

Plug-and-play-Reaktorkonzept reduziert Entwicklungszeiten deutlich

Ready for change

Das Contiplant-Reaktorkonzept entstand im Rahmen des EU-Förderprojekts F3 Factory. Ziel war es, ein modulares plug-and-play-Reaktorkonzept zu erschaffen, das die Vorteile der flexiblen, aber ineffizienten Batch-Reaktoren mit den Vorteilen der kontinuierlichen Reaktionsführung verknüpft. Es entstand ein standardisiertes Baukastensystem, bei dem die bewährten Fluitec-Mischer-Wärmetauscher in Milliskalierung ausgeführt wurden.

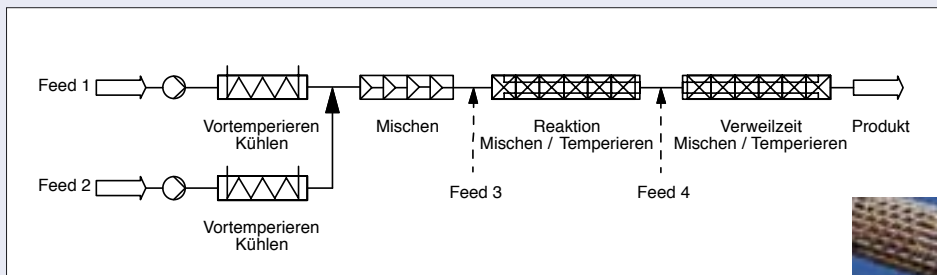
Das Umstellen eines Batch-Prozesses auf die kontinuierliche Betriebsweise bietet entscheidende Vorteile wie erhöhte Sicherheit, konstante Produktqualität und hohe Wirtschaftlichkeit. Die kontinuierliche Produktionsweise erfordert jedoch bereits in der Planungsphase die Berücksichtigung verschiedenster Einflussgrößen wie Kinetik, Thermodynamik, Selektivität und Energieflüsse. Wenn diesen Schlüsselgrößen ausreichend Rechnung getragen wird, lässt sich eine kontinuierliche Reaktion sicher, konstant und mit größtmöglichen Raum-/Zeit-Ausbeuten führen. Bei statischen Mixern und Mischer-Wärmeübertragern kommt der Vorteil hinzu, dass im Gegensatz zu Rührwerksreaktoren keine bewegten Teile vorhanden sind und dadurch Wartungsarbeiten praktisch ausgeschlossen sind.

Contiplant-Reaktoren für das Labor

Das modular aufgebaute Contiplant-Baukastensystem basiert auf den kontinuierlichen Mischer-Wärmetauschern von Fluitec, die für Laborzwecke im Milliscale entwickelt wurden. Dieses System erlaubt die schnelle und sichere Ausarbeitung des Verfahrens für das Zielprodukt im Labormaßstab. Übliche Labordurchsätze sind 0,5 bis 1 kg/h. Dank durchgängiger Modularität ist ein schneller und unkomplizierter Aufbau gewährleistet. Eine kontinuierliche Reaktionsführung im Labor oder bei Pilotanlagen erfordert eine optimierte Peripherie, um eine bestmögliche Kontrolle und Steuerung des Reaktionsablaufes zu garantieren. Dabei dürfen die eingesetzten Sensoren, Aktoren und die nötige Peripherie das Verweilzeitspektrum, die Wärmeabfuhr sowie die Mischung nicht negativ beeinträchtigen.



Kontinuierlicher Contiplant-Pilot-Reaktor aus Hastelloy C-22



Schema einer Tieftemperaturanwendung anhand eines polytrop betriebenen In-Line-Reaktors

Mit Contiplant LAB- und Pilot-Baukasten können folgende Reaktorschaltungen im kleinen Maßstab untersucht werden:

- Kontinuierlicher laminarer Rohrreaktor mit Plug-Flow-Eigenschaften
- Kontinuierlicher Verweilzeitreaktor für hohe Verweilzeit >1 h
- Kontinuierlicher Kaskadenreaktor zur kontrollierten Wärmeproduktion
- Kontinuierlicher Loop-Reaktor für gedämpfte Wärmeproduktion
- Kontinuierlicher Gas-Flüssig-Stoffaustausch-Reaktor

Zusätzlich können Vormischer wie Mikroreaktoren, kleine dynamische Inline-Mischer sowie CSTR-Reaktoren der Reaktorschaltung vor-, zwischen oder nachgeschaltet werden.

Zur Zeit bestehen Bemühungen, dass die Contiplant-Reaktoren mit kompatiblen Stoffaustausch- und Abscheiderkomponenten ergänzt werden können, sodass Lösungen für alle Trennprobleme zur Verfügung stehen. Labor-equipment für die Destillation, Absorption, Desorption, Verdampfung, Phasentrennung, Flüssig-Flüssig-Extraktion, Kristallisation und die Membrantrennung sollen mit dem modular aufgebauten Contiplant-Baukastensystem ergänzt werden können.

Reaktion bei tiefen Temperaturen

Damit eine chemische Reaktion optimal ablaufen kann, müssen in einem Reaktor folgende Voraussetzungen erfüllt werden:

- Ideale Durchmischung der Edukte
- Kontrollierte isotherme oder polytrope Ableitung der freigesetzten Reaktionswärme
- Enge Verweilzeitverteilung der benötigten Reaktionszeit in der Verweilzeitstrecke (sogenannte Plug-Flow-Reaktoren)

Dass dies in Contiplant-Systemen von Fluitec möglich ist, konnte bereits an vielen sehr unterschiedlichen Reaktionen gezeigt werden. Die Mischer-Wärmeübertrager CSE-X und CSE-XR eignen sich besonders gut als sogenannte Plug-Flow-Rohrreaktoren. Diese Apparate besitzen ein konstantes Oberflächen- zu Volumenverhältnis über einen großen Bereich des spezifischen Volumens bei gleichbleibendem,

Fluitec-Mischer-Wärmeübertrager

resp. zunehmendem K-Wert. Diese Eigenschaft bietet eine wesentliche Erleichterung im Hinblick auf den Scale-Up.

Mit dem Fluitec-Mischer-Wärmeübertrager können bei kleinen Nennweiten spezifische Oberflächen- zu Volumenverhältnisse von bis zu $4000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ erzielt werden. Dies ist für Millireaktoren ein sehr hohes Oberflächen- zu Volumenverhältnis, ein kleines allerdings im Vergleich zu $10\,000$ bis $20\,000 \text{ m}^2/\text{m}^3$, wie sie Mikroreaktoren erreichen. Diese Limitierung bedeutet, dass für eine kontrollierte Reaktionsführung weitere Maßnahmen nötig sind.

Die Erfahrung zeigt, dass Reaktionen umso langsamer ablaufen, je kälter die Umgebung ist. Bei Millireaktoren hat sich das Herabsetzen der Reaktionstemperatur zum kontrollierten Mischen am Anfang der Reaktion besonders bewährt. Die Reaktion lässt sich dann bei geringeren Oberflächen- zu Volumenverhältnissen sowohl isotherm als auch polytrop leicht kontrollieren. Vorzugsweise kann danach die Temperatur in den Verweilzeitstrecken wieder erhöht werden, um die Reaktionszeit zu reduzieren. Für diesen Zweck hat Fluitec ein Reaktor-Konzept entwickelt, das standardmäßig für Temperaturbereiche von -40 bis $200 \text{ }^\circ\text{C}$ eingesetzt werden kann. Die Verwendung von Contiplant-Tieftemperaturreaktoren ermöglicht die Reaktionsführung von sehr schnellen Reaktionssystemen, wie sie sonst nur Mikroreaktoren vorbehalten sind.

Einfacher Scale-Up

Oft treten jedoch in der Reaktionstechnik bei der Wärmeübertragung Probleme beim Scale-up auf. So sind beispielsweise Mikroreaktoren nur sehr beschränkt für einen Scale-Up geeig-



net. Fluitec-Mischer-Wärmetauscher werden dagegen im Großmaßstab seit vielen Jahren in der chemischen Reaktionstechnik eingesetzt. Sie werden in der Kunststoffherstellung sowie in der Fein- und Spezialchemie für die kommerzielle Produktion genutzt. Es mussten daher lediglich Scale-down-fähige Millireaktoren entwickelt werden, die im Labor für die Prozessentwicklung geeignet sind. Dies ist aufgrund der verfahrenstechnischen Ähnlichkeit der Apparate von Contiplant Lab und Pilot in den technischen Maßstab gut möglich.

Mit den Mischer-Wärmeübertragern kann die Skalierung mit konstanten spezifischen Oberflächen-/Volumenverhältnissen erfüllt werden. Besondere konstruktive Merkmale sind:

- Mischer-Wärmeübertrager-Fläche als Paket ausbaubar
- Die gesamte Oberfläche kann kontrolliert gereinigt werden
- Der Querschnitt ist in der Hauptströmungsrichtung geometrisch überall definiert und reduziert die Maldistribution, sodass stets eine enge Verweilzeitverteilung gegeben ist
- Hohe volumenspezifische Wärmeübertragungsfläche, daher besonders geeignet für hochviskose Flüssigkeiten und temperatur-sensitive Medien

» prozesstechnik-online.de/cav0913###

Die Autoren:

Daniel Altenburger
Projektmanager,
Fluitec Georg

Alain Georg
Geschäftsführer,
Fluitec Georg