

cav

chemie-anlagen + verfahren

Die Zeitschrift für Chemie- und Pharmatechnik



5

2010

Zuverlässige Verladelösungen für Schiffe, Tanklastwagen und Großgebäude

SICHERER EINBLICK

**Scheibenwischerantrieb
für Schaugläser**

PROGRAMMIERT AUF ANPACKEN

**Palettierroboter
steigert Effizienz**

DRUCKVERLUST REDUZIERT

**Statkmischer für
laminare Strömung**

Mit Sonderteil Armaturen, Rohre, Schläuche, Dichtungen

Optimierte Begasungsreaktoren

Rühr- und Mischtechnologien für zwei- und dreiphasige Reaktionen

Dr. Thorsten Grebe

Eine moderne Mischtechnik kann die Leistung insbesondere von Begasungsreaktoren signifikant steigern. Oftmals genügt ein einfaches Upgrade bestehender Anlagen, wobei die Investitionskosten im Vergleich zum Mehrwert vergleichsweise gering sind. Hinzu kommt ein Trend zu maßgeschneiderten, individuellen Rührsystemen, um vor dem Hintergrund steigender Rohstoff- und Energiekosten die Effizienz der Prozesse zu steigern.

Typische Gas-Flüssig-Reaktionen bestehen in der Regel aus einer komplexen Zwei- oder Drei-Phasen-Reaktion, in der das Prozessgas der flüssigen Phase zugeführt, in dieser gelöst und an einem Katalysator absorbiert wird oder direkt mit dem Basismolekül reagiert. Beim Mischen liegt der größte Transportwiderstand bei schnellen Reaktionskinetiken im Stoffübergang aus den Gasblasen in die Flüssigkeit. Somit führt die Steigerung des Stoffübergangs in die Flüssigphase zu einer direkten Erhöhung der Umsatzrate, wenn die chemische Reaktion selbst ausreichend schnell ist.

Erreicht unreaktiertes Gas die Flüssigkeitsoberfläche, sammelt es sich im Kopfraum des Behälters, sodass der Druck im Behälter steigt. Um die Überschreitung des zulässigen Verfahrensdrucks zu vermeiden, muss die Gaszufuhr gedrosselt werden, was zu einer Verlangsamung des Prozesses führt, oder Gas aus dem Reaktor ausgeschleust werden, wodurch dieser Rohstoff verloren geht.

Traditionelle Gas-Flüssigreaktoren sind durch die oftmals noch angewandte „Oberflächenbegasung“ nicht in der Lage, ausreichend Stoffübergang zu gewährleisten. In diesen Behältern führt ein nahe der Flüssigkeitsoberfläche installiertes Rührorgan Gas aus dem Kopfraum zurück in die Flüssigkeit. Die Leistungsfähigkeit derartiger Systeme ist aber relativ gering, sodass viele Reaktionen weiter stoffübergangslimitiert bleiben. Dies stellt insbesondere vor dem Hintergrund immer größer werdender Reaktoren ein Problem dar, da mit anwachsendem Volumen V auch die Flüssigkeitsoberfläche A gemäß $A/V \sim 1/d_1$ mit dem Behälterdurchmesser d_1 abnimmt.

Alternativ kann ein Kompressor oder ein

externer Flüssigkeitskreislauf eingesetzt werden. Ersterer führt über eine externe Verrohrung das Gas aus dem Kopfraum zurück zum Behälterboden. Bei der zweiten Lösung wird mittels einer Pumpe Prozessflüssigkeit über einen externen Kreislauf geführt. Eine zusätzliche, ähnlich wie eine Wasserstrahlpumpe arbeitende Düse saugt dabei das Gas aus dem Kopfraum an und führt es in die Flüssigkeit zurück. Beide Lösungen benötigen aber zusätzliche Ausrüstung, was zu erhöhtem Investitions-, Wartungs- und Platzbedarf führt.

Eine wirtschaftlich günstige Alternative stellt die Ekato-Combi-Begasung dar. Diese kann durch einfachen Umbau und Ersatz bestehender Rührwerke die Leistung eines Reaktors deutlich verbessern. Dieses Konzept hat mittlerweile einen festen Platz bei der Umsetzung technisch reiner Gase wie H_2 , O_2 , CO , EO usw. gefunden. In der Standardaus-

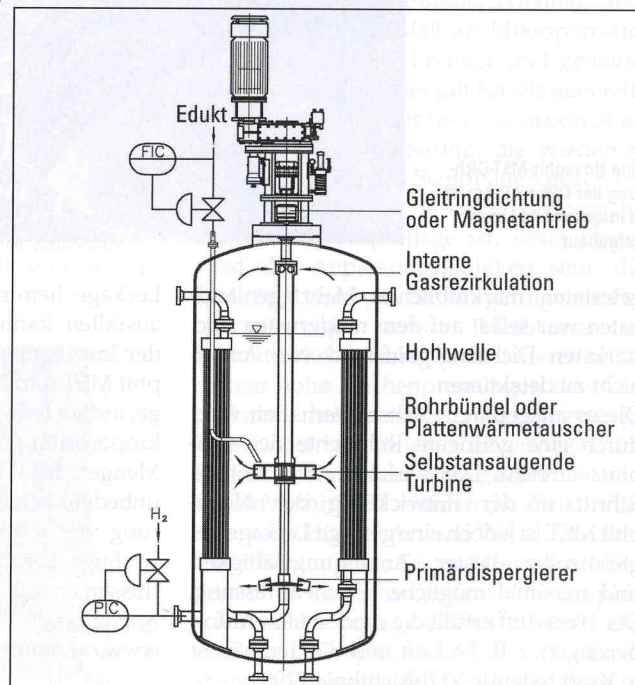
Bei der Combi-Begasung kommt der Gasjet zum Einsatz – eine selbst ansaugende Begasungsturbine, die Gas vom Oberflächenbereich durch die Hohlwelle und die Unterdruckzone der Kanäle zurück in die Flüssigkeit fördert

führung wird dabei Frischgas vom Primärdispertier Ekato-Phasejet fein zerteilt und geht teilweise in Lösung. Der nicht umgesetzte Rest steigt in den Gasraum auf und wird von dort über eine selbstansaugende Turbine, dem Ekato-Gasjet, permanent in die Flüssigkeit rezirkuliert. Dies führt zu hohen Stoffübertragungsraten und einer schnellen und vollständigen Umsetzung des Gases.

Der Gasjet – eine selbst ansaugende Begasungsturbine – wirkt dabei wie ein „interner Kompressor“. Das Gas aus dem Kopfraum wird durch die Hohlwelle in die Unterdruckzone der Kanäle des Gasjets gezogen. Das Gas wird somit in den Bereich hoher lokaler Leistungsdichte zugeführt, sodass sich kleine Gasblasen bilden können, was den Stoffübergang begünstigt. Dadurch ist die Stoffübergangsleistung der Combi-Begasung den wesentlich komplexeren – und damit teureren – externen Kreislaufsystemen überlegen. Das Hauptanwendungsgebiet für derartige Systeme sind neben Hydrierung (z.B. Anilin- und Sorbitolherstellung) generell alle Gas-Flüssigreaktionen, bei denen technisch reine Prozessgase verwendet werden.

Ethoxylierung

Einige Verfahren erfordern es, ein derartiges Rührsystem zusätzlich auf die speziellen Prozessbedingungen abzustimmen, um auch hier eine deutliche Effizienzsteigerung zu erzielen. Bei Ethoxylierungen werden Alkohole, Fettsäuren, Phenole, Amine oder Wasser mit Ethylenoxid umgesetzt. Dabei können, abhängig von der Art und dem Mengenverhältnis der Ausgangsstoffe



zur umgesetzten Ethylenoxidgehalt, die erwünschten Produkteigenschaften gezielt beeinflusst werden. Die Reaktion wird in der Regel batchweise in Rührkesseln durchgeführt. Dabei wird der Grundstoff (z. B. ein Alkohol) vorgelegt und mit einem Katalysator auf Reaktionstemperatur erwärmt. Danach wird Ethylenoxid eingespeist. Die Reaktionen mit EO sind im Allgemeinen sehr schnell und von einer hohen Wärmeentwicklung begleitet. Die Zufuhr erfolgt zwar in der Regel flüssig, aufgrund des niedrigen Siedepunkts (ca. 11 °C bei Normaldruck) verdampft der nicht sofort umgesetzte Anteil unter den üblichen Prozesstemperaturen zwischen 120 und 180 °C sofort. Durch die Verdampfung steigt der Druck im Behälter, sodass die EO-Zufuhr gedrosselt werden muss, um einen unzulässigen Druckanstieg zu vermeiden.

Die von Ekato entwickelte Combi-Begasung kann auch durch die Rezirkulierung des Ethylenoxidgases zu deutlichen Reaktionszeitverkürzungen führen. Ist eine ausreichende Kühlkapazität vorhanden, kann daher die Zufuhrate des Ethylenoxids signifikant erhöht werden.

Die Eigenheiten dieses Reaktionstyps erfordern aber auch zusätzliche Anpassungen an Rührwerk und Behälter. Insbesondere ist der zum Teil extrem kleine Anfangsfüllstand, der mit fortschreitender Reaktion immer weiter ansteigt, zu berücksichtigen. Das Endvolumen variiert mit dem Produkttyp und kann daher in Mehrzweckanlagen unterschiedlich ausfallen. Um bereits zu Prozessbeginn einen ausreichenden Stoff- und Wärmeübergang zu gewährleisten, werden gegebenenfalls spezielle Behälterbauformen verwendet. Weiter ist zu berücksichtigen, dass die von

selbstansaugenden Rührorganen rezirkulierte Gasmenge mit zunehmender Flüssigkeitsüberdeckung abnimmt. Um dem ansteigenden Füllstand Rechnung zu tragen, oder um in Mehrzweckanlagen generell unterschiedliche Füllstände zu handhaben, kann der Gasjet auch mehrstufig eingesetzt werden. Dies gewährleistet stets eine ausreichende Gasrezirkulation unabhängig vom Füllstand.

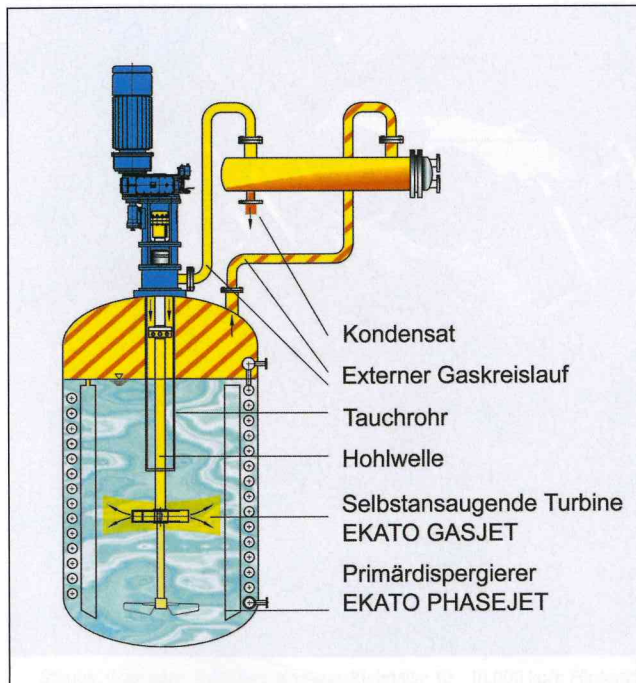
So konnte durch einen entsprechenden Rührwerksumbau eine Erhöhung der EO-Zufuhr um 45 % realisiert werden, wodurch die Reaktionszeit gleichermaßen reduziert wurde. Mit der ansonsten unverändert gebliebenen Anlage kann somit der Ausstoß signifikant erhöht und die Wirtschaftlichkeit deutlich verbessert werden.

Externe Kondensation

Bei einigen Reaktionen entsteht ein gas- oder dampfförmiges Nebenprodukt, z. B. Wasser. Bei Veresterungen handelt es sich um Gleichgewichtsreaktionen, daher muss das Wasser aus dem Reaktionsgemisch entfernt werden, um einen möglichst hohen Umsatz und eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit zu gewährleisten.

Dies kommt besonders am Ende eines Batches zum Tragen, wenn das Reaktionsgemisch bereits an Edukten verarmt ist und bereits kleine Wasseranteile den weiteren Reaktionsfortschritt verhindern. Zwar werden diese Reaktionen oftmals oberhalb des Siedepunkts von Wasser ausgeführt, um aber die Entfernung des Wassers zu beschleunigen, kann dem Reaktionsgemisch ein inertes Schleppgas (z. B. Stickstoff) zugeführt werden.

Bei Verwendung konventioneller Prozesstechnik führt man das mit Wasser angereicherte Schleppgas aus dem Kopfraum des Behälters über einen externen Kondensator, um das Was-



Selbstansaugende Begasung mit externem Kreislauf, Beispiel einer Veresterung mit Wasser (dampfförmig) als Nebenprodukt. Der Rührer arbeitet hier als Gebläse für die Kreislaufführung des Schleppgases.



Ethoxylierungsreaktor mit zweistufigem Gasjet zur Rezirkulation bei unterschiedlichen Füllständen: ein Beispiel für die apparative Anpassung an besondere Prozessanforderungen

ser abzutrennen. Anschließend wird das Gas mit Hilfe eines Gebläses wieder in das Reaktionsgemisch zurückgeführt. Hierbei entstehen aber wieder zusätzliche Investitions- und Unterhaltskosten für die Gasrezirkulation.

Alternativ kann aber auch hier ein selbstansaugendes Rührwerk die Aufgabe des Gebläses übernehmen. Das Gas wird in diesem Fall nicht direkt aus dem Kopfraum in die Flüssigkeit zurückgeführt, sondern zuvor über einen externen Kondensator gereinigt. Um eine Rückvermischung mit dem verunreinigten Gasgemisch zu vermeiden, erfolgt die Rückführung in ein unter der Rührwerkslaterne konzentrisch um die Welle geflanshtes Tauchrohr, das das zurückgeführte gereinigte Gas vom Kopfraum des Behälters trennt. Aus dem Tauchrohr wird dann das Schleppgas von der selbstansaugenden Turbine in die Flüssigkeit rezirkuliert. Für nicht kondensierbare Abgase kann anstatt eines Kondensators ein anderes Trennprinzip, z. B. ein Gaswäscher zur Anwendung kommen.

Da das Schleppgas während des Prozesses nicht verbraucht werden muss, handelt es sich bei diesen Verfahren nicht um eine Begasungsreaktion im eigentlichen Sinne. Auf ein primär dispergierendes Rührorgan kann daher in diesem Fall verzichtet werden. Statt dessen sorgt ein im Bodenbereich installierter Viscoprop als axial förderndes Rührorgan für eine gute Homogenisierung des gesamten Inhalts.

Online-Info
www.cav.de/0510460