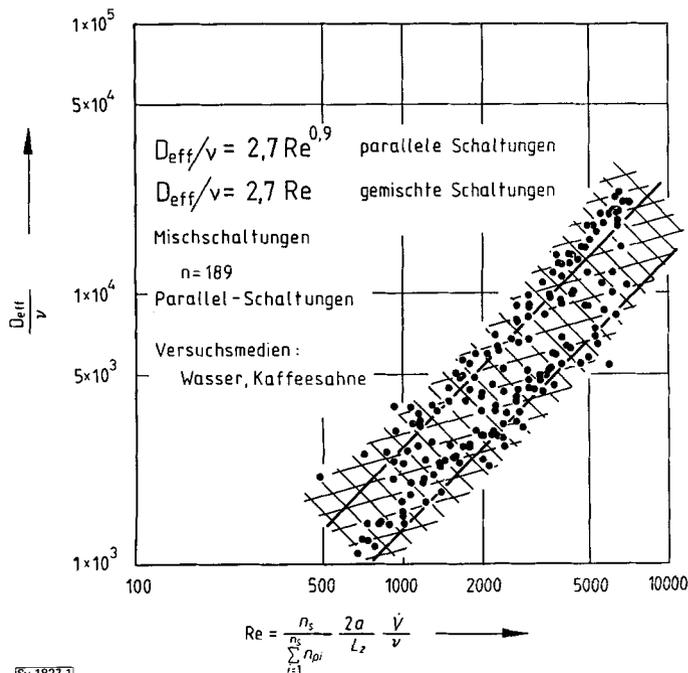


# Einfluß des Verweilzeitverhaltens auf die Sterilisationswerte in Plattenwärmeübertragern\*

Christian Kiesner und Helmut Reuter\*\*

Der Sterilisationswert  $F$ , abgeleitet auf der Basis einer Reaktion erster Ordnung ( $n = 1$ ), findet praktische Anwendung bei der Beurteilung unterschiedlich durchgeführter thermischer Sterilisierprozesse. Er stellt die Sterilisationszeit eines fiktiven Erhitzungsverfahrens bei einer konstanten Behandlungstemperatur dar. Eine ausführliche Darstellung dieser Problematik und der praktischen Anwendung bei der Beurteilung des thermischen Sterilisierens von Milch gibt Reuter in seiner Arbeit [1] an. Aus einem bekannten  $F$ -Wert eines Sterilisationsprozesses, dessen Größe von den Temperatur/Zeit-Bedingungen abhängt, kann die Abtötungsrate für Mikroorganismen oder der entsprechende thermisch induzierte Umsatz einer Stoffkomponente ermittelt werden. Für flüssige Lebensmittel, die unverpackt im kontinuierlichen Durchfluß sterilisiert werden, wie beim Vorsterilisieren durch UHT-Erhitzen [2], hängt der Umsatz und damit auch der Sterilisationswert vom jeweiligen Verweilzeitspektrum ab. Das Erhitzen des flüssigen Mediums auf Sterilisationstemperatur wird in Platten- oder Röhrenwärmeübertragern durchgeführt.

Um den Einfluß der Verweilzeitverteilung auf den Sterilisationswert bei Plattenwärmeübertragern genauer abschätzen zu können, wurden umfangreiche Untersuchungen mit unterschiedlich geschalteten Plattenwärmeübertragern durchgeführt. Für die Beschreibung des Verweilzeitverhaltens wurde das Dispersionsmodell zugrunde gelegt und zur Darstellung der Versuchsergebnisse die Abhängigkeit des axialen



SY 1827.1

Abb. 1. Charakteristischer Bereich der Funktion  $D_{eff}/v = f(Re)$  für alle Schaltungen mit der Standardplatte; Erhitzerplatte H7.

\* Vortrag von C. Kiesner auf dem Jahrestreffen der Verfahrensingenieure, 21. bis 23. Sept. 1988 in Hannover.

\*\* Dipl.-Ing. C. Kiesner und Prof. Dr.-Ing. H. Reuter, Institut für Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchwirtschaft, Postfach 6069, 2300 Kiel 14.

Dispersionskoeffizienten  $D_{eff}$  von der Re-Zahl gewählt. Dabei hat sich als äußerst zweckmäßig herausgestellt, die übliche Formel für die Re-Zahl in eine für Plattenwärmeübertrager besonders geeigneten Form weiterzuentwickeln, in der die geometrischen Abmessungen der Platte, die jeweilige Schaltung und die Betriebsbedingungen berücksichtigt werden [3].

Die Untersuchungen wurden mit Platten eines bestimmten, in der Praxis häufig eingesetzten Typs (Standardplatte) durchgeführt. Dabei wurden sowohl für parallele als auch für gemischte Schaltungen unter den verschiedensten Betriebsbedingungen die Verweilzeitparameter, d. h. der Dispersionskoeffizient  $D_{eff}$  und die mittlere Verweilzeit, bestimmt. Abb. 1 zeigt alle für die Standardplatte ermittelten Meßpunkte, die in einem Bereich liegen, der von zwei parallel verschobenen Geraden eingegrenzt wird. Sie zeigen einen ansteigenden Verlauf des Dispersionskoeffizienten mit zunehmender Re-Zahl an und lassen sich in allgemeiner Form mit der Gleichung

$$D_{eff}/v = K_0 Re^c \quad (1)$$

beschreiben. Die untere Gerade wurde für rein parallele, die obere für gemischte Schaltungen ermittelt. Die beiden Geraden lassen sich durch die in Abb. 1 angegebenen Gleichungen

$$D_{eff}/v = 2,7 Re^{0,9} \text{ für parallele Schaltungen und} \quad (2a)$$

$$D_{eff}/v = 2,7 Re \text{ für gemischte Schaltungen} \quad (2b)$$

beschreiben. Der dimensionslose Ausdruck  $D_{eff}/v$  berücksichtigt den Einfluß nichtisothermischer Strömungsbedingungen, die real in Wärmeübertragern immer auftreten.

Zu Vergleichszwecken wurden darüber hinaus weitere industriell eingesetzte Platten mit unterschiedlichen Profilmustern sowie einfache Rohrstrrecken untersucht. Die erhaltenen Meßergebnisse lassen sich ebenfalls dem gefundenen Bereich zuordnen.

Die eigenen Meßergebnisse für die Rohrströmung liegen ebenso wie die hierfür von anderen Autoren gefundenen Ergebnisse so weit außerhalb des für Platten ermittelten Bereichs, daß sie für identische Re-Zahlen nicht gleichgesetzt werden können (Abb. 2).

Unterstellt man, daß alle Fluidteilchen, unabhängig davon, welche Verweildauer sie im Wärmeübertrager auch hatten, einen linearen Temperaturverlauf aufweisen und die gleiche Endtemperatur erreichen, so kann die von Batenson [4] abgeleitete Funktion für den realen Sterilisationswert  $F_r$  in der Form

$$F_r = -D_B \lg \left[ \int_0^\infty f(\tau) 10^{-\frac{1}{D_B} \int_0^\tau \frac{\vartheta(t) - \vartheta_B}{Z} dt} d\tau \right], \quad (3)$$

unter Berücksichtigung der Gl. (2b) für die Beschreibung des Verweilzeitspektrums wie folgt umgewandelt werden:

$$\frac{F_r}{D_B} = -\lg \left\{ P_5 \int_0^\infty \theta^{-1,5} \exp \left[ P_2^2 \pi \left( 2 - \frac{1}{\theta} \right) - \theta \left( P_3^2 \pi + P_3 \right) \right] d\theta \right\}. \quad (4)$$

Die in Gl. (4) enthaltenen dimensionslosen Parameter  $P_3$  und  $P_5$  haben die Form

$$P_3 = \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_s} n_{pi} \right) V_K z \left( 10^{\frac{\vartheta_2 - \vartheta_B}{Z}} - 10^{\frac{\vartheta_1 - \vartheta_B}{Z}} \right)}{(\vartheta_2 - \vartheta_1) D_B \dot{V}}, \quad P_5 = \sqrt{\frac{n_s L_z^3}{8\pi V_K K_0 a}} \quad (5)$$

Der Parameter  $P_5$  hängt im wesentlichen von den geometrischen Größen der jeweiligen Platte und des Fließkanals ab. Hinzu kommen Abhängigkeiten von der Anzahl der in Serie geschalteten Stufen und der

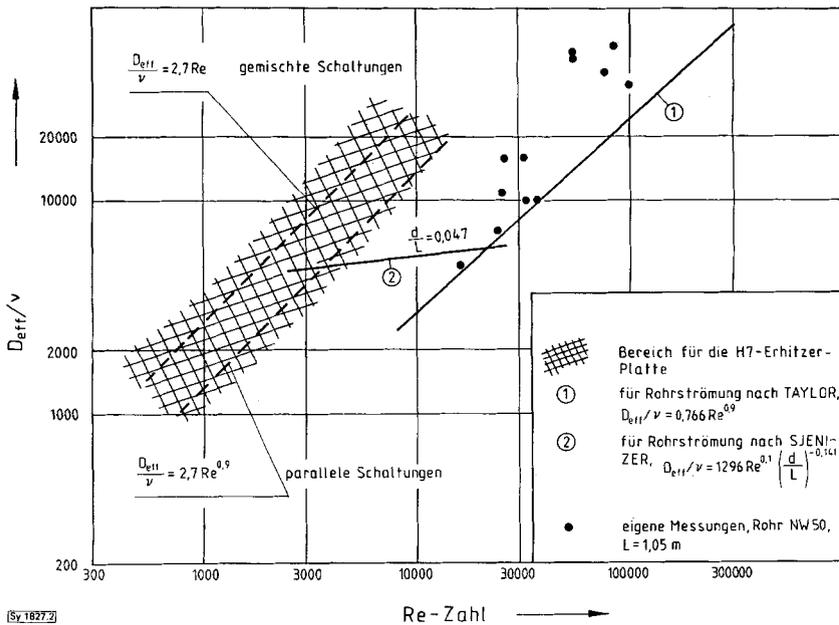


Abb. 2. Vergleich des Funktionsverlaufs  $D_{\text{eff}}/v = f(\text{Re})$  von Platten- und Rohrströmung.

können Bereiche konstanter Verhältnisse  $F_r/\bar{F}$  berechnet und grafisch in Abhängigkeit von den Parametern  $P_3$  und  $P_5$  dargestellt werden. Abb. 3 zeigt drei solche Bereiche, wobei der Bereich  $0,99 < F_r/\bar{F} < 1,01$  als optimal angesehen wird.

Durch geschickte Auswahl der Parameter  $P_3$  und/oder  $P_5$  sollte schon bei der Auslegung des Erhitzers der optimale Bereich angestrebt werden. Bei bereits vorhandenen Anlagen kann nach Bestimmung der Parameter der Bereich aus dem Nomogramm (Abb. 3) ermittelt werden und, falls erforderlich, durch das Verändern der Betriebsbedingungen (Parameter  $P_3$ ) verbessert werden.

Eingegangen am 7. Oktober 1988

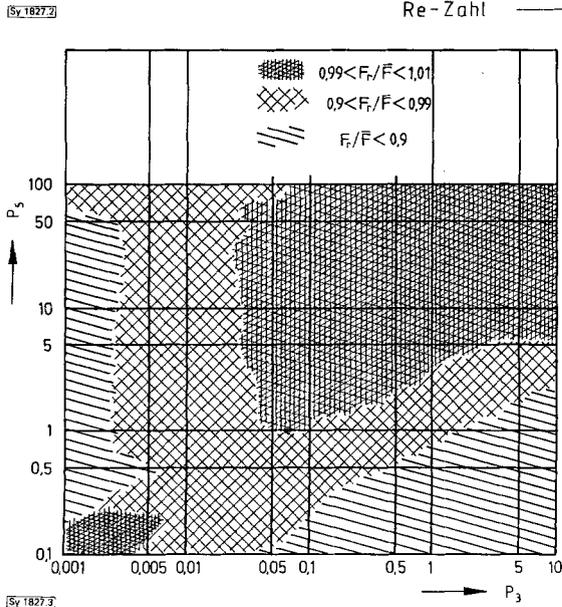


Abb. 3. Bereiche des konstanten Verhältnisses  $F_r/\bar{F}$  in Abhängigkeit von den Parametern  $P_3$  und  $P_5$ .

für das Verweilzeitverhalten charakteristischen Konstante  $K_0$  (für  $K_0$  s. Gl. (1)).

Der Parameter  $P_3$  ist von den kinetischen Kenngrößen, wie dem  $z$ -Wert und  $D_B$ , der Temperaturdifferenz  $\vartheta_2 - \vartheta_1$ , dem Volumen des Fließkanals, dem Volumenstrom und von der Gesamtzahl der Platten abhängig. Der Parameter  $P_3$  ist daher eine betriebsbedingte spezifische Größe.

Für eine Optimierungsaufgabe eines Erhitzers ist das Verhältnis  $F_r/D_B$  nicht besonders gut geeignet. In den meisten Fällen wird die Berechnung des Sterilisationswertes für die mittlere Verweilzeit durchgeführt. Dieser muß jedoch mit dem realen Sterilisationswert nicht übereinstimmen. Es ist daher vorteilhaft, einen Vergleich zwischen den beiden Sterilisationswerten zu bilden. Nimmt dieses Verhältnis den Wert 1 ein, so kann eine gleichmäßige Erhitzung aller Produktteilchen unterstellt und in diesem Sinne die thermische Behandlung auch als produktschonend bezeichnet werden.

Aus der Funktion in der Form

$$\frac{F_r}{\bar{F}} = - \frac{2,3}{P_3} \lg \left\{ P_5 \int_0^{\infty} \theta^{-1,5} \exp \left[ P_3^2 \pi \left( 2 - \frac{1}{\theta} \right) - \theta (P_3^2 \pi + P_3) \right] d\theta \right\} \quad (6)$$

### Formelzeichen

$a$	[-]	Geometriefaktor
$D_{\text{eff}}$	[m <sup>2</sup> /s]	Dispersionskoeffizient
$D_B$	[s]	Dezimalreduktionszeit bei Bezugstemperatur
$f(\tau)$	[s <sup>-1</sup> ]	Verweilzeitspektrum, Verweilzeitfunktion
$F$	[s]	Sterilisationswert
$F_r$	[s]	realer Sterilisationswert, d. h. unter Berücksichtigung der Verweilzeitstreuung
$\bar{F}$	[s]	Sterilisationswert berechnet mit der mittleren Verweilzeit
$K_0$	[-]	spezifische Konstante aus der Abhängigkeit $D_{\text{eff}}/v = K_0 \text{Re}^c$ , gültig auch für nichtisothermische Bedingungen
$n_{pi}$	[-]	Anzahl der parallelen Fließwege in der „i-ten“ Stufe
$n_s$	[-]	Anzahl in Serie geschalteter Stufen
$P_3$	[-]	Parameter
$P_5$	[-]	Parameter
$\text{Re}$	[-]	Reynoldszahl
$t$	[s]	Zeit
$\dot{V}$	[m <sup>3</sup> /s]	Gesamtvolumenstrom
$V_K$	[m <sup>3</sup> ]	Volumen eines Fließkanals
$\theta = \tau/\bar{\tau}$	[-]	relative Verweilzeit
$\vartheta$	[°C]	Temperatur
$\nu$	[m <sup>2</sup> /s]	kinematische Viskosität
$\tau$	[s]	Verweilzeit
$\bar{\tau}$	[s]	mittlere Verweilzeit

### Literatur

- [1] Reuter, H.: Dtsch. Molkg. Ztg. (München) F.12 (1980), F.43 (1980), F.48 (1980).
- [2] Reuter, H.: Chem.-Ing.-Tech. 53 (1981) Nr. 6, S. 409.
- [3] Kiesner, C.: Chem.-Ing.-Tech. 60 (1988) Nr. 2, S. 142.
- [4] Batenson, R. N.: Food and Bioengineering – Fundamental and Industrial Aspects, Chem. Eng. Prog., Symp. Ser. 67 (1971) Nr. 108.

Schlüsselworte: Wärmeaustauscher, Mikroorganismen, Sterilisation, Verweilzeit.

Das vollständige Manuskript dieser Arbeit umfaßt 21 Seiten mit 9 Abbildungen, 1 Tabelle und 13 Literaturzitaten. Es ist als Fotokopie oder Mikrofiche MS 1734/89 erhältlich.