

# Temperatur-Regelung durch gesteuerte Kühlung

Von Friedrich Krüger

Aus der Biologischen Anstalt Helgoland, List auf Sylt  
in der Bundesforschungsanstalt für Fischerei  
(Mit 3 Abbildungen im Text)

Die Einstellung und Konstanthaltung bestimmter Temperaturen mit einem möglichst hohen Grad von Genauigkeit spielt in zunehmendem Maße auch bei biologischen Untersuchungen eine ausschlaggebende Rolle. Im allgemeinen arbeitet man hierbei mit Wasserbädern, in denen die zur Untersuchung dienenden Geräte versenkt sind und in denen die gewünschte Temperatur eingestellt wird. Intensive Rührung verhindert das Entstehen einer Wärmeschichtung.

Die Mehrzahl der bisherigen Thermostatenkonstruktionen wird den Bedürfnissen des Biologen dadurch nicht gerecht, daß die Konstanthaltung der Temperatur durch Steuerung der Wärmezufuhr erfolgt. Dieses Prinzip bedingt, daß man ohne weiteres nur Temperaturen oberhalb der Umgebungstemperatur einstellen kann. Will man bei tieferen Temperaturen arbeiten, muß man durch zusätzliche Kühlung die Voraussetzung für den Regelvorgang durch die Heizung schaffen.

Abgesehen von dem hierdurch bedingten unökonomischen Verbrauch an thermischer Energie hat die wegen ihrer leichten Steuerbarkeit bevorzugte elektrische Heizung den großen Nachteil, daß die unvermeidbare Wärmekapazität der Heizkörper den Regelvorgang ungünstig beeinflusst. Diesen Fehler hat zwar nicht die in neuerer Zeit angewandte direkte Beheizung durch Elektrolyse-Wärme, aber bei der stark temperaturabhängigen Leitfähigkeit der Elektrolyte können Störungen auftreten. Außerdem ist man gezwungen, an den Thermostateninhalte elektrische Spannungen zu legen, was ebenfalls zu Unzuträglichkeiten führen kann.

Nun sind aber gerade beim Arbeiten mit Meeresorganismen aus den gemäßigten Zonen, wie allgemein bei Versuchen an kaltblütigen Tieren, Temperaturen von 18—20° C und mehr, wie man sie in der Literatur allgemein angewandt findet, als unphysiologisch zu bezeichnen. Darüber hinaus besteht auch für andere Zwecke das dringende Bedürfnis nach Einstellung von Temperaturen unter Zimmertemperatur.

Von diesem Gesichtspunkt ausgehend habe ich mich seit längerer Zeit mit dem Problem beschäftigt, ob es nicht möglich ist, Thermostaten mit gesteuerter Kühlung zu konstruieren, bei denen die Umgebungstemperatur die Rolle der für den Regelvorgang erforderlichen Wärmezufuhr übernimmt. Als erstes Er-

gebnis dieser Bemühungen veröffentlichte ich 1952 einen in seinem Prinzip an den Ostwaldschen Gasregulator angelehnten Regulator, der sich in der Zwischenzeit bei zahlreichen Untersuchungen auf das beste bewährt hat und trotz seiner einfachen Konstruktion erstaunlich gute Ergebnisse zeitigte.

Wenn man der als Regulator dienenden Gummimembran bei der Temperatureinstellung eine leichte Vorspannung gab — etwa durch schwaches Einblasen in den Abschlußhahn, bevor er geschlossen wird —, ließ sich über viele Stunden die Temperatur auf wenige hundertstel Grade konstant halten und bei sorgfältigstem Vorgehen ließ sich noch eine weit darüber hinausgehende Konstanz erzielen. Da bei diesem Regulator infolge der kontinuierlichen Regelung des Kühlwasserstromes von minimalen bis zu maximalen Werten keine Temperatursprünge auftreten, konnte er mit bestem Erfolg zur Einstellung der Vergleichstemperatur bei thermoelektrischen Messungen benutzt werden.

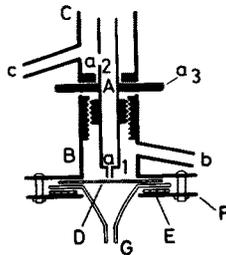


Abb. 1. Schematische Darstellung des in Messing ausgeführten Regelkopfes des Chlorkalzium-Regulators. Der U-förmige Regulatorkörper mit der  $\text{CaCl}_2$ -Lösung ist fortgelassen. A — Das in dem Gewinde in der Höhe regulierbare Zuflußrohr;  $a_1$  — untere Abflußöffnung;  $a_2$  — obere Abflußöffnung für den Kühlwasserstrom;  $a_3$  — Rändelscheibe für die Einstellung des Zuflußrohres; B — unterer Abflußkörper; b — Abflußrohr für das nicht gebrauchte Kühlwasser; C — oberer Abflußkörper für die Ableitung des Kühlwassers in den Thermostaten. Er ist beweglich aufgesetzt, damit er seine Stellung bei Verdrehung von A beibehalten kann; D — regulierende Gummimembran; E — Gummiring; F — Anpreßring; G — Planschiff an dem — fortgelassenen — Regulatorkörper.

Die nicht unbedingt zuverlässige Einstellung des Überlaufrohres an dem Regulator durch Verschiebung in einem Korkstöpsel wurde bei einer Neukonstruktion aus Metall dadurch vermieden, daß hier seine Hebung und Senkung durch Verstellung in einem Gewinde erfolgt. Die konstruktive Ausführung des Regulatorkopfes ist der Abb. 1 zu entnehmen. Der in dieser Abbildung nicht mitgezeichnete Regulatorkörper mit der Chlorkalziumlösung könnte naturgemäß auch durch ein Bimetallthermometer ersetzt werden, was die Einstellung vorbestimmter Temperaturen ermöglichen würde.

In der vorliegenden Form ist die Handhabung des Regulators dadurch etwas erschwert, daß die Einstellung bestimmter Temperaturen einige Mühe erfordert. Es ist aber auch möglich, ohne nennenswerte Schwierigkeiten eine durch die üblichen Kontakt-Thermometer gesteuerte Kühlung herzustellen, die höchsten Ansprüchen gerecht wird. Allerdings erfolgt in diesem Falle die Regelung diskontinuierlich und es treten Temperatursprünge auf, deren Größe aber nur von der Ansprech-Genauigkeit des Kontakt-Thermometers abhängt.

In prinzipiell einfachster Form erfolgt eine solche Regulation dadurch, daß ein Kontakt-Thermometer beim Übersteigen der eingestellten Temperatur eine Pumpe — über ein Relais — in Betrieb setzt, die solange Kühlflüssigkeit in den Thermostaten wirft, bis die eingestellte Temperatur erreicht ist. Dann

wird die Pumpe ausgeschaltet, um wieder in Tätigkeit zu treten, wenn die Temperatur in dem Thermostaten ansteigt. Bei Temperaturen über der Leitungswassertemperatur nimmt man dieses zur Kühlung und saugt es aus einem Niveau-Behälter mit ständigem Wasserdurchstrom ab. Um das zugepumpte Kühlwasser zu entfernen, ist an dem Thermostaten ein Überlauf anzubringen.

Für tiefere Temperaturen ist natürlich Eis zur Kühlung zu verwenden, das sich wie Abb. 2 zeigt in einem vorteilhafterweise isolierten Kühlbehälter befindet. In diesem Falle fließt die zugepumpte Kühllösung durch den Überlauf — in der Abb. 2 die kommunizierende Röhre D — in den Kühlbehälter zurück. Für Temperaturen nahe bei oder unter  $0^{\circ}$  ist der Thermostat mit

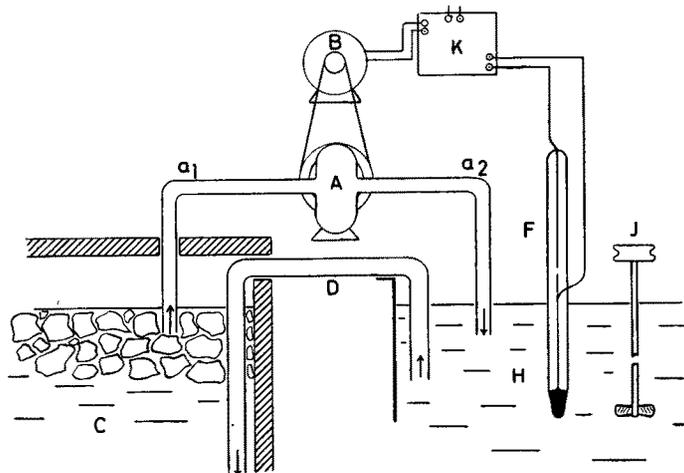


Abb. 2. A — Pumpe;  $a_1$  — Ansaugrohr;  $a_2$  — Abflußrohr der Pumpe; B — Motor; C — Kühlbehälter; D — Überlauf des Thermostaten; F — Kontakt-Thermometer; H — Thermostat; J — Rührer; K — Relais.

einer Kühllösung zu füllen (10 % Methylalkohol). Die Pumpe saugt die Lösung aus dem Thermostaten durch eine Kühlschlange ab, die sich in dem Kühlbehälter befindet und wirft die abgekühlte Lösung in den Thermostaten zurück. Ein Überlauf ist in diesem Falle nicht erforderlich. Es erfolgt bei dieser Anordnung auch keine Verunreinigung der Kühllösung durch ein eventuell angewandtes Eis-Kochsalzgemisch.

Diese Temperatur-Regulation arbeitet durch den Rücklauf nicht nur sehr ökonomisch, sondern auch sehr exakt, da die Kühlung direkt in der Thermostatenflüssigkeit erfolgt und keine störende Wärmekapazität eingeschaltet ist. Nur die Trägheit der Pumpe beim An- und Auslaufen verzögert geringfügig den Regelvorgang.

Eine praktisch momentane Reaktion auf die Impulse des Kontaktthermometers ermöglicht der in Abb. 3 dargestellte Regulator. Im Prinzip ist es ein Ventil, das bei zu hoher Temperatur einen Kühlwasserstrom aus dem Überlaufbehälter A in den Thermostaten fließen läßt, der wiederum einen Überlauf G besitzt. Es besteht aus dem in den Überlauf ragenden Rohr B, das nahe dem Boden die Öffnung b besitzt. In B befindet sich leicht verschieblich der Zylinder C. Wird dieser angehoben, so gibt er den Durchfluß durch die Öffnung b frei und das Kühlwasser fließt in den Thermostaten. Solange der Abfluß b gesperrt ist, fließt das durch  $a_1$  zuströmende Wasser durch  $a_2$  ab. Die

Betätigung des Ventils erfolgt durch die Magnetspule E, in der sich leicht beweglich der Eisenblechzylinder D befindet. Wenn bei ansteigender Temperatur über das Relais K der Stromkreis in der Magnetspule geschlossen wird, hebt er den Blechzylinder D an, der mit dem Zylinder C unter Zwischenschaltung eines Gelenkes verbunden ist. Damit wird der Kühlwasserstrom freigegeben. Ist die eingestellte Temperatur erreicht, so wird der Stromkreis in der Spule unterbrochen und C und D fallen in ihre Ruhelage zurück und sperren damit wieder die Kühlwasserzufuhr. Führt man die beweglichen Teile des Ventils möglichst leicht aus, so sind die für seine Betätigung benötigten Stromstärken sehr gering (3,5 V Wechselstrom) und können durch ein unempfindliches Kontakt-Thermometer auch ohne Relais gesteuert werden, wenn man den Stromdurchgang durch das Thermometer durch einen Parallelwiderstand herabsetzt und durch einen Kondensator für Unterdrückung der Schaltfunken sorgt.

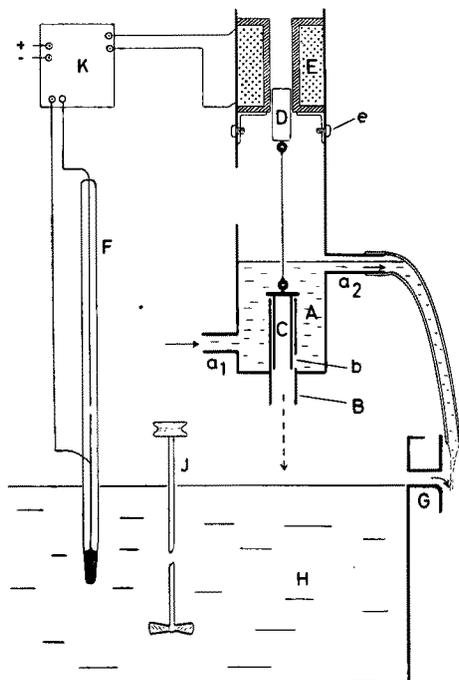


Abb. 3. A — Überlaufbehälter des Regulators;  $a_1$  — Kühlwasserzuluß;  $a_2$  — Kühlwasserabfluß; B — Abflußrohr des Ventils für das in den Thermostaten strömende Wasser; C — Ventilylinder; D — Eisenzylinder; E — Magnetspule; e — Halterung der Magnetspule; F — Kontakt-Thermometer; G — Thermostatenüberlauf; H — Thermostat; J — Rührer; K — Relais.

Der zuletzt besprochene Regulator hat neben seiner nahezu momentanen Reaktion noch den Vorteil, daß man bei ihm sehr leicht — etwa durch Einbau eines Hahnes an den Ausfluß in den Thermostaten — die Stärke des Kühlwasserstromes den Umständen anpassen kann. Ebenfalls kann man in einfachster Weise bei sehr starkem Kühlbedarf einen nicht gesteuerten kontinuierlichen Kühlwasserstrom durch den Thermostaten abzweigen. Dadurch werden Kontaktthermometer und Relais entlastet und gleichzeitig die Regengenauigkeit erhöht.

Will man bei tieferen Temperaturen arbeiten, muß man Eiswasser oder Kühlsole durch eine Pumpe in den Überlaufbehälter des Regulators pumpen, aus dem es dann zusammen mit dem aus dem Thermostaten überfließenden Wasser in den Kühlbehälter zurückläuft.

Die großen Vorteile der Temperatur-Regelung durch gesteuerte Kühlung waren für uns die Veranlassung, auch in solchen Fällen mit diesem Prinzip zu arbeiten, in denen Temperaturen über Raumtemperatur benötigt wurden. Zu diesem Zweck wurde durch unregulierte Beheizung mit Gas oder Strom die gewünschte Temperatur grob eingestellt. Die eigentliche Regelung erfolgte durch den Kühlwasserstrom. Die Kühlregulatoren sind damit ohne erhebliche Aufwendungen für den gesamten benötigten Temperaturbereich einsetzbar.

Grundsätzlich bestünde aber natürlich auch die Möglichkeit, durch Regulatoren der geschilderten Art einen Heißwasserstrom zu steuern, um Temperaturen über der Umgebungstemperatur einzustellen. Es ist dann allerdings die Schaltweise der Relais umzustellen, bzw. bei dem ersten Regulator der Durchströmungssinn zu ändern. Vor der üblichen Form der Beheizung hätte man auch in diesem Falle den Vorteil, daß man nahezu ohne schädliche Wärmekapazität arbeitet.

#### Literatur

Krüger, Fr., 1952: Über die Beziehungen des Sauerstoffverbrauches zum Gewicht bei *Eisenia foetida*. Z. vergl. Physiol. 34, S. 1—5.