von DREBBEL [5]. Das links abgebildete Thermometer L gehört zum Ofen der Abb. 4

dem Gebiet der Chemie tätig und erkannte bei seinen Forschungen wohl die Vorteile einer einstellbaren und selbsttätig geregelten Temperatur. Der Brutschrank funktionierte wie folgt [5]: Im unteren Drittel ist das Feuer A – A vom Hauptraum durch eine in der Mitte mit Öffnungen versehene Eisenplatte getrennt. Der eigentliche Brutkasten befindet sich im Hauptraum und ist doppelwandig. Die Doppelwände sind über das Füllrohr C mit Wasser gefüllt. Im wassergefüllten Boden steckt der Temperaturfühler D, der rechts aus dem Ofen herausragt. Sein linker Teil ist mit Alkohol gefüllt, sein U-förmiger, rechts offener mit Quecksilber. Entsprechend der Temperatur des Wassers und der damit verbundenen Wärmeausdehnung des Alkohols steigt und fällt der Quecksilberspiegel. Auf dem Quecksilber schwimmt die senkrechte Stange B, die oben in den bei G gelagerten Hebel H eingreift, an dessen anderem Ende der

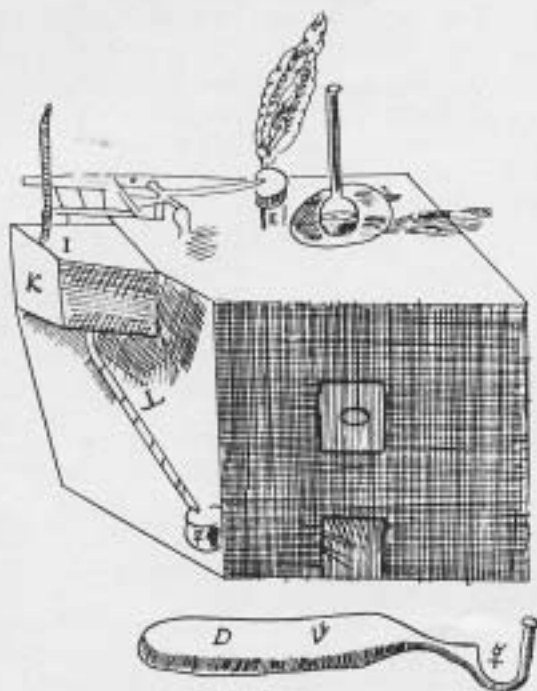


Abb. 4: Destillationsofen von DREBBEL [5]. Unter dem Ofen ist der Temperaturregler zum Brutschrank der Abb. 3 abgebildet

Deckel F befestigt ist. Die Regelung erfolgt in folgender Weise: Die Verbrennungsgase steigen an den Wänden des Brutkastens vorbei, erwärmen das Wasser und entweichen durch die Öffnung E. Ist das Wasser heißer als gewünscht, wird der Rauchabzug E durch den Deckel F geschlossen. Das Feuer erhält weniger Luft und erzeugt so weniger Wärme. Stange B und Hebel H sind am Ende mit Gewinden versehen, um das Hebelverhältnis (und damit den Sollwert) verändern zu können.

Der Destillationsofen ist einfacher aufgebaut, da der doppelwandige Aufbau entfällt. Die Retorte wird direkt mittels der die Öffnungen der Trennplatte durchdringenden Verbrennungsgase erhitzt (bzw. über ein eingebautes Sandbad). Wegen der höheren Temperaturen wird als Thermometerfüllung Luft statt Alkohol verwendet. Außerdem besitzt der Destillationsofen noch ein Anzeigethermometer.

3. Entwicklungen im 18. Jahrhundert

Die Ofenregelung von William HENRY (um 1760) [5]

Ähnlich wie beim Ofen von DREBBEL arbeitet die Anlage des Amerikaners HENRY (Abb. 5), jedoch mit einem anderen Temperatur-

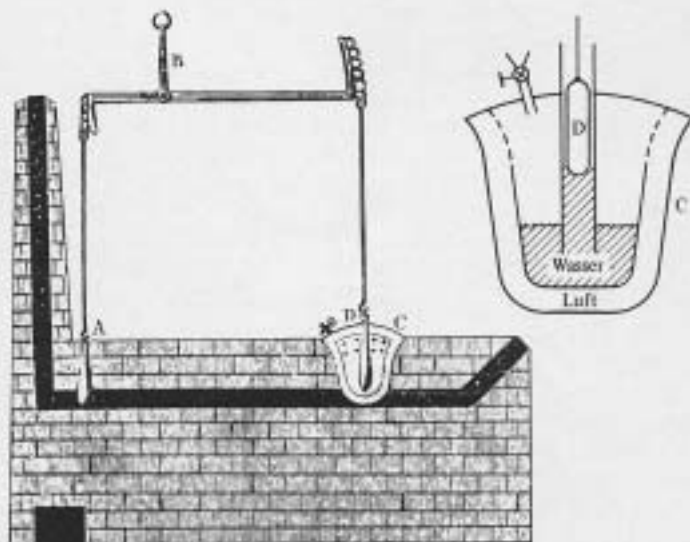


Abb. 5: Ofenregelung von HENRY mit schematischer Darstellung des Temperaturfühlers [5]

regler. In dem Kupfergefäß C befindet sich über dem Wasserspiegel Luft, die mit steigender Temperatur das Wasser in einem Steigrohr aufsteigen läßt. Der im Steigrohr befindliche Schwimmer D überträgt die Bewegung über Gestänge und Hebel auf den Rauchgasschieber A. Unterschiedliche Sollwerte lassen sich durch Änderung des Hebelverhältnisses einstellen.

Der Brutofen von BONNEMAIN (um 1780) [5]

Wie DREBBEL und später RÉAUMUR beschäftigte sich der Franzose BONNEMAIN mit künstlichen Brutmethoden von Hühnern und entwickelte dafür Brutchränke mit selbsttätiger Temperaturregelung. Als Stellglied wirkte wieder eine Luftklappe, die die Luftzufuhr zur Feuerung erhöhte bzw. drosselte. Über Hebel war die Luftklappe mit dem Temperaturregler verbunden, der nicht auf dem Schwimmerprinzip aufgebaut war, sondern auf der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung zweier Metalle (Eisen und Blei oder Zinn) beruhte. Durch geschickte Hintereinanderschaltung von Hebeln wird die unterschiedliche Ausdehnung der Metalle etwa hundertfach vergrößert, die somit direkt auf die Luftklappe übertragen werden kann.

4. Der Begriff „Thermostat“

Die Einführung des Begriffes „Thermostat“ erfolgte 1830 durch A. URE [6]. Er war Verfasser mehrerer wissenschaftlicher und philosophischer Werke. Sein „Dictionary of Arts, Manufactures and Mines“ erschien 1839. Er meldete 1830 ein Patent an mit dem Titel „An apparatus for regulating Temperature in Vaporization, Distillation and other Processes“, in dem er mehrere Temperaturregler beschrieb.

Wörtlich heißt es: „The said compound bar and apparatus ... constitutes a self-acting instrument for regulating and controlling temperature, which I propose to call a heat-governor, and it also serves to fix the heat of a medium at a definite degree amid causes of ever-fluctuating temperature, for which reason I also propose to call it a thermostat“ [7]. Obwohl hier „Thermostat“ für den Temperaturregler verwendet wird, nennt URE auch die vollständige Einrichtung (und damit in unserem Sinne) Thermostat. Das Wort scheint sich recht schnell eingebürgert zu haben. So schreibt BUNSEN [8] im Jahre 1867 in einer Arbeit, in der er ausführlich den weiter unten erwähnten Luftthermostaten beschreibt: „Ich bediene mich fast immer bei chemischen Operationen, die eine constante Temperatur erfordern, solcher Thermostate mit seitlicher Wärmeleitung in den verschiedensten, den Umständen angepaßten Formen“. Daß auch im englischen Sprachgebrauch unter „Thermostat“ nicht nur Temperaturregler, sondern auch Thermostate in unserem Sinn verstanden werden, beweist eine Arbeit von BEATTIE [9] von 1931 mit dem Titel: „A Precision Thermostat for temperatures from -25°C to 500°C “, in der ein Badthermostat beschrieben wurde (s. u.).

5. Der Thermostat von BUNSEN und die weitere Entwicklung der Luftthermostate

Bei den bisherigen Beispielen wurde nahezu ausschließlich Holzkohle, später sicher auch Steinkohle, zur Wärmeerzeugung eingesetzt. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts stand das aus Steinkohle gewonnene Gas zunächst zur Beleuchtung, in den Laboratorien sicher auch bald zur Wärmeerzeugung zur Verfügung. BUNSEN erfand um 1850 den nach ihm benannten Brenner, dessen Flamme sich durch Veränderung der Luftzufuhr auf unterschiedliche Temperaturen einstellen ließ und wegen des konstanten Gasdrucks auch über längere Zeit konstant blieb. Allerdings wurde häufig auch weiterhin Kohle verwendet. BUNSEN [8] hat seinen Luftthermostaten im Zusammenhang mit der „Bestimmung des spezifischen Gewichts von Dämpfen und Gasen“ aufgebaut und beschrieben. Den Aufbau zeigen die Abb. 6 und 7. Annähernd konstante Temperaturen wurden nicht durch eine Temperaturregelung er-

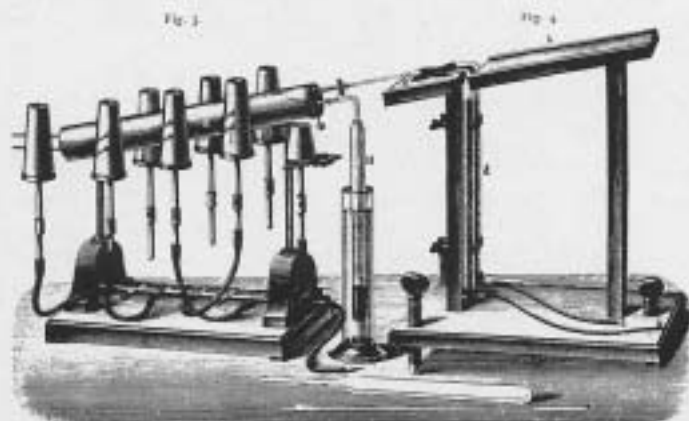


Abb. 6: Thermostat von BUNSEN (linker Teil) aus der Originalveröffentlichung [8]

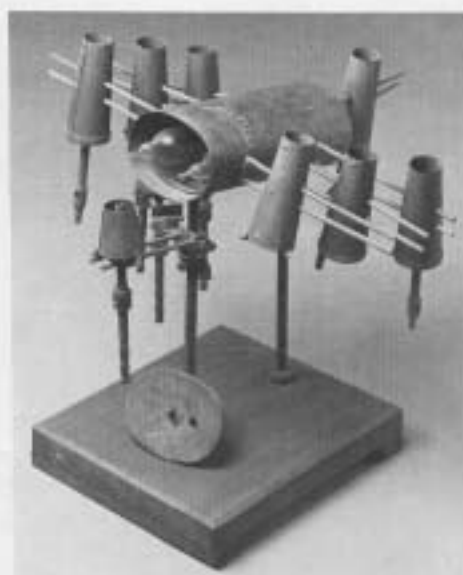


Abb. 7: Thermostat von BUNSEN aus der Sammlung der Chemischen Institute der Universität Heidelberg. Ein weiteres Exemplar des Thermostaten befindet sich im Deutschen Museum München

zeugt (insofern ist der Apparat kein „Thermostat“), sondern durch eine Temperatursteuerung, indem die verschiedenen Bunsenbrenner entsprechend der gewünschten Temperatur auf den seitlichen Stangen in unterschiedliche Position gebracht wurden. Zur Temperaturmessung wurde ein Thermometer durch eine der Öffnungen im vorderen Deckel gesteckt. Ohne Störgrößen bleibt die Temperatur im Innenraum weitgehend konstant. BUNSEN erzeugte Temperaturen bis 300°C in diesem Thermostaten und erzielte eine Temperaturkonstanz von $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

In der weiteren Entwicklung der Luftthermostate werden zunehmend Temperaturregelungen verwendet. So beschreibt GOUY [10] eine sehr genaue Ofenregelung.

Luftthermostate mit hoher Temperaturkonstanz spielen um 1930 zur Temperierung von Quarzkristallen als Frequenznormal eine erhebliche Rolle [11, 12].

Die weitere Entwicklung der Luftthermostate bis zum heutigen reichhaltigen Angebot an Wärmeschränken unterschiedlichster Bauart wird hier nicht weiter verfolgt.

6. Ausblick auf die Kalorimetrie

Kamen die Antriebe zum Aufbau von Thermostaten bis zum Ende des 18. Jahrhunderts aus der Chemie im weitesten Sinne und dem künstlichen Brüten, so begann man sich Ende 18./Anfang 19. Jahrhundert mit der Erkundung der Wärmephänomene zu beschäftigen. Um 1760 entdeckte BLACK die „latenten Wärmen“, was zur begrifflichen Trennung von Temperatur und Wärme führte. Instrumente zur Messung der Temperatur (Thermometer) waren bekannt; in der folgenden Zeit wurden zahlreiche Geräte zur Messung der Wärme (Kalorimeter) entwickelt. Ausführlich berichtet hierüber HEMMINGER [13, 14].

Kalorimeter erfordern im Kalorimetermantel, z. B. bei isothermer Versuchsführung, konstante Umgebungstemperatur, also einen Thermostaten. Ohne Zuhilfenahme der selbsttätigen Regelung wurde dies z. B. durch Verwendung einer Flüssigkeit am Siedepunkt (Wasser; noch heute für tiefe Temperaturen: verdampfende flüssige Gase) oder eines Festkörpers am Schmelzpunkt (Eis) erreicht. Heutige Kalorimeter verwenden integrierte Thermostate hoher Temperaturkonstanz.

7. Die Entwicklung der Badthermostate

Das Marienbad der Alchimisten haben wir bereits kennengelernt. Das Wasserbad, in dem Wasser zum Sieden gebracht wurde unter Zuhilfenahme des Bunsenbrenners, ist im 19. Jahrhundert in zahlreichen Variationen bekannt und erhalten geblieben.

Einen vorzüglichen Eindruck vom Stand der Laboratoriumstechnik im 19. Jahrhundert gibt die von 1825 – 1840 erschienene Zeitschrift „Das Laboratorium“, in der auf Tafel 85 „Lampenöfen, Sand- und Wasserbäder“ beschrieben und abgebildet sind [15]. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstand im Zusammenhang mit der Thermometrie (Eichen von Thermometern, Vergleich des Widerstandsthermometers mit dem Gasthermometer) die Forderung, Temperaturkonstanzen von etwa $\pm 0,01^\circ\text{C}$ und genauer zu erzeugen, und zwar von möglichst tiefen bis hohen Temperaturen. Die Problematik hat sich bis heute nicht geändert, kommen doch als Betriebsmittel bei den geforderten Genauigkeiten nur Flüssigkeiten infrage, deren Einsatz aber durch Gefrierpunkt und Siedepunkt begrenzt ist. So sind auch heute noch Badthermostate praktisch nur zwischen -150°C und 300°C einsetzbar, wenn man von der Verwendung der Salzschnmelzen einmal absieht.

Einen bemerkenswerten Badthermostaten beschreibt HENNING [16] im Jahre 1913 „Ein Thermostat für tiefe Temperaturen“. Zu dieser Zeit standen zur Verfügung: die elektrische Widerstandsheizung, zur Kühlung flüssige Luft, sehr genaue Thermometer, aber nur ungenügende Temperaturregler. Diese wurden zwar zwischenzeitlich auch industriell gefertigt und kamen sicher in Wärmeschränken zur Anwendung, erfüllten aber die Forderung nach Genauigkeit nicht. HENNING verzichtet daher ganz auf eine Regelung und setzt eine Steuerung unter möglichst konstanten Betriebsbedingungen ein. Ein Problem wurde klar erkannt: Wenn man hohe Temperaturkonstanz fordert, benötigt man eine kräftige Badrührung. Dies wurde durch einen elektrisch angetriebenen Flügelrührer erreicht, der von einem Rohr umschlossen ist, die Flüssigkeit am Boden ansaugte und aus seitlich angebrachten Löchern wieder herausdrückte. Das Bad war mit Petroläther gefüllt und wurde durch einen sehr konstanten Strom flüssiger Luft gekühlt. Die Temperatur wurde durch Änderung des Stromes der flüssigen Luft variiert, und zwar zwischen -150°C und 0°C . Die Temperaturkonstanz betrug wenige Hundertstel Grad.

Einen sehr fortschrittlichen Badthermostaten für den Temperaturbereich von -25°C bis 500°C baute BEATTIE [9] 1931. Großer Wert wurde auf starke Rührung gelegt, denn BEATTIE stellte fest „One of the limiting factors in temperature regulation is stirring“. Besonders erwähnenswert ist die Temperaturregelung, die mit einem Platin-Widerstandsthermometer in einer Wheatstoneschen Brücke arbeitete. Die Diagonalspannung wurde durch ein Spiegelgalvanometer verstärkt und durch 2 Photozellen in Signale für eine Zweipunktregelung umgewandelt. Der Heizstrom wurde über ein Relais geschaltet. Es wird aber auch die Möglichkeit erwähnt, den Strom kontaktlos über ein Thyatron zu schalten. Die Temperaturkonstanz wird mit $\pm 0,001^\circ\text{C}$ angegeben.

Weiterentwicklungen dieser Badthermostate für wissenschaftliche Zwecke in Universitäten und in den nationalen Eichbehörden (PTR, NBS) bis in unsere Zeit führten zu Werten der Temperaturkonstanz bis zu 10^{-6}°C . Wegen des hohen Aufwandes und des damit verbundenen Preises sowie der begrenzten Einsetzbarkeit wurden diese Geräte kaum industriell hergestellt. Von weit größerer Bedeutung für die Praxis blieben Wasserbad und Ölbad, die mit einfachen mechanischem Temperaturregler und ohne Rührung versehen eine Temperaturkonstanz von $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ermöglichen. Die gleichbleibende Bedeutung auch heute zeigt die Arbeit an einer Norm für Heizbäder [17].

8. Die Entwicklung der Umwälzthermostate

Währenddem sich beim Badthermostaten die Entwicklung bis ins Mittelalter zurückverfolgen läßt, gibt es für den Umwälzthermostaten, der eine Umwälzpumpe besitzt und ein externes Gerät auf eine konstante Temperatur bringt, keine ähnliche Entwicklung. Um 1930 wurden die ersten Geräte entwickelt, um rheologische Meßgeräte zu thermostatisieren.

Der Umwälzthermostat von Brabender

Der erste Flüssigkeits-Umwälzthermostat in seiner klassischen Form mit Badkessel, Umwälzpumpe, Heizkörper, Temperaturregler und Kühleinrichtung wurde 1928 durch C. W. BRABENDER entwickelt, ab 1930 hergestellt und zur Temperierung von Meßgeräten eigener Produktion (Meßknefer Farinograph) eingesetzt [18]. Ein Exemplar steht im landwirtschaftlichen Museum in Budapest. Die Abb. 8 zeigt den Thermostaten, mit dem 2 Kammern des Kneters temperiert wurden. In der Beschreibung des Gerätes heißt es:

„Wasserzirkulation

Durch eine Druckpumpe, welche direkt mit einem Flanschmotor gekuppelt ist, wird das Wasser aus dem Thermostaten unter Druck durch die Gummischläuche in die Hohlwände des Kneters geleitet und läuft von hier aus wiederum in den Thermostaten zurück. Durch die Wasserzirkulation wird eine gleichmäßige Erwärmung aller Teile erreicht, deren Temperatur auf die Messung von Einfluß ist. Der Thermostat wird mit destilliertem Wasser gefüllt, welchem zum Schutz der Metallteile ein mitgeliefertes Zusatzmittel beigelegt wird. Der Thermostat hat 3 Anschlüsse für 3 separate Wasserkreisläufe. Hierdurch können von einem Thermostat aus mehrere Knefer oder Maschinen (z. B. auch andere Geräte) temperiert werden.

Temperaturregelung

Die Erwärmung des Wassers im Thermostat erfolgt durch eine

elektrische Heizpatrone, welche durch einen einstellbaren Thermostatregulator ein- und ausgeschaltet wird. Wenn die Heizung eingeschaltet ist, leuchtet eine Kontrollglühlampe auf.

Der eingebaute Temperaturregler ist ein Ausdehnungsregler mit Vakuumschalter und hat eine Ansprechempfindlichkeit von 0,2 – 0,4 °C.

Kühlung

Um den Thermostaten auch in tropischen Ländern auf einer Temperatur von 30 °C halten zu können, ist im Inneren des Thermostatbehälters eine Rohrschlange eingebaut, durch die Kühlwasser geleitet wird.

Schwimmer-Thermometer

Die Temperatur des Thermostatwassers wird an einem Thermometer abgelesen, welches mit einem Schwimmer versehen ist. Dieses zeigt gleichzeitig den Wasserstand im Thermostat an.

Stromanschluß

Der Thermostat hat separaten Anschluß durch ein Gummikabel mit eingebautem Schalter. Für den Thermostat wird 110 oder 220 V Wechselstrom 50 Perioden benötigt. Der Anschlußwert ist ca. 0,7 kW.

Raumbedarf

Der Thermostat ist 60 cm hoch und 36 cm im Durchmesser.

Bei Platzmangel kann man den Thermostat auch über oder unter den Tisch stellen. Der Thermostat wiegt etwa 22 kg.“

Der Umwälzthermostat von Höppler

Als HÖPPLER 1932 das nach ihm benannte Kugelfallviskosimeter entwickelte, trug er der im allgemeinen starken Abhängigkeit der Viskosität von der Temperatur dadurch Rechnung, daß er um das Meßrohr einen Flüssigkeitsmantel als Badthermostaten baute. Die erreichte Temperaturkonstanz stand in keinem Verhältnis zur durch die Meßgenauigkeit des Viskosimeters geforderten. So entstand bei HÖPPLER die Idee, einen Umwälzthermostaten aufzubauen, der im Umwälzverfahren den Doppelmantel des Viskosimeters genauer und für den praktischen Gebrauch geeigneter temperieren konnte. Durch das inzwischen verfügbare verstellbare Kontaktthermometer (siehe unten) war leicht im Thermostaten selbst eine Temperaturkonstanz von wenigen Hundertstel Grad erreichbar, während BRABENDER in seinem Thermostaten eine Temperaturkonstanz von einigen Zehnteln erreichte. Der erste Thermostat wurde 1933 aufgebaut, die Serienproduktion 1934 aufgenommen. 1935 wurde ein Gerät von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin geprüft. In dem Prüfbericht heißt es [19]:

„Der zur Prüfung eingereichte Ultra-Thermostat nach HÖPPLER besteht aus einem Flüssigkeitsbehälter von etwa 7 l Inhalt, einem elektrischen Heizkörper für 900 Watt mit Elektro-Thermometer und Signallampe, einer Umwälzpumpe und Rührpropeller mit Motor und einer Kühlschlange. Das Elektro-Thermometer kann mit einem beigegebenen Magneten auf die gewünschte Temperatur eingestellt werden und schaltet bei Überschreitung dieser Temperatur den Heizkörper aus. Die Signallampe leuchtet, solange der Heizkörper eingeschaltet ist. Wenn der Ultra-Thermostat nach HÖPPLER Temperaturen unterhalb 30° halten soll, muß die Kühlschlange

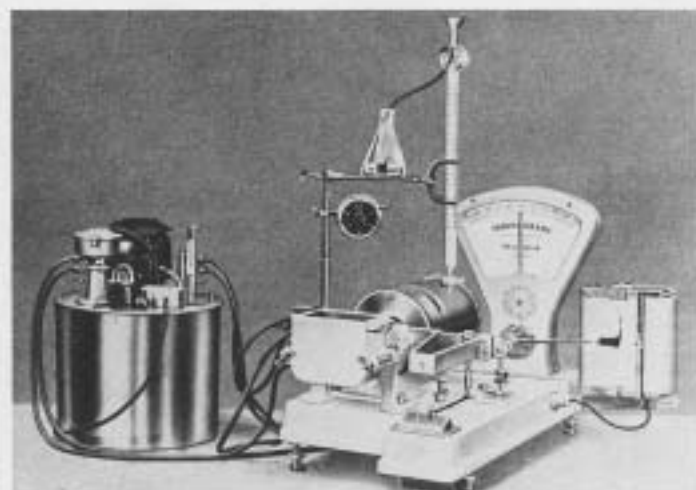


Abb. 8: Brabender-Umwälzthermostat mit angeschlossenem Meßknefer. Dieses Bild wurde von der Fa. Brabender Duisburg zur Verfügung gestellt.

an die Wasserleitung oder einen Kälteerzeuger angeschlossen werden. Der Ultra-Thermostat nach HÖPPLER wurde in Verbindung mit einem Höppler-Viskosimeter geprüft. Als Mittel einer großen Anzahl von Versuchen ergaben sich die in Tabelle 1 mitgeteilten Werte, die sich auf das Flüssigkeitsbad des Höppler-Viskosimeters beziehen, das mit Schläuchen von etwa 0,45 m Länge an den Thermostaten angeschlossen war*.

Es folgen Meßwerte. Abschließend heißt es:

„Die Tabellen zeigen, daß die größten Schwankungen bei Temperaturen unterhalb der Zimmertemperatur auftreten; als Ursache sind die Temperatur- und Druckschwankungen der Wasserleitung anzusehen. Bei Temperaturen zwischen 40 und 100° betragen die Schwankungen im Flüssigkeitsbad nur einige hundertstel Grad, im Innern des Fallrohres erreichen sie infolge der Dämpfung durch das Glas höchstens ein hundertstel Grad. Die mittlere Temperatur während eines bestimmten Zeitraumes berechnet man am zuverlässigsten aus vielen Einzelablesungen.

Wenn man nach der dem Ultra-Thermostaten nach HÖPPLER beigegebenen Gebrauchsanweisung verfährt und das Mittel aus dem beobachteten Höchst- und Tiefstwert bildet, muß man eine Unsicherheit von etwa 0,02° ($\pm 0,01^\circ$) in Kauf nehmen“.

Thermostat und Viskosimeter zeigt Abb. 9 [20]. Abb. 10 gibt einen Eindruck vom Aufbau des Thermostaten.

Wegen der hohen Temperaturkonstanz sowie der Serienfertigung durch die Firma Gebrüder Haake, Medingen/Dresden, wird der Höppler Ultra-Thermostat allgemein als erster Umwälzthermostat angesehen.

Im Jahre 1938 entwickelte HÖPPLER den Ultra-Thermostaten NB (Abb. 11), einen kombinierten Bad- und Umwälzthermostaten, der zum Vorbild für alle weiteren Thermostate wurde und in vielen Tausenden Exemplaren gebaut wurde. Er erlaubte sowohl die sehr genaue Temperierung im Bad selbst (NB = Normal-Bad) als auch über die Umwälzpumpe die Temperierung von externen Meßgeräten, die inzwischen durch Einbau eines Doppelmantels für den Anschluß eines Umwälzthermostaten anschlussfähig gebaut wurden (z. B. Refraktometer). Folgende Anwendungsmöglichkeiten gibt HÖPPLER noch zusätzlich an [19]:

Erweiterung des Temperaturbereiches zu tiefen Temperaturen durch Anschluß eines Kältespeichers, der mit Trockeneis gefüllt ist.

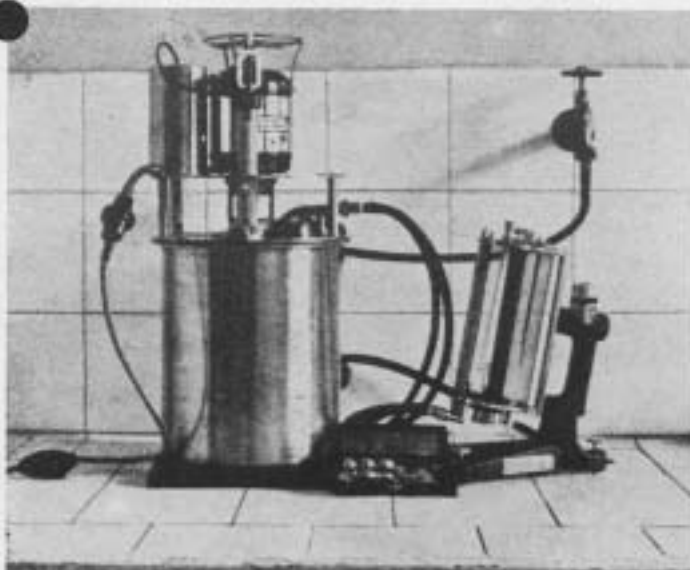


Abb. 9: Höppler-Umwälzthermostat mit angeschlossenem Höppler-Kugelfallviskosimeter

Aufbau eines „Brückenthermostaten“, bei dem auf einer Brücke alle Funktionselemente des Thermostaten montiert sind und der auf beliebige Bäder gesetzt werden kann.

Temperaturprogrammierung mit linearer Temperaturänderung durch Veränderung des Kontaktthermometers über einen Synchronmotor.

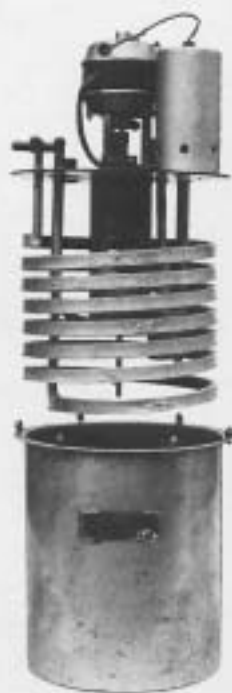


Abb. 10: Höppler-Thermostat (Fabrik-Nr. 65) nach Abnahme der Deckplatte (ohne Kontaktthermometer). Das Gerät befindet sich im Besitz von Dr. Riesch Colora Messtechnik Lorch

9. Die Entwicklung des verstellbaren Kontaktthermometers [21]

Die Entwicklung des modernen genauen Umwälzthermostaten ist über Jahrzehnte untrennbar mit der Geschichte des verstellbaren Kontaktthermometers, oder, wie man früher oft sagte, des Elektrottermometers, verbunden gewesen, so daß dieses bei einer geschichtlichen Betrachtung nicht fehlen darf. Die folgenden Informationen verdanken wir M. K. JUCHHEIM von der gleichnamigen Firma in Fulda.

Die Idee, ein mit Quecksilber gefülltes Thermometer durch einen von oben in die Kapillare eingeführten Metalldraht zu einem Zweipunktregler abzuändern, war bereits 1925 bekannt. Bei dem von der Fa. H. Juchheim hergestellten Thermometer (Abb. 12a) war allerdings durch Luftzutritt an der Drahtdurchführung die Lebensdauer durch Quecksilberoxydation sehr kurz. Bei dem Thermometer nach STUHL-LAUTENSCHLÄGER und ähnlicher Ausführung (Abb. 12b) waren die Elektroden fest eingeschmolzen. Die Einstellung des

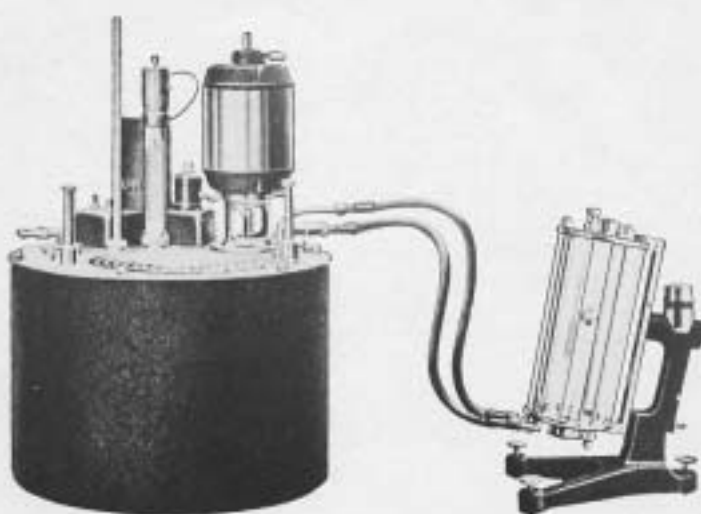


Abb. 11: Höppler-Thermostat NB [19]

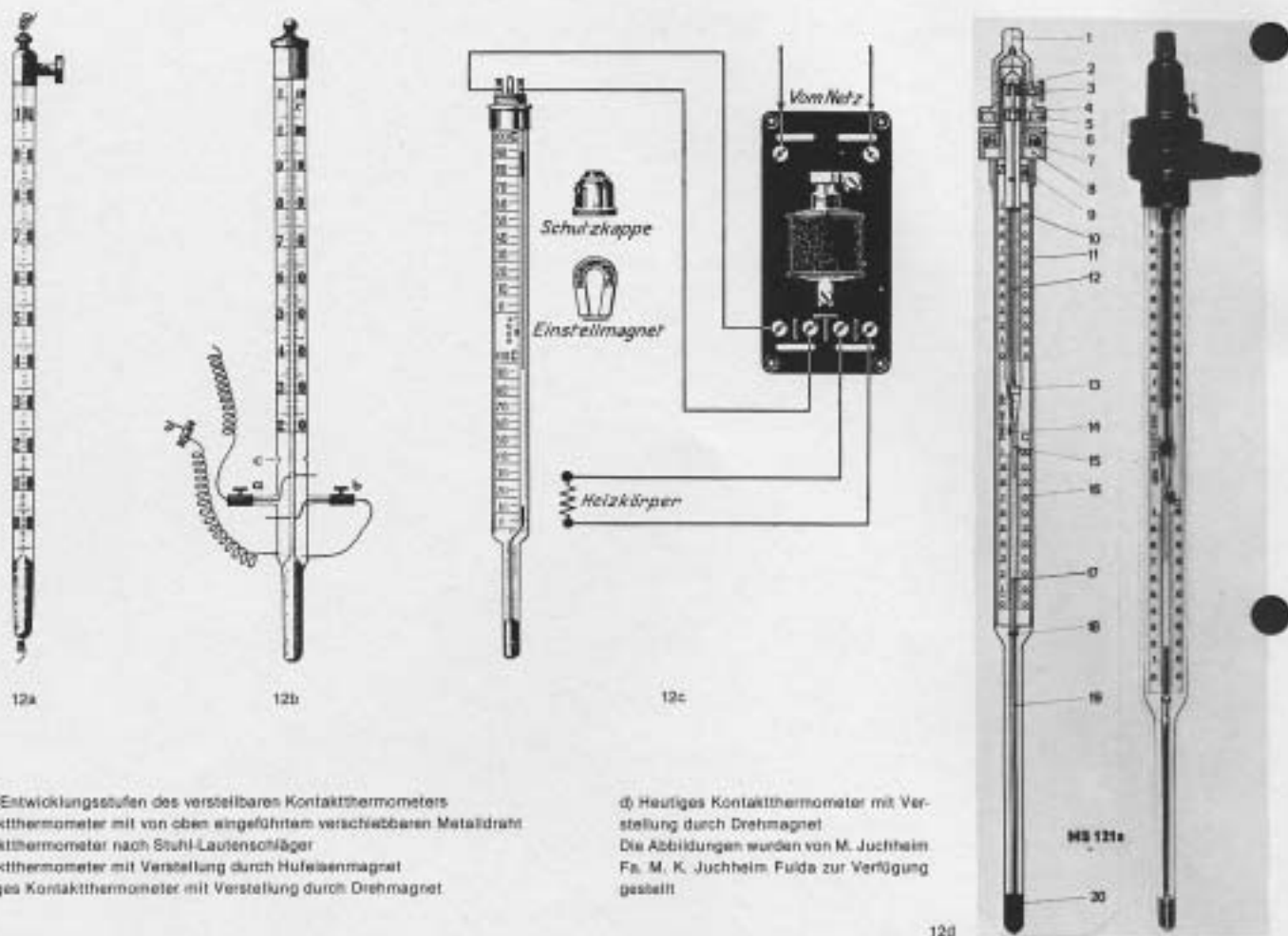


Abb. 12: Entwicklungsstufen des verstellbaren Kontaktthermometers
 a) Kontaktthermometer mit von oben eingeführtem verschiebbarem Metalldraht
 b) Kontaktthermometer nach Stuhl-Lautenschläger
 c) Kontaktthermometer mit Verstellung durch Hufeisenmagnet
 d) Heutiges Kontaktthermometer mit Verstellung durch Drehmagnet

d) Heutiges Kontaktthermometer mit Verstellung durch Drehmagnet
 Die Abbildungen wurden von M. Juchheim Fa. M. K. Juchheim Fulda zur Verfügung gestellt

Soll-Wertes mußte durch Abklopfen von Quecksilberteilchen erfolgen, was sehr zeitraubend und wenig reproduzierbar war.

1926 kam das erste brauchbare verstellbare Kontaktthermometer mit Gleitmagneteinstellung von E. JUCHHEIM in Fa. H. Juchheim heraus, welches zuerst für den Laborgebrauch gedacht war. Die Einstellung wurde im Bereich von -38°C bis 600°C mit einem Hufeisenmagneten vorgenommen. Durch die magnetische Kraftübertragung auf die Einstellmarke des damit verbundenen verstellbaren Drahtes zur Sollwerteneinstellung wurden Dichtungsprobleme vermieden.

Für Geräte, bei denen sich durch übertragene mechanische Schwingungen der Kontakt draht verschieben konnte, wurden Kontaktthermometer mit festklemmbarem Ringmagnet entwickelt.

Um diese Kontaktthermometer noch universeller einsetzen zu können, wurden diese in Einschlußform, also mit Milchglasskala, oben mit aufgesetzter Kontaktkappe, versehen (Abb. 12c), welche auch mit Metallarmatur, in Stock- und Winkelform, lieferbar waren und so nun überall dort, wo Temperaturregelungen notwendig waren, eingesetzt werden konnten, z. B. beim Trocken- und Klimaschranksbau, im Ofenbau, für Brutapparate, in Bakelitpressen, in der Raum- und Aquarienheizung und vor allem auch bei den Umwälzthermostaten.

Die Entwicklung zum heutigen Kontaktthermometer mit Drehmagneteinstellung erfolgte in folgenden Schritten:

- Etwa 1932 wurde ein Kontaktthermometer mit festeingeschmolzener Gewindespindel entwickelt, auf der sich asymmetrisch eine Wandermutter mit dem Kontakt draht befand. Durch Drehen des Thermometers konnte die Wandermutter bewegt

und damit der Sollwert verändert werden. Da diese Thermometer nicht sehr praktikabel waren, setzten sie sich nicht durch.

- Bei einer Weiterentwicklung war die Wandermutter in einem ovalen Rohr (damit sie sich nicht drehen konnte) und die Stahlgewindespindel drehbar mit einer Durchführung im Oberteil. Trotz dreifacher Abdichtung blieb das Vakuum nicht erhalten. Die Thermometer wurden nach einigen Monaten durch Oxydation unbrauchbar.
- Der endgültige Durchbruch infolge Weiterentwicklung von O. JUCHHEIM kam dadurch, daß die Stahlspindel oben zusätzlich einen Drehanker erhielt und sich in einer Glasnasenföhrung befand und somit einen Glas- bzw. Vakuumverschluß ermöglichte (Abb. 12d). Damit befanden sich die notwendigen Teile (Drehanker zum Drehen der Stahlspindel, drehbare Stahlspindel und Wandermutter mit daran befestigtem Kontakt draht) innerhalb des evakuierten und hermetisch geschlossenen Glasteiles. Die Verstellung des Sollwertes erfolgte durch einen oben aufgesetzten Drehmagneten.

In den letzten Jahrzehnten wurde durch weitere Verbesserungen in der Konstruktion, in den Fertigungsmethoden und in der Qualitätskontrolle das Kontaktthermometer zu seiner heutigen Zuverlässigkeit und Genauigkeit weiter entwickelt.

10. Die Entwicklung nach 1945

Wie bereits schon erwähnt, muß bei der weiteren Entwicklung zwischen Thermostaten für die wissenschaftliche Forschung, bei der Probleme mit Apparaten zu lösen waren, die oft kommerziell nicht zur Verfügung standen, und Thermostaten aus industrieller Fertigung für die Hauptanwendungen unterschieden werden. Über

...re unterrichten erschöpfend ANGERER/EBERT (1964) [22], EDER (1956) [23] und LAPORTE (1961) [24]. Auf diese Geräte soll daher nicht näher eingegangen werden.

Wenden wir uns nun den industriellen Thermostaten zu, wobei wir uns im weiteren auf Flüssigkeitsthermostate beschränken.

Einen Überblick über den Stand der Thermostatechnik in den Fünfziger [25, 26, 27] und in den Sechziger Jahren [28] geben die Arbeiten von R. WOBSE. In der Keimzelle der universellen Thermostate, der Fa. Gebr. Haake in Medingen bei Dresden, dem späteren Prüfgerätewerk Medingen, wurden die Höpplerschen Entwicklungen durch R. WOBSE konsequent fortgeführt. Bei dem 1949 entwickelten Universalthermostaten U 8 (Abb. 13) waren neben klarem funktionellen Aufbau folgende Funktionen, teilweise zum ersten Male, realisiert:

Doppel- oder Duplexpumpe, die zum Anschluß offener Bäder verwendet werden konnte. Die Pumpe besteht aus Druck- und Saugstufe, wobei die Fördermenge der Saugstufe konstant war, die Fördermenge der Druckstufe sich selbsttätig der der Saugstufe anglich.

Aufheizhilfe zur Verkürzung der Aufheizzeiten mit automatischer - und Abkopplung.

Leichter Austausch defekter Baugruppen.

Zur Gerätefamilie gehörten noch der kleinere Umwälzthermostat U 3 sowie der Eintauchthermostat E 3. Die weitere Entwicklung des Medinger Werkes auf dem Gebiete der Thermostate findet man bei TELLE [30].

Bedingt durch die politische Teilung war in der Bundesrepublik die Versorgung mit Thermostaten nicht sichergestellt, so daß mehrere Firmen begannen, Thermostate nach Medinger Vorbild und zunehmend auch nach eigenen Entwicklungen zu bauen. Anfang der Fünfziger Jahre bestand folgende Situation:

Die Fa. Colora (Inh. Dr. RIESCH), gegr. 1947, war zunächst Vertreter des Medinger Werkes und begann 1951, auf Grund einer Lizenz Ultra-Thermostate nach HÖPPLER zu bauen. Eine wesentliche Verbesserung wurde 1952 vorgenommen, und zwar durch Einbau eines Thyatron anstelle der Quecksilberschaltröhre. Die Belastung des Kontaktthermometers wurde dadurch sehr stark reduziert, wodurch sich die Lebensdauer erheblich verlängerte. Eine eigene Entwicklung war der Kleinthermostat K, bevorzugt eingesetzt zum Temperieren von Refraktometern. Im Jahre 1953 wurden die ersten



Abb. 13: Wobser-Umwälzthermostat U 8 [29]



Abb. 14: Colora-Kältethermostat KT 20

Die Abbildung wurde von der Fa. Colora Messtechnik Lorch zur Verfügung gestellt

Kältethermostate mit maschineller Kühlung für den Laborgebrauch hergestellt (Type KT 20, Abb. 14) [31]. Das System eignete sich sowohl für Tischgeräte als auch für bodenständige Geräte mit größerer Kälteleistung. Dem Gerät bis Tiefsttemperaturen von -20°C folgten 1955 solche bis -40 bzw. -60°C . Erwähnenswert ist besonders das Prinzip der Kältemittelheizung, bei dem die Wärme nicht durch Widerstandsheizung erzeugt wurde, sondern durch Umleitung des heißen Kältemittels über die Verdampferschlinge.

Die Fa. Gebr. Haake, Berlin (Inh. P. HAAKE) begann ab 1950 mit der Entwicklung und der Produktion eigener Thermostate, die sich zunächst eng an die Höpplersche Ausführung anlehnten. Zum Temperieren auch offener Bäder wurde 1955 eine Druck/Saugpumpe nach dem Injektorprinzip entwickelt, bei der sich das Niveau im angeschlossenen offenen Bad aus der Höhe der Saugschlauchöffnung ergibt. Originelle Entwicklungen waren ein sehr kompakter Einhängethermostat „Unitherm“ sowie ein kleiner Umwälzthermostat „FE“ (Abb. 15). 1959 wurde ein elektrischer Temperaturregler entwickelt, bei dem die nichtlineare Kennlinie des Platin-Widerstandsthermometers linearisiert wurde, eine Grundvoraussetzung der digitalen Temperatureinstellung. Der Temperaturregler war als Zusatzgerät zum Thermostaten entwickelt und ersetzte die standardmäßige Regelung mit Kontaktthermometer.

Die Fa. B. Braun Melsungen entwickelte ab 1949 Thermostate, insbesondere Einhängethermostate für das medizinisch-biologische Labor. Das Gerät „Thermomix I“ war sicher der erste universell einsetzbare Einhängethermostat (Abb. 16). Frühzeitig wurden Halbleiter-Temperaturfühler in Brückenschaltung und elektronische Regler anstelle des Kontaktthermometers eingesetzt.

Die Fa. W. Herzog Berlin/Lauda (Inh. W. HERZOG) fertigte eine Zeit lang den sog. „Diathermostaten“ nach UMSTÄTTER [33], eine sehr originelle Konstruktion, die infolge einer elektrolytischen Heizung sehr kurze Aufheizzeiten und eine hohe Temperaturkonstanz ermöglichte, die sich aber in der Praxis nicht durchsetzte. Daneben wurde ein Badthermostat mit eingesetzten Scheiben zur Viskositätsmessung gefertigt.

Von der Fa. Brabender Duisburg (siehe Abschnitt 6) wurden weiterhin Umwälzthermostate zur Temperierung mehriphysikalischer Meßinstrumente gefertigt.

Im Jahre 1956 gründete R. WOBSE das Meßgeräte-Werk Lauda Dr. R. Wobser KG und entwickelte zunächst Ultra-Thermostate im Baukasten-System. Bei diesen Geräten wurde eine totale Trennung von Anwendungsteil (Bad) und Regel- und Steuerteil erreicht (Abb.



Abb. 15: Haake-Umwälzthermostat FE
Die Abbildung wurde von der Fa. Haake Karlsruhe zur Verfügung gestellt

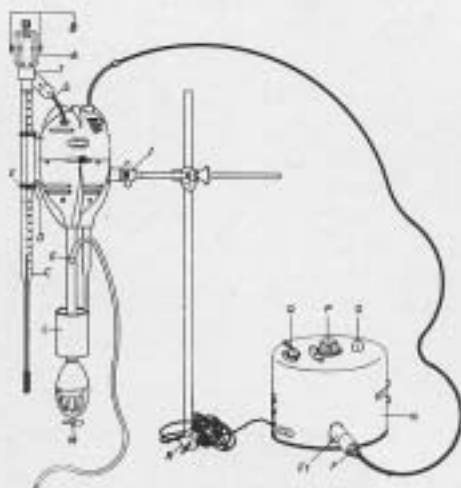


Abb. 16: Braun-Einhängethermostat Thermomix
Die Abbildung stammt aus dem zugehörigen Prospekt, der von der Fa. B. Braun Messungen zur Verfügung gestellt wurde



Abb. 17: LAUDA Ultra-Thermostat WG 20 mit getrennter
Regelheit RT 3 (Werkfoto Meßgeräte-Werk Lauda Dr. R. Wobaer KG)

17). Diese Konstruktion ermöglicht einen vielseitigen Einsatz: Da Regel- und Steuerteil für alle unterschiedlichen Bäder, die sich in Geometrie sowie Heiz- und Pumpenleistungen unterscheiden, gleich sind, lassen sich mit wenigen Komponenten die unterschiedlichsten Anforderungen realisieren. Außerdem ist der Austausch defekter Teile schnell vorgenommen.

Die getrennte Bauweise bewährt sich besonders im chemischen Laboratorium, bei den Untersuchungen bei höheren Temperaturen (300°C) unter dem Abzug vorgenommen werden können, während sich der Bedienungsteil außerhalb befindet (Fernbedienung). Wesentliche Beiträge aus diesem Hause zur Thermostatisierungstechnik waren 1967 die Entwicklung eines „Übertemperatur- und Niveauschutzes“ (Type R 30), mit dem die beiden wichtigen sicherheitsbedeutsamen Größen Temperatur und Niveau automatisch überwacht wurden, der generelle Einbau eines Halbleiterbauteiles (Triac) zum kontaktlosen Schalten des Heizstromes sowie eine Reihe von Kleinthermostaten (Typen K 2 und K 2 R), die vor allem durch ihr Design zum Vorbild der sog. Kompaktthermostate wurden. R. WOBSEER erkannte schon frühzeitig die Bedeutung des Temperierens im Technikum und im industriellen Maßstab und entwickelte Anfang der Sechziger Jahre mehrere sog. Industriethermostate, darunter später eine Reihe ex-geschützter Modelle.

Die Siebziger Jahre waren allgemein durch weitere Fortschritte auf dem Gebiete der Regelungstechnik und Elektronik (Integrierte Schaltkreise, digitale Temperatureinstellung und -messung, stetige Regler), der Zuverlässigkeit (Edelstahl für alle flüssigkeitsbenetzten Bauteile) und der Sicherheit (total getrennte Schaltkreise zur Überwachung von Temperatur und Niveau) gekennzeichnet.

Besonders bemerkenswert ist die Arbeit auf dem Gebiete der Normung gewesen. In der DIN Norm 58966 Teile 1 und 2 [1] werden allgemeine Definitionen und Meßmethoden zu den Kenndaten von Thermostaten gegeben mit dem Ziel, Herstellerangaben vergleichbar zu machen. Die DIN Norm 12879 [34] legt verbindliche sicherheitstechnische Anforderungen fest.

Mit diesem Ausblick auf die allerjüngsten Entwicklungen, speziell bei den Flüssigkeitsthermostaten, soll diese historisch angelegte Arbeit schließen. Wir können sicher sein, daß die Entwicklung auch auf diesem Gebiet nicht stehen bleibt. Neue Anwendungsmöglichkeiten, neue Technologien und neue sicherheitsbezogene Anforderungen werden den Erfindergeist auch weiterhin beflügeln.

Zusammenfassung

Die Entwicklung des heutigen Temperierens mit Thermostaten und Wärmeschränken wird ausführlich behandelt, beginnend mit den Destillationsmethoden der Alchimisten im Mittelalter, dem ersten Brutofen mit selbsttätiger Temperaturregelung und verschiedenen Wasserbädern und Luftthermostaten im 19. Jahrhundert. Auf die Entwicklung der Flüssigkeitsumwälzthermostate wird von den ersten Exemplaren bis zum heutigen Stand besonders ausführlich eingegangen.

Summary

The history of the maintenance of constant temperatures in the laboratory will be described thoroughly. Starting with the different distillation techniques of the alchemists in the middle ages, the first incubation oven with automatic temperature control and different water baths and ovens in the 19th century. The development of modern laboratory thermostats (constant temperature circulators) from the very beginning to the methods of today will be given in detail.

Danksagung

Wertvolle Hilfe erhielt ich von vielen Seiten, für die ich mich herzlich bedanken möchte. Besonders erwähnen möchte ich Herrn M. JUCHHEIM, den Senlorchef der Fa. M. K. Juchheim Fulda sowie Herrn Dr. K. v. MEYEN vom Historischen Institut der Universität Stuttgart. Sehr angenehm war der Erfahrungsaustausch mit den in der Arbeit genannten Firmen, von denen mich besonders Herr Dr. RIESCH von der Fa. Colora Messtechnik Lorch unterstützte.

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 58986 Teil 1: Thermostate. Allgemeine Begriffe, Teil 2: Flüssigkeitsthermostate. Begriffe und Bestimmung der Kenndaten, August 1975, Beuth-Verlag Berlin und Köln
- [2] BRUNSCHWIG, H.: „Das buch der waren kunst zu distillieren“, Straßburg 1512
- [3] GESSNER, C.: „Von allerhand künstlichen und bewerten Oelen usw.“, Lindau 1583
- [4] DIDEROT, „Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des art et des métiers“, Paris 1751 – 72
- [5] MAYR, O.: „Zur Frühgeschichte der technischen Regelungen“, R. Oldenbourg München 1969
- [6] Technisches Wörterbuch, bearbeitet nach Andrew Ure's Dictionary of Arts, Manufactures and Mines von K. Kärmarisch und F. Heeren, Prag 1844
- [7] RAMSEY, A. R. J., The thermostat or heat governor. An outline of its history, Trans. Newcomen Soc. 23, 53 (1945 – 1947)
- [8] BUNSEN, R.: Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Dämpfen und Gasen, Wöhler und Liebig's Annalen der Chemie und Pharmacie 141, 273 (1867)
- [9] BEATTIE, J. A.: A precision thermostat for temperatures from -25°C to 500°C , Rev. Sci. Instr. 2, 458 (1931)
- [10] GOUY, M.: Sur une étuve à température constante, Journal Phys. III Série Bd. 6, 485 (1897)
- [11] 50 Jahre Lorenz (1880 – 1930), Entwicklung eines Thermostates für Kristallniedrigung und seine Anwendungen im Gleichwellenrundfunk, S. 260
- [12] CLAPP, J. K.: Temperature Control for Frequency Standards, Proc. Inst. Radio. Eng. 18, 2003 (1930)
- [13] HEMMINGER, W., G. HÖHNE: „Grundlagen der Kalorimetrie“, Verlag Chemie, Weinheim 1979
- [14] HEMMINGER, W.: Historische Notizen zur Kalorimetrie, Thermochimica Acta 40, 41 (1982)
- [15] „Das Laboratorium“ Weimar 1831
- [16] HENNING, F.: Ein Thermostat für tiefe Temperaturen, Z. Instrukt. 33, 33 (1913)
- [17] DIN 12877, Heißbäder, Entwurf, September 1980, Beuth Verlag Berlin und Köln
- [18] „Mehlphysik. Ein Buch für alle, die mit Getreide und Mehl arbeiten“, Verlag Brabender Duisburg 1935
- [19] Der Ultra-Thermostat nach Höppler, Forschungsberichte Gebr. Hasko, Medingen, Heft 5/1942
- [20] ZICHNER, G.: Dissertation Dresden 1937
- [21] JUCHHEIM, M. K.: Geschichte des verstellbaren Kontaktthermometers, unvoröffentlicht
- [22] ANGERER, E. v., H. EBERT: „Technische Kunstgriffe“, F. Vieweg Verlag, Braunschweig 1964
- [23] EDER, F. X.: „Moderne Meßmethoden der Physik“, Teil II, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1956
- [24] LAPORTE, H.: „Messung, Erzeugung und Konstanthaltung hoher bis tiefer Temperaturen“, VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1961
- [25] WOBSE, R.: Instrumente zur Erzielung sehr genauer Temperaturen in Verbindung mit Temperaturprogrammreglern und ihre Anwendung im Laboratorium, Dechema-Monographien, Nr. 200 – 215, Bd. 17, S. 53
- [26] WOBSE, R.: Temperaturregler im feinmechanischen Apparatebau, Feingerätetechnik 4, 200 (1955)
- [27] WOBSE, R.: Neue Geräte für Temperierungen im Kältegebiet, Chemische Rundschau 21, 1 (1959)
- [28] WOBSE, R.: Neue Methoden für Temperierungen im Kälte- und Wärmegebiet. Teil I: GIT 4, 483 (1960), Teil 2: GIT 5, 29 (1961), Teil 3: GIT 5, 110 (1961), Teil 4: GIT 5, 153 (1961)
- [29] Universal-Thermostat nach Wobse, Betriebsanleitung
- [30] TELLE, W.: „Chemische Laboratoriumsgeräte“, VEB Deutscher Verlag der Grundstoffindustrie, Leipzig 1966
- [31] Patentschrift Nr. 952717 v. 22. 11. 1956, Flüssigkeitsumlaufthermostat
- [32] Patentschrift Nr. 1115066 v. 18. 6. 1959, Elektrischer Temperaturregler mit Platin-Widerstands-Thermometer
- [33] UMSTÄTTER, H.: Laboratoriumsthermostaten, ATM Lieferung 109, Aug. 1952, Z 86-1
- [34] DIN 12879, Flüssigkeitsthermostate, Mai 1979, Beuth Verlag Berlin und Köln