

Fluitec Druckvorlage Nr. 11.115 Rev. 1

Rohrbündelwärmetauscher mit CSE-W[®] und CSE-V[®] Elementen

In der chemischen Industrie müssen in der Produktion oft hochviskose Flüssigkeiten erwärmt oder abgekühlt bzw. chemische Umsetzungen durchgeführt werden. Bei Reynolds-Zahlen $Re < 500$ wird der Einsatz von statischen Mischelementen sinnvoll. Mit der Berechnung der Peclet-Zahl Pe , einer viskositätsunabhängigen, dimensionslosen Zahl, kann eine sichere Auslegung bei laminarer Strömung erfolgen. Der Wärmeübergang mit statischen Mixern erhöht sich in der Regel um den Faktor 2 bis 5.

In der chemischen, Kunststoff- und Lebensmittelindustrie sind bei den unterschiedlichsten Herstellungsverfahren hochviskose Flüssigkeiten kontrolliert zu erwärmen oder abzukühlen oder chemische Umsetzungen durchzuführen. Der Wärmetransport findet gezwungenermassen im laminaren Strömungsbereich statt, was zu niedrigen Wärmeübergangszahlen führt. Um die benötigte Wärmeaustauschfläche gering zu halten, kann die Temperaturdifferenz zwischen den wärmetauschenden Medien erhöht werden, was aber bei temperatursensitiven Stoffen nur begrenzt möglich ist. Zusätzlich führen laminare Strömungsformen zu einer ungünstigen Verweilzeitverteilung. Mit statischen Mixern können Zentrum- und Randzonen der Flüssigkeitsströmung nach einem geometrischen Muster vermischt werden.



Abb. 1 Rohrbündel mit Statikmischer

Auf der Wärmeaustauschfläche bewirken Mischelemente eine sogenannte Oberflächenenerneuerung,

was eine Reihe von Vorteilen gegenüber einer laminaren Leerraumströmung ergibt:

- Der innere Wärmeübergangskoeffizient α_i wird verbessert, was die Wärmeaustauschfläche reduziert.
- Die Gefahr der lokalen Überhitzung und eine dadurch entstehende Temperaturschädigung des strömenden Produktes wird verhindert.
- Die Aufenthaltszeit des strömenden Mediums wird praktisch uniform, das Verweilzeitspektrum ist also eng und eine chemische Reaktionsführung wird einfacher kontrollier- und regelbar.



Abb. 2 Rohrbündel-Wärmetauscher CSE-W

Monotube-Wärmetauscher

Der konstruktiv einfachste statische Mischer-Wärmetauscher ist der Monotube-Wärmetauscher. Aufgrund des besseren inneren Wärmeübergangs ist eine Doppelmantelausführung mit Mixern um ein Vielfaches kürzer als ein Leerrohrapparat mit gleicher Wärmeübertragungsleistung. Um grössere Wärmemengen übertragen bzw. produktbezogene Ein-/Austrittstemperaturen erreichen zu können, müssen mehrere Mischer-Wärmetauscher-Abschnitte in Serie geschaltet und zu einem langen Apparat zusammengesetzt werden, wie aus dem Bau von Verweilzeitreaktoren für die chemische Reaktionsführung bekannt ist.

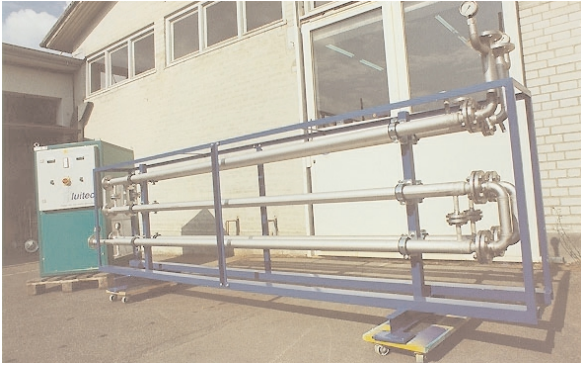


Abb. 3 Monotube Wärmetauscher

Rohrbündel-Wärmetauscher

Bei Rohrbündel-Wärmetauschern mit statischen Mixern 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, dem Durchsatz, kaum mehr Grenzen gesetzt. Damit Rohrbündel-Wärmetauscher mit eingebauten statischen Mixern für hochviskose Flüssigkeiten wirtschaftlich sind, müssen einige Kriterien erfüllt sein:

- Größerer Produktmengenstrom ist zu behandeln.
- Minimaler Druckverlust über den Wärmetauscherapparat ist erwünscht.
- Kompakte Apparate- und Anlageabmessungen sind verlangt.



Abb. 4 CSE-V, CSE-W und CSE-X Elemente

Abb. 5 zeigt den Verlauf der Nusselt-Zahl $Nu = \alpha_i \times D/l$, also den dimensionslosen Wärmeübergangskoeffizienten, für verschiedene Fluitec CSE Mischertypen und für das Leerrohr in Abhängigkeit von $Re \times Pr$, oft auch als Pe -Zahl angeschrieben. Durch den Einsatz statischer Mixer 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 newtonische Flüssigkeiten mit einem Druckverlust-Vergleichswert k_m aus dem

Druckverlust Δp_r des Leerrohres gleicher Länge berechnen.

$$\Delta p_m = k_m \times \Delta p_r$$

CSE-X Mischelemente weisen k_m -Werte von 22-50 auf, CSE-W Mischelemente von 5.8-6.8 und die CSE-V-Mischelemente von 4.2-5.2. Die k_m -Werte sind abhängig vom Rohrdurchmesser sowie vom hydraulischen Durchmesser des jeweiligen Mischelementes.

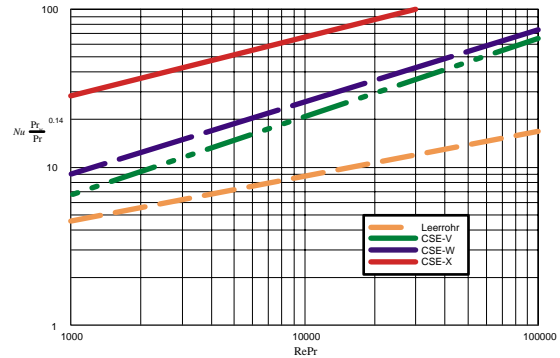


Abb. 5 Nusselt-Zahl in Funktion von $RePr = Pe$

Bewertung der Mischelemente für Rohrbündel-Wärmetauscher

Der CSE-X Mischer weist die besten Nusselt-Zahlenwerte auf. Wegen hoher Herstellungskosten und des grossen Druckverlustes empfiehlt sich selten, den CSE-X Mischer in Rohrbündel-Wärmetauschern einzusetzen. Für Reaktionen mit Wärmetönung, wo hohe Mischwirkung benötigt wird, sind CSE-X Mischer hingegen die wirtschaftlichste Lösung. CSE-W Mischer finden Einsatz vor allem bei sehr hochviskosen Flüssigkeiten wie z.B. Polymerschmelzen. Der CSE-V Mischer kann für viskose Flüssigkeiten von 500 mPas bis 200'000 mPas eingesetzt werden. Dank seiner innovativen Bauform sind die Herstellungskosten tiefer als jene des CSE-W Mixers und trotz der geringeren Wärmeübertragungseffizienz, die eine etwas grössere Baulänge oder mehr Parallelrohre erfordert, weist er ein besseres Preis-/Leistungsverhältnis auf als der CSE-W Mischer.



Abb. 6 Wärmetauscher für Lebensmittel