

Fluitec Druckvorlage Nr. 11.109 Rev. 1

Gas- / Flüssigkeits-Kontaktapparat GD-Reaktor Konzept

GD-Reaktoren bieten sich für Prozesse an, welche bei intensiver Kontaktierung gleichzeitig eine hohe Verweilzeit beanspruchen. Durch den Einsatz von Pumpenergie können im Vergleich zum Air-Lift ungleich höhere Energiedissipationsraten erreicht werden und im Gegensatz zum In-Line Verfahren entstehen durch die mehrfache Rezirkulation höhere Verweilzeiten. GD-Reaktoren werden auch in Konti-Prozessen eingesetzt.

Der Rührkessel

Der Rührkessel ist zwar der industriell wichtigste Reaktortyp, doch hat sich in den letzten Jahrzehnten herausgestellt, dass er bei bestimmten Produktionsprozessen mit erheblichen wirtschaftlichen Nachteilen verbunden ist. Das Rührwerk hat die Aufgabe, Gasblasen zu zerteilen und über den Reaktorinhalt zu verteilen. Dabei wirkt die zugeführte Energie primär auf die die Gasblasen umgebende Flüssigkeit, wodurch ein erheblicher Anteil der aufgewendeten Energie wirkungslos dissipiert wird. Dieser Effekt macht sich insbesondere beim Scale-up nachteilig bemerkbar.

Der GD-Reaktor von Fluitec verwendet als Dispergierorgan stets statische Mischsysteme. Diese weisen gegenüber dynamischen Rührwerken verschiedene Vorteile auf: effiziente und konstante Mischleistung, keine Totzonen, geringes Reaktionsvolumen, enges Verweilzeitspektrum, vernachlässigbare Wartung und minimaler Verschleiss.

Ein hoher Gastransfer 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.

$$\dot{n} = k_L a \cdot (c^* - c) \quad \text{Gl. 1}$$

\dot{n}	Stoffübergang [g m ⁻³ s ⁻¹]
$k_L a$	Spez. Stofftransportkoeffizient [s ⁻¹]
c^*	Sättigungskonzentration [g m ⁻³]
c	aktuelle Konzentration [g m ⁻³]

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 (Abb. 1, inkl. k_G). 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. 2]. Der Zusammenhang wird über die stoffspezifische Henrykonstante H_i beschrieben:

$$p_i = H_i \cdot c_i \quad \text{Gl. 1}$$

p_i	Partialdruck des Gases i [Pa]
p_i^*	Partialdruck des Gases i bei Sättigung [Pa]
H_i	Henrykonstante [Pa]
c_i	Gelöst-Gas-Konzentration [mol mol ⁻¹]
c_i^*	Konzentration bei Sättigung [mol mol ⁻¹]

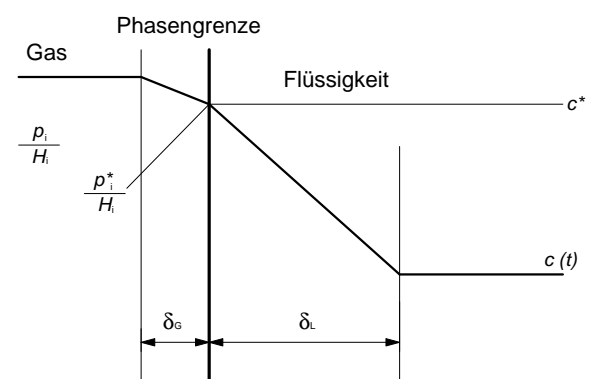


Abb. 1 Darstellung des Konzentrationsgefälles im System Gas/Flüssigkeit nach der Zweifilmtheorie unter Berücksichtigung des Henryschen Gesetzes

Die Gastransferrate ist zum flüssigkeitsseitigen Stofftransportkoeffizienten k_L , zur spezifischen Stoffaustauschfläche a sowie zur Konzentrationsdifferenz $\Delta c = c^* - c_L$ direkt proportional. Während dem Δc durch physikalische Parameter wie Druck, Temperatur und Konzentration beeinflusst werden kann, ist der Term $k_L a$ ein Resultat

der apparativen Bauweise eines Kontaktapparates. 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. Für eine Vielzahl von Prozessen ist der FSBR-Reaktor weder als Air-Lift noch als In-Line System die ideale Lösung und oft wäre eine Kombination beider Verfahren von Vorteil. Dies kann verschiedene Gründe haben:

- grosser Volumenstrom an Gas im Verhältnis zur Flüssigkeit
- langsame, nachfolgende Reaktion: kinetische Limitierung erfordert Verweilzeit
- hohe Energiedissipation ist für intensive Kontaktierung erforderlich: z.B. bei hohen Viskositäten
- hohe Wärmeabfuhrleistung bei stark exothermen Reaktionen: Kombination mit CSE-XR Mischer-Wärmetauscher-Reaktor.

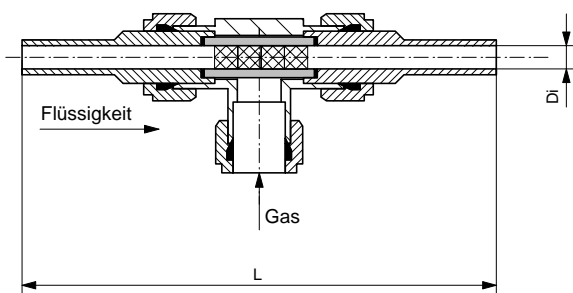


Abb. 2 FSBR DN8 in Swagelok-Verschraubung

Der GD-Reaktor

Das GD-Reaktor Konzept vereint die Vorteile beider Verfahren und wird all diesen Ansprüchen gerecht. Das neuartige GD-Verfahren wurde mit der Zürcher Hochschule Winterthur ZHW und einem grösseren Chemie-Unternehmen entwickelt. Die Lizenz wurde der Firma Fluitec Georg AG exklusiv übertragen. Der neuartige GD-Reaktor lässt sich in vier wesentliche Bereiche unterteilen (Abb. 3):

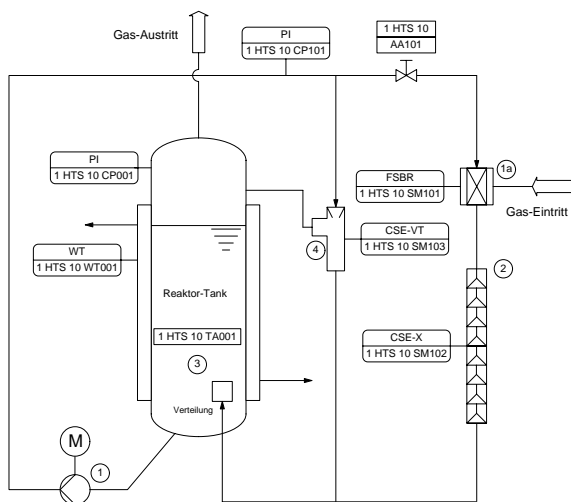


Abb. 3 Fließbild eines GD-Reaktors Version 101

1) Eine Pumpe garantiert die nötige Anströmung der porösen Sinterfläche der Gasdosierstelle 1a). Dadurch werden auch bei hohen Viskositäten

feinste Gasblasen gebildet (hohe spezifische Stoffaustauschfläche a).

2) Die nachfolgende Misch- und Kontaktierstrecke erlaubt das intensive Vermischen unter konstanter Energiedissipation. Die durch die statischen Mischer erzeugten Turbulenzen bauen kontinuierlich die die Blasen umgebende stationäre Grenzschicht ab und erhöhen dadurch den Gastransfer wesentlich (dünne Grenzschicht k_L).

3) Der grosse Mediumtank sorgt für die bei langsamen Reaktionen nötige Verweilzeit.

4) Aus wirtschaftlichen oder sicherheitlichen Gründen kann es erforderlich sein, dass das zugeführte Gas möglichst vollständig in die Flüssigkeit eingetragen wird. In diesem Fall muss das ungelöste Gas, welches sich im Kopfraum des Mediumtanks sammelt, als sogenanntes Kreisgas immer wieder neu in die Flüssigkeit eingebracht werden. Dies kann mit gasfördernden Pumpen oder durch den selbstansaugenden CSE-VT Injector im GD-Reaktor realisiert werden.



Abb. 4 Blasenbild im GD Reaktor (CSE-X)

Der GD-Reaktor kann kontinuierlich betrieben und auch in Serie geschaltet werden. Im Gegenstromprinzip lassen sich so grosse Mengen an schwer löslichen, reaktiven, teuren oder toxischen Gasen vollständig in der Flüssigkeit lösen. Der Stoffeintrag kann nach entsprechenden Vorversuchen und mittels Computermodellen berechnet werden. Bei sehr stark exothermen Reaktionen können Injektor, FSBR-Reaktor und statischer Mischer mit dem CSE-XR Wärmetauscher kombiniert werden. Dieses Wärmetauschersystem zeichnet sich durch eine sehr hohe Wärmeabfuhrleistung aus. Im Gegensatz zu Plattenwärmetauschern werden Totzonen strikt vermieden und es herrscht eine sehr grosse und homogene Energiedissipation. So kann die Reaktion jederzeit vollständig kontrolliert werden. Die nötigen Sicherheitsvorkehrungen können drastisch reduziert werden.