

Blomed. Techn.
21 (1976), S. 2—9

Durchflußmessung mit Indikatormethoden, insbesondere mit lokaler Thermodilution

D. M. Solberg

Flow rate measurement with tracer techniques in particular local with thermal dilution

Aus dem Institut für Verfahrens- und Kältetechnik der ETH Zürich
(Prof. Dr. Dr. E. h. P. Grassmann)

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der lokalen Thermodilutionsmethode zur Durchflußbestimmung von pulsierenden Strömungen in Rohren bzw. Blutgefäßen. Es wird zunächst ein Modell für die Vermischung einer Indikatorflüssigkeit mit einem Trägermedium, basierend auf der idealen Mischkammer, entwickelt. Die Differentialgleichungssysteme werden in dimensionsloser Form für verschiedene Injektionsarten aufgestellt und für einige Fälle numerisch gelöst.

Die Rechnungen zeigen, daß jede Indikatormethode Werte für den mittleren Volumenstrom liefert, die mit systematischen Fehlern behaftet sind. Diese Fehler werden in Abhängigkeit von dimensionslosen Kenngrößen dargestellt.

Experimentelle Untersuchungen bestätigen die theoretischen Befunde. Es werden Richtlinien für Messungen in vivo angegeben.

The present investigation relates to the local thermal dilution method of measuring volumetric flow rates for pulsating flow in tubes such as blood vessels.

A mathematically model is developed, based on ideal mixing chamber assumptions, to describe the mixing of a tracer liquid with the main flowing stream. Dimensionless differential equation systems have been adapted to several tracer fluid injection modes. Some numeric solutions are shown.

The computed flowrates show a systematic error for each indicator injection method. This error has been correlated with dimensionless numbers.

The experimental results are found to agree with the theoretical predictions. The use of this analysis is demonstrated for measuring blood circulation rates in living animals.

1. Einleitung

In der Kardiologie wird eine Vielzahl von Indikatormethoden für qualitative Untersuchungen von Kreislaufdefekten sowie für quantitative Bestimmungen der Blutströme eingesetzt [3, 7]. Als Indikatoren dienen verschiedene Farbstoffe, radioaktive Isotope, Röntgenkontrastmittel, „Kälte“ etc. In dieser Arbeit wird speziell auf die lokale Thermodilutionsmethode eingegangen. Die meisten Resultate können aber auch für andere Indikatormethoden gelten. Der große Vorteil der Thermodilutionsmethode liegt darin, daß sie einfach zu handhaben ist, keine toxische Wirkung hat und sehr oft wiederholt werden kann.

Die nachfolgenden Untersuchungen sind in [8] ausführlicher behandelt.

2. Das Prinzip der lokalen Thermodilution

Eine bestimmte Menge kalter, isotonischer Kochsalzlösung bekannter Temperatur wird an einer gewünschten Stelle (z. B. Coronarsinus) in die Blutbahn injiziert und der Temperaturverlauf stromabwärts registriert (Bild 1).

Für bestimmte Annahmen läßt sich ein mittlerer Volumenstrom aus einer Energiebilanz berechnen.

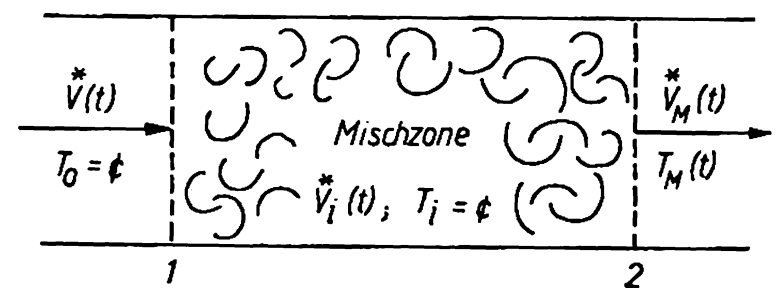


Bild 1. Prinzip der lokalen Thermodilution
(Vergl. Symbolverzeichnis am Ende der Arbeit)

Als Indikator dient hier die durch die Injektion bewirkte Temperaturänderung.

Es werden die folgenden, wesentlichen Annahmen getroffen:

- Das Bilanzgebiet zwischen den Querschnitten 1 und 2 ist adiabat.
- Die gemessene Mischungstemperatur $T_M(t)$ ist volumenstromgemittelt.

Der Einfachheit halber wird hier noch vorausgesetzt, daß Trägerstrom und Indikatorflüssigkeit identische und konstante Stoffwerte haben.

Für einen Diracstoß und Kurzzeitinjektion gilt (siehe Symbolverzeichnis am Ende der Arbeit):

$$V_i \Delta T_i = \int_0^{\infty} \Delta T_M(t) \dot{V}_M^*(t) dt \quad (1)$$