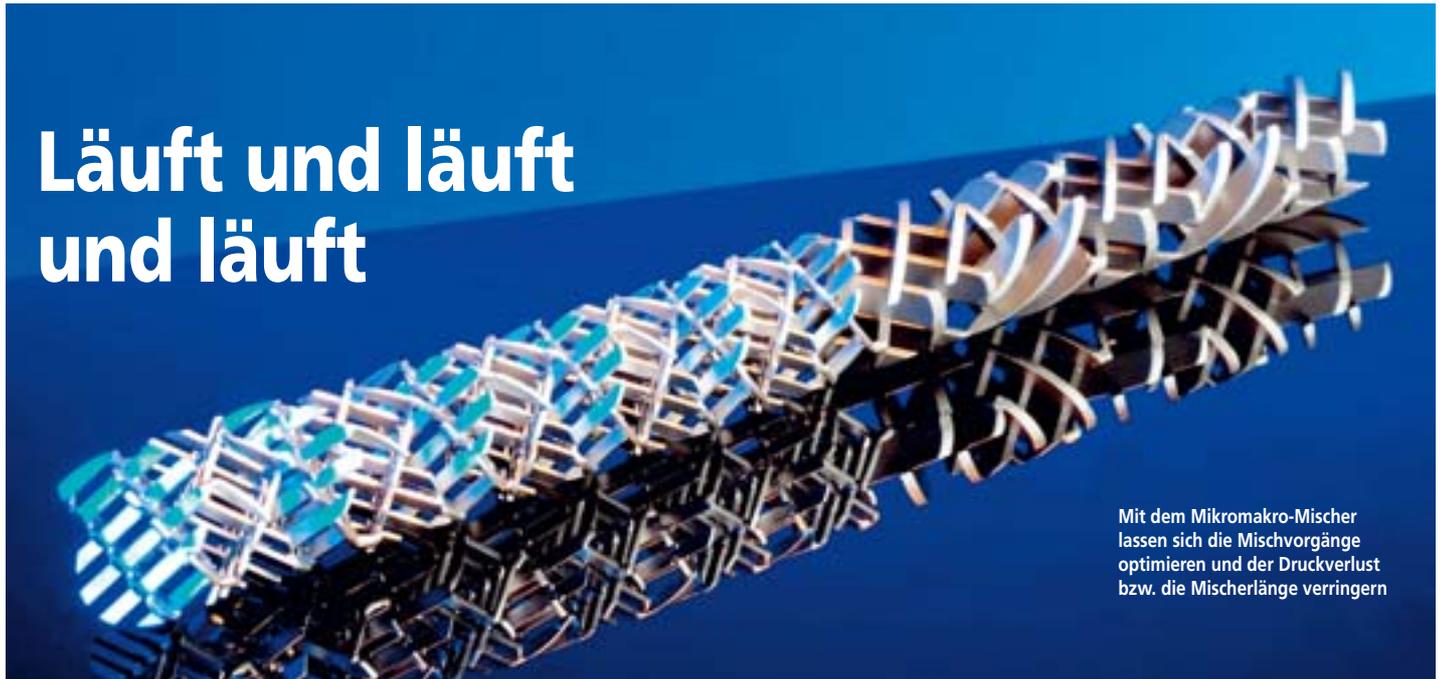


Läuft und läuft und läuft



Mit dem Mikromakro-Mischer lassen sich die Mischvorgänge optimieren und der Druckverlust bzw. die Mischerlänge verringern

Einmal in Betrieb genommen sorgen statische Mischer und Mischer-Wärmetauscher für hohe Prozesseffizienz

Alain Georg, Martin B. Däscher

Er war das Sinnbild der Zuverlässigkeit. Einmal vom Band gelaufen, fuhr der VW Käfer wie ein Schweizer Uhrwerk. So ähnlich verhält es sich mit statischen Misch- und Wärmetauschersystemen. Einmal im Prozess installiert, helfen sie in anspruchsvollen Prozessen nicht nur Energie zu sparen, sondern gleichzeitig auch die Prozesssicherheit zu steigern. Die sehr hohen Raum-/Zeitausbeuten tragen neben der kontinuierlichen Betriebsweise dazu bei, dass sich diese vielseitig einsetzbare Apparategruppe immer größerer Beliebtheit erfreut.

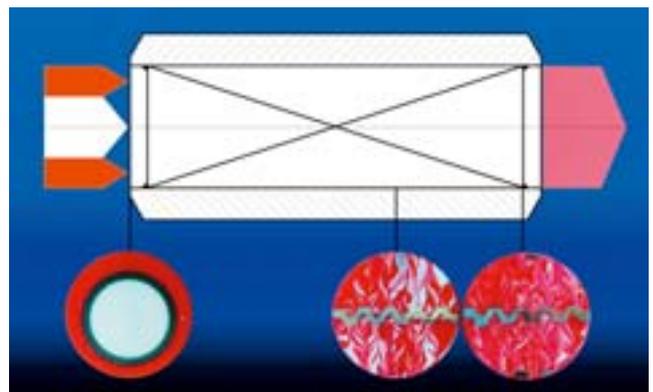
Kernstücke der statischen Mischer und Mischer-Wärmetauscher sind die feststehenden Einbauten, die unter Nutzung der Strömungsenergie die Mischung fluider Produktströme bewirken. Während das Mischen niederviskoser Medien hauptsächlich durch strömungsinduzierte Konvektionen und Wirbelbildung erreicht wird ($Re > 2300$), muss im laminaren Fließbereich die Homogenisierung durch aktives Trennen und Rekombinieren der Medien (Umschichten), durch gezielten radialen Stofftransport und durch Scherkräfte erzielt werden. Bei statischen Mischer-Wärmetauschern wird die typisch hohe radiale Mischwirkung dazu genutzt, um interne axial angeordnete Wärmetauscherrohre kontrolliert und stetig anzuströmen. Der durch den Druckverlust benötigte Energiebedarf wird durch optimierte Mischergeometrien und Dimensionierungen so gering als möglich gehalten.

Der Begriff Energieeffizienz sollte jedoch nicht nur alleine auf die Vorgänge im Mischrohr bezogen werden: die Betrachtungsgrenze muss in Anbetracht der globalen Aktualität wesentlich weiter gefasst werden. So macht die einfache und kompakte Bauweise die statischen Misch- und Mischer-Wärmetauschersysteme bereits in ihrer Herstellung und Installation zu besonders energiesparenden Bauteilen (Stichwort: „graue Energie“). Da die Apparate über keinerlei bewegte Teile verfügen, entfallen zudem im Betrieb hohe Betriebs- und Wartungskosten: Statische Mischer und

Mischer-Wärmetauscher besitzen in der Regel keine Verschleißteile. Statische Mischer und Mischer-Wärmetauscher werden praktisch ausschließlich in kontinuierlichen Prozessen eingesetzt. Einmal in Betrieb genommen, bieten diese Verfahren entscheidende Vorteile wie konstante Produktionsbedingungen, keine Totzeiten, vereinfachte Prozessautomatisierung und geringeren Personalbedarf. Weitere Vorzüge sind die äußerst hohen Raum-/Zeitausbeuten, die reduzierte Infrastruktur durch kleinere Volumina und eine verbesserte Reaktionskontrolle. All diese Faktoren tragen direkt oder indirekt wesentlich zur energiesparenden Produktionsweise bei.

Misch- und Dispergierprozesse in klassischen Rührwerken und hochtourigen Rotor/Stator-Systemen zeichnen sich durch lokal stark unterschiedliche spezifische Energiedissipationsfelder aus. So wird die wirksame Misch- und Dispergierenergie hauptsächlich an den Blattspitzen der Rührer bzw. im engen Spalt zwischen Rotor und Stator abgegeben, während dem im viel größeren Rest des Behältervolumens

Mischleistung des CSE-X-Mikromakro-Moduls nach der Länge $L/D = 2$ (2D-Modul) und der Länge $L/D = 3$ (3D-Modul)



Mischleistung des CSE-X-Mikromakro-Moduls nach der Länge $L/D = 2$ (2D-Modul) und der Länge $L/D = 3$ (3D-Modul)

die Energie mehr oder weniger unwirksam verloren geht. Statische Mischer hingegen haben keine Totzonen. Vorausgesetzt, dass die richtige Mischergeometrie gewählt wird, ist die Energiedissipation sowohl über die Länge wie auch über den Querschnitt betrachtet sehr homogen verteilt. Dies führt zu der bekannten, sehr engen Partikelgrößenverteilung.

Mittels CFD-Simulationen und Laborversuchen konnten die lokalen Dehn- und Scherfelder, die in statischen Mixern auftreten und für den Tropfenzerfall hauptsächlich verantwortlich sind, aufgezeigt, charakterisiert und optimiert werden. So wird praktisch die gesamte investierte Energie (Pumpenenergie) in tatsächliche Misch- und Dispergierwirkung umgesetzt.

Effizienter Wärmeaustausch

Die Temperierung hochviskoser Stoffe ist im industriellen Maßstab oft ein sehr aufwendiger Prozessschritt. Beim Kühlen kann die Effizienz des Energietransfers leicht durch hochviskose, stationäre Grenzschichten an der Kühlfläche signifikant beeinträchtigt werden. Der Einsatz dyna-

werden, was die Apparategröße und die Verweilzeit reduziert.

Doch nicht nur für die Wärmeübertragung sondern vor allem für den Reaktorbetrieb ist es notwendig, dass Wärme- und Stoffaustausch auf einer möglichst kurzen Strecke stattfinden, denn so lassen sich einerseits große Temperaturgradienten vermeiden, andererseits werden Abbaureaktionen und unerwünschte Nebenprodukte vermieden. Auch die Sicherheit wird durch das reduzierte Reaktorvolumen stark erhöht. Dies erfordert jedoch eine präzise Auslegung des Wärmeübertragers unter zusätzlichen Kriterien. Dazu existieren umfangreiche Berechnungsgrundlagen, die das Temperaturprofil exothermer Reaktionen im Mischer-Wärmetauscher radial wie auch longitudinal exakt simulieren lassen. Der inzwischen in der dritten Generation konstruierte Mischer-Wärmetauscher CSE-XR kann dank der verbesserten Wärmeübertragung nicht nur kürzer gebaut werden, sondern auch für Grundoperationen wie intensivstes Mischen bei gleichzeitigem hohen Wärme- oder Stoffaustausch eingesetzt werden. Mit der Erhöhung der Stegzahl konnten die Wärmeübertragung und die Mischleistung deutlich verbessert

Anwendungsbeispiele

Statische Mischer und Mischer-Wärmetauscher zeichnen sich in zahlreichen Prozessen durch ihre energiesparende Betriebsweise aus. Beim Kühlen von viskosen Stoffen können Rohrbündelwärmetauscher, der Kühlraum oder dynamische Systeme wie Rührkessel und Kühlextruder ersetzt werden. Das Heizen von viskosen Stoffen wird durch das sehr hohe Wärmeübertragungsvermögen in einem kleinen Volumen effizient möglich. Das Compoundieren von Kunststoffen in statischen Mixern führt im Vergleich zum Extruder zu einer deutlichen Energieeinsparung, erhöhter Produktqualität und verbesserte Betriebssicherheit. Da die Mischer ein exzellentes Selbstreinigungsverhalten aufweisen, sind auch rasche Farbwechsel möglich und Abbaureaktionen werden weitgehend vermieden.

Mini-Plant-Systeme erlauben die rasche und einfache Prozessentwicklung für kontinuierliche Prozesse bereits im Labor. Misch- und Reaktionsprozesse werden dadurch effizienter, sicherer und wirtschaftlicher. Unter anderem wurden auf diese Weise bereits gefährliche Reaktionen wie



Der Mischer-Wärmetauscher CSE-XR kombiniert die radiale Mischeffizienz des statischen Mixers mit der großen Oberfläche von Rohrbündelwärmetauschern



Mit dem Mini-Wärmetauscher CSE-XR ist eine rasche und einfache Prozessentwicklung im Labor möglich

mischer Systeme birgt den Widerspruch, dass dabei unnötig viel Wärmeenergie über die mechanische Reibung eingetragen wird.

Der Mischer-Wärmetauscher CSE-XR kombiniert die radiale Mischeffizienz des statischen Mixers mit der großen Oberfläche von Rohrbündelwärmetauschern. Dadurch, dass das zu kühlende Medium jedoch im Außenraum der parallel geführten Kühlrohre fließt und durch die Mischelemente permanent und kontrolliert an diese Kühlrohre herangeführt wird, wird die Gefahr der Maldistribution oder des Aufbaus von isolierenden, stationären Schichten stark verringert. Somit kann im Kühlkreislauf mit tieferen Temperaturen gefahren

werden: Messungen und CFD-Berechnungen ergaben eine Verbesserung von 30 bis 50 %. Diese Eigenschaft schlägt sich nicht nur direkt in Energieeinsparungen nieder, sondern sie ermöglicht es auch, verschiedenen verfahrenstechnische Prozesse zu kombinieren. Ein Beispiel ist das Mischen und gleichzeitige Temperieren von zwei hochviskosen Flüssigkeiten. Mit den benötigten relativen Längen von $L/D = 4$ bis 15 kann gleichzeitig eine sehr beachtliche Wärmemenge zu- oder abgeführt werden. Daher wird der CSE-XR-Mischerwärmübertrager vermehrt für chemische Reaktionen wie Veresterungen, Masse-, Emulsions- oder Dispersionspolymerisationen eingesetzt.

Nitrierungen, Diazotierungen, Veresterungen, komplette Polymerisationen, etc. erfolgreich bis in den industriellen Großmassstab umgesetzt.

Die Umsatzraten von mehrphasigen Systemen sind meist durch den Stofftransfer limitiert. Dabei gilt es nicht nur durch Dispergierung eine große spezifische Phasengrenzfläche zu schaffen, sondern auch die den Stofftransfer limitierenden stationären Grenzschichten durch permanente Turbulenz möglichst dünn zu halten. Dies wird mit statischen Mixern in hervorragender Weise gewährleistet.