

## Kriterien zur Auswahl eines umgewälzten Flüssigkeitsbades

von    Dipl.-Ing. Peter Klasmeier  
Klasmeier Kalibrier- und Messtechnik GmbH – ISOTECH  
[www.klasmeier.com](http://www.klasmeier.com)

Flüssigkeiten besitzen in der Regel sehr gute Wärmeleiteigenschaften und werden deswegen in der Technik als Wärmeträgermedium eingesetzt. In Verbindung mit Flüssigkeitsbädern empfehlen sie sich bestens zur Kalibrierung von Temperaturerfassungssystemen. Die richtige Auswahl des Bades im Hinblick auf die Kalibrierungsaufgabe, aber auch im Hinblick auf Unterhaltskosten, erleichtert die Bearbeitung der gestellten Aufgabe, die Anschaffung und kann Kosten sparen.

Folgende Kriterien sollten beachtet werden:

- Temperaturbereich
- Homogenität und Stabilität
- Eintauchtiefe
- Füllmenge
- Austauschbarkeit der Flüssigkeiten
- Rechnerunterstützung (Remotefähigkeit)

### Temperaturbereich

Der Temperaturbereich des Flüssigkeitsbades muss sich mit den Prozesstemperaturen der zu kalibrierenden Temperaturfühler decken. Dem Anwender stehen Bäder im Bereich von  $-80^{\circ}\text{C}$  bis  $+300^{\circ}\text{C}$  zur Verfügung. Leider gibt es keine Technik, die es ermöglicht, den gesamten Temperaturbereich mit nur einem Gerät abzudecken. Verwendete Kühler sind höheren Temperaturen gegenüber empfindlich. Das heißt, Bäder mit Kühler, die bis  $-80^{\circ}\text{C}$  arbeiten, haben für den positiven Bereich eine Grenze von  $125^{\circ}\text{C}$ . Auch gibt es leider keine Wärmeträgerflüssigkeiten, die im gesamten Bereich eingesetzt werden können.

Die Bäder müssen für den Einsatz von folgenden Flüssigkeiten geeignet sein:

-80°C bis 10°C	Methanol/Wassergemisch
5°C bis 95°C	Wasser
30°C bis 300°C	Silikonöl

Da auch der Bereich von  $30^{\circ}\text{C}$  bis  $300^{\circ}\text{C}$  nicht mit einer Sorte Silikonöl gefahren werden kann, muss ein Bad Möglichkeiten haben, die Flüssigkeiten sehr einfach zu wechseln. Da sich die Flüssigkeiten mit der Temperatur ausdehnen, müssen die Bäder einen gut funktionierenden Überlauf haben.

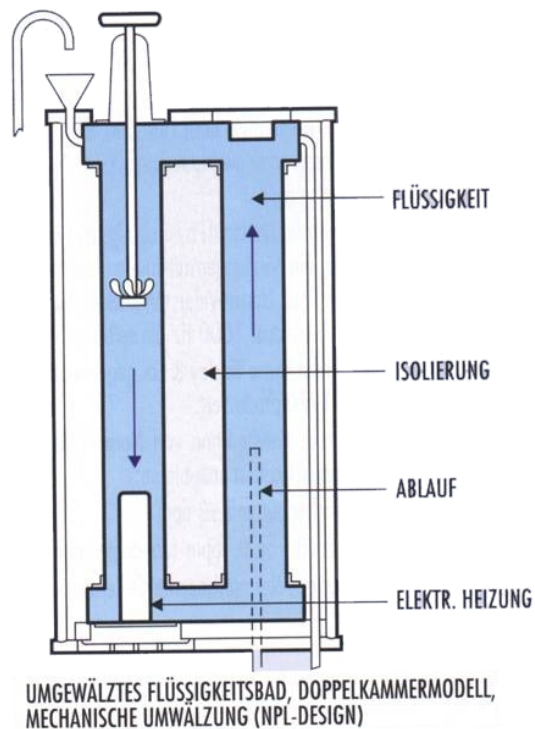
## Homogenität und Stabilität

In einem Flüssigkeitsbad können natürlich auch Fixpunkt-Kalibrierungen durchgeführt werden. In diesen Fixpunkten herrschen auf Grund der Physik hochstabile Temperaturzustände. Deswegen sind Fixpunktkalibrierungen in Bezug auf die zu erreichenden Messunsicherheiten der Vergleichskalibrierung immer vorzuziehen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden dennoch in den meisten Fällen Vergleichskalibrierungen durchgeführt, bei denen unbekannte Temperaturfühler mit bekannten, also kalibrierten Normalien verglichen werden. Hierbei ist es wichtig, dass der sogenannte 0. Hauptsatz der Thermodynamik eingehalten wird.

*Werden zwei oder mehrere Körper miteinander in Berührung (in thermischen Kontakt) gebracht, so stellt sich in dem nun aus ihnen zusammen gebildeten thermodynamischen System ein Gleichgewichtszustand derart ein, dass (nach hinreichend langer Zeit) alle Körper dieselbe Temperatur annehmen. Die Körper stehen dann untereinander im thermischen Gleichgewicht. Dies lässt darauf schließen, dass in jedem System eine im Vergleich zur Mechanik neue Zustandsgröße, die Temperatur, existiert, deren zufolge es zu einer neuen Art von Wechselwirkung zwischen den Körpern kommt, die sich von den anderen bekannten Wechselwirkungen vom Wesen her unterscheidet. Gleichheit der Temperatur im gesamten System ist notwendige Voraussetzung für die Existenz des thermischen Gleichgewichts. [1]*

Diese Aussage wird oft als 0. Hauptsatz der Thermodynamik bezeichnet. Er stellt die Existenz der Temperatur als Zustandsgröße in thermodynamischen Systemen fest.

Der 0. Hauptsatz der Thermodynamik ist die physikalische Grundlage für das Funktionieren der Vergleichskalibrierung. Um die Voraussetzung für das thermische Gleichgewicht zu schaffen, ist im Kalibriervolumen eine ausreichende Homogenität zwingend notwendig. Moderne Kalibrierbäder, die diese Voraussetzungen erfüllen, entsprechen der Technik der zentrischen oder konzentrischen Doppelkammer.



Dabei wird in einer Kammer die Arbeit des Heizens, Kühlens und der Umwälzung verrichtet und in der anderen Kammer, dem **Kalibriervolumen**, die Flüssigkeit durchgepumpt. Sitzt in diesem Flüssigkeitsstrom dann noch ein Ausgleichsblock, so wird der Homogenität noch Stabilität hinzugegeben. Die Kammern sollten rund sein und auch in dem Zusammenspiel als Doppelkammer sollten Ecken vermieden werden. Ecken sind „kalte Nester“ und zerstören deswegen einen homogenen Fluss.

Sehr hochwertige Bäder haben die Möglichkeit, die Fließgeschwindigkeit einzustellen. Dies ist notwendig, da die Viskosität der verwendeten Flüssigkeiten temperaturveränderlich ist. Das bedeutet, dass mit steigender Temperatur die Flüssigkeitsumwälzung im Bad ebenfalls zunimmt. Wird dies nicht kompensiert, führt eine unkontrollierte Umwälzung zu Gasbläschen, die in der Flüssigkeit mit transportiert werden. Die Temperatur der Gasblasen entspricht aber nicht die Temperatur der Flüssigkeit, da Gas ein schlechter Wärmeleiter ist. Größere Messunsicherheiten sind die Folge.

Die alleinige Angabe der Stabilität in einem Datenblatt ist als Spezifikation ungenügend. Die axiale und vertikale Temperaturverteilung sollte mindestens bekannt sein, um eine Aussage über die Leistungsfähigkeit eines Bades machen zu können. Der Anwender sollte seinen Anbieter nach einem Untersuchungsbericht fragen.

## Eintauchtiefe

Unter [www.klasmeier.com/publikationen](http://www.klasmeier.com/publikationen) kann der Anwender einen Aufsatz über „Eintauchtiefen in thermische Systeme“ ausdrucken. Hier wird in Abhängigkeit von der gewünschten Messunsicherheit eine Mindesteintauchtiefe ermittelt. Eine von Fachleuten gern benutzte Faustformel gibt dem Anwender eine einfache Lösung. Durchmesser des Fühlers mal 15 plus 1,5fache Länge des Messwiderstandes ist gleich die Mindesteintauchtiefe. Für einen normalen industriellen Temperaturfühler mit einem Durchmesser von 6 mm und einer Länge des ver-

wendeten Messwiderstandes von 35 mm ergibt sich eine Mindesteintauchtiefe von 142,5 mm. Eine davon abweichende geringere Eintauchtiefe verursacht erhebliche Wärmeableitungsfehler. Ob ein Fühler genügend eingetaucht ist, kann man durch eine einfache Überprüfung feststellen: Nachdem sich eine Fühleranzeige stabilisiert hat, zieht man den Fühler 2x um je einen cm wieder heraus. Ändert sich dabei die Fühleranzeige, ist er nicht ausreichend eingetaucht.

Weitere Informationen finden sich in den zusätzlichen Hinweisen zur Internationalen Temperatur Skala von 1990 (ITS-90). [2]

Dort wird erläutert, dass kleinste Messunsicherheiten nur mit Eintauchtiefen von bis zu 27 cm erreicht werden. Der Anwender muss auf dieses Kriterium großen Wert legen.

### **Füllmenge**

Oftmals wird für ein Bad der Vorteil genannt, dass über die große Füllmenge eine bessere Stabilität erreicht wird. Diese Angabe wird heute durch moderne Konstruktionen überflüssig. Zudem bedeutet eine große Füllmenge eine lange Aufheiz- und Abkühlzeit. Viel wichtiger ist die Betrachtung der Kosten einer Füllung. Dies wird oft nicht beachtet und bei der Investition unberücksichtigt. Dabei können die Kosten einer Füllung eines Bades mit großer Füllmenge leicht die Anschaffungskosten übersteigen.

Der Anwender muss sich im Klaren darüber sein, dass Füllmengen von Zeit zu Zeit verbraucht sind und ausgetauscht werden müssen. Inerte Flüssigkeiten sind sehr teuer und haben den großen Nachteil, dass sie verdunsten und damit ständig nachgefüllt werden müssen. Die modernen Kalibrierbäder mit Doppelkammerüberlaufkonstruktionen haben bewiesen, dass optimale Stabilitäten und Funktionen auch mit kleinen Füllmengen (5 Liter) erreichbar sind.

### **Austauschbarkeit der Flüssigkeiten**

Wie schon dargestellt, müssen für unterschiedliche Temperaturen verschiedene Flüssigkeitstypen verwendet werden.

Will der Anwender nicht für jeden Temperaturpunkt ein eigenes Bad benutzen, muß die Möglichkeit gegeben sein, Flüssigkeiten schnell und rückstandslos auszutauschen. Dabei ist zu beachten, dass für sehr heiße und sehr kalte Medien entsprechende Gefäße verwendet werden, die die Temperaturen aushalten.

### **Rechnerunterstützung**

Um mit einem Flüssigkeitsbad vollautomatisch kalibrieren zu können, sollte eine PC-Schnittstelle verfügbar sein. Über diese Schnittstelle können Sollwerte vorgegeben werden und das Referenzthermometer sowie eventuelle Prüflinge ausgelesen werden. Zur grafischen Darstellung dieser Temperaturwerte sollte Software vorhanden sein, um feststellen zu können, wann ein System stabil ist und wann der eigentliche Kalibriervorgang begonnen werden kann. Softwareprogramme, die die Automatisierung der Kalibrieraufgaben ermöglichen, sollten nicht nur mit dem Flüssigkeitsbad, sondern auch mit den zusätzlich benötigten Geräten, wie z.B. Meßstellenumschalter und Temperaturmeßgeräte, kompatibel sein. Soll ein Flüssigkeitsbad in ein bestehendes Kalibrier- oder Qualitätssicherungssystem eingegliedert werden, ist es



zusätzlich notwendig, dass die Kommunikationsprotokolle der Schnittstelle bekannt sind und gegebenenfalls angepaßt werden können. Bei automatischen Kalibrierungen prüft der Rechner wann ein Bad stabil ist, notiert die wahre Temperatur und notiert außerdem die Temperatur der zu kalibrierenden Temperaturfühler. Datum und Zeit sollten ebenfalls protokolliert werden. Mit guten Programmen sollten so automatisch mehrere Kalibrierpunkte abgearbeitet werden können und in verschiedenen Formaten zum Einfügen in Kalibrierzertifikaten abgespeichert werden. Dabei ist es **nicht** wichtig, dass die Software ein „Kalibrierzertifikat“ erstellen kann, denn die Masken für Kalibrierzertifikate sind jeweils firmenspezifiziert. Vielmehr ist es wichtig, dass die Kalibrierwerte in Echtzeit und mit der entsprechenden Auflösung und Messunsicherheit dokumentiert werden. Da diese Kalibrierungen tatsächlich automatisch ablaufen, können sie über Nacht, ohne Beaufsichtigung durch Personal, durchgeführt werden.

- [1] Technische Temperaturmessung Frank Bernhard (Hrsg.) ISBN 3-540-62672-7  
Springer-Verlag
- [2] ITS-90 Supplementary Information to the International Temperature Scale 1990 (BJPM)  
ISBN. 92-822-2111-3