



## Doctoral Thesis

# Bestimmung der kalorischen Stoffwerte von Metallen mit Hilfe instationärer Wärmefluss-Vorgänge unter Vermeidung kalorimetrischer Messungen

**Author(s):**

Hsu, Shao-Ti

**Publication Date:**

1954

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000089250> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Prom. Nr. 2324

# **Bestimmung der kalorischen Stoffwerte von Metallen mit Hilfe instationärer Wärmefluß-Vorgänge unter Vermeidung kalorimetrischer Messungen**

VON DER  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE IN ZÜRICH  
ZUR ERLANGUNG DER  
WÜRDE EINES DOKTORS DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
GENEHMIGTE  
PROMOTIONSARBEIT

VORGELEGT VON

**Shao-Ti Hsu**

B. S. Mech. Eng. (C. T. U.)

M. S. Mech. Eng. (M. I. T.)

aus China

Referent: Herr Prof. Dr. G. Eichelberg

Korreferent: Herr Prof. Dr. P. Grassmann



Zürich 1954

Dissertationsdruckerei Leemann AG

## Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Es wurden drei Methoden zur Bestimmung der kalorischen Stoffwerte von Metallen angegeben, die auf der Auswertung einfacher nichtstationärer Temperaturfelder beruhen und keine Messung von Wärmemengen verlangen. Sie weisen deshalb gegenüber anderen Verfahren beachtliche Vorteile auf. Zwei dieser Methoden wurden eingehend erprobt und lieferten weitgehend brauchbare Ergebnisse.

Die erste Methode beruht auf der Ausmessung des aperiodischen Temperaturverlaufes in zwei plötzlich zu ebener Berührung gebrachten plattenförmigen Körpern verschiedener Anfangstemperatur. Die vorausgesetzte Eindimensionalität des Temperaturfeldes konnte bei den Versuchen mit Nickel und Stahl mit genügender Annäherung verwirklicht werden, dagegen nicht mehr ausreichend beim gutleitenden Aluminium. Es gelang auch durch Anwendung hohen Anpreßdruckes und Bestreichen der sorgfältig geschliffenen Prüfkörper-Oberflächen mit einer sehr dünnen Schicht von Graphitpaste, den Wärmeübergangswiderstand zwischen den beiden Kontaktkörpern zumindest bei Nickel und Stahl auf ein vernachlässigbar geringes Maß zu reduzieren. Wie die Versuche mit Aluminium zeigten, ist dies um so schwieriger, je größer die Wärmeleitfähigkeit des zu untersuchenden Stoffes ist.

Durch Extrapolation des zumindest in einem Körper gemessenen örtlichen Temperaturverlaufes zu einer bestimmten Zeit läßt sich die Temperatur der Berührungsebene recht genau ermitteln. Zusammen mit den Anfangstemperaturen ergibt sich daraus ein zuverlässiger Wert für das Verhältnis der Wärmeindringzahlen  $b = \sqrt{\lambda \gamma c}$  der beiden Stoffe. Außerdem liefert jede Messung der Temperatur in einer bestimmten Tiefe und zu einer bestimmten Zeit je einen Wert der Temperaturleitfähigkeit  $a = \lambda/\gamma c$ . Das Mittel aus mehreren solchen Werten ist mit einer sehr geringen Fehlerwahrscheinlichkeit behaftet. Wenn von einem der beiden Stoffe (der sog. Mutterprobe) etwa die spezifische Wärme pro Volumeneinheit  $\gamma' c'$  bekannt ist — das spezifische Gewicht  $\gamma'$  läßt sich sehr einfach ermitteln und für die spezifische Wärme finden sich oft ausreichende Angaben in der Literatur —, so können die Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda'$  und  $\lambda''$  beider Stoffe sowie die spezifische Wärme  $\gamma'' c''$  der Versuchsprobe mit guter Genauig-

keit berechnet werden. Die Übereinstimmung der so nach der ersten Methode bestimmten kalorischen Stoffwerte von Nickel und Stahl mit anderweitig bekannten Werten ist befriedigend. Bei Aluminium führte die hohe Wärmeleitfähigkeit bei den gewählten Abmessungen der Versuchsprobe zu einem systematischen Abwandern der Temperaturen, so daß für die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit keine ausreichende Genauigkeit mehr zu erreichen war.

Zweckmäßig richten sich somit die Lage der Meßstellen, die Beobachtungszeit und die Abmessungen der Versuchsprobe nach der Größe der Wärme- bzw. Temperaturleitfähigkeit der zu untersuchenden Stoffe.

Die zweite Methode beruht auf der Auswertung der Änderungen, die eine ebene, periodische Temperaturschwingung beim Vordringen in einem festen Körper erleidet, und liefert nur die Temperaturleitfähigkeit  $a$  des untersuchten Stoffes. Da ein quasistationäres Temperaturfeld untersucht wird und somit keine Anfangsbedingungen zu berücksichtigen sind, gestaltet sich die praktische Durchführung der Messungen etwas einfacher als bei der ersten Methode, insbesondere dann, wenn die Erzeugung periodischer Temperaturschwingungen automatisiert wird. Dafür ist die Auswertung mit etwas größerem Aufwand verbunden, weil von mindestens zwei in verschiedenen Tiefen gemessenen Temperaturschwingungen eine Fourier-Zerlegung gemacht werden muß. Dabei ergibt sich theoretisch sowohl aus dem Abklingen der Amplitude sowie aus der Phasenverschiebung jedes Gliedes der Fourier-Entwicklung je ein Wert der gesuchten Temperaturleitfähigkeit; praktisch erweist sich allerdings, daß nur etwa die ersten beiden Glieder eine ausreichend zuverlässige Auswertung erlauben. Dementsprechend kann die Berechnung der Fourier-Koeffizienten auf diese Glieder beschränkt werden.

Die Auswertung der Versuche zeigte, daß die untersuchten Temperaturfelder offenbar nicht genau eben, sondern näherungsweise leicht kugelförmig waren. Die Theorie zeigt, daß dies die Ermittlung der Temperaturleitfähigkeit  $a$  aus den Phasenverschiebungen nicht beeinflusst, daß dagegen die aus dem Abklingen der Amplituden ermittelten Werte von  $a$  noch vom Krümmungsradius des Temperaturfeldes abhängig werden und somit auszuschließen sind. Dies könnte nur umgangen werden, wenn die örtliche Verteilung der periodisch zu- und abgeführten Wärme soweit ausreguliert würde, bis ein ebener Wärmefluß erreicht wäre, was daran zu erkennen wäre, daß Phasen und Amplituden alsdann gleiche Werte von  $a$  ergeben müßten. Für eine industrielle Meßmethode ist das aber zu viel verlangt, so daß also die Auswertung auf die Phasenwinkel zu beschränken ist.

Während für Nickel und Stahl auch dieses zweite Meßverfahren sich im Prinzip bewährt hat, scheinen bei der hohen Leitfähigkeit von Aluminium die gewählten Abmessungen des Probekörpers für eine Periodendauer von 30 s schon zu klein gewesen zu sein, so daß möglicherweise Störungen durch reflek-

tierte Temperaturschwingungen eintraten. Eine starke Verkürzung der Periodendauer bei gleichbleibender Heizungs- und Kühlungsintensität vermindert aber die Amplitude der Temperaturschwingung so sehr, daß eine ausreichende Meßgenauigkeit ohne Verstärkung der Thermospannungen kaum mehr erzielt werden kann.

Ganz allgemein empfiehlt es sich auch bei diesem Meßverfahren, die Lage der Meßstellen, die Periodendauer und die Abmessungen des Prüfkörpers der voraussichtlichen Größe der Temperaturleitzahl des zu untersuchenden Stoffes anzupassen.