



Statisches Mischen

Mischtechnik auf dem neuesten Stand der Technik

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

Statische Mischer von Fluitec

Seite 4–6

Statische Mischer laminar

Seite 7–8

Anwendungen Laminarmischer

Seite 9–12

Statische Mischer turbulent

Seite 13–15

Lebensmittel- und Pharmaindustrie

Seite 16

Dosiertechnik

Seite 17

Anfragedatenblatt

Seite 18

Weitere Fluitec Produkte

Seite 19

Statische Mischer sind Apparate mit feststehenden Einbauten, die unter Nutzung der Strömungsenergie die Mischung fluider Produktströme bewirken. Da Wartung und Verschleiss vernachlässigbar sind, der Einbau meist nur wenig Platzbedarf erfordert und der Einsatz über einen weiten Viskositätsbereich erfolgen kann, werden statische Mischer für kontinuierliche und diskontinuierliche Prozesse eingesetzt.

Fluitec Mischer können generell in folgenden Anwendungsbereichen eingesetzt werden

- Vermischen von pumpbaren Flüssigkeiten
- Dispergieren und Emulgieren von ineinander unlöslichen Komponenten
- Mischen von reaktiven Flüssigkeiten
- Mischen und Homogenisieren von Kunststoffschmelzen
- Gas-Flüssig-Kontaktieren
- Mischen von Gasen
- Wärmeaustausch von viskosen Medien
- Laminare, gleichmässiges Durchströmen von Rohren, z.B. Verweilzeitreaktoren

Zur Erzielung homogener Mischungen werden je nach Anwendung und Strömungsbereich unterschiedlichste Geometrien eingesetzt. Die Wahl der Mischergeometrie ist abhängig von der Reynolds-Zahl und den Stoffeigenschaften der zu mischenden Flüssigkeiten.

Die Mischvorgänge in Fluitec Mixern laufen nach einer definierten, reproduzierbaren und optimierten Arbeitsweise ab. Die wirtschaftliche Fertigung und der niedrige Energiebedarf beeinflussen sowohl die Investitions- als auch die Betriebskosten positiv. Industrielle Anlagen lassen sich basierend auf langjährigen Erfahrungen und Ergebnissen aus Pilotversuchen sicher auslegen. Der Scale-up ist somit risikolos.



CSE-XC/6

Mischen mit statischen Mixern

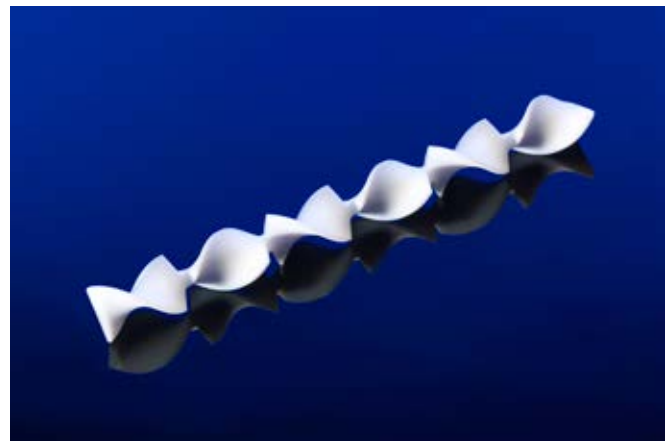
Es werden zwei grundsätzliche Strömungsarten unterschieden: **Turbulente** und **laminare Strömung**. In turbulenter Strömung ($Re > 2400$) bewegen sich die Flüssigkeitsteilchen zufällig, gehen in alle Richtungen, so dass Verwirbelungen entstehen. Bei laminarer Strömung ($Re < 20$) bewegen sich die Flüssigkeitsteilchen in Schichten entlang gerader, paralleler Bahnen. Die Reynolds-Zahl ist eine dimensionslose Grösse und gibt das Verhältnis der Trägheits- zur Zähigkeitskraft an. Sie ist der Parameter für den Strömungsbereich. Die Reynolds-Zahl lässt sich bezogen auf den Durchmesser D oder auch bezogen auf den hydraulischen Durchmesser d_h wie folgt darstellen:

$$\text{Gleichung 1} \quad Re = \frac{\rho \cdot w \cdot D}{\eta} = \frac{\rho \cdot w \cdot d_h}{\varepsilon \cdot \eta}$$

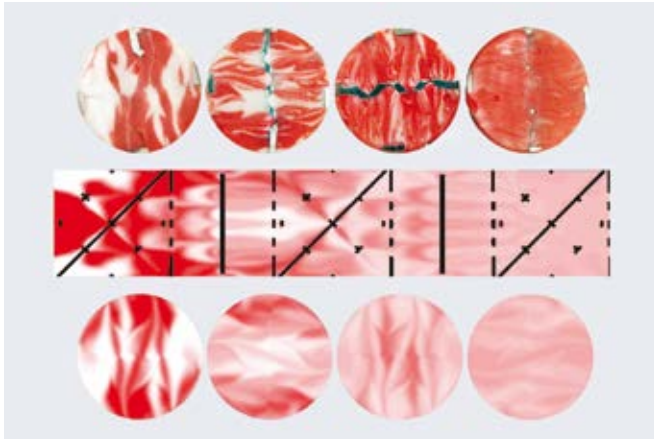
Homogenitätserfassung

Um bei laminarer Strömung in statischen Mixern die Mischwirkung zu untersuchen wurden früher mit Härter vorgemischte, unterschiedlich gefärbte Epoxidharze in die Mischstrecke gedrückt und anschliessend ausgehärtet. Zur Untersuchung der Vorgänge im Innern des Mixers wurde der ausgehärtete Mischstab in Scheiben geschnitten. Diese Scheiben zeigen die Mischung im Querschnitt. Es ist ersichtlich, dass mit zunehmender Mischstrecke eine rasch zunehmende Anzahl Schichten gebildet wird, wobei die Schichtdicke ab und die Homogenität zunimmt. Heutzutage kann die Mischwirkung von Mischergeometrien weitestgehend mittels CFD-Simulation beurteilt werden. Ein realer Versuch mit Epoxidharz wird meist nur noch zur Verifizierung der Simulationsergebnisse durchgeführt.

Der Erfolg eines Mischvorganges kann quantitativ beurteilt werden wenn ein Mass für den Zustand einer Mischung existiert und dieses aus örtlich gemessenen Grössen wie z.B. Temperatur, Konzentration, elektrische Leitfähigkeit, laserinduzierte Fluoreszenz (LIF), photo-



CSE-W aus PTFE



Beurteilung der Mischwirkung anhand von Versuchen mit Epoxidharzen (oben) und CFD-Simulation (unten)

metrische Analyse (FIP) oder CFD Berechnung usw. gewonnen werden kann. Sind solche Daten über den Strömungsquerschnitt vorhanden, so kann die Mischung nach statistischen Gesichtspunkten ausgewertet werden. Messwerte und Messfehler unterliegen in der Regel der Gaußschen Normalverteilung.

Standardabweichung σ

Die Standardabweichung ist ein geeignetes Maß für das symmetrische Streubild von Messwerten um den gewogenen Mittelwert und wird üblicherweise aus der Wurzel der Varianz gebildet.

Gleichung 2
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \text{ mit } \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Integriert man die Verteilungsdichtefunktion unter Berücksichtigung der symmetrisch angeordneten Intervalle, so kann über die Verteilung innerhalb des Intervalls folgende Aussage gemacht werden:

$\pm \Delta x = \pm \sigma$	68.3%
$\pm \Delta x = \pm 2 \cdot \sigma$	95.5%
$\pm \Delta x = \pm 3 \cdot \sigma$	99.7%

Die maximal zulässige Abweichung einzelner Proben der Mischung, bezogen auf die mittlere Konzentration, wird wie folgt dargestellt:

$\bar{x} \pm \Delta x$

Bezieht man den gewogenen Mittelwert auf die Konzentration einer löslichen Mischauflage, so besteht zum volumetrischen Mittelwert der Zusammenhang:

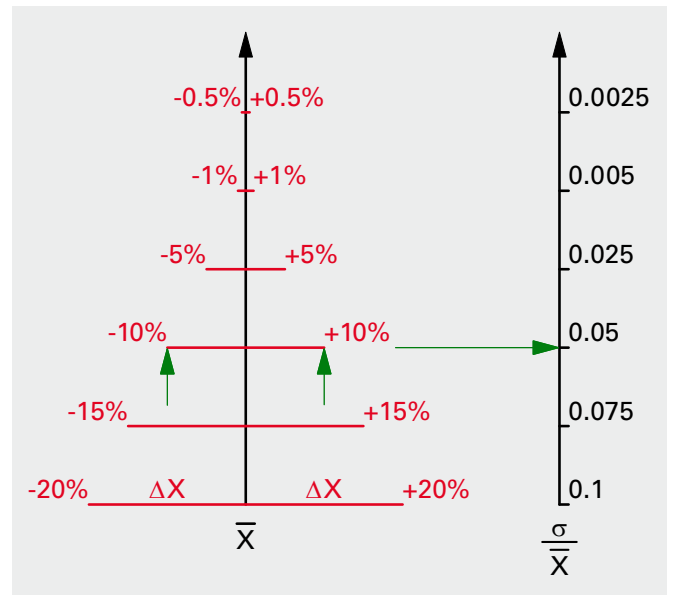
Gleichung 3
$$\bar{x} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}$$

Variationskoeffizient $\frac{\sigma}{\bar{x}}$ (COV)

In der statischen Mischtechnik hat sich für die Angabe der Mischgüte der Variationkoeffizient COV als praktisches Mischgütemass durchgesetzt. Je kleiner dieser Quotient ist, desto homogener die Mischung. Folgende Größen beeinflussen die Mischgüte in einer homogenen Mischung:

Gleichung 4
$$\frac{\sigma}{\bar{x}} = f \left(Re, Fr, We, Sc, \frac{\eta_1}{\eta_2}, \dot{\gamma}, \bar{X}, \frac{L}{D}, Typ \right)$$

Untenstehendes Bild zeigt den Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten und der maximal zulässigen Abweichung zur mittleren Konzentration. 95.5% aller Messwerte liegen innerhalb der grafisch dargestellten Toleranz ($\pm \Delta X = \pm 2 \cdot \sigma$).



Eine Mischung wird normalerweise als homogen bezeichnet, wenn ein Variationskoeffizient COV von 1 bis 5% erreicht ist ($\frac{\sigma}{\bar{x}} = 0.01$ bis 0.05).

Die Homogenität einer Mischung von 5% entspricht einem Variationskoeffizienten von 0.05 und bedeutet, dass 95.5% aller Messwerte innerhalb einer Konzentration von $\pm 10\%$ des volumetrischen Mittelwerts liegen.

Druckabfall

Der Druckabfall muss mit Fördereinrichtungen wie Pumpen, Extruder oder Gebläse überwunden werden. Er lässt sich für newtonsche Flüssigkeiten mit der folgenden Gleichung für alle Strömungsbereiche beschreiben:

Gleichung 5

$$\Delta p = \frac{\xi}{2} \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{Le \cdot Me}{D} = Ne \cdot \rho \cdot w^2 \cdot \frac{Le \cdot Me}{D} \text{ mit } w = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2}$$

Die Newton-Zahl *Ne* ist eine für die Mischergeometrie charakteristische Größe, die direkt von der Reynolds-Zahl abhängig ist.

Das folgende Diagramm zeigt die Newton-Zahl von verschiedenen statischen Mixern in Abhängigkeit der Reynolds-Zahl zu ihren Einsatzbereichen.

Aus dem Diagramm ist gut ersichtlich, dass bei laminarer Strömung die *Ne*-Zahl des neuen Fluitec Mixers CSE-XC/6 deutlich geringer ist als die *Ne*-Zahl des herkömmlichen Mixers CSE-X/8.

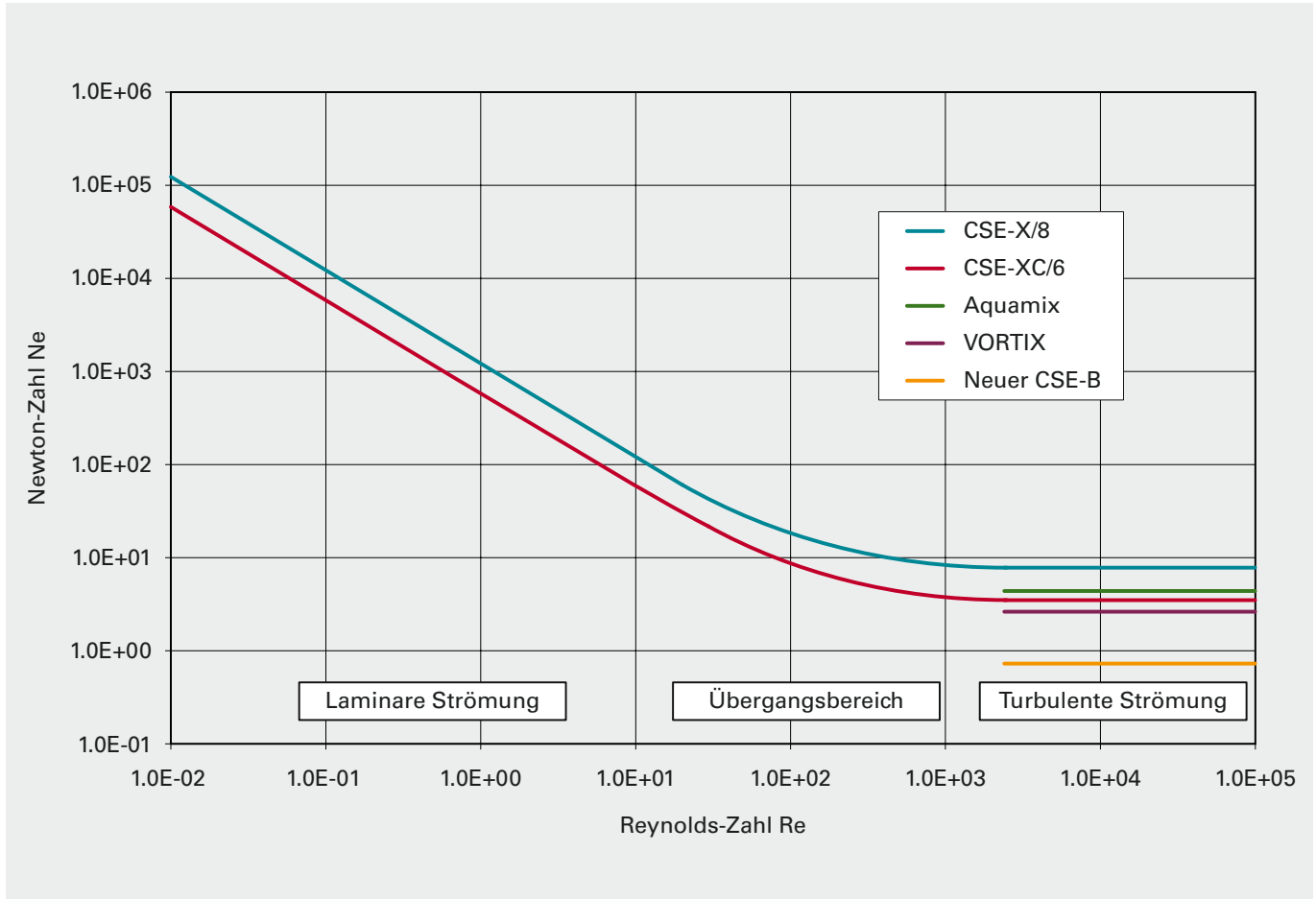
Im laminaren Strömungsbereich ist die Newton-Zahl umgekehrt proportional zur Reynolds-Zahl, d.h. es gilt *NeRe = konstant*. Die Berechnungsgleichung für den Druckabfall bei laminarer Strömung lautet dann

Gleichung 6

$$\Delta p_l = NeRe \cdot \eta \cdot w \cdot \frac{Le \cdot Me}{D^2} = \frac{4}{\pi} \cdot NeRe \cdot \eta \cdot \frac{\dot{V} \cdot Le \cdot Me}{D^4}$$

Der Leistungsbedarf der statischen Mischer liegt erfahrungsgemäss eine Grössenordnung unter derjenigen der dynamischen Mischer. Der Leistungsbedarf ist direkt proportional zum Druckverlust und kann wie folgt ermittelt werden:

Gleichung 7 $P = \Delta p \cdot \dot{V}$



Druckverlust Diagramm für bekannte statische Mischer

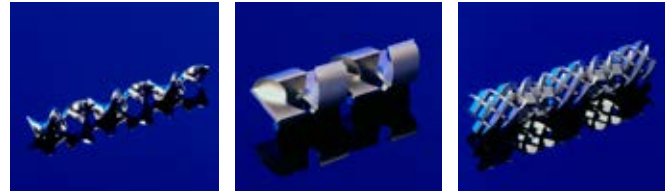
Statische Mischer im laminaren Strömungsbereich $Re < 20$

Beim Laminarmischen geschieht die Mischwirkung durch wiederholtes Auftrennen der Strömung in Schichten, Umschichten und Zusammenführen entlang der Strömungsrichtung. Dabei erhöht sich mit jedem Mischelement die Anzahl Schichten und somit die Homogenität. Eine homogene Mischung wird primär durch Diffusion mittels Schichtenbildung erzielt. Konstruktion und Länge des Mixers sind abhängig von der Mischaufgabe. Fluitec hat sich darauf spezialisiert für jede spezifische Mischaufgabe einen effizienten, energiesparenden Mixer anbieten zu können.

Die Mischgüte einer löslichen Mischaufgabe ist grösstenteils vom Volumenstrom- und vom Viskositätsverhältnis abhängig. Zusätzlich kann die Mischgüte durch Diffusion, Schergeschwindigkeit, Verweilzeit und Froude-Zahl beeinflusst werden.

Von den bekannten Grundgeometrien CSE-W, CSE und CSE-X haben sich in den letzten Jahren in industriellen Prozessen die X-Mischer klar als stärkste und meist eingesetzte Mischergeometrie durchgesetzt. Dank Laserschweisstechnologie kann Fluitec heute den CSE-X von kleinsten Durchmessern bis zu grossen Nennweiten herstellen, und zwar in verschiedensten Materialien.

Fluitec entwickelt und optimiert die Mischergeometrien stetig weiter. So entstanden in den letzten Jahren der neue Mixer «CSE-XC/6» mit kleinem Druckverlust bei hoher



Grundgeometrien Wendelmischer CSE-W, Mixer CSE und CSE-X

Mischleistung, die Mischertechnologie «mikromakro[®]» und der «Hochleistungsmischer CSE-X-DS». Ob Mischen, Begasen, Emulgieren, Homogenisieren oder Mischaufgaben mit extremen Viskositätsverhältnissen, die CSE-X[®] Mixer von Fluitec überzeugen seit Jahrzehnten.

Die Entwicklung des neuen CSE-XC/6

Seit vielen Jahren wurde versucht, die Mischintensität des CSE-X Mixers zu verbessern. Die Ingenieure von Fluitec betrachteten dazu die Mischvorgänge im statischen Mixer aus einer anderen Blickrichtung und stellten sich die Frage: «Wird die Schichtenbildung im CSE-X Mixer durch die Anzahl Stege erzeugt oder sind es die offenen Kanäle zwischen den Stegen, die für die Schichtenbildung verantwortlich sind?»

Falls die offenen Kanäle zur Schichtenbildung führen, dann könnte man die Steganzahl beispielsweise von 8 auf 6 Stege reduzieren und dafür die Randzone am Mischrohr öffnen. Die Anzahl Kanäle (Öffnungen) im Mischelement bleibt somit gleich, das Mischelement

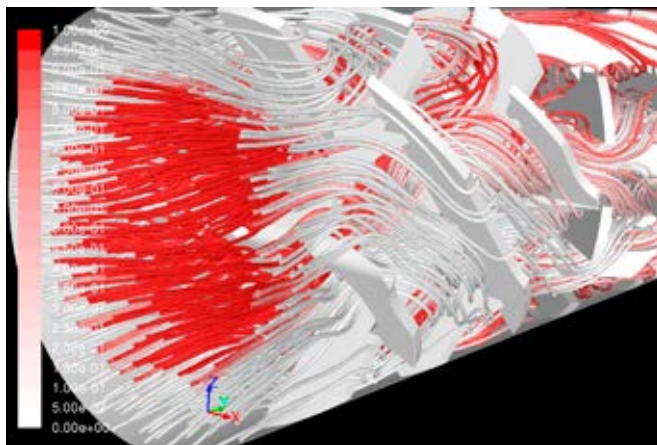
Basierend aus der Grundgeometrie des CSE-X verwendet Fluitec verschiedene Mischerausführungen

CSE-XC/6	CSE-X/8	mikromakro [®]	CSE-X-DS
			
Der neue CSE-XC/6 ist eine Weiterentwicklung des CSE-X/8. Er bietet bei gleicher Mischleistung einen bis zu 50% tieferen Druckverlust und mischt auch hoch-niederviskose Flüssigkeiten problemlos. Der neue Mixer weist ein engeres Verweilzeitverhalten als der CSE-X/8 auf.	Der CSE-X/8 ist seit Jahren der Universalmixer schlechthin. Auf Grund seines Energiebedarfs wurde er grösstenteils durch den neuen CSE-XC/6 abgelöst. In Einzelfällen bietet die Geometrie trotzdem Vorteile und wird daher weiterhin eingesetzt.	mikromakro [®] mischen heisst gezielter Einsatz von Statikmischern verschiedener Geometrien und Nennweiten. Im Normalfall wird zuerst im makro-Mischer eine Vorverteilung und danach im mikro-Mischer eine Feinverteilung erzeugt.	Beim Hochleistungsmischer CSE-X-DS werden X-Mischern zusätzliche Stegen eingesetzt. Dadurch verbessern sich Mischleistung, Verweilzeitverteilung und der fahrbare Konzentrationsbereich, jedoch auf Kosten höheren Energiebedarfs. Dieser Mixer wird daher bei speziellen Anforderungen eingesetzt.

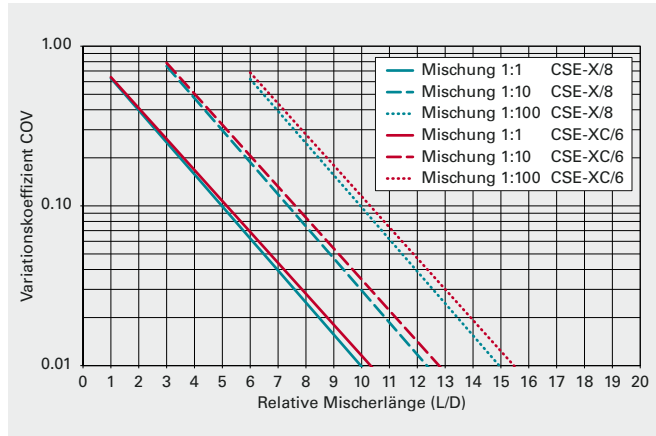
wird einfacher in der Herstellung und die Mischleistung müsste konstant bleiben.

Untersuchung

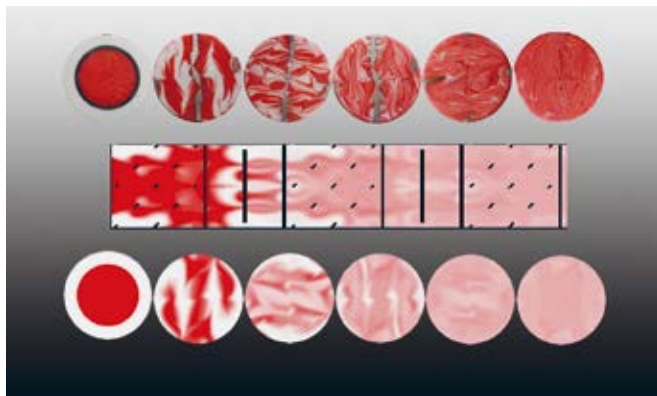
Anhand dieser Frage wurden systematische Untersuchungen durchgeführt, welche zu verschiedenen, neuartigen Mischertypen führten. Dabei wurden die Versionen sowohl auf ihre Mischeigenschaften beim Einsatz von Kunststoffschmelzen als auch für Mischaufgaben mit grossen Viskositätsverhältnissen untersucht.



Untersuchung mittels CFD-Simulation



Vergleich Variationskoeffizient CSE-XC/6 zu CSE-X/8



Vermischen von zwei Epoxidharzen im neuen CSE-X (oben) und CFD Berechnung (unten). Die Schnittbilder entlang der Mischstrecke zeigen die rasche Zunahme der gebildeten Schichten.

Die neue Mischergeometrie weist eine vergleichbare Mischleistung wie der CSE-X/8 auf. Es bestätigt sich, dass die Schichtenbildung nicht durch die Anzahl Stege, sondern durch die Anzahl der offenen Kanäle erzeugt wird. Das Öffnen der Randzonen unterstützt die Mischleistung bei vergleichbar engem Verweilzeitspektrum. Randgängigkeiten im neuen Mischer CSE-XC/6 konnten nicht beobachtet werden.

Hoch-Niederviskos Mischaufgaben

Mischversuche mit Viskositätsverhältnissen von über 1:1000 gelten generell als schwierig. Bis anhin konnte nur der Mischer CSE-X/8 solche Mischaufgaben bewältigen. Bei Mischversuchen mit dem neuen CSE-XC/6 hat sich beeindruckend gezeigt, dass der neue Mischer ebenfalls solch schwierige Mischaufgaben lösen kann. Der CSE-XC/6 Mischer übertrifft somit im Leistungsvergleich herkömmliche X-Mischer bei weitem.

Vereinfacht kann man die Eigenschaften des Neuen CSE-XC/6 wie folgt beschreiben:

bei gleicher Mischleistung

- Der Druckverlust des Mixers reduziert sich um rund 50%.

bei gleichem Druckverlust

- Der Mischer kann eine Nennweite kleiner gebaut werden.
- Die Verweilzeit wird um rund 40% reduziert.

mikromakro® für schwierige Mischaufgaben

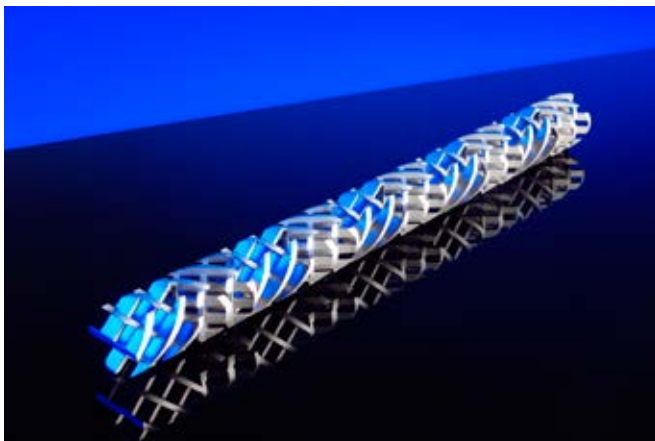


mikromakro® mischen heisst gezielter Einsatz von Statikmischern verschiedener Geometrien und Nennweiten. Grundsätzlich muss zuerst eine gleichmässige Vorverteilung im makro-Mischer erreicht werden, danach wird im mikro-Mischer eine bestmögliche Feinverteilung erzielt. Der Fluitec Mischer CSE-X® wird seit Jahren für Anwendungen mit höchsten Anforderungen eingesetzt. Üblicherweise werden CSE-X® Mischer mit 4 - 12 Stegen bestückt. Der Aufbau des Mixers und die Anzahl der Stege sind abhängig von der Mischaufgabe und vom Durchmesser des Mixers.

Mit der mikromakro® Technologie kann die Mischgüte speziell bei schwierigsten Mischaufgaben verbessert werden. Am Ende eines Mixers erhöhen beispielsweise Mischelemente mit einer grösseren Anzahl von Stegen das Potential des diffusiven Mischens oder durch gezieltem Einsatz von verschiedenen Nennweiten kann die Mischgüte durch die erhöhte Schergeschwindigkeit verbessert werden.



Mikromakro-Mischer für Hochdruckanwendung (Polymer)



CSE-X/4 und CSE-X/8 zusammengeschnitten zu einer Mikromakro Mischerstange

CSE-X für kleine Durchsätze

Lasergeschweisste Elemente

CSE-X Mischelemente in kleinen Nennweiten werden seit Jahren für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, vorzugsweise bei Kleinanlagen in der chemischen-, der Kunststoff sowie in der Lebensmittel- und Pharma-Industrie. Heute kann Fluitec dank speziell entwickelten Laserherstellverfahren und Veredelungstechnik Mischelemente bis Durchmesser 4.6mm und Oberflächengüten Ra 0.4 liefern.



Mischelemente De= 4.6 bis 10.0



Laserschweissen

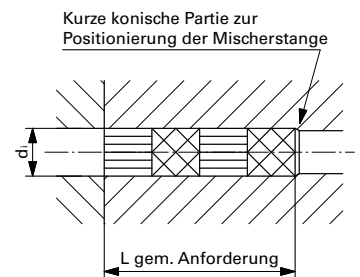
Gusselemente

Gegossene Mischelemente können bei Standardabmessungen dank grosser Herstellstückzahl zu attraktiven Konditionen ab Lager geliefert werden. Das umfangreiche Sortiment an gegossenen Mischelementen macht es Fluitec möglich bei vielen Anwendungen gegossene Mischer kurzfristig zu liefern. Für die meisten Mischaufgaben reicht eine gussrohe Oberflächenrauheit aus.

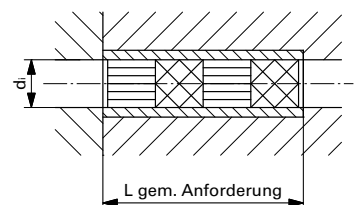
Bauarten

Die Mischerstangen können für verschiedenen Einbauarten geliefert werden.

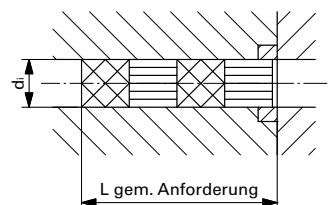
Eingeschoben



Hülsenbauweise



Tragring

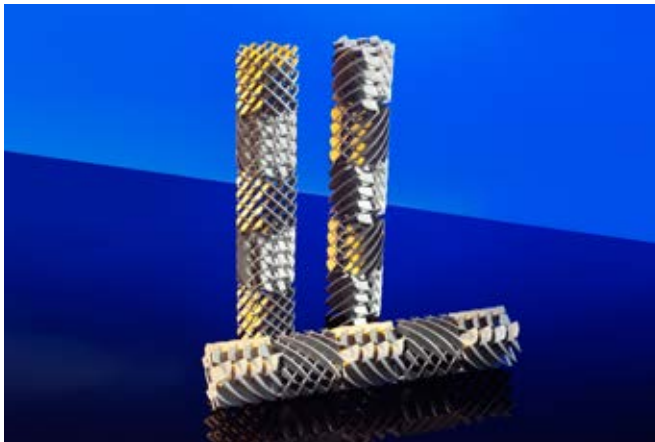


Hochleistungsmischer CSE-X-DS

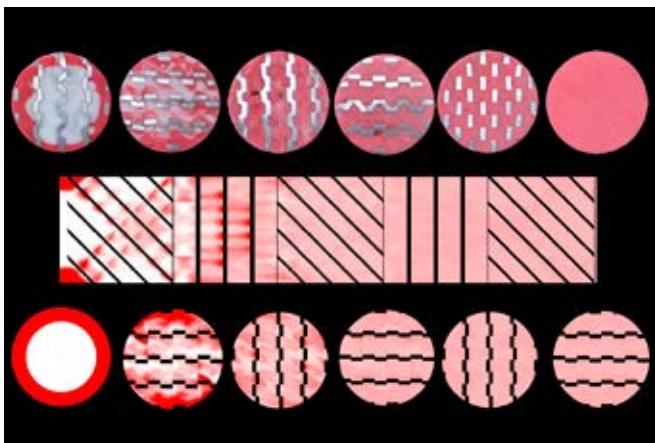
Beim Hochleistungsmischer werden X-Mischern zusätzliche Stege eingesetzt. Der Hochleistungsmischer wird vor allem dann eingesetzt, wenn sehr hohe Mischleistungen oder Verweilzeiteigenschaften gefordert sind welche mit herkömmlichen statischen Mixern nicht realisierbar sind.

Hochleistungsmischer CSE-X-DS werden bei speziellen Anforderungen für folgende Anwendungen eingesetzt:

- Kurze Mischstrecke / knappe Platzverhältnisse
- Viskositätsverhältnisse bis 1 zu 1'000'000 und Konzentrationen bis 50%
- Enges Verweilzeitverhältnis
- Sehr langsame Strömungsgeschwindigkeiten in Verweilzeitreaktoren



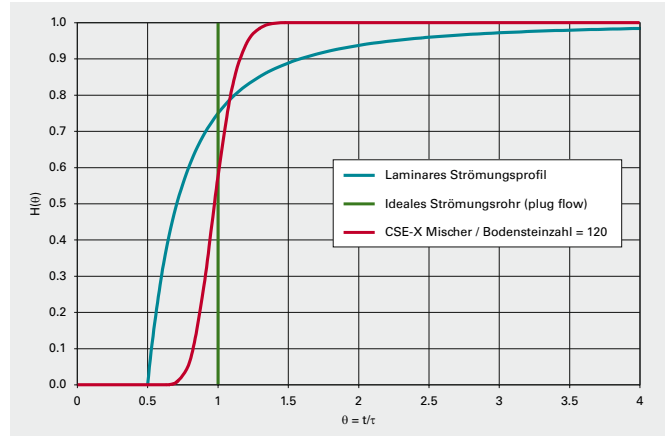
CSE-X/4-DS und CSE-X/8-DS



Mischwirkung des Hochleistungsmischer (Versuche mit Epoxidharz und CFD-Simulation). Eine homogene Mischung wird bereits nach einer sehr kurzen Mischstrecke erzielt.

CSE-X als Verweilzeitmischer

Die Fluitec Mischer CSE-X[®] zeichnen sich durch eine hohe Mischleistung bei kurzer Einbaustrecke aus. Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass CSE-X[®] Mischer ein ausgezeichnetes Verweilzeitverhalten aufweisen.



Verweilzeitsummenkurve

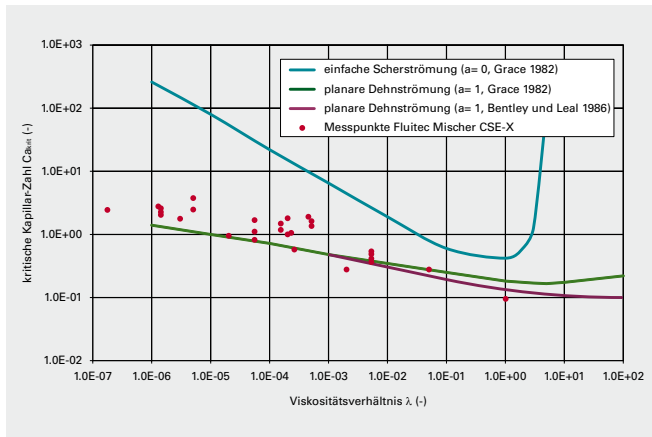
In der Abbildung ist ersichtlich, dass sich CSE-X[®] Mischer stark einer idealen Pfropfenströmung annähern. Dies weist auf ein gutes Selbstreinigungsverhalten hin, welches speziell bei Reaktionen oder hygienischen Anwendungen von grösster Bedeutung ist. Die Untersuchungen wurden mit Glukosesirup mit Viskositäten von 1 Pas bis 500 Pas durchgeführt. Während die Farbaditive im Leerrohr noch an der Rohrwand hafteten, waren diese in den CSE-X[®] Mixern bereits nicht mehr sichtbar.

Dispergieren bei laminarer Strömung

Beim dispersiven Mischen im laminaren Strömungsbereich sind die Scher- und Dehnanteile in der Strömung bestimmend für die erzeugte Tropfengrösse dT. Durch das Einbringen von Dehnströmungskomponenten in das Strömungsfeld können feinere Tropfen erzeugt werden als durch die reine Scherung. Dies hat auch zur Folge, dass bei entsprechend gewählter Mischergeometrie der Energieaufwand für den Tropfenaufbruchprozess reduziert werden kann. Für den Tropfenaufbruchprozess ist das Verhältnis der Zähigkeitskraft zur Grenzflächenspannungskraft massgebend:

$$\text{Gleichung 8 } Ca = \frac{G \cdot d_T \cdot \eta_c}{2 \cdot \sigma} = \frac{\text{Zähigkeitskraft}}{\text{Grenzflächenspannungskraft}}$$

Ein Tropfenzerfall findet nach einer gewissen Zeit t_z nur statt, wenn $Ca \geq Ca_{krit}$ ist, wobei η_c für kontinuierliche Viskosität und G für die Deformationsgeschwindigkeit steht.

Kritische Kapillar-Zahl Ca_{krit}

Die Grafik zeigt den Einfluss des Viskositätsverhältnisses auf die kritische Kapillar-Zahl Ca bei einem Tropfenaufbruch in einfacher Scherströmung ($a=0$) sowie in planarer Dehnströmung ($a=1$).

Der Strömungsparameter a , welcher den Dehnanteil an der Gesamtdeformationsgeschwindigkeit beschreibt, kann wie folgt dargestellt werden.

$$\text{Gleichung 9} \quad a = \frac{\dot{\epsilon}}{|\dot{\epsilon}| + |\dot{\gamma}|}$$

Die Messwerte zeigen eindeutig, dass statische Mischer CSE-X einen hohen Anteil an Dehnung aufweisen. Dies hat zur Folge, dass die Tropfengrösse dT mit einem entsprechend niedrigerem Energieeintrag erzeugt werden kann. Generell besitzen statische Mischer je nach Mischergeometrie a -Werte von 0.2 – 0.7.

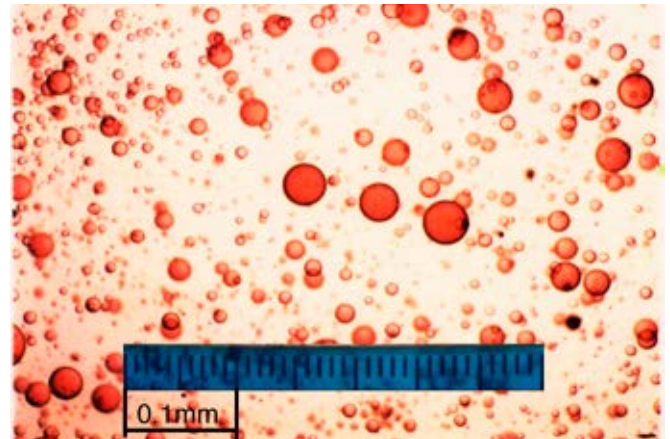
Tropfenzerfallzeit t_z

Der Tropfenzerfall in Dispergiervorgängen bei statischen Mixern hängt weitgehend von der Art und Weise wie ein Tropfen aufbricht ab. Beeinflusst wird die Tropfenzerfallzeit t_z durch das Viskositätsverhältnis γ und die Dosiertechnik. Eine grosse Anfangstropfengrösse kann insbesondere bei einem grossen Viskositätsverhältnis γ das Tropfenspektrum negativ beeinflussen und zu einer höheren Tropfenzerfallzeit bzw. zu einem längeren Mischer führen. Darum wurden für CSE-X Mischer spezielle Dosiermodule mit Durchflussmessung, Pumpe und Spezial-Impfstelle entwickelt.

Anwendungsbeispiele

Statische Mischer zum Dispergieren und Emulgieren werden innerhalb der praktischen Grenzen für folgende Anwendungen eingesetzt:

- zum Mischen von teilweise löslichen Flüssigkeiten (Mischungslücke)
- zum Kontaktieren und Erwärmen von Polymer vor einer Flash-Verdampfung (Wasser, Stickstoff u.a.)



Probe einer Glukose Dispersion mit 5% Additiv (Viskositätsverhältnis $\gamma = 5 \times 10^{-4}$)

- Zum Einmischen und Emulgieren von unlöslichen Additiven vor einer Granulierung (Mineralöl, Gleitmittel, u.a.)
- zum Dispergieren von Gas oder Flüssigkeiten vor einem Sprühtrockner
- zum Auswaschen von unerwünschten Aromen oder Additiven aus einer viskosen Flüssigkeit
- zum Dispergieren und Kühlen für reaktive Stoffaustauschprozesse
- zum Einmischen und Emulgieren von Treib- oder Nukleierungsmitteln für Schäume (z.B. Pentan, Luft, Stickstoff u.a.)
- zur Erzeugung von einheitlichen Zellstrukturen in Schäumen (redispergieren und homogenisieren)
- Herstellen von Mousse
- Herstellen von Crèmes
- zum Dispergieren in Extraktionsprozessen

Fluitec Schmelzemischer

Statische Mischer werden seit vielen Jahren zum Homogenisieren von Polymerschmelzen eingesetzt, idealerweise in Kombination mit Schmelzepumpen. Die Reduktion der Druckpulsation und die thermisch homogenere Schmelze verbessern Qualität und Massshaltegenauigkeit der Endprodukte.

Die neuen Schmelzemischer CSE-XB/4 und CSE-XC/6 von Fluitec sind mit einer Länge von 2D bis 4D kurz und besitzen einen viel geringeren Druckverlust als herkömmliche Schmelzemischer, bei einer sehr hohen Mischleistung. Die sehr stabile Bauweise erlaubt die Verarbeitung hoher Viskositäten bei hohen Durchsätzen. Die kompakte und stabile Konstruktion erlaubt bei Betriebsdrücken bis 500 bar einen Druckverlust bis 100 bar.

Beim Einsatz eines Fluitec Schmelzemischers sind die homogene Schmelzetemperatur, das konstante Austragsvolumen und die homogene Viskositätsverteilung sofort spürbar. Zudem wird die Einfärbqualität verbessert, womit die Farbkosten um bis zu 25% reduziert werden können. Dank der homogenen Schmelze ist eine Reduzierung der Schmelzetemperatur möglich, womit sich weitere Qualitätsverbesserungen am Extrudat ergeben können.



Schmelzemischer in Hülsenbauweise

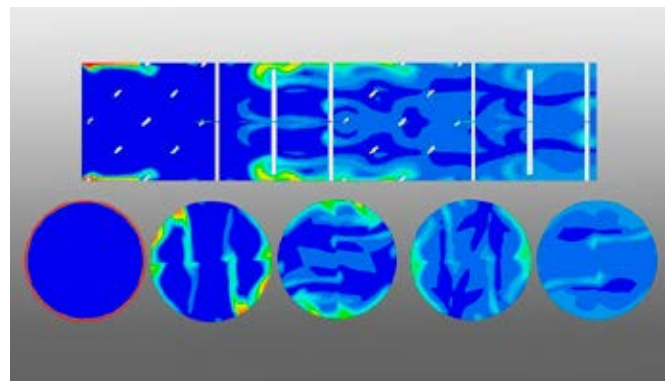


Schmelzepumpe mit dem neuen Schmelzemischer CSE-XC/6

Fluitec Fasermodule

CSE-XC/4 für die Herstellung von Chemiefasern

Eine homogene Schmelze vor den Spinddüsen ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Herstellung von qualitativ hochstehenden Chemiefasern. Dafür wurden die neuartigen CSE-XC/4 Fasermodule entwickelt, welche in der Faserindustrie neue Massstäbe setzen. Die neuen Fasermodule zeichnen sich durch eine hohe Mischleistung bei minimalem Druckverlust aus. Vergleicht man den in der Faserindustrie herkömmlich meist eingesetzten Wendelmischer mit dem neuartigen CSE-XC/4 Mischelement, so reduziert sich der Druckverlust um 30 - 40% bei vergleichbarer Mischleistung. Bei einer deutlich besseren Mischleistung reduziert sich der Druckverlust um 15 - 20%. Zusätzlich reduziert der Mischer mögliche Ablagerungen an den Wandzonen auf ein Minimum, so dass auf einen aufwändigen Lötvorgang verzichtet werden kann. Der CSE-XC/4 Mischer erzeugt ein sehr enges Verweilzeitenspektrum und besitzt hervorragende Selbstreinigungseigenschaften.



Simulation zur Visualisierung «Einmischen der Randschicht» mit einem Mischer CSE-XC/4 über 4 Elemente. Es ist klar ersichtlich, dass die Randschicht (rot am Mischereintritt) nach 3D mehrheitlich und nach 4D komplett erneuert worden ist. Durch das Öffnen der Stege an der Rohrwand wird beim CSE-XC/4 die Randzone klar besser gespült als bei herkömmlichen statischen Mixern.



Schnittbilder von Epoxydharz-Mischungen, welche bei vergleichbaren Bedingungen hergestellt wurden. Der Schnitt links zeigt einen CSE-X/8 Mischer nach einem $L/D = 3$. Der Schnitt in der Mitte zeigt einen Wendelmischer nach 6 Mischelementen ($L/D = 9.6$). Das Schnittbild rechts zeigt eine CSE-XC/4 Mischung nach einem $L/D = 4$.

Fortschrittlich, energieeffizient und preislich attraktiv

Die beiden Fluitec Mischer vom Typ «Aquamix» und «VORTIX» sind heute Standardlösungen für den Einsatz im turbulenten Strömungsbereich.

Bei turbulenten Rohrströmungen können Mischprozesse mit Hilfe von statischen Mixern massiv verkürzt werden. Spezielle Mischeinbauten werden für die Wirbelbildung eingesetzt. Die Vermischung und Homogenisierung entsteht im nachfolgenden Mischrohr. In den letzten Jahren haben sich zwei Mischerkonstruktionen bewährt. Der Einschubmischer Aquamix für den Einbau in bestehende Rohrleitungen und der Gehäusemischer VORTIX, welcher in verschiedenen Ausführungen und Materialien geliefert werden kann (Metall und Kunststoff).



5% blaues Additiv wird vor einem Aquamix zudosiert (Re = 18000)

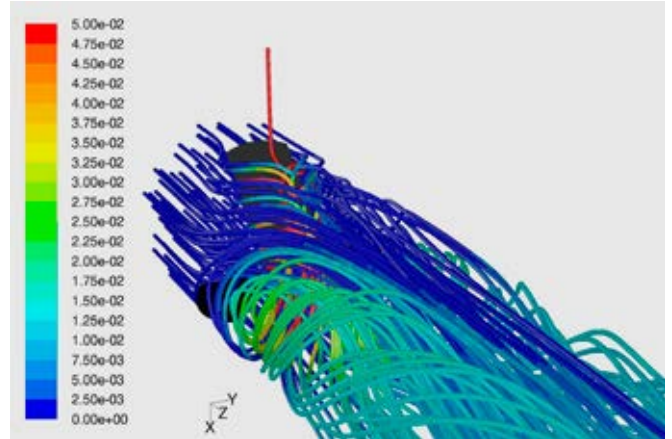
Einschubmischer Aquamix

Der Aquamix ist die neueste Entwicklung der sogenannten Einschubmischer (Montage zwischen zwei Flansche einer Rohrleitung). Die Vorgänger des Aquamix, die Mischer CSE-F® und CSE-B® wurden von Fluitec bereits 1997 in Zusammenarbeit mit der Zürcher Hochschule entwickelt und gehörten zu den ersten kommerziell vertriebenen Statikmischern, die zwischen zwei Flanschen eingebaut wurden. Die Mischer CSE-F und CSE-B kommen heute jedoch nur noch selten zur Anwendung, da der Aquamix kompakter, effizienter und vor allem kostengünstiger ist. Der Aquamix erzeugt mehrere definierte Vortex-Wirbel und mischt dadurch rasch bei kleinem Druckverlust. Die Montage des Mixers zwischen zwei Rohrflansche ist sehr einfach. Durch die kompakte Bauweise kann der Aquamix in fast jedem Rohrleitungssystem zum Einsatz kommen.

Rohrmischer VORTIX

Der Wunsch nach einem statischen Mixer mit niedrigem Energieverbrauch bei gleichbleibend guter Mischleistung hat zur Entwicklung des Rohrmischers VORTIX geführt. Vom VORTIX gibt es zwei Standardausführungen, den kompakten VORTIX mit Niedrigst-Druckverlust und den etwas längeren VORTIX-T, welcher schwierigere Mischaufgaben erfüllen kann.

Die Rohrmischer VORTIX und VORTIX-T können sowohl aus metallischen Werkstoffen, wie auch aus den Kunststoffen PP, PE, PVDF und PVC geliefert werden.



CFD-Berechnung VORTIX Turbulentmischer



VORTIX-T aus PP

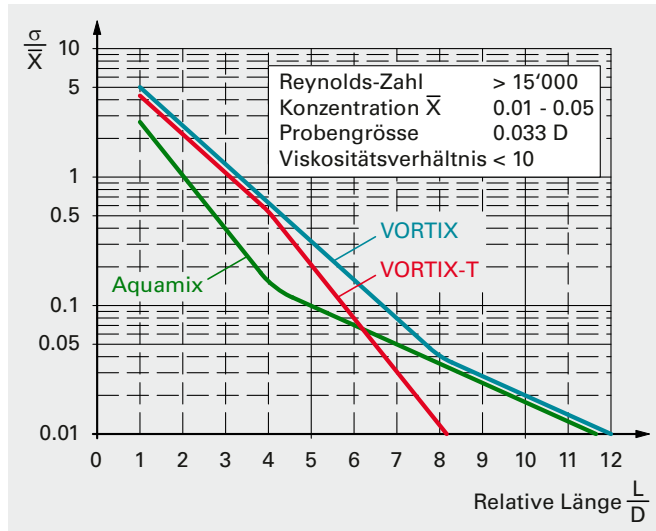
Mischleistung und Druckabfall

Die Mischleistung des Aquamix und des VORTIX basiert auf zwei gegenseitig induzierten Strömungswirbeln. Diese Wirbel erfassen den ganzen Strömungsquerschnitt und sorgen für einen hervorragenden Quertransport. Die Homogenität wird generell mit dem Variationskoeffizienten angegeben (Erläuterung auf Seite 5). Ein Variationskoeffizient von <0.05 gilt als homogen. Ab einer Strömungsgeschwindigkeit $>0.3 \text{ m s}^{-1}$ erreicht der Mischer seine volle Mischleistung.

Das Additiv wird beim Aquamix vor der Flanschverbindung zudosiert. Die Impfstelle sollte bei kleinen Konzentrationen $< 5\%$ mittig ausgeführt werden. Ansonsten kann die Impfstelle 2 bis 5 D vor dem Mischer mit einem normalen T-Stück ausgeführt werden.

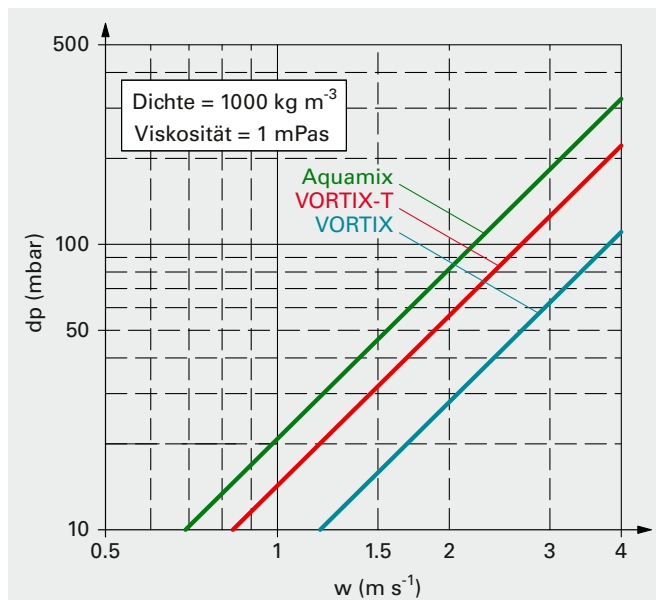
Beim VORTIX-Mischer wird das Additiv über den Seitenstutzen eingebracht. Dieser Stutzen ist so angeordnet, dass das Additiv optimal über dem Mischer eingemischt

wird. Um ein optimales Mischergebnis zu erhalten ist es wichtig die Impfstelle genau auf die Additivmenge abzustimmen.



Variationskoeffizient bei einer typisch turbulenten Mischung

Die Darstellung des Variationskoeffizienten in Abhängigkeit zur relativen Mischstrecke zeigt, dass Messstellen wie z.B. Temperaturfühler oder pH-Sonden in einem Abstand von min. 10 Rohrdurchmessern einzubauen sind.



Druckverlust

Mit dem Aquamix und VORTIX wurden Statikmischer entwickelt die einen geringen Druckabfall aufweisen, so dass die Auslegung der Rohrleitungen bis zu Geschwindigkeiten von $4 m s^{-1}$ möglich werden.

Begasen von Flüssigkeiten mittels statischen Mixern

Stoffübergang

Beim Begasen einer Flüssigkeit wird der Stoffübergang einerseits durch das Koaleszenzverhalten des Systems, andererseits durch das Gesetz von Henry beeinflusst. Ein hoher Gastransfer mit statischen Mixern wird, neben dem meist unveränderbaren Konzentrationsgefälle, nicht nur durch die intensive Kontaktierung der beiden Phasen erreicht, sondern auch durch die Bildung von kleinen Gasblasen mit einer grossen spezifischen Oberfläche.

$$\text{Gleichung 10 } \dot{n} = k_L a \cdot (c^* - c)$$

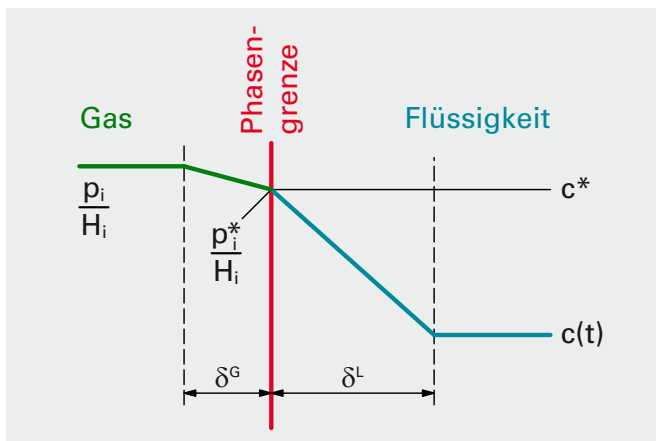
Der Ausdruck $k_L a$ besteht aus zwei Komponenten:

- k_L der flüssigkeitsseitige, den Stofftransport limitierende Widerstand
- a die spezifische Stoffaustauschfläche (A/V) des zugeführten Gases

Das Zweifilmmodell

Das Zweifilmmodell vernachlässigt dabei den in der Regel sehr viel geringeren gaseitigen Transportwiderstand k_G (Abbildung unten). Es behilft sich dem Henryschen Gesetz, welches postuliert, dass die Konzentration c_i eines gelösten Gases proportional zum Partialdruck p_i des Gases in der Gasphase ist [Gl. 13]. Der Zusammenhang wird über die stoffspezifische Henrykonstante H_i beschrieben:

$$\text{Gleichung 11 } p_i = H_i \cdot c_i$$

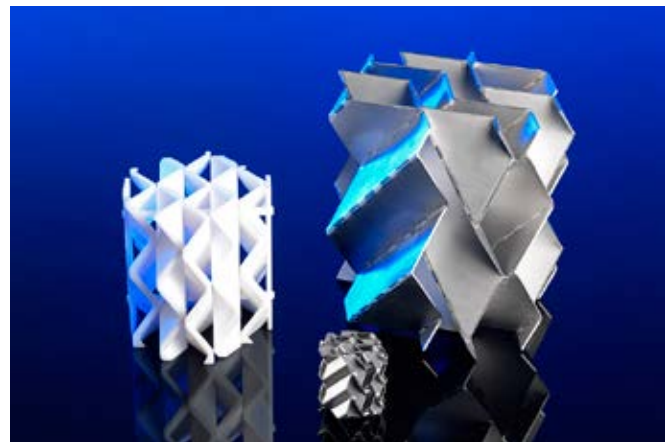


Darstellung des Konzentrationsgefälles im System Gas/Flüssigkeit nach der Zweifilmtheorie unter Berücksichtigung des Henryschen Gesetzes

Die Gastransferrate ist zum flüssigkeitsseitigen Stofftransportkoeffizienten k_L , zur spezifischen Stoffaustauschfläche a sowie zur Konzentrationsdifferenz $\Delta c = c^* - c_L$ direkt proportional. Währenddem Δc durch physikalische Parameter wie Druck, Temperatur und

Konzentration beeinflusst werden kann, ist der Term $k_L a$ ein Resultat der apparativen Bauweise eines Kontaktparates. Dabei ist a in der Regel unbekannt und wie k_L selbst eine Funktion der stofflichen wie prozessspezifischen Parameter. In der Praxis sind die beiden Parameter nur schwer zu erfassen. Das ist der Grund warum diese beiden Parameter in der Regel als Produkt die Zielgrösse beim Stofftransport bilden.

In der Praxis werden heute vor allem die beiden Geometrien CSE-X und CSE-V für Dispersionsaufgaben und damit zum Begasen von Flüssigkeiten eingesetzt.



Mischelemente CSE-V

Die optimale Länge des statischen Mixers ist abhängig vom Betriebsdruck, von der Temperatur, der Einbaulage, des Phasenanteils der zu lösenden Gases und von der gewünschten Konzentration.

Sie wird durch folgende Funktion ermittelt:

$$\text{Gleichung 12 } L = \frac{w}{k_L a} \cdot \ln \frac{c^* - c_{ein}}{c^* - c_{aus}}$$

Fluitec Mischer aus rostfreiem Stahl oder Hastelloy finden seit Jahren Anwendung in allen Bereichen der Verfahrenstechnik. Dank Spezialisierung auf qualitativ hochstehende Mischelementausführungen kann Fluitec die individuellen, erhöhten Qualitätsanforderungen in der Steriltechnik oder Lebensmittelindustrie auch bei statischen Mixern problemlos erfüllen.

Hygienisch und wartungsarm

Die Fluitec Mischer CSE-W, CSE-X und Aquamix können für die Lebensmittelindustrie und Steriltechnik an den Oberflächen elektropoliert und mit den gewünschten Rohrverbindungen gefertigt werden. Dies erlaubt den Einsatz in sterilen Bereichen. Die Anforderungen an die Qualität des Mixers sind jedoch meist individuell und werden durch Faktoren wie Prozesssicherheit, Qualitätssicherung, GMP, CIP/SIP, Wirtschaftlichkeit, etc. bestimmt.

Da CSE-W und CSE-X Mischer ein ausgezeichnetes Selbstreinigungsverhalten besitzen, sind Keim- und Totraumfreiheit gewährleistet, falls das Entleeren des Mixers möglich ist und die Schweissverbindungen sauber ausgeführt sind.



Aquamix für Lebensmittelanwendungen



CSE-X/4 für Sterilanwendung

Folgende Rohrverbindungselemente können mit Fluitec Mixern kombiniert werden:

- Milchrohrverschraubung nach DIN 11851
- Clamp-Verbindungen (Tri-Clamp)
- BioConnect Verbindungen (Neumo)
- BBS Verschraubungen
- Aseptik Rohrverbindung (Südmo)
- Kleinflanschverbindung nach DIN 11850
- weitere auf Anfrage

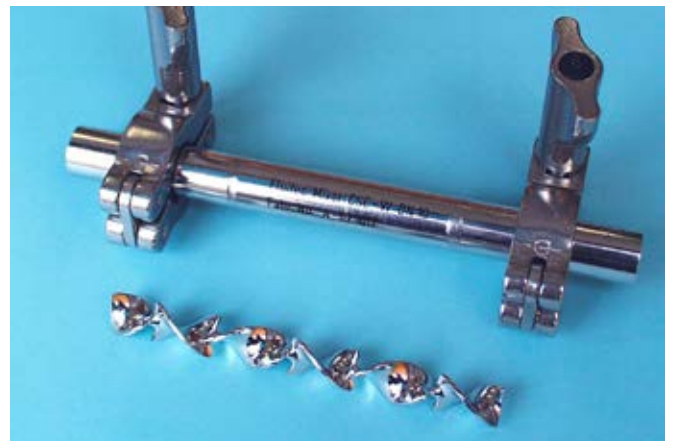
Erhöhte Qualitätsanforderungen

Nachdem die Verbindungsart bestimmt ist, müssen die Schweisstchnik und die Oberflächenbehandlung definiert werden. Hier gibt es eine Vielzahl von Anforderungen. Generell gilt jedoch die Richtlinie 2014/68/EU als übergeordnete Verordnung (Druckgeräterichtlinie).

Die Gehäuse können orbital oder manuell geschweisst hergestellt werden. Die Mischelemente können dank einer hauseigenen Laserschweissanlage bereits ab einem Durchmesser von 4.6mm geschweisst hergestellt werden.

Die Oberflächen der Mischelemente und Gehäuse können mechanisch oder elektrochemisch poliert geliefert werden. Oberflächenrauheiten $R_a < 0.8 \mu\text{m}$ sind dabei normal. Durch spezielle Herstellverfahren sind feinere Oberflächen möglich.

Materialien 1.4571, 1.4404, 1.4435, 1.4435 BN2 und andere hochlegierte Qualitäten. Zur Qualitätssicherung können Ferritanteil, Oberflächenrauheit und andere Informationen gemessen und dokumentiert werden.



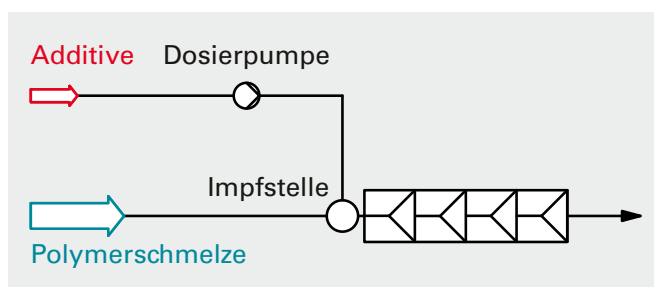
CSE-W Mischer elektropoliert DN10 mit Tri-Clamp Verbindung und einem Ferritanteil in den Schweissnähten $< 0.5\%$

Dosiertechnik für Statische Mischer

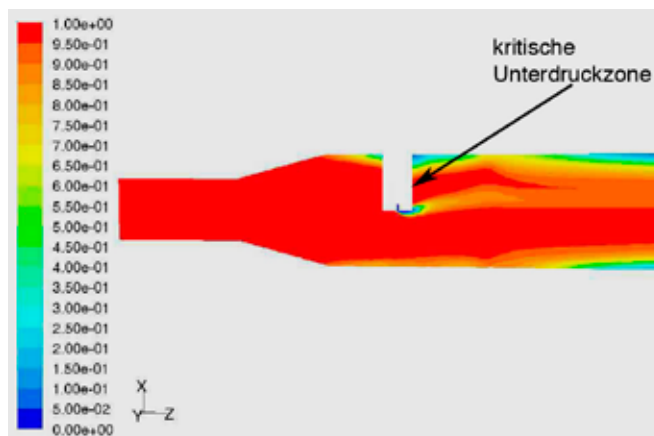
Dosiertechnik für statische Mischer bedeutet kontrollierte und gleichzeitige Zugabe von Additiv- und Hauptstrom in einen statischen Mischer. Da statische Mischer generell nur eine geringe Rückmischung aufweisen, müssen die Komponenten zeitlich konstant dosiert werden.

Bei der Planung einer statischen Mischanlage müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Die Überwachung von Additiv- und Hauptstrom muss gewährleistet sein.
- Ort und Geometrie der Impfstelle beeinflussen die Mischgüte.
- Pulsationen beeinflussen die Mischgüte und müssen mit entsprechenden Massnahmen kontrolliert werden.
- Das Reinigungskonzept ist bei statischen Mischanlagen besonders wichtig. Dabei müssen die Eigenschaften der zu mischenden Flüssigkeiten sowie die Einbaulage des Mixers berücksichtigt werden.



Fluitec NVD-Dosierung für Polymere



Instationäre Berechnung einer Impfstelle

Optimierte Impfstelle

Der Ort und die Geometrie der Impfstelle beeinflussen in allen Strömungsbereichen die Mischgüte. Generell strebt man eine mittige Additivzugabe unmittelbar vor dem statischen Mischer an. Ist dies nicht möglich, so verliert man die Mischleistung von 2 - 4 Mischelementen. Je nach Strömung entstehen kritische Unterdruckzonen, welche zum einen Totzonen bilden und zum andern den Additivstrom beeinflussen. Seit 2001 untersucht Fluitec mittels instationären CFD Berechnungen Impfstellen für statische Mischer.

Die Impfstellen wurden auf folgende Eigenschaften optimiert:

- mittlerer Zulauf des Additivstroms
- Reduktion von Totzonen
- Nutzung der Unterdruckzone zur kontrollierten Vorverteilung der Additivströme
- Verwendung von Zusatzblechen zum mechanischen Schutz des statischen Mixers.



Impfstelle für Polymermischer mit mechanischem Schutz gegen Polymerpfropfen

Anfrage-Datenblatt Fluitec Statischer Mischer



Kontakt:

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

Angebot:

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

Verfahrenstechnische Angaben:

	Einheit:	Hauptstrom	Additivstrom 1	Additivstrom 2	Additivstrom 3
Bezeichnung Fluid:	[-]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
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"/>
Dichte:	[kg m ⁻³]	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Viskosität:	[mPas]	<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:	1:gas 2:flüssig	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2
(nach 2014/68/EU)	g:gefährlich n:nicht gefährlich	<input type="checkbox"/> g <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> g <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> g <input type="checkbox"/> n	<input type="checkbox"/> g <input type="checkbox"/> n

Sind die Fluide mischbar? Ja Nein → Grenzflächenspannung: mN m⁻¹ ; maximale Tropfengrösse: mm

Mischgüte als Standardabweichung vom Mittelwert [σ√X]: < %

Maximal zulässiger Druckverlust: bar (Beschreibung der Mischung)

Mechanische Angaben:

Geplante Nennweite der Rohrleitung DN Andere möglich: Ja Nein

Hinweis:

Standardausführung

Design Code: AD2000 ASME

Anschlüsse: Flansch EN1092 Flansch ANSI Verschraubung freies Rohrende

Dosierstelle: Nein Ja → Flansch Verschraubung freies Rohrende

Mischelemente: nicht ausbaubar ausbaubar nur Elemente, kein Gehäuse

Material: 1.4571 / 1.4404 1.4301 / 1.4307 1.4435 Hastelloy C22

1.4462 1.4539 PE / PP C-Stahl / PTFE

Mischrohr: max. zulässiger Druck: bar max. zulässige Temperatur: °C

Heizmantel: Nein Ja → max. zulässiger Druck: bar max. zulässige Temperatur: °C

Erhöhte Anforderungen: (z.B für Food- und Pharma-Industrie)

Oberflächen: keine Vorgaben Ra<1.6 µm Ra< µm Elektropoliert

Mischelemente: keine Vorgaben möglichst spaltfrei Kanten verrunden

Bemerkungen:

Dokumentation: (sofern nötig)

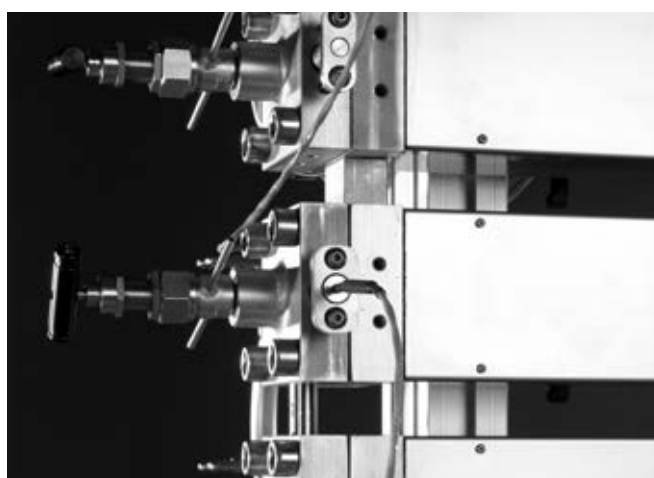
Zeichnung / Stückliste Materialattestliste

Schweißplan Prüffolgeplan



Mischen- Wärmetauschen

Die einzigartigen Mischer-Wärmetauscher



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

