

LaborPraxis

4

April 1988
12. Jahrgang
Vogel-Verlag
Postfach 67 40
D-8700 Würzburg

Sonderdruck

PETER HUBER*

Neues Temperiersystem zeigt Fortschritte in der Thermodynamik

Zur Temperierung im Labor verwendet man bis heute überwiegend sogenannte Bad- und Umwälzthermostate. Relativ kompakt gebaut und mehr oder weniger komfortabel ausgestattet sind diese Geräte universell einsetzbar. Die Entwicklung der letzten 20 Jahre ist durch die Einführung und Verbreitung digitalanzeigender Temperaturregler gekennzeichnet. Am Arbeitsprinzip hat sich praktisch nichts verändert. Bei spezieller Anwendung müssen teilweise erhebliche Kompromisse in Kauf genommen werden. Ein neues Temperiergerät ist universell einsetzbar, ermöglicht aber jetzt konsequent einen optimalen Betrieb in jedem speziellen Einzelfall.

PETER HUBER*

Neues Temperiersystem zeigt Fortschritte in der Thermodynamik

Zur Temperierung im Labor verwendet man bis heute überwiegend sogenannte Bad- und Umwälzthermostate. Relativ kompakt gebaut und mehr oder weniger komfortabel ausgestattet sind diese Geräte universell einsetzbar. Die Entwicklung der letzten 20 Jahre ist durch die Einführung und Verbreitung digitalanzeigen-der Temperaturregler gekennzeichnet. Am Arbeitsprinzip hat sich praktisch nichts verändert. Bei spezieller Anwendung müssen teilweise erhebliche Kompromisse in Kauf genommen werden. Ein neues Temperiergerät ist universell einsetzbar, ermöglicht aber jetzt konsequent einen optimalen Betrieb in jedem speziellen Einzelfall.

Den Stand der Technik repräsentiert bisher ein Universalgerät, wie aus der Bezeichnung Bad- und Umwälzthermostat hervorgeht. Die typischen Anwendungen zeigt Bild 1 objektbezogen.

Im Fall A wird das Objekt im Thermostatbad, also „intern“ temperiert und ist „direkt“ mit der Thermostatflüssigkeit, dem Wärmeträger, beaufschlagt. Die Badflüssigkeit ist zur Atmosphäre nicht abgedichtet, also „offen“ oder drucklos.

Zwar kann ein Baddeckel mit Dichtung lose aufliegen, in jedem Fall besteht aber eine nichtabgedichtete Durchführung an der Motorwelle der Tauchpumpe. Für die Konfigurationen A+C und A+D genügt eine einfache Umwälzpumpe, die sogenannte Druckpumpe. Für A+B ist eine Druck-Saugpumpe erforderlich. Im Fall B ist das eingebaute Thermostat-

bad A zu klein für die zu temperierenden Objekte. Die Temperierung erfolgt „extern“ und „direkt“ wie im Fall A. Ebenso ist das externe Bad (B), wie das interne Bad (A), atmosphärisch „offen“. Die Anforderungen für das Temperiergerät (A) sind für C und D gleichzusetzen. In beiden Fällen wird „extern“ temperiert, und die Thermostatflüssigkeit ist extern atmosphärisch „geschlossen“. Im Fall C steht das Objekt, getrennt durch einen zweiten Wärmeträger, „indirekt“ in Kontakt zur Thermostatflüssigkeit. Wie dieser Beitrag zeigen wird, sind für alle Anwendungen erhebliche Verbesserungen möglich und Handicaps vermeidbar. Im Fall B (Bild 1) ist die Badgröße (A) völlig uninteressant. Der kompakteste Bad- und Umwälzthermostat ist unnötig voluminös, wenn das eingebaute Bad (Tafel 1) zu klein ist. Andererseits muß bei jedem Temperaturwechsel mit dem Badinhalt in A ein erheblicher Ballast aufgeheizt oder abgekühlt werden. Dieser Umstand bereitet generell erhebliche Probleme bei der externen Temperierung.

Das neue Temperiersystem

Die Grundlage des neuen Arbeitsprinzips ist recht einfach. Nur wenige neue Elemente sind entscheidend für die Funktion:

- Eine geschlossene Umwälzpumpe und damit z.B. keine Niveauprobleme in der Konfiguration A+B (Bild 1).
- Extrem geringes Eigenvolumen und so bis zu mehrfacher Temperaturän-

derungsgeschwindigkeit, z.B. im Fall D (Bild 1).

- Eine intelligente Temperaturregelung, die der besseren Thermodynamik wesentlich schneller folgen kann.

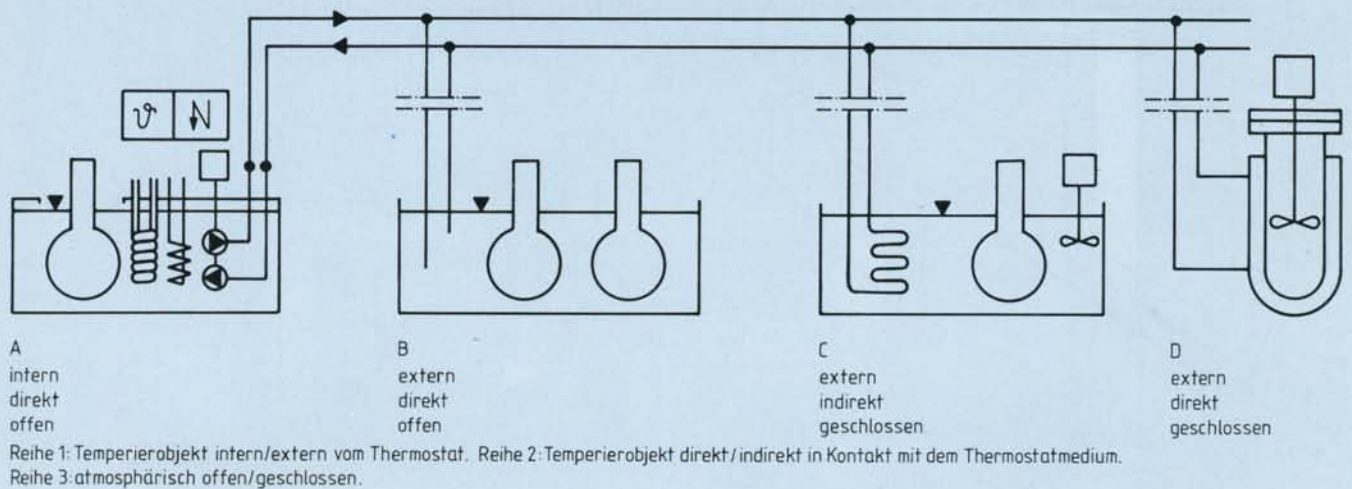
Darauf basiert eine Reihe weiterer Fortschritte im Detail, die bisher, zumindest teilweise, blockiert waren. Nach herkömmlicher Terminologie ist das neue Gerät im Grunde ein geschlossener Umwälzthermostat, mit oder ohne Kältemaschine. Es wird sich herausstellen, daß der Platzbedarf eines maschinell gekühlten Tischmodells, bezogen auf die Leistung, nur ca. 40% eines durchschnittlichen Bad- und Umwälzthermostaten beträgt (Tafel 1). Für externe Temperierung geschlossener Systeme, analog Fall C und D (Bild 1) ist ein Ausdehnungsgefäß eingebaut, jedoch kein Temperierbad. Dieses wird bedarfsweise über Leitungen verbunden (Bild 2). Damit sind die wesentlichen Grundlagen für die Funktion und das äußere Erscheinungsbild gegeben. Das Gesamtkonzept wird nachfolgend am Beispiel eines maschinell gekühlten Tischmodells erläutert. Als Referenz für vergleichende Überlegungen soll hier ein fiktiver, konventioneller Bad- und Umwälzthermostat dienen. Die durchschnittlichen Parameter wurden aus konkreten Daten von zwölf verschiedenen Modellen, verschiedener Hersteller ermittelt. Der fiktive Bad- und Umwälzthermostat mit den Referenzdaten der Tafel 1 repräsentiert so ein weites Spektrum, dessen Leistungsbereich

Tafel 1

		Grenzwerte 12 Modelle	fiktive Referenz	neues System Tischmodell
1. maximale Temperatur	°C	100 ... 250	175	300
2. minimale Temperatur	°C	-18 ... -50	-35	-50
3. Kälteleistung	Watt	245-700	463	600
4. Thermostatvolumen	Liter	8-22	15,1	1-1,8
5. Badöffnung	dm ²	2,75-12,4	7,46	(siehe Bild 2)
6. Raumbedarf, gerechnet aus Breite x Tiefe x Höhe	dm ³	(71-173)	117	60

*P. Huber, Huber Kältemaschinenbau, Ortenaustraße 36-40 7600 Offenburg-Elgersweier

1 Typische Anwendung des konventionellen Bad- und Umwälzthermostaten



durch das neue Tischgerät abgedeckt wird.

Temperierung offener Bäder

Das Gerät benötigt für die Kühlluftzufuhr 5–6 cm Wandabstand und baut so etwa 30 cm tief zur Wand. Temperierbäder beliebiger Art und Größe können davor oder entfernt stehen (Bild 2). Das eingebaute Ausgleichgefäß wird für diesen Betrieb abgesperrt. Dadurch ist das Temperiergerät hydraulisch dicht und kann, ohne Niveauprobeme und störende Dämpfe, unter Tisch oder in Einbauten (OEM) integriert werden. Die Regelelektronik mit den Bedienelementen ist abnehmbar und auf Distanz platzierbar. Das externe Bad kann jederzeit so klein wie möglich und so groß wie nötig sein.

Temperierung extern geschlossener Systeme

Interessant ist für diese Aufgaben, analog C und D (Bild 1), die interne hydraulische Anlage des Temperiergerätes (Bild 3). Der Wärmeträger durchfließt auf dem Weg a bis g verschiedene Kanäle, je nach Anforderung und Temperaturniveau:

- Heizen, grundsätzlich a-b-f-g
- Kühlen über 100 °C, grundsätzlich a-b-c-e-f-g
- Kühlen unter Umgebungstemperatur, grundsätzlich a-b-c-d-e-f-g.

Der Inhalt des Ausdehnungsgefäßes ist von Temperaturänderungen ausgenommen, stellt also in dieser Hinsicht keinen

Ballast dar und gibt keine Dämpfe ab, wie konventionelle Bad- und Umwälzthermostate. Neu sind die automatischen Umlenkungen bei b und c und die Luftkühlung für hohe Temperaturen (c-e).

Dadurch wird die Kältemaschine von extremen Bedingungen verschont, und Wärmethermostate (ohne Kältemaschine) können, ohne Kühlwasser, bis nahe Raumtemperatur arbeiten. Die Konsequenzen dieser neuen Technik sind erheblich, wie folgendes Beispiel zeigt: Der Reaktor (Bild 3) habe 2,5 kg Füllung mit einer spez. Wärmekapazität von 4 kJ/kg K und einen Mantelraum von 0,5 Liter, das Temperiermedium (Öl) eine spez. Wärmekapazität von 2 kJ/kg K und eine Dichte von 0,9 kg/dm³. Das für Temperaturänderungen relevante Thermostat-Volumen nach Bild 3 ist beim Heizen (a-b-f-g) 1 Liter und beim Kühlen mit Kältemaschine (a-b-c-d-g) 1,8 Liter. Der Schlauchinhalt bei 3,5 m Länge und 12 mm lichter Weite sei 0,4 Liter. Mit dem Referenz-Thermostat (Tafel 1) muß jeweils, außer dem Reaktorinhalt, (1,5 + 0,4 + 0,5) 0,9 = 14,4 kg Wärmeträger temperiert werden. Mit dem neuen System sind dies beim Aufheizen (1,0 + 0,4 + 0,5) 0,9 = 1,71 kg, und beim Abkühlen mit Kältemaschine (1,8 + 0,4 + 0,5) 0,9 = 2,43 kg. Die Temperaturänderungsgeschwindigkeit ist

$$\frac{\text{Leistung (J/s)} \times 10^{-3} \times 60}{\text{Menge (kg)} \times \text{spez. Wärmekap. (kJ/kg K)}} = \text{K/min.}$$

Das Referenzgerät (Tabelle 1) erzielt demnach, bei einer Heizleistung von 2000 Watt, eine Aufheizrate von

$$\frac{2000 \times 10^{-3} \times 60}{(2,5 \times 4) + (14,4 \times 2)} = 3,09 \text{ K/min,}$$

und eine Abkühlgeschwindigkeit (463 Watt) von

$$\frac{463 \times 10^{-3} \times 60}{(2,5 \times 4) + (14,4 \times 2)} = 0,72 \text{ K/min.}$$

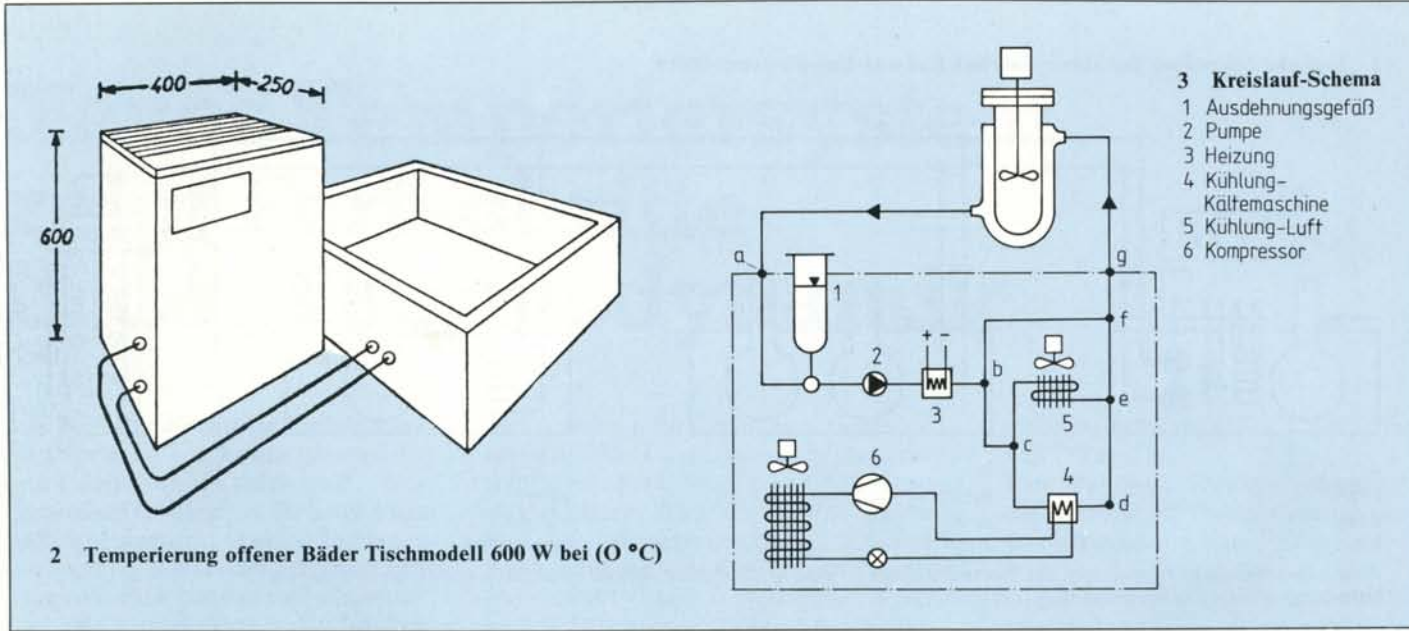
Das neue System ist, bei gleicher Heizleistung, durch das geringe Eigenvolumen (1,71 bzw. 2,43 l), wesentlich schneller:

$$\frac{2000 \times 10^{-3} \times 60}{(2,5 \times 4) + (1,71 \times 2)} = 8,94 \text{ K/min,}$$

beim Aufheizen, und beim Abkühlen

$$\frac{600 \times 10^{-3} \times 60}{(2,5 \times 4) + (2,43 \times 2)} = 2,42 \text{ K/min.}$$

Die vereinfachte Rechnung soll die nachvollziehbaren Parameter offenlegen. Bei Berücksichtigung der Minderleistung durch Transmission und des notwendigen Temperaturabstandes an der Reaktorglaswand ergibt sich ein deutlich größerer Vorteil des neuen Prinzips. Das abschließende Beispiel eines offenen Be-



hälters ist dagegen ziemlich genau übertragbar: 15 Liter Alkohol mit 2,5 kJ/kg K und 0,8 kg/dm³ sind innerhalb 30 Minuten von +20 auf -10 °C abzukühlen. Es wird also eine Abkühlgeschwindigkeit von 30 K/30 min = 1 K/min verlangt. Im Thermostat sind 1,8 Liter und in den Verbindungsschläuchen angenommen 0,5 Liter. Die erforderliche Kälteleistung ist Menge (kg) × spez. Wärmekapazität (kJ/kg K) × 10³ × Abkühlrate (k/min)/60, hier also

$$(1,8 + 0,5 + 15) \times 0,8 \times 2,5 \times 10^3 \times$$

$1/60 = 576,66 \text{ J/s}$, rd. 577 Watt. Diese Aufgabe ist mit dem Tischmodell des neuen Temperiersystems zu lösen. Ein herkömmlicher Bad- und Umwälzthermostat mit hoher eigener Wärmekapazität müßte erheblich stärker und größer sein.

Fazit
Bad- und Umwälzthermostate sind Universalgeräte für einfache Laboraufgaben. Sie bieten nicht gleichzeitig die optimale Lösung für jeden Einzelfall. Das neue

Temperiersystem eröffnet erhebliche Fortschritte durch sinnvolle Thermodynamik. Markante Ergebnisse dieser Neuentwicklung sind: Hohe Temperaturänderungsgeschwindigkeit, geringer Ballast, und zwar räumlich, energetisch und regeltechnisch, kleinere Totzeiten der Regelstrecke und kürzeste Ausregelzeit bei Sollwertänderung oder Lastwechsel. Das gilt für die Temperierung freistehender Objekte ebenso wie für offene Bäder.