



Mischen-Wärmetauschen
Die einzigartigen Mischer-Wärmetauscher

1993 brachte Fluitec ihren ersten statischen Mischer auf den Markt. Heute liefert die Firma Fluitec als zuverlässige Partnerin hochwertige Produkte und Know How für die verschiedensten Misch-, Wärmetausch- und Reaktionsaufgaben in der chemischen, petrochemischen, pharmazeutischen, Umwelt- und Lebensmittelindustrie.



Blick in die Fertigungshalle – Apparate bis 3.5 Tonnen Gewicht werden in der hauseigenen Fertigung hergestellt.



Fluitec Geschäftsleitung:
Daniel Altenburger (Geschäftsleiter), Silvano Andreoli (Leitung Fertigung),
Alain Georg (Leitung F&E), Tobias Vögeli (Leitung Verkauf)



Die Fluitec Belegschaft

Der Fluitec Mischer-Wärmetauscher

Seite 4–9

Mischer-Wärmetauscher als Reaktor

Seite 10–11

Scale Up

Seite 12

Anwendungsbeispiele

Seite 13–15

Rohrbündelwärmetauscher

Seite 16

Sterilwärmetauscher

Seite 17

Anfrageblatt

Seite 18

Weitere Fluitec Produkte

Seite 19

Der Fluitec Mischer-Wärmetauschers vereinfacht seit über 20 Jahren das Heizen und Kühlen viskoser Medien wie Pasten, Schmelzen oder Emulsionen. Da im Mischer-Wärmetauscher CSE-XR durch die speziellen Mischereinbauten sowohl die Quervermischung als auch die Oberflächenerneuerung strömungstechnisch beherrscht werden, eignet sich der Apparat sowohl für exotherme und endotherme chemische Reaktionen als auch für Temperiervorgänge von hochviskosen Flüssigkeiten (Erwärmen oder Kühlen).

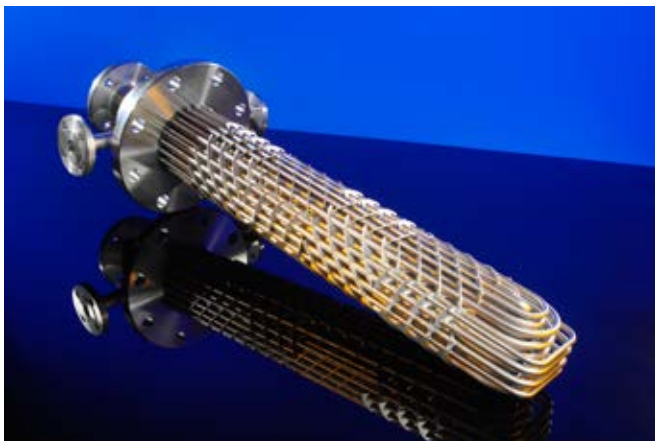
Dank ständiger Weiterentwicklung beherrscht die CSE-XR-Technologie heute ein breites Leistungsspektrum. Die Konstruktion des Mischer-Wärmetauschers entspricht der Kombination eines statischen Mixers mit einem Rohrbündelwärmetauscher, wobei das Produkt auf der Mantelseite durch den statischen Mixer fließt. Die Vorteile beider Einzelsysteme werden für den Einsatz mit langsam strömenden Medien kombiniert.

Einsatzbereiche

Der CSE-XR Mischer-Wärmetauscher wird als Wärmetauscher oder als Reaktor eingesetzt.

Einige typische Einsatzbereiche:

- Heizen und kühlen im laminaren Strömungsbereich
- Kühlen und Homogenisieren von Flüssigkeiten mit grossen Viskositätsunterschieden
- Verarbeitung und Herstellung von Klebstoffen und Hotmelts
- Kühlen und Homogenisieren von Schmelzen für die Chemiefaserindustrie
- Temperaturüberwachung und Homogenisieren von Kunststoffschmelzen und Kunststoffschäumen
- Temperieren und Mischen von Polyolen mit Treibmitteln und Isocyanaten
- Heizen und Kühlen von Produkten in der Lebensmittelindustrie



Das Mischerbündel eines Mischer-Wärmetauschers CSE-XR

- Allgemeiner Plug-Flow- und Loop-Reaktor in High-Chem-Prozessen
- Reaktor für Massepolymerisationen
- Reaktionen mit Wärmetönung von hochviskosen Flüssigkeiten wie z.B. Polymerisationen
- Kontinuierlicher Reaktionsapparat für streng definierte Reaktionszeiten
- Isothermer Verweilzeitreaktor für nieder- und hochviskose Flüssigkeiten
- Schnelle chemische Reaktionen von niederviskosen Flüssigkeiten mit hoher Wärmetönung bei exakter Temperaturführung.
- Externes Kühlen und Mischen von gerührten Tankreaktoren
- Heizen von viskosen Flüssigkeiten mit Dampf, auch bei grösseren Betriebsdrücken
- Isothermer Begasungsreaktor für Gas-Flüssig-Systeme

Der Fluitec Mischer-Wärmetauscher funktioniert auch dann noch, wenn herkömmliche Wärmetauscher wegen Strukturviskosität, Thixotropie oder sonstigen hohen Viskositätsveränderungen (auf Grund der Produkttemperatur) versagen.

Vom CSE-X Mischer zum CSE-XR Mischer-Wärmetauscher

Reine statische Mixer vom Typ CSE-X verfügen über eine sehr hohe Mischleistung. Beim Einsatz mit viskosen Medien, also im laminaren Strömungsbereich, erzeugt das Mischelement CSE-X eine gleichmässige, propfenähnliche Strömung bei einem gleichmässigen Scherfeld über den gesamten Querschnitt.

Werden bei einem Monotube-Wärmetauscher Mischelemente ins Innenrohr eingebaut, so erhöht sich der Wärmeübergang auf der Rohrrinnenseite. Beim Einsatz in Monotube-Wärmetauschern sind jedoch auch den CSE-X Mischelementen Grenzen gesetzt, da sich ab Rohrdurchmessern von ca. DN 50 der Wärmeübergangskoeffizient umgekehrt proportional zum Durchmesser verhält:

$$\text{Gleichung 1} \quad \alpha_i = \frac{Nu \cdot \lambda}{D}$$

Die auf das Apparatevolumen bezogene reduzierte Wärmeübertragungseffizienz muss somit durch zusätzliche Wärmeaustauschfläche kompensiert werden. Man kann in das mit Mischelementen versehene Strömungsrohr ein zusätzliches Rohrbündel stecken und erhält bei gleicher Mischwirkung zusätzliche innere Wärmeübertragungsfläche, welche ebenso vom Mischer-Wärmetauscher profitiert wie die äussere Strömungsrohr-Wärmetauscherfläche.

Statische Mischer verbessern also durch die erzwungene radiale Konvektion den Wärmeaustausch an der Rohrwand. Apparate für grössere Leistungen werden mit innenliegenden Bündelrohren ausgeführt. Bei beiden Systemen ist die Nusselt-Zahl von der Rohrlänge unabhängig und kann wie folgt berechnet werden:

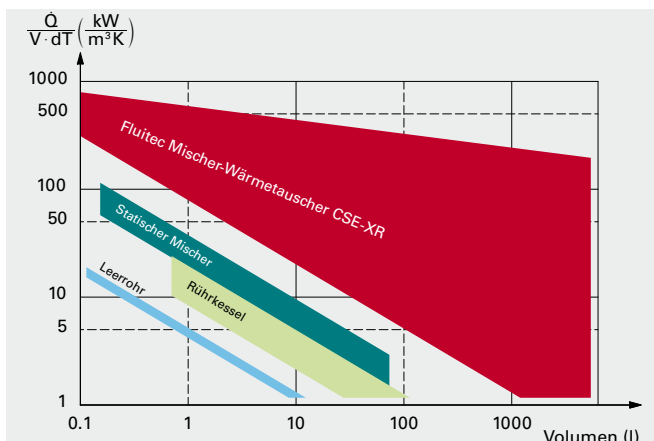
$$\text{Gleichung 2 } Nu = a \cdot Pe_D^b \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_W}\right)^{0.14}$$

In der Literatur findet man Werte für den Koeffizienten a und den Exponenten b. Bei viskosen Medien kommt als Schwierigkeit hinzu, dass Newtonisches und nicht-Newtonisches Fließverhalten auftreten kann. Kunststoffschmelzen und -lösungen weisen strukturviskose, viskoelastische, Pasten dilatante, viskoplastische Eigenschaften auf. Ferner können noch Zeitabhängigkeiten (Rheopexie und Thixotropie) und Wandgleiteneffekte vorkommen. All dies führt zu deutlichen Veränderungen des Koeffizienten a und des Exponenten b, was zu massiven Abweichungen bei der Auslegung führen kann.



Die innenliegenden Wärmetauscherrohre entsprechen der inneren Wärmeübertragungsfläche

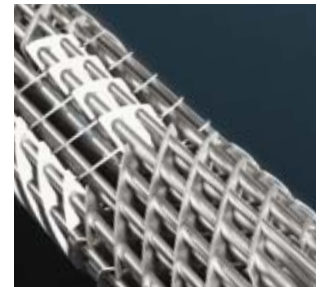
Der Mischer-Wärmetauscher besitzt aufgrund der sehr hohen erzielten Nusselt-Zahlen sowie der zusätzlichen Wärmeaustauschoberfläche ein ausgezeichnetes volumenbezogenes Wärmeübertragungsvermögen.



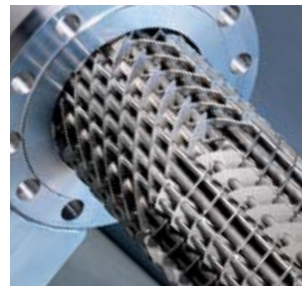
Spezifische Wärmeübertragungsleistung verschiedener Wärmeüberträger



2. Generation



3. Generation



4. Generation



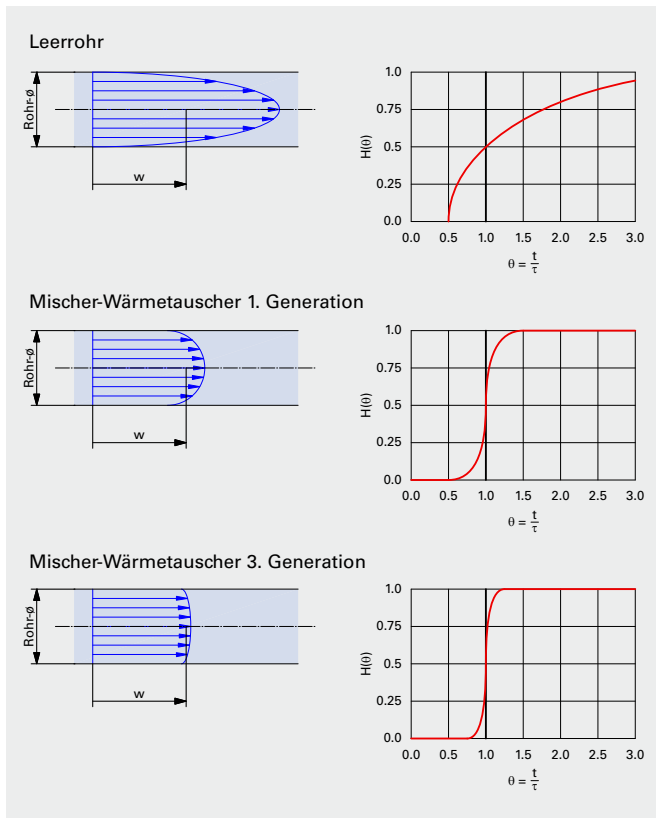
5. Generation

Die Weiterentwicklung des Mischer-Wärmetauschers

Der CSE-XR® Mischer-Wärmetauscher wird kontinuierlich weiterentwickelt. Nach der erfolgreichen Einführung des Mischer-Wärmetauschers im Jahr 1999 konnte in den Folgejahren durch den Einbau von zusätzlichen Mischerstegen sowohl die Mischleistung als auch der Wärmeaustausch positiv beeinflusst werden. Diese Grundgedanken wurde in den letzten Jahren durch alternative Anordnung von Rohren oder neuartige Stegformen ergänzt und stetig weiterentwickelt.

Heute werden Fluitec Mischer-Wärmetauscher CSE-XR in den verschiedensten Versionen, Grössen, Leistungs- und Druckstufen gebaut. Dank modernen Hilfsmittel wie 3D-CAD und computernumerischer Strömungssimulation «CFD» können neue Ideen viel schneller entwickelt und simuliert werden als dies vor wenigen Jahren der Fall war.

Die neuesten Generationen des Mischer-Wärmetauscher CSE-XR® können dank der verbesserten Wärmeübertragung nicht nur kürzer gebaut werden als früher, sondern auch noch besser für Grundoperationen wie intensivstes Mischen bei gleichzeitigem hohen Wärme- oder Stoffaustausch eingesetzt werden. Neben der Weiterentwicklung und Verbesserung der Wärmeübertragungsleistung wurde auch immer grosser Wert auf ein gleichzeitig optimales Strömungs- und Verweilzeitverhalten gelegt. Das bereits exzellente Strömungs- und Spülverhalten der Grundgeometrie des Mischer-Wärmetauschers konnte bei den Weiterentwicklungen stets gehalten oder sogar weiter verbessert werden. Das Verweilzeitspektrum konnte mit jeder neuen Version weiter optimiert werden.



Vergleich von Geschwindigkeit und Verweilzeit beim Einsatz von Mischer-Wärmetauschern im laminaren Strömungsrohr (Re < 20)

Veweilzeitverhalten

Der Fluitec Mischer-Wärmetauscher CSE-XR® zeichnet sich durch ein ausgezeichnetes Verweilzeitverhalten aus. Ein praktischer Erfahrungswert ist, dass der Mischer-Wärmetauscher je nach Flüssigkeit nach 2 bis 4-fach gespültem Volumen perfekt sauber ist.

Auslegung

Ist dem Kunden das Fliessverhalten bekannt, so kann die Firma Fluitec dank jahrelanger intensiver Forschung und umfangreicher Erfahrung eine Auslegung ohne Vorversuche vornehmen.

Bei Heizprozessen ist die Auslegung in der Regel problemlos. Beim Kühlen können jedoch Schwierigkeiten auftreten, vor allem dann, wenn der «Break-Point» unterschritten wird. Es wird daher empfohlen, bei schwierigen, unbekanntem Kühlprozessen Vorversuche durchzuführen. Sind Versuche im Pilotmassstab bereits mit herkömmlichen statischen Mixern wie Wendel- oder X-Mixern durchgeführt worden, so können diese Messdaten für ein Scale-up in den Produktionsmassstab verwendet werden.

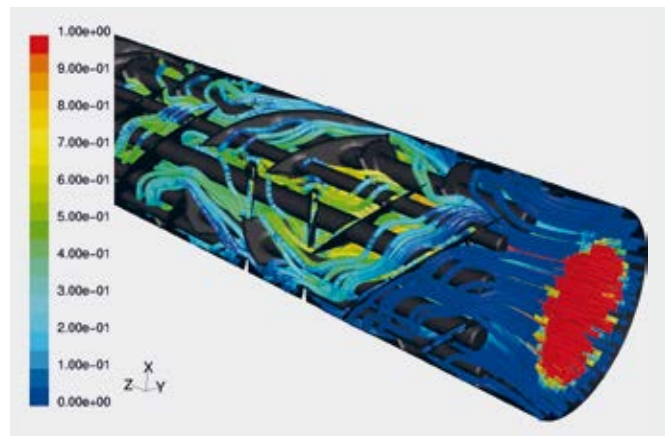
Break Point

Diese interne Bezeichnung beschreibt einen Effekt, bei dem man trotz Reduktion der Kühlwassertemperatur keine zusätzliche Kühlung mehr erzielen kann. Der Effekt wird anhand eines Beispiels beschrieben:

Eine Polymerschmelze (Viskosität @ 215°C ca. 1500 Pas) soll bei einem Durchsatz von 900 kg h⁻¹ in einem Prozess von 215°C auf 190°C gekühlt werden. Das Kühlmedium kann frei gewählt werden. Betrachtet man die Wärmetransportgleichung (Gl. 3), so sind die Wärmedurchgangszahl k und die Fläche A auf den Apparat bezogen. Mit einer möglichst grossen logarithmischen Temperaturdifferenz ΔT_L wird es möglich, einen kleinen Apparat einzusetzen, der die nötige Kühlung im Wärmetauscher erreichen kann.

$$\text{Gleichung 3 } J_Q = k \cdot A \cdot \Delta T_L$$

Breibt man den Polymerkühler mit einer Kühlflüssigkeit von 150°C, so wird die gewünschte Endtemperatur erzielt. Reduziert man die Temperatur der Kühlflüssigkeit in den Bereich von 100°C, so wird plötzlich keine zusätzliche Kühlung erreicht. Dieser Punkt wird Break-Point genannt. Jetzt reicht die Mischleistung nicht mehr aus, um einen Viskositätsaufbau an den Wärmetauscherrohren zu verhindern. Am Break-Point ist in der Regel mit einem Anstieg des Druckverlustes und einer leichten Abnahme der Bodenstein-Zahl zu rechnen. Die Einsatzgrenze des Mischer-Wärmetauschers CSE-XR ist nun erreicht. Im Gegensatz zu Rohrreaktoren mit sich kreuzenden Rohren und Bündelaustauschern gewährleistet der Mischer-Wärmetauscher auch am Break-Point ein gutes Temperaturprofil. Die hohe Mischleistung im CSE-XR reduziert die Maldistribution auf ein Minimum. Mit Vorversuchen im kleinen Massstab sollte generell der Break-Point ermittelt werden. Damit wird gewährleistet, dass der Prozess mit einer möglichst grossen logarithmischen Temperaturdifferenz ΔT_L gefahren werden kann.



CFD-Simulation eines Mischer-Wärmetauschers CSE-XR

Überdurchschnittliche Kühlung

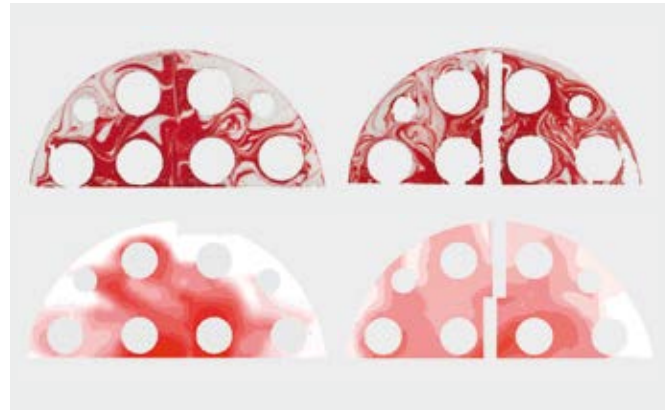
Der grosse Vorteil des Mischer-Wärmetauschersystems ist die Vielzahl an verschiedenen Kombinationen von Mischelementen und Rohranordnungen. Mit der Wahl der bestgeeignetsten Geometrie kann der Breakpoint sogar beeinflusst werden, sprich der Einsatzbereich des Wärmetauschers kann in bestimmten Fällen durch den Einsatz von Hochleistungsgeometrien vergrössert werden. Dadurch ist es möglich stark strukturviskose, thixotrope oder pseudoplastische Medien über grosse Temperaturbereiche und dahergehend grosse Viskositätsunterschiede zwischen Ein- und Austritt sowie der Kühltemperatur zu betreiben.

Maldistribution

Bei herkömmlichen Rohr-Wärmetauschern, also ohne statische Mischer, besteht bei laminarer Strömung oftmals das Problem, dass in einem axial durchflossenen Rohr die Flüssigkeitsschicht an der Rohrwand auf Grund der Reibung sehr langsam fliesst. Falls ein solches Leerrohr gleichzeitig gekühlt wird kann sich durch die Viskositätszunahme des kühleren Produkts an der Rohrwand die Fließgeschwindigkeit weiter verringern, was rasch zum Stillstand der Randschicht führt. Dadurch kann sich an der Rohrwand eine Schicht aufbauen, welche in ihrer Dicke wachsen kann. Bei parallel durchflossenen Rohren (Rohrbündelwärmetauscher) kann auf Grund von Randschichtaufbauten, Viskositätsunterschieden durch unterschiedliche Produkttemperaturen und Schereinfluss auf das Produkt Maldistribution entstehen, wobei in solchen Fällen die Wärmetauscher nicht nur eine schlechte Leistungsausbeute aufweisen sondern auch ein undefiniertes Verweilzeitverhalten.

Beim Mischer-Wärmetauscher CSE-XR kann das Risiko von Maldistributionseffekten bei richtiger Anwendung ausgeschlossen werden. Die beschriebenen Schwachstellen von herkömmlichen Rohr-Wärmetauschern werden dadurch vermieden, dass das Produkt gleichmässig durch ein einzelnes Mischrohr fliesst und das Scherfeld wegen dem statischen Mischer im ganzen Querschnitt konstant bleibt. Durch die definierte, schräge Anströmung der Wärmetauscherrohre wird das Medium an der Rohrwand gleichmässig immerwährend erneuert (Oberflächenenerneuerung). Eine schräge Anströmung der Bündelrohre erhöht den Wärmeübergang im laminaren Strömungsbereich gegenüber parallel betriebenen Systemen massiv (z.B. gegenüber Doppelmantelrohr).

Der Statische Mischer sorgt dank seiner pfropfenähnlichen Strömung für ein enges Verweilzeitpektrum und für eine über dem ganzen Querschnitt homogene Produkttemperatur. Es ist also auch problemlos möglich Verweilzeitkritische Medien zu verarbeiten.

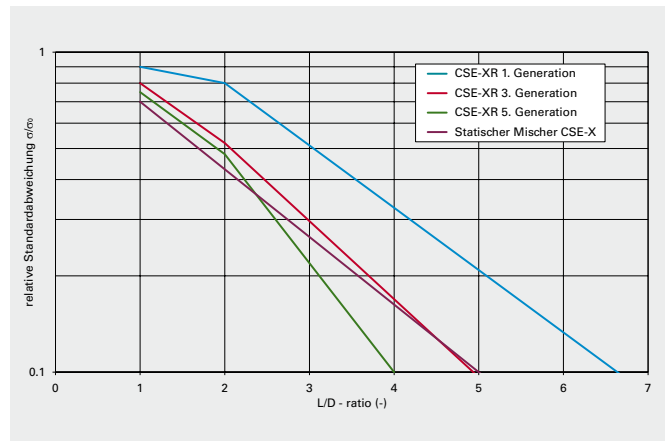


Epoxischnitt eines Mischer-Wärmetauschers der ersten Generation nach 2D und 4D (Wirklichkeit oben und CFD-Simulation unten)

Mischleistung im Mischer-Wärmetauscher

Um die Mischgüte zu bestimmen wurden einerseits numerische Strömungssimulationen sowie andererseits praktische Mischgütemessungen mittels Fluitec Image processing (FIP) durchgeführt.

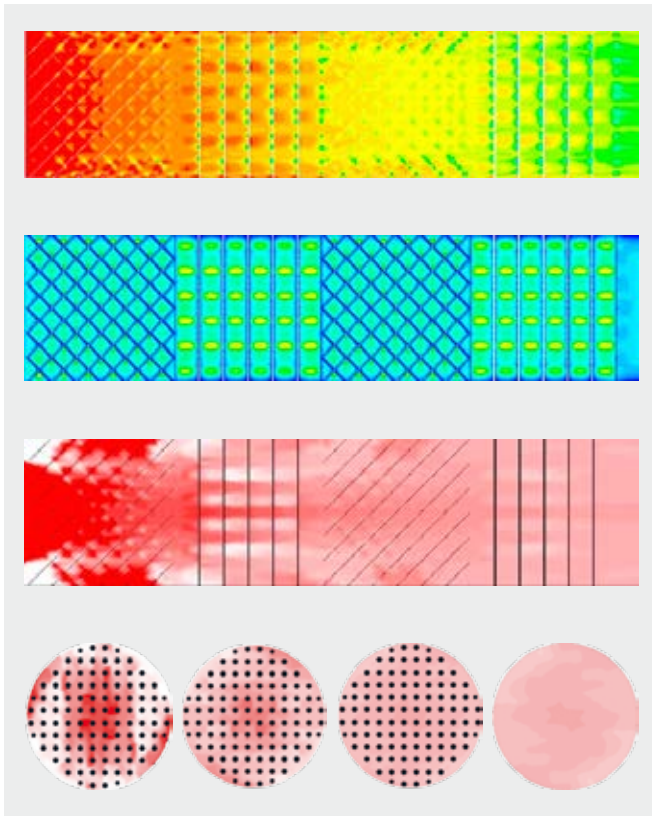
Die Mischleistung des Mischer-Wärmetauschers ist hervorragend. Untersuchungen haben ergeben, dass der Wärmetauscher je nach Generation Mischleistungen erreichen kann wie die besten statischen Mischer.



Vergleich der Mischgüte von statischen Mixern und Mischer-Wärmetauschern

Die Grafik zeigt die relative Standardabweichung als Mischgütemass. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass der Mischer-Wärmetauscher ab der 3. Generation mit der Mischleistung des CSE-X/8 Mixers mithalten kann, während die Wärmetauscher der 1. und 2. Generation zwar gut mischen, aber für äusserst schwierige Mischaufgaben nicht geeignet sind.

Thermisch betrachtet, kann ein Mischer-Wärmetauscher CSE-XR nach einer relativen Länge L/D = 5 eine Temperaturschwankung im Querschnitt von +/-10 °C auf unter +/-2 °C ausgleichen.



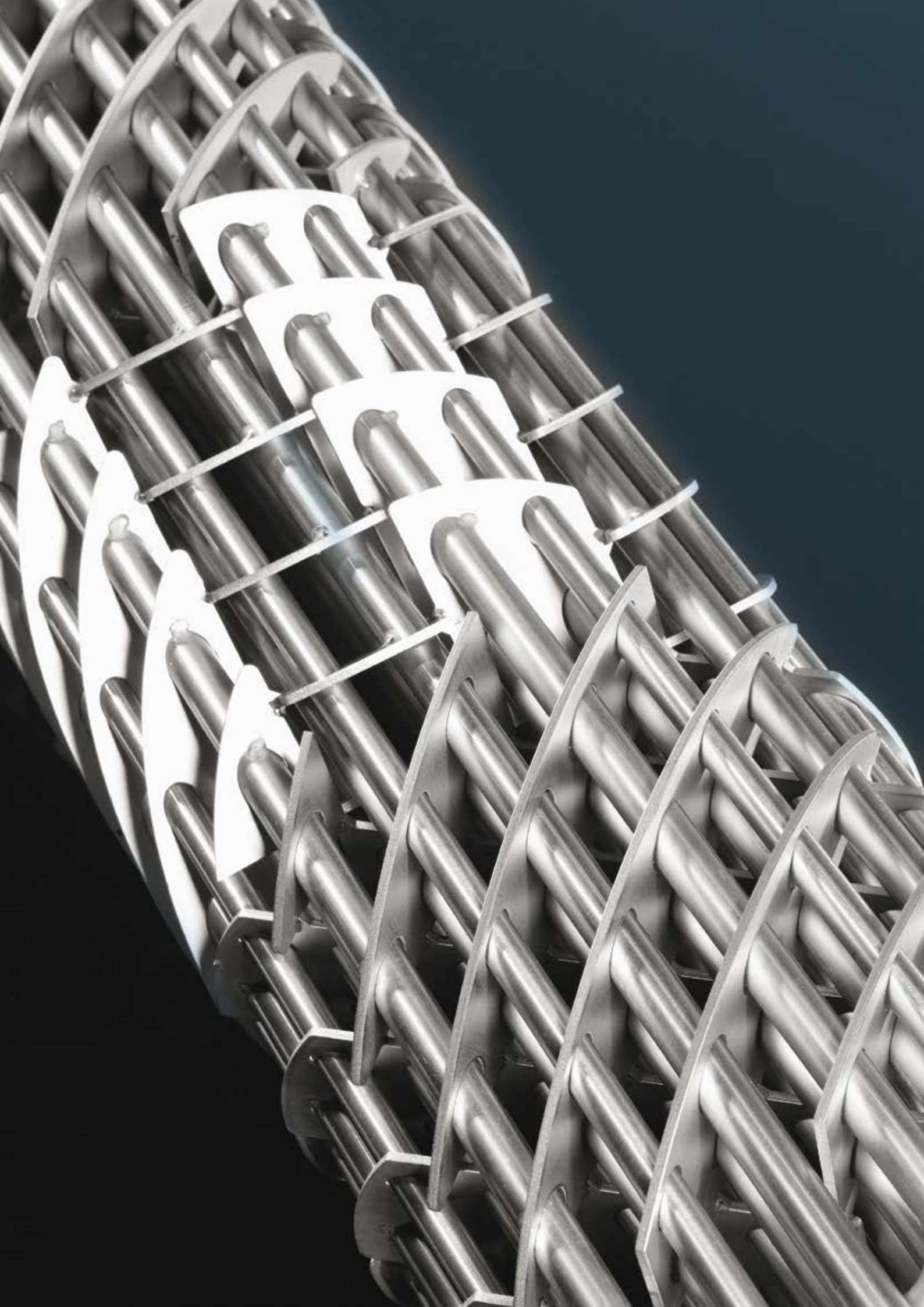
Temperaturverlauf, Scherung und Mischung in einem Mischer-Wärmetauscher

Nach umfangreichen Versuchen ist es heute möglich, das Temperaturprofil über den Querschnitt auch nach Kühlprozessen mit sehr hohen Temperaturdifferenzen am Austritt zu berechnen. Garantiewerte von $\pm 0.5\text{ °C}$ bis $\pm 2\text{ °C}$ sind üblich.

Beispiel

Bei einer Beschichtungsanlage musste ein Hotmelt mit einer Viskosität von ca. 2000 Pas von 140 °C auf 80 °C gekühlt werden. Die Kühlwassertemperatur betrug 70 °C . Auf der Produktionsanlage wurden Garantiemessungen am Austritt des CSE-XR Mischer-Wärmetauschers durchgeführt. Das Temperaturprofil konnte bei kontinuierlicher Produktion über den Querschnitt betrachtet, auf $80\text{ °C} \pm 1.0\text{ °C}$ eingestellt werden.

Auch momentane Temperaturschwankungen von bis zu $\pm 20\text{ °C}$ vor dem Wärmetauschereintritt können dank der hohen Mischleistung im Mischer-Wärmetauscher ausgeglichen werden. Dies erfordert jedoch eine Auslegung des Wärmetauschers mit zusätzlichen Kriterien. Dafür existieren umfangreiche Berechnungsgrundlagen, mit welchen das Temperaturprofil im Mischer-Wärmetauscher CSE-XR radial sowie auch longitudinal bestimmt werden kann.



Mischer-Wärmetauscher als Reaktor

Mischer-Wärmetauscher-Reaktor

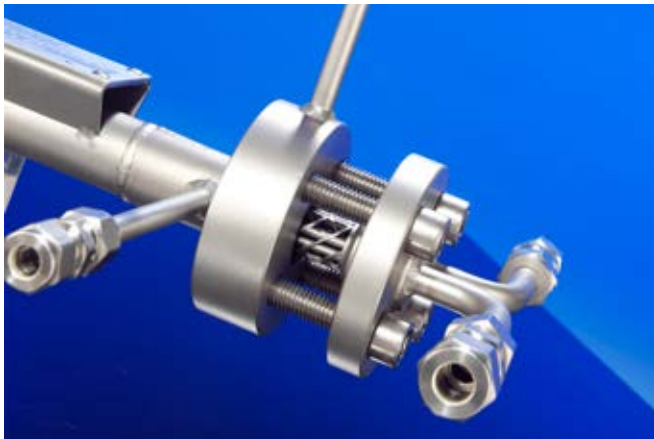
Dank ihren speziellen verfahrenstechnischen Eigenschaften bieten sich CSE-X Mischer oder CSE-XR Mischer-Wärmetauscher für die Durchführung von chemischen Reaktionen geradezu an. Sie werden zur kontinuierlichen Reaktionsführung vorzugsweise als Rohr- oder Schlaufenreaktoren eingesetzt.

In diskontinuierlichen Prozessen kommen Fluitec Mischsysteme als Vormischer in Batch-Prozessen oder als zusätzliche, externe Schlaufenreaktoren bei Rührkesseln zum Einsatz. Ob die Reaktion als kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Prozess verlaufen soll, wird zum einen durch die Stoffeigenschaften der chemischen Reaktion bestimmt, zum anderen beeinflussen die allg. Vor- und Nachteile des kontinuierlichen respektive diskontinuierlichen 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.



Mischer-Wärmetauscher mit hoher spezifischer Wärmeübertragungsfläche. Ideal zur Verfahrenserforschung und Entwicklung von In-line Reaktionen



Polymerisationsreaktor DN250

Umsatz und Geschwindigkeit einer Reaktion

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

$$\text{Gleichung 4} \quad U_i = \frac{n_{i,0} - n_i}{n_{i,0}} = \frac{c_{i,0} \cdot V_0 - c_i \cdot V}{c_{i,0} \cdot V_0}$$

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. 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.

Hohe Mischleistung für die Reaktionstechnik

Die hohe Mischgüte des Mischer-Wärmetauscher CSE-XR im laminaren Strömungsbereich ist einzigartig und ermöglicht das Kombinieren verfahrenstechnischer Prozesse.

Ein Mischer-Wärmetauscher der ersten Generation kann beispielsweise für das Mischen von zwei hochviskosen Flüssigkeiten eingesetzt werden. Mit den benötigten relativen Längen von $L/D = 12 - 20$ kann gleichzeitig eine beachtliche Wärmemenge zu- oder abgeführt werden. Schwierigere Mischaufgaben können mit neueren Wärmetauscher-Generationen realisiert werden. Zum Beispiel kann das Einmischen eines niederviskosen Katalysators in ein hochviskoses Monomer mit einem Fluitec Mischer-Wärmetauscher der 3. Generation bei gleichzeitiger Abführung der Reaktionswärme erfolgen.

Daher wird der Mischer-Wärmetauscher CSE-XR oft für chemische Reaktionen eingesetzt wie beispielsweise Veresterungen, Masse-, Emulsions- oder Suspensionspolymerisationen.

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:

Gleichung 5
$$Bo = \frac{u_z \cdot L}{D_{ax}}$$

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.



Verweilzeitreaktionsstrecke aus 6 Fluitec Mischer-Wärmetauscher in Serie

Bei der Ermittlung des Verweilzeitspektrums 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 t gemäss Gleichung 6 berechnen

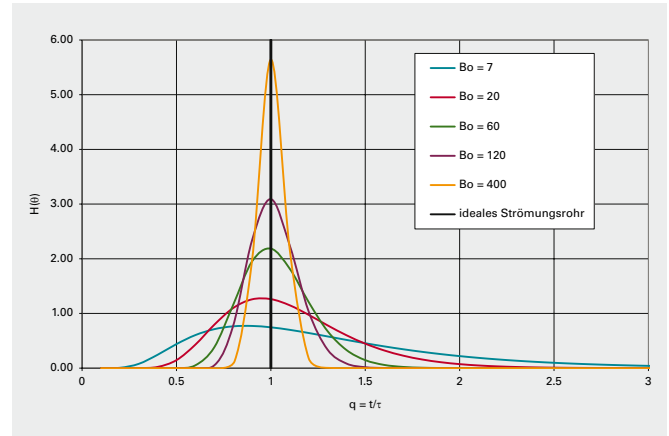
Gleichung 6
$$\tau = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

V_R = Volumen Reaktor (L)

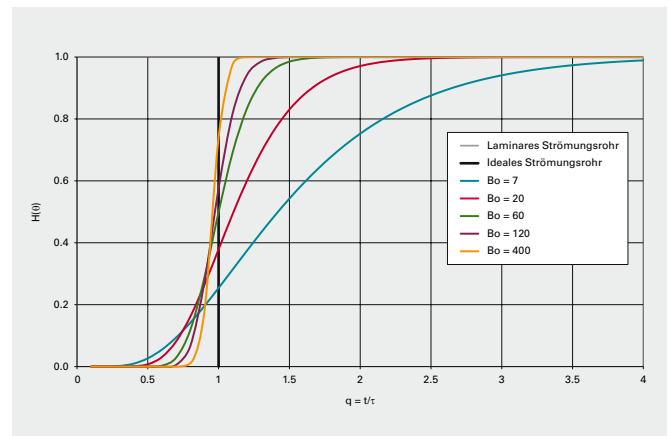
\dot{V} = Volumenstrom Reaktor (L s⁻¹)

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

In der Reaktionstechnik sind Bodenstein-Zahlen mit Fluitec Mischer-Wärmetauscher je nach Baulänge von bis zu $Bo = 400$ erreichbar, was annähernd einer idealen Pfropfenströmung entspricht.



Verweilzeitspektrum nach 1-d Modell



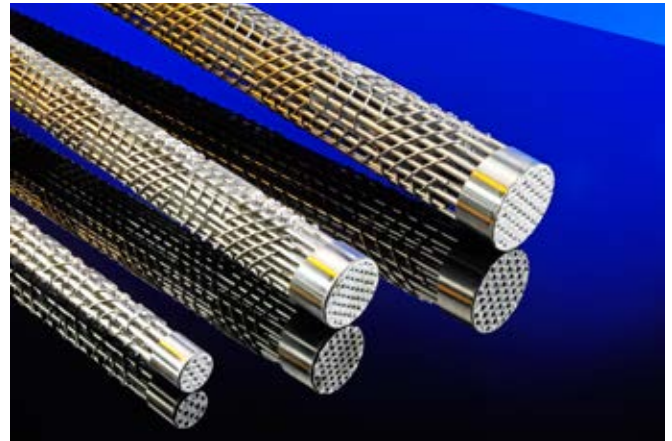
Verweilzeitsummenkurve

Das Fluitec Scale-Up System

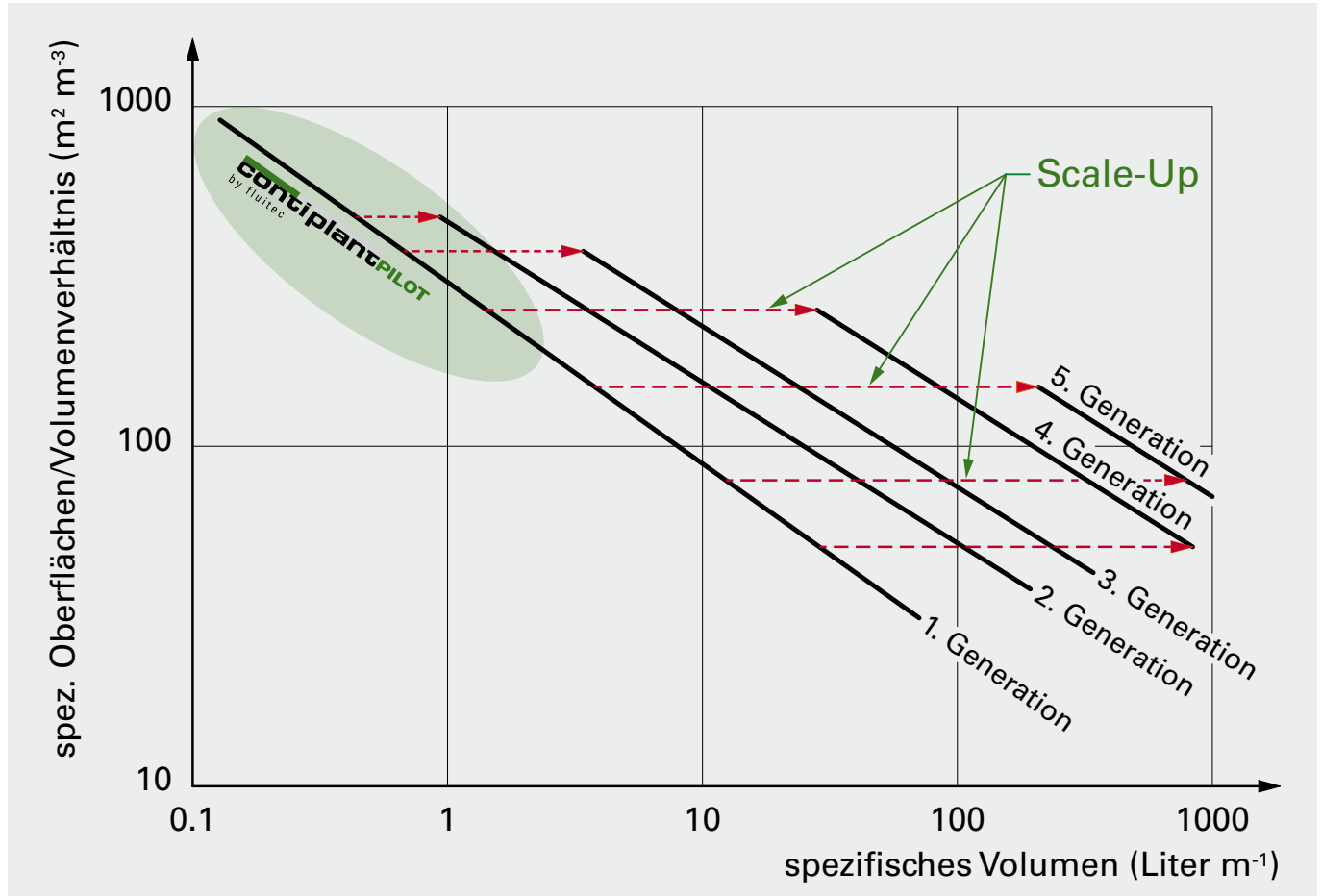
Beim Mischer-Wärmetauscher erfolgt eine Skalierung einfach und sicher, da das Oberflächen-Volumenverhältnis bei unterschiedlichen Apparategrößen konstant gehalten werden kann.

Beim Scale-Up wird zusätzlich die Mischelementkonstruktion so angepasst, dass die örtlichen Strömungsverhältnisse und somit die volumenspezifischen Leistungen konstant bleiben. Dies ist dank der verschiedenen komplexen Mischer-Wärmetauscher-Generationen möglich.

Entlang der Scale-Up-Linien sind Apparate verschiedener Baugrößen mit gleichem Oberflächen-Volumenverhältnis definiert. Eine sichere Skalierung ist entlang der Scale-Up-Linien einfach umzusetzen.



Mischer-Wärmetauscher mit gleichbleibendem Oberflächen-Volumenverhältnis



Fluitec Scale-Up Konzept

Mischer-Wärmetauscher für Lebensmittel

Die ausgezeichnete Inline-Reinigungsfähigkeit des Fluitec Mischer-Wärmetauschers ermöglicht die Verarbeitung von hochviskosen Produkten in der Lebensmittelindustrie. Durch die hohe volumenspezifische Wärmeübertragungsfläche ist der Mischer-Wärmetauscher CSE-XR® für hochviskose Flüssigkeiten und für temperatursensitive Medien besonders geeignet.

Weitere grosse Vorteile sind der hohe Wärmeübergang, ohne dabei lokale Wärmeentwicklung oder hohe Scherung zu erzeugen, enge Verweilzeitverteilung und die Unempfindlichkeit gegenüber Maldistribution. Zudem gibt es keine Verschleiss- oder Abdichtungsprobleme, die bei anderen Apparatebauarten aufgrund der sich drehenden Apparateile entstehen können.

Das Bündel ist zu Inspektionszwecken mit wenigen Handgriffen komplett ausbaubar. Die gesamte Oberfläche kann kontrolliert gereinigt und sterilisiert werden.

Der Fluitec Mischer-Wärmetauscher CSE-XR® wird unter anderem für folgende Anwendungen eingesetzt:

- Temperieren pastöser Nahrungsmittel
- Kühlen von Kakaomasse und Kakaobutter
- Nachkühler nach Rührwerkskugelmühlen
- Herstellung von Creme
- Verarbeitung von Caramel oder Lakritze
- Herstellung und Verarbeitung von Schokolade und Kuvertüre
- «Kochen» von Süssigkeiten
- Verarbeitung von Fetten



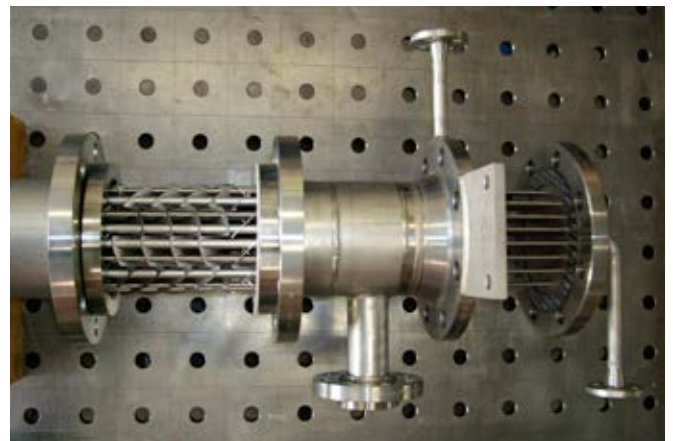
Mischer-Wärmetauscher für Lebensmittel-Anwendung



Mischer-Wärmetauscher CSE-XR in Lebensmittelausführung



Kundenkontrolle nach CIP-Reinigung



Wärmetauscher zur Lebensmittelerhitzung mittels Dampf



Kühler zur Beschichtung von Folien und Klebebändern

Die Basis für qualitativ einwandfreie Klebefolien und Klebebänder bilden gleichmässig aufgetragene Klebstoffschichten. Durch die konstante Temperaturführung mit einem homogen gemischten Temperaturprofil (± 1 bis $\pm 2^\circ\text{C}$) beim Herstellprozess kann die Viskosität und dadurch auch die aufgetragenen Schichtdicken zuverlässig kontrolliert werden.



Kühlen von Polymeren in der Extrusion

Bei Extrusionsprozessen werden Mischer-Wärmetauscher CSE-XR zur Temperaturveränderung der Schmelze (Viskositätseinstellung) und somit zur Einstellung optimaler Verarbeitungsbedingungen eingesetzt.



Abfüllen von Klebstoffen

Harze und Klebstoffe müssen nach der Herstellung bevorzugt abgekühlt und nachgemischt ins Gebinde abgefüllt werden. Dadurch werden unerwünschte Reaktionen von heiss abgefüllten Harzen und Klebstoffen verhindert und ein nachträgliches Ausdampfen von Lösemiteln wird wirkungsvoll unterbunden. Zusätzlich wird ein Abscheiden einzelner Inhaltsstoffe und Komponenten deutlich reduziert und die Qualität der hergestellten Produkte kann so stark erhöht werden.



Kühler von Chemiefasern

Bei der Produktion von z.B. Polyester-Fasern (PET) ist die optimale Temperatur im Finisher, der letzten Stufe der Polymerisationsanlage, höher als die optimale Temperatur für die Spinnmaschinen. Aus diesem Grund wird zwischen Polykondensations- und Spinnanlage die Schmelze gekühlt und die Temperatur homogen eingestellt. Dies verbessert die Produktequalität und erlaubt grundsätzlich einen höheren Durchsatz und/oder längere Rohrleitungen mit höheren Verweilzeiten.



Schaumextrusion

Homogene und gleichmässige Abkühlung ist in der Schaumextrusion besonders wichtig, da bei starkem Anstieg der Viskosität Maldistributionseffekte auftreten können (Verstopfungen in den Rohren von Rohrbündelwärmetauschern). Der Mischer-Wärmetauscher CSE-XR ist so konstruiert, dass Viskositätsunterschiede zwischen Ein- und Austritt der Schmelze problemlos gemeistert werden. Das Gerät arbeitet schonend, reinigt sich selbst und erlaubt kurze Produkt-Wechselzeiten.



Mischer-Wärmetauscher als kontinuierlicher Reaktor

Fluitec Mischer-Wärmetauscher können als kontinuierliche Rohrreaktoren beispielsweise für folgende Reaktionen eingesetzt werden: Polymereaufbereitung, Veresterungen, Nitrierungen, Diazotierungen, Umlagerungen, Alkylierungen, Halogenierungen, Hydrierungen, Oxidierungen, Polymerisationen, Neutralisationen, etc.



Plug-Flow und Loop- Reaktor für Polymerisationen

Anwendungsbeispiele

- Radikalische Polymerisation (in Emulsion, in Substanz, in Lösung)
- Ionische Polymerisation (Anionisch, kationisch)
- Ringöffnungspolymerisation (kationisch)
- Polykondensation



Heizen von viskosen Medien grosse Leistungen

Beim Heizen, wenn keine Maldistribution zu erwarten ist, können Mischer-Wärmetauscher auch parallel betrieben werden. Bei grossen Heizleistungen werden Mischer-Wärmetauscher beispielsweise in Revolverform angeordnet. Das zu heizende Produkt fliesst dabei parallel durch mehrere Mischer-Wärmetauscher-Bündel. Auf dem Bild ist ein Detail eines Revolver-Wärmetauschers mit einer Heizleistung von 3 MW zu sehen.

Rohrbündelwärmetauscher mit statischen Mischern

Rohrbündelwärmetauscher mit Mischelementen in den Bündelrohren werden idealerweise bei Produktviskositäten zwischen 50 und ca. 500 mPas eingesetzt.

Je nach Wärmetauschanwendung können verschiedene statische Mischelemente in den Bündelrohren eingesetzt werden. Die Mischelemente erhöhen den Wärmeübergang des Produkts zur Rohrwand, womit kleinere Baugrößen realisiert werden können als bei Rohrbündelwärmetauschern ohne Mischeinbauten.

Rohrbündelwärmetauscher eignen sich nicht für verweilzeitkritische Prozesse oder für Kühlaufgaben mit starker Viskositätszunahme (Gefahr von Maldistribution). Für solche Anwendungen empfehlen wir den Fluitec Mischer-Wärmetauscher CSE-XR®.



Rohrbündelwärmetauscher mit Mischelementen in den Rohren zur besseren Wärmeübertragung

Steril Rohrbündelwärmetauscher

Überall wo Wärmeaustauscher die Anforderungen an Komponenten in FDA-Anlagen erfüllen müssen sind die Steril-Rohrbündelwärmetauscher von Fluitec die richtige Lösung.

Der spezielle konstruktive Aufbau der Fluitec Steril-Apparate gewährleistet eine weitestgehende Trennung des Primär- und des Sekundärmediums und vollen Leerlauf auf der Produktseite. Die Fluitec Steril-Rohrbündelwärmetauscher eignen sich dadurch bestens für einen Einsatz in CIP/SIP Anlagen.

Dank einem speziellen Verfahren zur Oberflächenbehandlung und durch den Einsatz nahtloser Rohre, die innenseitig elektropoliert und geschliffen sind, können Ra-Werte produktseitig bis $0.4 \mu\text{m}$ erreicht werden.

Um eine lange Lebensdauer des Wärmeaustauschers zu gewährleisten, prüfen wir in jedem Fall die thermischen Spannungen. Falls die Spannungen zu gross sind, rüsten wir die Apparate mit einem Kompensator aus. Die Fluitec Steril-Rohrbündelwärmetauscher werden mittels modernster Software thermisch optimiert und den Kundenwünschen angepasst. Die Fluitec Spezialisten unterstützen Sie im Projektstadium, bei Batch-Berechnungen von Sanitisierungs-, Sterilisierungs-, Kühlungs- oder anderen Prozessen.

Die Arbeit von qualifizierten Spezialisten und eine Bauteilnormierung ermöglichen uns, auch bei massgeschneiderten Kundenwünschen und thermisch optimierten Ausführungen, unsere Steril-Apparate in höchster Qualität und zu konkurrenzfähigen Konditionen anzubieten.

Produktmerkmale

- Doppelte Rohrplatte
- Totraumfreie Ausführung der Produktseite
- O-Ringabdichtung mit FDA-Zertifikat
- Oberflächenrauigkeit der produktberührten Teile bis $Ra 0.4 \mu\text{m}$
- Sterilanschlüsse produktseitig
- Isolierung mit Edelstahlummantelung (Optional gasdicht verschweisst)
- Kompensator möglich
- ein- oder mehrflutige Ausführung
- Horizontaler oder vertikaler Einbau möglich
- Materialien: 1.4571, 1.4404, 1.4435, 1.4435 BN2 und andere hochlegierte Qualitäten



Fluitec Sterilwärmetauscher mit Doppelrohrplatte



Anfrage-Datenblatt Fluitemischer-Wärmetauscher**Kontakt:**

Firma: Telefon:
 Name: Fax:
 Strasse: E-Mail:
 PLZ/Ort: Land:

Angebot:

Projekt / Anfrage-Nr:
 Angebot erbeten bis:
 Richtpreisangebot ausreichend: Ja Nein

Verfahrenstechnische Angaben:

Bezeichnung Fluid:	Einheit:	Produktstrom		Heiz- / Kühlstrom (HTM)	
Durchsatz minimal:	[m ³ h ⁻¹]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Durchsatz normal:	[m ³ h ⁻¹]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Durchsatz maximal:	[m ³ h ⁻¹]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
zulässiger Druckverlust:	[bar]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt
Dichte:	[kg m ⁻³]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Viskosität:	[Pas]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wärmekapazität:	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Wärmeleitfähigkeit:	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Temperatur:	[°C]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Einstufung Fluid: (nach 2014/68/EU)	[-]	<input type="checkbox"/> gas <input type="checkbox"/> gefährlich	<input type="checkbox"/> flüssig <input type="checkbox"/> nicht gefährlich	<input type="checkbox"/> gas <input type="checkbox"/> gefährlich	<input type="checkbox"/> flüssig <input type="checkbox"/> nicht gefährlich

Viskosität vom Produkt bei der Eintrittstemperatur vom Heiz- / Kühlstrom (Wandviskosität): Pas

Rheologie Produkt: Newtonisch Strukturviskos → **Bitte fügen Sie ein Scherrate / Viskositätsdiagramm an**

Mechanische Angaben:

			Hinweis:	
Mischerbündel:	<input type="checkbox"/> nicht ausbaubar	<input type="checkbox"/> ausbaubar	<input checked="" type="checkbox"/> Standardausführung	
Design Code:	<input checked="" type="checkbox"/> AD2000	<input type="checkbox"/> ASME	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>
Anschlüsse Produkt-Raum:	<input checked="" type="checkbox"/> Flansch EN1092	<input type="checkbox"/> Flansch ANSI	<input type="checkbox"/> freies Rohrende	<input type="text"/>
Anschlüsse HTM-Raum:	<input checked="" type="checkbox"/> Flansch EN1092	<input type="checkbox"/> Flansch ANSI	<input type="checkbox"/> freies Rohrende	<input type="text"/>
Geplante Nennweite Anschluss:	Produkt Raum DN <input type="text"/>		HTM-Raum DN <input type="text"/>	
Material Produktberührt:	<input checked="" type="checkbox"/> 1.4571 / 1.4404	<input type="checkbox"/> 1.4301 / 1.4307	<input type="checkbox"/> 1.4462	<input type="text"/>
Material nicht Produktberührt:	<input type="checkbox"/> 1.4571 / 1.4404	<input checked="" type="checkbox"/> 1.4301 / 1.4307	<input type="checkbox"/> 1.4462	<input type="text"/>
Produkt-Raum:	max. zulässiger Druck: <input type="text"/> bar	max. zulässige Temperatur: <input type="text"/> °C		
HTM-Raum:	max. zulässiger Druck: <input type="text"/> bar	max. zulässige Temperatur: <input type="text"/> °C		
maximale Einbaulänge / Einbaulage:	<input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja → <input type="text"/> mm	<input type="checkbox"/> vertikal	<input type="checkbox"/> horizontal	

Bemerkungen:

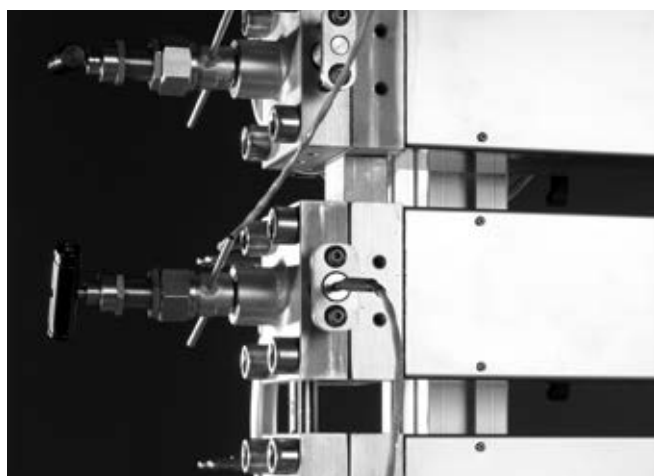
Dokumentation: (sofern nötig)

- Zeichnung / Stückliste Materialattestliste
 Schweißplan Prüffolgeplan



Statisches Mischen

Lösungen in der statischen Mischtechnik



In-line Reaktionstechnik

Modulare Reaktionssysteme von Milli bis Maxi



Systeme

DeNOx-Systeme, Misch- und Dosieranlagen



fluitec
mixing + reaction solutions

www.fluitec.ch

Weitere Informationen auf unserer Webseite



Schweiz

Fluitec

mixing + reaction solutions AG
Seuzachstrasse 40
CH-8413 Neftenbach Schweiz

T + 41 52 305 00 40

F + 41 52 305 00 44

Deutschland

Fluitec Deutschland GmbH

Auf der Heide 41
DE-58313 Herdecke

T + 49-2330-916 76 76

info@fluitec.ch
www.fluitec.ch

