

In der chemischen sowie der Kunststoff- und Lebensmittelindustrie müssen bei den unterschiedlichsten Herstellungsverfahren hochviskose Flüssigkeiten kontrolliert erwärmt bzw. abgekühlt oder chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Der Wärmetransport findet gezwungenermaßen im laminaren Strömungsbereich statt; dies führt zu kleinen Wärmeübergangszahlen. Um die benötigte Wärmeübertragungsfläche gering zu halten, kann die Temperaturdifferenz zwischen den wärmeübertragenden Medien erhöht werden, was aber bei temperatursensitiven Stoffen nur begrenzt möglich ist. Zusätzlich führen laminare Strömungsformen zu einer ungünstigen Verweilzeitverteilung.

Mit statischen Mischern können Zentrum- und Randzonen der Flüssigkeitsströmung nach einem geometrischen Muster vermischt werden. An der Wärmeübertragungsfläche bewirken Mischelemente eine sogenannte Oberflächenenerneuerung, aus der sich eine Reihe von Vorteilen gegenüber einer laminaren Leerraumströmung ergeben:

- Der innere Wärmeübergangskoeffizient α wird verbessert und dadurch die Wärmeübertragungsfläche reduziert.
- Die Gefahr der lokalen Überhitzung und damit Temperaturschädigung des strömenden Produktes ist verhindert.
- Die Aufenthaltszeit des strömenden Mediums wird praktisch uniform, das Verweilzeitpektrum ist also eng, und eine chemische Reaktionsführung läßt sich problemlos kontrollieren und regeln (Bild 1).

Der konstruktiv einfachste statische Mischer-Wärmeübertrager ist der Monotube-

Grenzen überschritten

Mischer-Wärmeübertrager für hochviskose Flüssigkeiten

In der chemischen Industrie müssen in der Produktion oft hochviskose Flüssigkeiten erwärmt oder abgekühlt bzw. chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Häufig aber bestehen Diskrepanzen zwischen Wärmeübergangszahl und Wärmeübertragungsfläche, insbesondere bei temperaturempfindlichen Stoffen. Der neue CSE-XR Wärmeübertrager eröffnet wirtschaftliche Perspektiven für den Mischer-Reaktor-Einsatz in der chemischen Reaktions- und Polymerisationstechnik.

Wärmeübertrager. Aufgrund des besseren inneren Wärmeübergangs ist eine Doppelmantelausführung um ein Vielfaches kürzer als ein Leerrohrapparat gleicher Wärmeübertragungsleistung. Um größere Wärmemengen übertragen bzw. produktbezogene Ein-/Austrittstemperaturen erreichen zu können, müssen mehrere Mischer-Wärme-

übertrager-Abschnitte in Serie geschaltet und zu einem langen Apparat zusammengesetzt werden, wie aus dem Bau von Schlaufenreaktoren für die chemische Reaktionsführung bekannt ist (Bild 2).

Dem Durchsatz kaum Grenzen gesetzt

Bei Rohrbündel-Wärmeübertragern mit statischen Mischern wird der Produktstrom in eine Vielzahl von parallelen Teilströmen aufgeteilt. Durch diese Aufteilung ist kein vollständiger Mischeffekt über den gesamten Produktstrom mehr möglich, sondern nur noch innerhalb jedes einzelnen Parallelstromrohres. Jedoch sind der zu übertragenden Wärmemenge bzw. dem zu behandelnden Produktmengenstrom, also dem Durchsatz, kaum mehr Grenzen gesetzt. Damit Rohrbündel-Wärmeübertrager mit eingebauten statischen Mischern für hochviskose Flüssigkeiten wirtschaftlich sind, müssen einige Kriterien erfüllt sein:

- Ein größerer Produktmengenstrom ist zu behandeln.
- Minimaler Druckverlust über den Wärmeübertragerapparat ist erwünscht.
- Kompakte Apparate- und Anlageabmessungen sind verlangt (Bild 3).

Bild 4 zeigt den Verlauf der Nusselt-Zahl $Nu = \alpha_i \cdot D / \lambda$, also den dimensionslosen Wärmeübergangskoeffizienten, für verschiedene CSE-Mischertypen und für das Leerrohr in Abhängigkeit von $Re \cdot Pr$, oft auch als Pe -Zahl angeschrieben. Durch den Einsatz statischer Mischer kann eine Verbesserung gegenüber dem Leerrohr um den Faktor 2 bis 10 erreicht werden. Der Druckverlust Δp_m eines mit Mischelementen gefüllten Rohres läßt sich für Newtonsche Flüssigkeiten mit einem Druckverlust-Vergleichswert k_m aus dem Druckverlust Δp_r des Leerrohres gleicher Länge berechnen.

$$\Delta p_m = k_m \cdot \Delta p_r \quad (1)$$

Autoren: Alain Georg, Fluitec; Helmuth Astl, Mario Restelli, Prof. Dr. Alexander Stücheli, Zürcher Hochschule

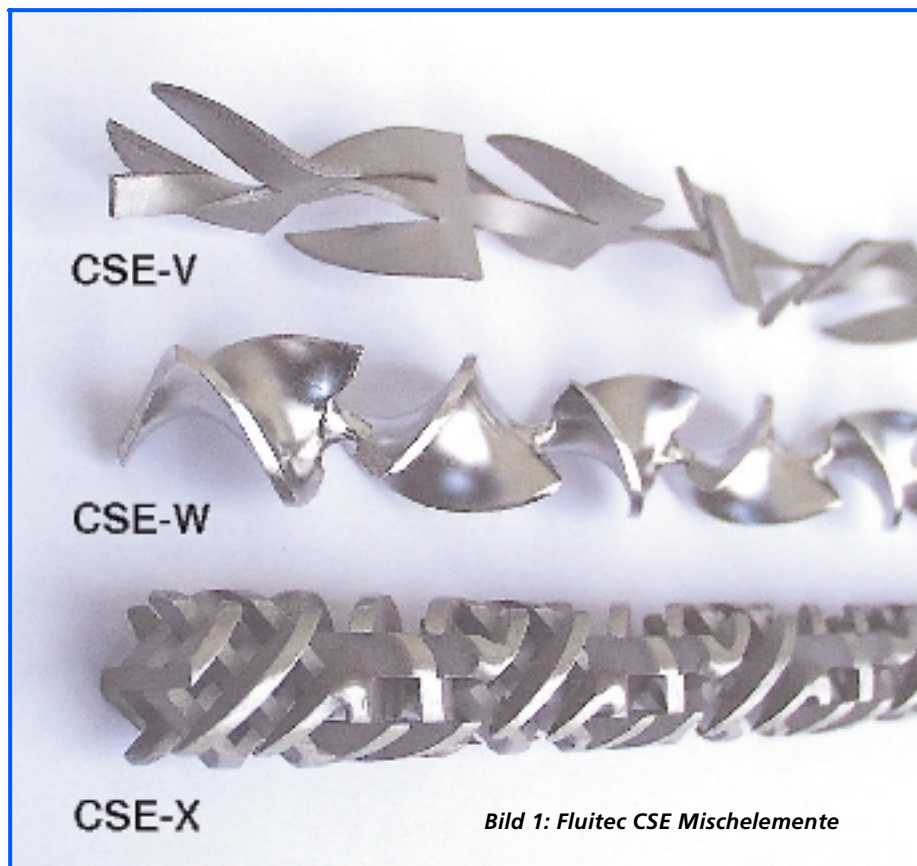


Bild 1: Fluitec CSE Mischelemente



Bild 2: Wärmeübertrager mit Regelstation für Zweikomponenten-Klebstoffe



Bild 3: Rohrbündel-Wärmeübertrager mit statischen Mischelementen



Bild 5: Die neue Generation CSE-XR Wärmeübertrager

Die Mischelemente CSE-X weisen k_m -Werte von 22 bis 50 auf, CSE-W Mischelemente von 5,8 bis 6,8 und die CSE-V-Mischelemente von 4,2 bis 5,2. Die k_m -Werte sind abhängig vom Rohrdurchmesser sowie vom hydraulischen Durchmesser des jeweiligen Mischelementes (Bild 4).

In der Reaktionstechnik bewährt

Der Mischer CSE-X verfügt über die besten Nusselt-Zahlenwerte. Wegen hoher Herstellungskosten und des großen Druckverlustes empfiehlt sich selten, diesen Mischer in Rohrbündel-Wärmeübertragern einzusetzen. Hingegen für Reaktionen mit Wärmetönung, wo hohe Mischwirkung benötigt wird, sind die Mischer CSE-X die wirtschaftlichste Lösung. Mischer der Reihe CSE-W finden Einsatz vor allem bei sehr hochviskosen Flüssigkeiten wie beispielsweise Polymerschmelzen. Der Mischer CSE-V kann für viskose Flüssigkeiten von 500 mPa·s bis 200 000 mPa·s eingesetzt werden. Dank seiner originellen Bauform sind die Herstellungskosten niedriger als die des Mixers CSE-W und trotz der geringeren Wärmeübertragungseffizienz, die eine etwas grö-

ßere Baulänge oder mehr Parallelrohre erfordert, ist er wirtschaftlicher.

Die Mischer CSE-X bewähren sich wegen ihrer hohen Mischwirkung und engen Verweilzeitverteilung besonders in der Reaktionstechnik. Als Monotube-Wärmeübertrager sind seinen Mischelementen aber Grenzen gesetzt, da ab Rohrdurchmessern von rund DN 80, der Wärmeübergangskoeffizient sich umgekehrt proportional zu D verhält:

$$\alpha_1 = Nu \cdot \lambda / D \quad (2)$$

Die auf das Apparatevolumen bezogen reduzierte Wärmeübertragungseffizienz muss durch zusätzliche Wärmeübertragerfläche kompensiert werden. Man kann in das mit Mischelementen versehene Strömungsrohr ein zusätzliches Rohrbündel stecken und erhält bei gleicher Mischwirkung zusätzliche innere Wärmeübertragerfläche, die ebenso von der Mischer-Wärmeübertragung profitiert wie die äußere Strömungsrohr-Wärmeübertragerfläche (Bild 5).

Konstruktive Merkmale des Wärmeübertragers CSE-XR sind:

- Die Mischer-Wärmeübertrager-Fläche ist als Paket ausbaubar.

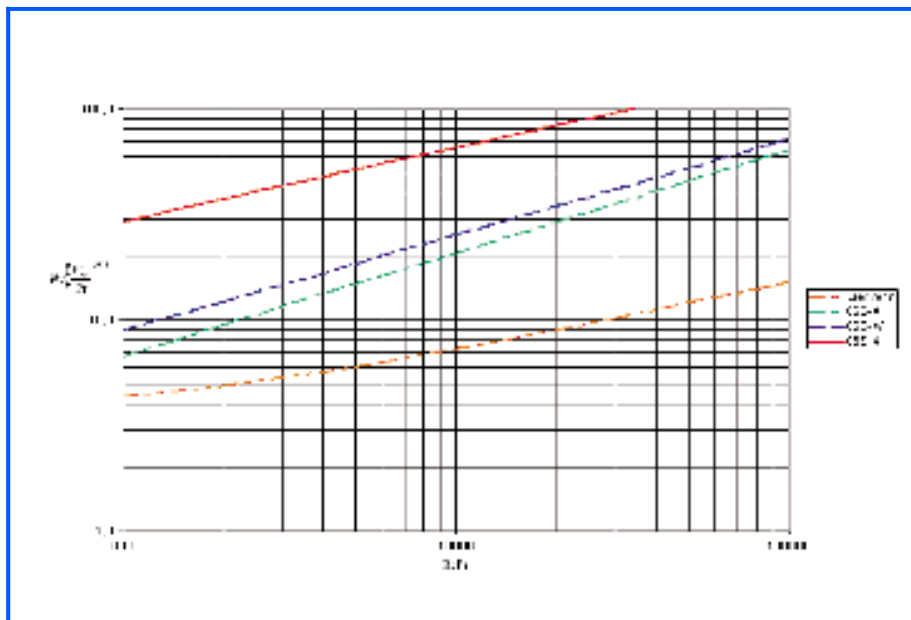


Bild 4: Nusselt-Zahl in Funktion von $Re \cdot Pr = Pe$

Mischer-Wärmeübertrager für viskose Flüssigkeiten

Dank statischen Mischer-Wärmeübertragern können hochviskose Flüssigkeiten in Verfahren mit Grundoperationen wie Mischen, Wärme- und Stoffaustausch oder in der chemischen Reaktionstechnik kontinuierlich durchgeführt werden. Weil im Wärmeübertrager CSE-XR mit den speziellen Mischereinbauten die Quervermischung und die Oberflächenenergie strömungstechnisch beherrscht wird, eignet er sich sowohl für chemische Reaktionen mit Wärmetönung als auch für Temperiervorgänge – Erwärmen oder Kühlen – von hochviskosen Flüssigkeiten. Das Mischelement CSE-V ist für den Viskositätsbereich von 500 bis 200 000 mPa·s geeignet.

- Die gesamte Oberfläche ist kontrolliert zu reinigen und kann auch sterilisiert werden.
- Der Mischer-Wärmeübertrager-Querschnitt ist in Hauptströmungsrichtung geometrisch überall definiert und reduziert die Maldistribution auf ein Minimum, so dass eine enge Verteilung der Verweilzeit gewährleistet ist.
- Eine hohe volumenspezifische Wärmeübertragungsfläche prädestiniert den Mischer-Wärmeübertrager für hochviskose Flüssigkeiten und für temperatursensitive Medien. Er ist für folgende Anwendungen geeignet:
 - für Reaktionen mit Wärmetönung von hochviskosen Flüssigkeiten wie etwa Polymerisationen, wo neben hoher Mischereffizienz und enger Verweilzeitverteilung auch Wärme zu- oder abgeführt werden muss;
 - für schnelle chemische Reaktionen von niedrigviskosen Flüssigkeiten mit hoher Wärmetönung und exakter Temperaturführung;
 - als allgemeiner Plug-Flow- und Loop-Reaktor in den unterschiedlichsten, sehr oft vertraulich zu behandelnden High-chem-Prozessen.
 - als kontinuierlicher Reaktionsapparat für streng definierte Reaktionszeiten.

Weitere Infos

CT 613