

Fluitec Druckvorlage Nr. 11.136 Rev. 1

Von Batch zu Conti: Prozessintensivierung von Fluitec

Das Umstellen eines Batch-Prozesses auf die kontinuierliche Betriebsweise bietet verschiedene entscheidende Vorteile wie erhöhte Sicherheit, konstante Produktqualität und maximale 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.

Vorteile bei kontinuierlicher Reaktionsführung

Einmal in Betrieb genommen, bieten kontinuierliche Verfahren mehrere entscheidende Vorteile wie:

- verbesserte Reaktionskontrolle
- kleines Reaktionsvolumen
- keine Totzonen
- stabile Betriebsweise
- keine Reinigungs- und Beschickungszeiten
- geringer Platzbedarf, etc.

Bei statischen Mischern kommt der Vorteil hinzu, dass im Gegensatz zu Rührwerksreaktoren keine bewegten Teile vorhanden sind und dadurch Wartungsarbeiten praktisch ausgeschlossen sind.

Charakterisierung der Reaktion

Mit entsprechend gestalteten Experimenten im Reaktionskalorimeter, Rührwerksreaktor oder gar im einfachen Becherglas lassen sich eine Fülle von technischen Informationen gewinnen wie: Reaktionsgeschwindigkeit (Kinetik), Wärmetönung und das chemische Gleichgewicht (Thermodynamik), Selektivität, Umsatz, Nebenprodukte, Viskositätsverlauf, erforderliche Energiedissipation zur Mischung, Temperaturabhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit nach Arrhenius, etc.

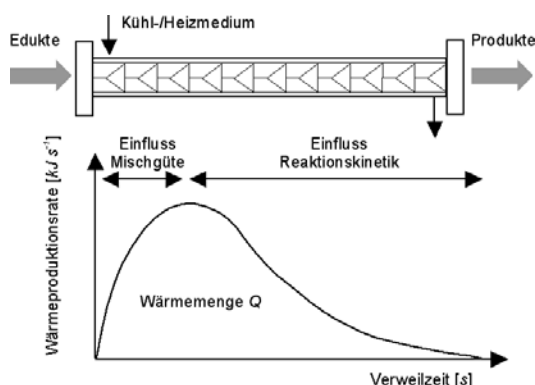


Abb. 1 Der Verlauf der Wärmeproduktionsrate kann vom Batch-Rührkessel auf kontinuierliche Rohrreaktoren übertragen werden

Vom Batch-Reaktor zur kontinuierlichen Reaktion

Die Daten aus dem Batch-Reaktor können auf kontinuierlich arbeitende Rohrreaktoren übertragen werden. Unter Berücksichtigung der Mischeffizienz sowie der Wärmeströme wird die Reaktionszeit im Batch-Reaktor zur Verweilzeit im kontinuierlichen Rohrreaktor (Abb. 1).

Fluitec ist in der Lage, den Temperaturverlauf im Rohrreaktor sehr genau zu berechnen und graphisch leicht verständlich darzustellen. Aufgrund der ermittelten kinetischen und thermodynamischen Daten sowie der gerechneten Wärmeübergänge werden die gerechneten Temperaturprofile in der Praxis nicht selten auf +/- 1 °C genau bestätigt. Dies ist besonders bei temperatursensitiven oder gar explosiven Stoffen oder bei Reaktionen mit starker Wärmetönung von sehr grosser Bedeutung.

Die Wärmebilanz für den idealen kontinuierlichen Strömungsreaktor ist eine gute Berechnungsgrundlage für den CSE-XR Reaktor. Sie lautet:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -\bar{c}_p \cdot m \cdot \frac{\partial [w_z \cdot T]}{\partial z} + (-\Delta H_R) \cdot V \cdot r_v + \alpha \cdot A \cdot (T_{gr} - T)$$

Gl. 1: Wärmebilanz für den idealen kontinuierlichen Strömungsreaktor

contiplant PILOT by fluitec

Die Produkte-Linie conti plant von Fluitec erlaubt dem Betreiber flexible und selbstständige reaktionstechnische Abklärungen im Pilotmassstab. Ein Leitungsdurchmesser von nur 8 mm genügt bereits für die kontinuierliche Herstellung von bis zu 1'200 kg Produkt pro Tag. Abb. 3 zeigt eine mpp mit mehreren Temperatur-, Druck- und pH-Sensoren und Anbindung an das werkseitige Prozessleistsystem (Material: PTFE/Hastelloy, alle Geräte Ex-geschützt).

Die Erkenntnisse dienen zur Auslegung verschiedener kontinuierlicher Produktionsanlagen. Fluitec baut zudem standardisierte Misch- und Reaktionsstrecken, welche nach Kundenwunsch mit Temperaturfühlern, Doppelmänteln, Dosierstellen, etc. ausgerüstet werden können. So lassen sich die reaktionstechnisch relevanten Parameter durch einfaches Durchleiten der Reaktanden bestimmen. Diese modular zusammensetzbaren pilot-Rohrreaktoren sind in Stahl, Hastelloy oder Kunststoff erhältlich und können sowohl mit niederviskosen wie auch mit hochviskosen Stoffen betrieben werden.

contiplant PILOT
by fluitec

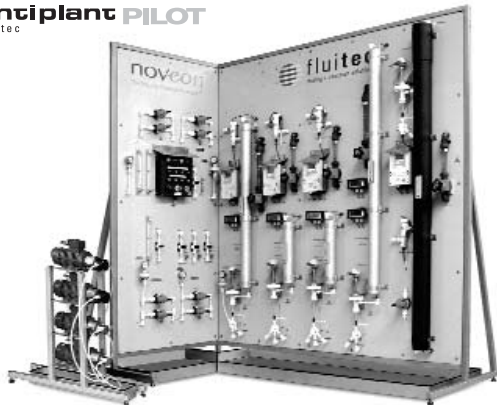


Abb. 3 contiplant von Fluitec für die flexible Charakterisierung von bis zu 5-stufigen exothermen Reaktionen aggressiver Medien.

Schnelle Reaktionen

Als schnell wird eine Reaktion bezeichnet, wenn der Umsatz bereits nach (Bruchteilen) einer Sekunde vollständig beendet ist. Die beeinflussende Grösse ist in diesem Fall nur die Mischeffizienz des verwendeten Reaktors. Besonders bei mehrphasigen Reaktionen (flüssig/flüssig oder gas/flüssig) oder bei der Verwendung von festen oder dispergierten Katalysatoren ist die innige Vermischung jedoch ebenfalls sehr wichtig, weil der Stofftransport durch die verschiedenen stationären Grenzschichten limitiert ist.

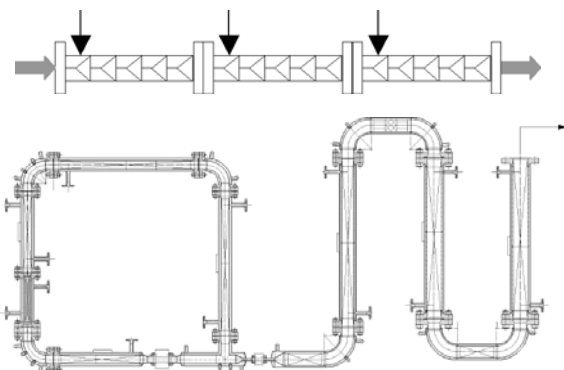


Abb. 4 Oft ist eine kaskadierte Dosierung der Reaktanden (oben) oder der Betrieb in einem Loop-Reaktor (unten) notwendig, um hohe Wärmetönungen abzufangen.

Da diese Reaktionen praktisch sofort nach der Kontaktierung der Reaktionspartner ablaufen, ist die kontrollierte Wärmeabfuhr insbesondere bei Rührkesseln im Grossmassstab oft ein signifikantes Problem und Sicherheitsrisiko. Im kontinuier-

lich geführten Rohrreaktor lässt sich der Zeitpunkt der grössten Wärmeentwicklung hingegen örtlich präzise voraussagen. Volumen, Verweilzeit, spezifische Oberfläche und Wärmeabfuhr lassen weitgehend frei definieren, da auch Kaskaden oder Schlaufenreaktoren realisiert werden können. Das Reaktionsvolumen und das Betriebsrisiko können dementsprechend minim gehalten werden.



Abb. 5 Patentierter CSE-XR Mischer-Wärmetauscher von Fluitec für intensives Mischen bei gleichzeitig hoher Wärmeabfuhr.

Langsame Reaktionen: Verweilzeitreaktoren

Die kontinuierliche Betriebsweise von langsamen Reaktionen erfordert oft ein besonderes Augenmerk auf die Verweilzeitverteilung. Diese kann durch einen Dirac-Stoss erfasst werden. Je enger das Zeitfenster beim Austritt des Tracers ist, desto eher nähert sich die Fließscharakteristik einer Pfropfenströmung an. Die Verweilzeitverteilung wird durch die Bodensteinzahl Bo [-] ausgedrückt. Die starke radiale Mischeffizienz von statischen Mischelementen ist unabhängig von den Viskositäten der Medien. Speziell gestaltete Ein- und Auslaufstrecken ermöglichen auch bei Reaktionszeiten von mehreren Stunden äusserst enge Verweilzeitverteilungen. Verweilzeitreaktoren von bis 70 m Gesamtlänge (DN 450) werden erfolgreich betrieben.

Die Strömungsführung wird experimentell und mit CFD-Unterstützung entwickelt und laufend neuen Problemstellungen angepasst. Die erarbeiteten theoretischen Grundlagen erlauben präzise Berechnungen für das einzusetzende Equipment. Besondere Berücksichtigung erfordern auch thermisch induzierte Konvektionsströme.

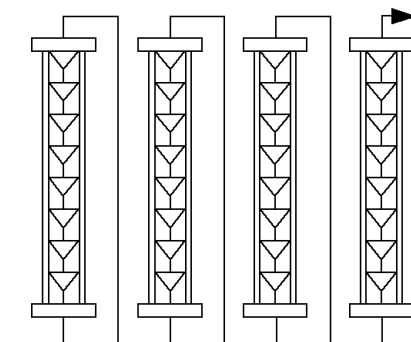


Abb. 6 Grosse kontinuierliche Verweilzeitreaktoren müssen oft segmentiert gebaut werden.

Anwendungsbeispiele

Kontinuierliche Rohrreaktoren von Fluitec können für folgende Reaktionen eingesetzt werden: Polymeraufbereitung, Veresterungen, Nitrierungen, Diazotierungen, Umlagerungen, Alkylierungen, Halogenierungen, Hydrierungen, Oxidierungen, Polymerisationen, Neutralisationen, etc.