Bestimmung des Verweilzeitverhaltens in Plattenwärmeaustauschern mit Hilfe der nichtidealen Impulsmethode*

Christian Kiesner und Helmut Reuter**

Die experimentelle Bestimmung einer der bekannten Verweilzeitfunktionen (Verweilzeitspektrum oder Verweilzeitsummenkurve) setzt voraus, daß mit Hilfe der Markierungstechnik ein Eingangssignal erzeugt wird, das einer Sprung- bzw. Impulsfunktion entspricht. Nur unter diesen Bedingungen kann das gemessene Ausgangssignal mit der entsprechenden Verweilzeitfunktion gleichgesetzt werden. Technisch sind jedoch solche idealen Eingangssignale nur angenähert zu erzeugen. Die Abweichungen von der Sprung- bzw. Impulsform des Eingangssignals können zu unterschiedlich starken Fehlern bei der Bestimmung der mittleren Verweilzeit oder des Verlaufs der Verweilzeitfunktion führen [1, 2].

Bei der Auslegung von Plattenwärmeaustauschern, die für Milcherhitzung eingesetzt werden, ist man bestrebt, Schaltungen mit möglichst kurzen mittleren Verweilzeiten zu konzipieren. Auf die Verweilzeitmessung wirkt sich jedoch diese Tatsache ungünstig aus, da schon bei der kleinsten Abweichung von der idealen Form des Eingangssignals große Fehler bei der Bestimmung der Verweilzeitfunktion bzw. deren Parameter auftreten.

Von der Versuchsdurchführung her ist der Aufwand beim Einbau einer Dosierstelle für den Markierungsstoff unmittelbar am Eingang des Plattenfließweges sehr groß. Hinzu kommt noch, daß sich sehr kurze Zugabezeiten des Markierungsstoffes technisch nur sehr eingeschränkt realisieren lassen. Der Einbau einer Meßsonde ist dagegen relativ einfach, was letztlich ausschlaggebend dafür war, das Meßverfahren nach der Methode des nichtidealen Eingangssignals für die Bestimmung der jeweiligen Verweilzeitfunktion einzusetzen. Den Aufbau der Versuchs- und Meßanordnung zeigt die Abb. 1.

Für die Beschreibung des Verweilzeitverhaltens wurde das eindimensionale Dispersionsmodell zugrunde gelegt. Die entsprechenden Modellparameter, d. h. die Bodenstein-Zahl Bo und die mittlere Verweilzeit, wurden aus den gemessenen Ein- und Ausgangssignalen nach der Methode des linearisierten Verweilzeitspektrums im Laplace-Bereich bestimmt [3]. Der optimale Bereich des Laplace-Operators wurde nach dem Kriterium $s_{\text{Start}} \geqslant 15/\bar{\tau}$ [4] gewählt, wobei die mittlere Verweilzeit $\bar{\tau}$ zuerst nach der Methode der Momente bestimmt worden ist. Mit den so berechneten Modellparametern wurde weiterhin im Zeitbereich mit Hilfe des Faltungsintegrals das Ausgangssignal berechnet. Aus dem Vergleich des berechneten Ausgangssignals mit dem experimentell bestimmten ließ sich die Güte der Bestimmung der Parameter beurteilen. Nur vereinzelt wurden negative Werte für die Bodenstein-Zahl ermittelt. Das Ergebnis konnte jedoch verbessert werden, indem der mit dem obigen Kriterium vorgegebene Bereich des Laplace-Operators kleiner gewählt wurde. Aus den ermittelten Parametern Bo und $\bar{\tau}$ wurden für die Darstellung des Verweilzeitverhaltens der Dispersionskoeffizient D_{eff} und die Re-Zahl ermittelt.

Da für die Untersuchungen sowohl unterschiedliche Schaltungen der Platten als auch unterschiedliche Gesamtvolumenströme eingesetzt wurden, war es wünschenswert, mit Hilfe der Re-Zahl diese Größen zu erfassen.

Im Gegensatz zu einem Rohrfließweg sind die für die Bestimmung der Re-Zahl erforderlichen geometrischen Größen beim profilierten Plattenfließweg nicht eindeutig vorgegeben. Dies betrifft Größen wie Fließweglänge und Fließwegtiefe, wobei die Kenntnis der letztgenannten für die Berechnung der Re-Zahl notwendig ist.

Legt man fest, daß die Länge des Fließweges L_z die Entfernung zwischen den Achsen der Ein- und Austrittsöffnungen ist (Abb. 2), und

---

* Vortrag von *Chr. Kiesner* auf dem Jahrestreffen der Verfahrens-Ingenieure, 30. Sept. bis 2. Okt. 1987 in Freiburg.

** Dipl.-Ing. *Chr. Kiesner* und Prof. Dr.-Ing. *H. Reuter,* Institut für Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchforschung, Postfach 60 69, 2300 Kiel 14.

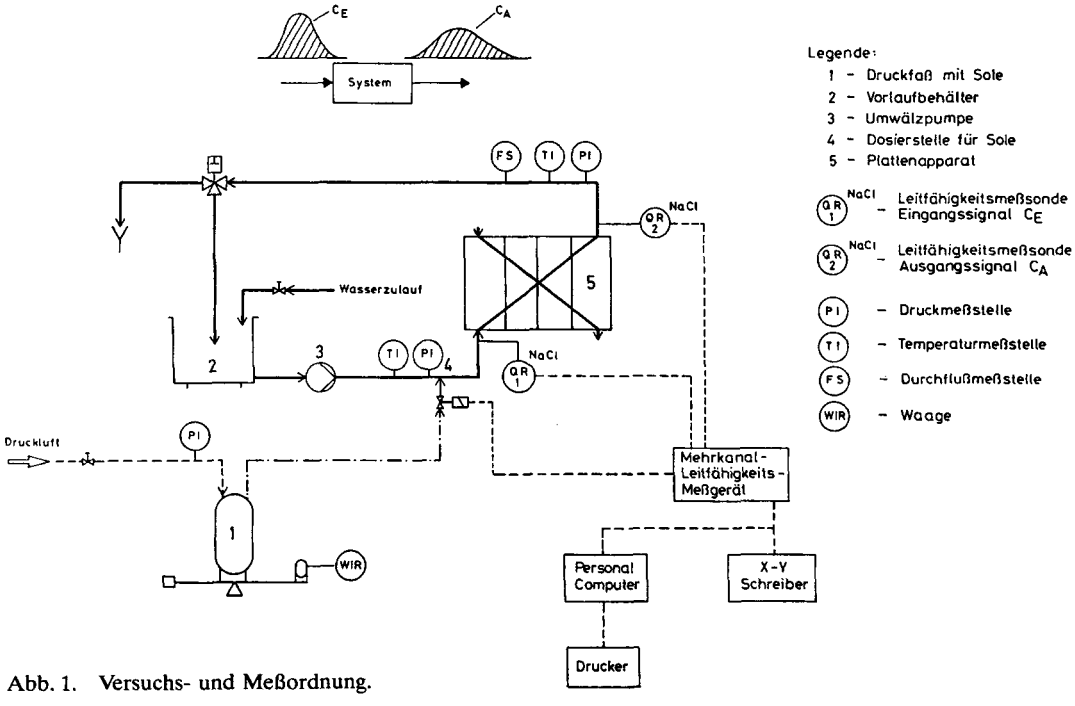

Abb. 1. Versuchs- und Meßordnung.

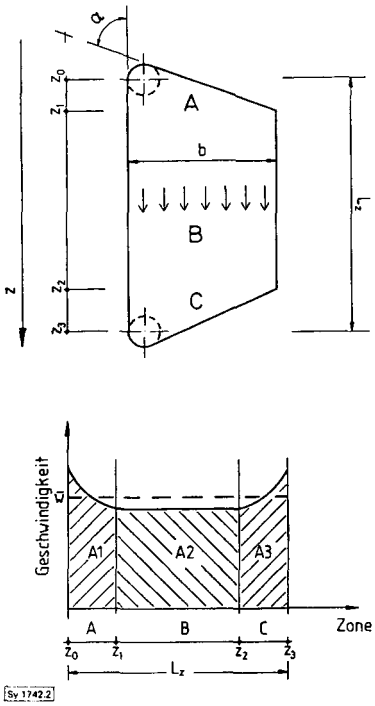

Abb. 2. Geschwindigkeitsverlauf im Fließkanal in Abhängigkeit von der Plattengeometrie.

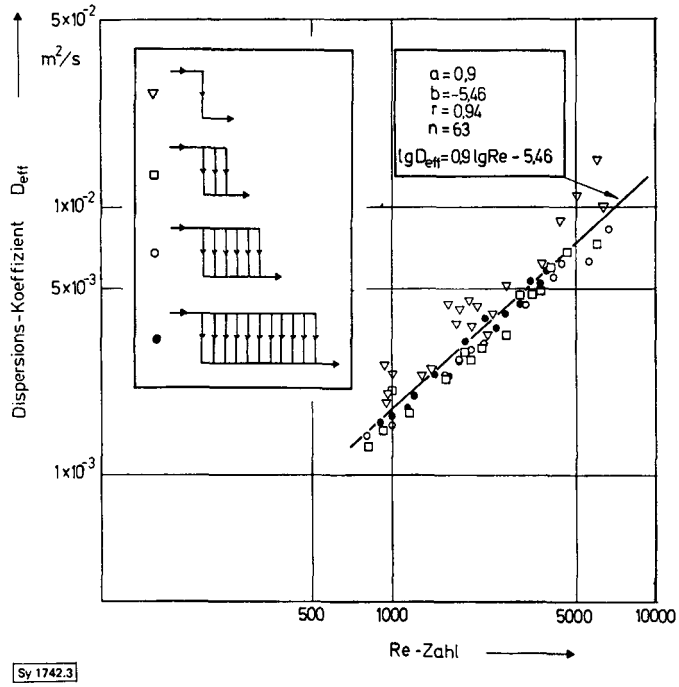

Abb. 3. Abhängigkeit des Dispersionskoeffizienten von der Re-Zahl für parallele Schaltungen.

berücksichtigt den Anteil höherer Strömungsgeschwindigkeit in den Zonen A und C mit Hilfe eines Korrekturfaktors a, so können unter Zugrundelegung der gemessenen mittleren Verweilzeiten je nach Schaltungsart die sich ergebenden Spalttiefen wie folgt berechnet werden

ein Fließweg: $s = \dot{V}\,\bar{\tau}\,a/L_z^2$, (1)

parallele Schaltungen: $s = \dot{V}\,\bar{\tau}\,a/(n_p\,L_z^2)$, (2)

gemischte Schaltungen: $s = \dot{V}\,\bar{\tau}\,a \Big/ \left(\sum_{i=1}^{n_s} n_{pi}\,L_z^2\right)$. (3)

Setzt man die Gleichung für die Spalttiefe der am häufigsten eingesetzten Misch-Schaltung als geometrische Größe in die Formel für die Re-Zahl ein, so erhält man

$$\mathrm{Re} = \frac{2\,a}{L_z \nu}\,\frac{n_s\,\dot{V}}{\sum_{i=1}^{n_s} n_{pi}} \quad . \tag{4}$$

Die mit Gl. (4) dargestellte Re-Zahl beinhaltet die wichtigsten Größen, die sowohl die Betriebsbedingungen, die Plattengeometrie als auch die Schaltung des Apparates beschreiben. Alle Größen sind einfach meßbar und damit auch eindeutig. Durch das Variieren der Schaltung eines Plattenapparates und des Gesamtvolumenstromes konnte die Re-Zahl variiert werden. Die Untersuchungen wurden im Bereich der Re-Zahl von 800 bis 10 000 durchgeführt.

Die Abb. 3 zeigt beispielsweise die Funktion $D_{eff} = f(\mathrm{Re})$ für parallele Schaltung der Fließwege für eine Fließweg-Anzahl zwischen 1 bis 11.

Der Verlauf der Funktion ist unabhängig von der Anzahl der parallelen Fließwege. Dies ist angesichts der ungleichmäßigen Volumenstromverteilung in parallelen Fließwegen ungewöhnlich. Offensichtlich ist dem Sammelkanal bei größerer Anzahl der Fließwege eine ausgleichende Eigenschaft zuzuschreiben.

Die Kenntnis der Funktion $D_{eff} = f(\mathrm{Re})$ bietet außerdem die Möglichkeit, den Einfluß des Verweilzeitverhaltens auf den Umsatz thermisch induzierter Reaktionen in der Milch während der Erhitzung in Plattenwärmeaustauschern abzuschätzen.

Eingegangen am 20. Oktober 1987

Formelzeichen

a	Geometrie-Faktor (s. Abb. 2) $\left(a = \left(1/\mathrm{tg}\,\ln\frac{z_1\,z_3}{z_0\,z_2}\right) + \frac{z_2 - z_1}{b}\right)$
Bo	Bodenstein-Zahl
L_z	Länge eines Fließweges
n_s	Anzahl der in Serie geschalteten Schläge
n_{pi}	Anzahl der parallelen Fließwege im i-ten Schlag
s	Spalttiefe
$\dot{V}$	Gesamtvolumenstrom
ν	kinematische Viskosität
$\bar{\tau}$	mittlere Verweilzeit

Literatur

[1] *White, E. T.:* J. Imp. Coll. Chem. Eng. Soc. *14* (1962) S. 72.
[2] *Böxkes, W.:* Dissertation, Univ. Erlangen 1973.
[3] *Ostergaard, K.; Michelsen, M. L.:* Can. J. Chem. Eng. *47* (1969) Nr. 4, S. 107.
[4] *Urbanczyk, W.:* Dissertation, TU Hannover 1972.

Schlüsselworte: Wärmeaustauscher, Verweilzeitverhalten, Impulsmethode, Milch.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 15 Seiten mit 7 Abbildungen und 4 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1658/88 erhältlich. Bestellkarten finden Sie am Schluß dieses Heftes.