

Fluitec Druckvorlage Nr. 11.105 Rev. 1

## CSE-XR® Reaktoren als isotherme Verweilzeitstrecken

CSE-X® Mischer und CSE-XR® Mischer-Wärmetauscher werden vermehrt als Rohrreaktoren eingesetzt und nähern sich der idealen Rohrströmung an. Entsprechend ausgelegt, können mit CSE-X® Mixern oder CSE-XR® Mischer-Wärmetauschern Bodenstein-Zahlen > 100 erreicht werden, was einer Rührkesselkaskade > 50 Kessel entspricht. Störungen durch Konvektion werden mit dem CSE-XR® Reaktor auf ein Minimum reduziert.



### Einleitung

Statische Mischer sind Apparate mit feststehenden Einbauten, die unter Nutzung der Strömungsenergie die Mischung fluider Produktströme bewirken. Mit ihren speziellen verfahrenstechnischen Eigenschaften bieten sich CSE-X Mischer oder CSE-XR Mischer-Wärmetauscher für die Durchführung von chemischen Reaktionen geradezu an. Sie werden zur kontinuierlichen Reaktionsführung vorzugsweise als Rohr- oder Schlaufenreaktoren eingesetzt. In diskontinuierlichen Prozessen werden Fluitec Mischsysteme als Vormischer in Batch-Prozessen oder als zusätzliche, externe Schlaufenreaktoren bei Rührkesseln eingesetzt. Die Entscheidung, ob die Reaktion als diskontinuierlicher oder kontinuierlicher Prozess verlaufen soll, wird zum einen durch die Stoffeigenschaften der chemischen Reaktion bestimmt, zum anderen beeinflussen die allg. Vor- und Nachteile des diskontinuierlichen resp. kontinuierlichen Prozesses die Wahl der Reaktionsführung.

### Kontinuierliche Reaktionsführung

Im Gegensatz zur diskontinuierlichen Reaktionsführung wird beim kontinuierlichen Reaktor ständig ein Stoffstrom der Edukte in den Reaktor zugegeben und ebenso ständig entnommen. Diese stationäre Reaktionsführung zeichnet sich durch die zeitliche Konstanz der Reaktionsparameter Konzentration und Temperatur aus. Die Vorteile der kontinuierlichen Reaktionsführung werden wie folgt beschrieben:

- Die hohe Produktequalität wird infolge definierter Mischqualität und engem Verweilzeitspektrum erzielt.
- Der Umsatz im Rohrreaktor ist grösser als im kontinuierlichen Rührkessel.
- Der Reaktor ist praktisch wartungsfrei und der Energiebedarf ist gering.
- Der Reaktor kann mit kleinem Reaktionsvolumen betrieben werden (erhöhte Kontrolle u. Sicherheit).
- Der hohe Automatisierungsgrad erlaubt geringe Betriebs- und Investitionskosten.

## Umsatz und Geschwindigkeit einer Reaktion

Zur Charakterisierung der Reaktions-Geschwindigkeit RG greift man auf die Umsatzdefinition des Edukts  $i$  einer chemischen Reaktion zurück:

$$U_i = \frac{n_{i,0} - n_i}{n_{i,0}} = \frac{c_{i,0} \cdot V_0 - c_i \cdot V}{c_{i,0} \cdot V_0} \quad \text{Gl. 1}$$

Darin bedeuten  $n_{i,0}$  die vorhandene Stoffmenge eines Edukts vor der Reaktion (zur Zeit  $t = 0$ ) und  $n_i$  die Stoffmenge dieser Komponente zur Zeit  $t$ . Diese in Stoffmengen gegebene - immer richtige - Definition ist dem Chemiker unbequem, er rechnet lieber in Konzentrationen, wobei man oft vereinfachend  $V_0 = V$  setzen kann.

Eine praktische Klassifikation der RG greift auf die Halbwertszeit  $t_H$  zurück. Das ist die Zeit  $t_H$  nach der das Edukt zur Hälfte abreagiert ist, also den Umsatz  $U_i = 0.5$  erreicht hat [2]. Man bezeichnet Reaktionen mit:

$t_H > 1 \text{ min}$	als langsam
$1 \text{ s} < t_H < 1 \text{ min}$	als normal
$1 \text{ ms} < t_H < 1 \text{ s}$	als schnell
$t_H < 1 \text{ ms}$	als sehr schnell.

Fluitec Mischer und Wärmetauscher werden für langsame, normale sowie schnelle Reaktionen eingesetzt. Müssen Reaktionen mit anfangs sehr starker Wärmeproduktion isotherm geführt werden, so weicht man auf kontinuierliche Schlaufenreaktoren aus. Eine entsprechende Verweilzeitstrecke kann nachgeschaltet werden.



Abb. 2 Polymerisationsreaktoren DN250

## Die Bodenstein-Zahl

Die für einen chemischen Reaktor interessante Merkmalgröße ist die Zeit, die den Reaktionspartnern für die Reaktion zur Verfügung steht. In realen Rohrreaktoren wird häufig die Bodenstein-Zahl  $Bo$  verwendet. Sie ist das Mass für die Breite der Verweilzeitverteilung nach dem Dispersionsmodell. Die Bodenstein-Zahl in Fluitec Reaktoren wird wie folgt bestimmt:

$$Bo = \frac{u_z \cdot L}{D_{ax}} \quad \text{Gl. 2}$$

## Dispersionsmodell

Das Dispersionsmodell darf nur bei geringen Abweichungen vom idealen Verdrängungsmodell

eingesetzt werden, das heisst, dass grosse Bodenstein-Zahlen und eine fast axiale symmetrische Stoffverteilung benötigt werden. Obwohl das Dispersionsmodell prinzipiell auf  $Bo = 0$  extrapoliert werden kann, wird die Grenze des VZ-Verhaltens je nach Literatur zwischen einer Rohrströmung und dem Rührkessel mit  $Bo = 7 - 20$  festgesetzt [2], [3].

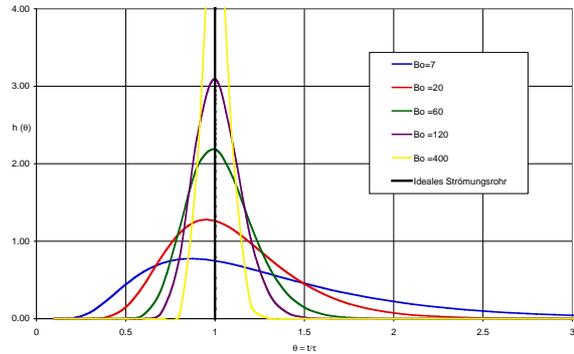


Abb. 3 Verweilzeitspektrum nach 1-d Modell

Bei der Ermittlung des Verweilzeitspektrums [Abb. 3] muss der Reaktor stationär betrieben werden. Es ist sehr wichtig, dass die zu messende Markierungssubstanz sich wie die Reaktionslösung verhält und chemisch unverändert bleibt. Unabhängig von der Konstruktion des eingesetzten Reaktors lässt sich die mittlere Verweilzeit  $\tau$  gemäss Gleichung 3 mit

$$\begin{aligned} V_R &= \text{Volumen Reaktor (L)} \\ \dot{V} &= \text{Volumenstrom Reaktor (L s}^{-1}\text{)} \end{aligned}$$

$$\tau = \frac{V_R}{\dot{V}} \quad \text{Gl. 3}$$

berechnen. Mit den Messwerten aus dem Verweilzeitspektrum wird die Verweilzeitsummenkurve erstellt und damit die Bodensteinzahl im Reaktor ermittelt.

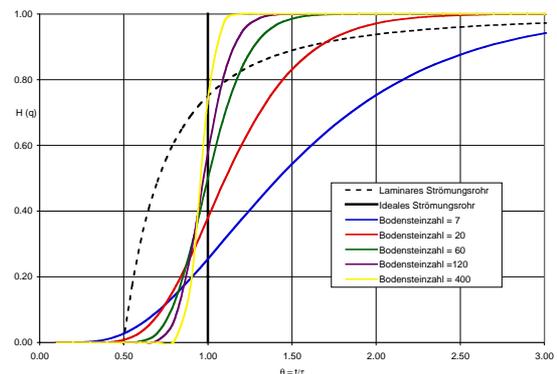


Abb. 4 Verweilzeitsummenkurve nach 1-d Modell

- [1] Firmenprospekt Fluitec, (1996): Druckverlust und Homogenität bei Statikmischern
- [2] Moser, A. (1981): Berechnungsgrundlagen d. Reaktionstechnik. Springer, Wien.
- [3] Jakubith, M. (1998): Grundoperationen und chemische Reaktionen. Wiley, Weinheim.
- [4] Fluitec Georg AG: Reaktionshandbuch RHB Kapitel 3