

Reaktionskammer für einen chemischen Reaktor und hieraus aufgebauter chemischer Reaktor

Die Arbeiten, die zu dieser Erfindung geführt haben, wurden gemäß der Finanzhilfvereinbarung Nr. 246461 im Zuge des Siebten Rahmenprogramms der Europäischen Union (FP7/2007-2013) gefördert.

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Reaktionskammer für einen chemischen Reaktor, umfassend einen Mantel der Reaktionskammer, einen Boden der Reaktionskammer mit einer in dem Boden befindlichen Öffnung und eine in der Kammer befindliche Rührerwelle mit mindestens einem damit verbundenen Rührelement. Sie betrifft weiterhin einen chemischen Reaktor, welcher eine Mehrzahl von erfindungsgemäßen Reaktionskammern umfasst, sowie ein Verfahren zur
- 10 Durchführung von chemischen Reaktionen in einem solchen Reaktor.

Für viele chemische Apparate ist es vorteilhaft, eine gute Durchmischung mit einer engen Verweilzeitverteilung in kontinuierlicher Fahrweise zu kombinieren. Vorteile der guten Vermischung sind beispielsweise die Verringerung von Stoffübergangswiderständen, eine schnellere Homogenisierung oder das Suspendieren von Feststoffen.

- 15 Eine enge Verweilzeitverteilung ermöglicht häufig eine höhere Produktqualität und eine höhere Raum-Zeit-Ausbeute. Zu den Vorteilen einer kontinuierlichen Fahrweise zählen unter anderem die Verstetigung der Produktqualität, höhere Ressourceneffizienz, geringere Rüstzeiten, ein höherer Automatisierungsgrad und geringere Hold-up Volumina.

- Mögliche Anwendungen, auf die das genannte Anforderungsprofil zutreffen kann, sind die
- 20 kontinuierliche Verarbeitung von ein- oder mehrphasigen Flüssigkeiten, Dispersionen, Gas-Flüssig-Mischungen, überkritischen Fluiden oder Mischungen dieser Materialien in verschiedenen verfahrenstechnischen Apparaten wie chemischen oder biologischen Reaktoren sowie Apparaten zur Absorption, Extraktion oder Kristallisation.

- In vielen chemischen Prozessen ist zusätzlich der erzielbare Wärmeaustausch ein zu beachtender
- 25 Parameter. Mikrostrukturierte Apparate bieten hier die Möglichkeit, sehr hohe spezifische Wärmeaustauschflächen zu erreichen. Aufgrund ihres geringen Volumens sind sie jedoch nicht für Reaktionen mit langer Verweilzeit geeignet, wenn ein gewisser Durchsatz erreicht werden soll. Ferner stellt die Gefahr von Fouling und Verblockungen durch im Prozess vorhandene Feststoffe aufgrund der kleinen Kanaldurchmesser eine große Herausforderung dar.

- 30 Da Feststoffe, z.B. in Form eines heterogenen Katalysators oder unlöslicher Reaktionsprodukte, in vielen verfahrenstechnischen Prozessen als erwünschte oder unerwünschte Bestandteile vorliegen, kann das Handling von suspendierten Feststoffen eine zusätzliche Anforderung an das

Prozessequipment darstellen.

In der Praxis kann das definierte Anforderungsprofil am ehesten durch eine Kaskade in Reihe geschalteter, kontinuierlich betriebener Rührkessel realisiert werden. Unter bestimmten Bedingungen kann jedoch eine kompaktere Bauweise des Apparates nötig sein. Ein solcher Anwendungsfall ist z.B. der Einbau in kompakten, modularen Produktionsanlagen.

Es ist weiterhin bekannt, dass das definierte Anforderungsprofil in bestimmten Anwendungsfällen auch durch die Unterteilung eines Strömungsrohres in mehrere Kompartimente, die jeweils durch geeignete Rührer gemischt werden und die durch Öffnungen miteinander verbunden sind, erfüllt werden kann.

- 10 Jedoch hängt die Leistungsfähigkeit eines solchen Apparates stark von den Betriebsbedingungen ab. Eine hohe Rührerdrehzahl, lange Verweilzeiten und große Öffnungen zwischen den einzelnen Kompartimenten führen zu einem höheren Grad an Rückvermischung und damit zu einer weiteren Verweilzeitverteilung (z.B. L. Zhang, Q. Pan, G.L. Rempel, Residence Time Distribution in a Multistage Agitated Contactor with Newtonian Fluids: CFD Prediction and Experimental
15 Validation: Industrial & Engineering Chemistry Research, Ind. Eng. Chem. Res. 46 2007, 3538-3546.).

- Solche Apparate finden vor allem in der Extraktionstechnik breite Anwendung. Theoretisch kann die Rückvermischung durch die Verwendung sehr kleiner Öffnungen zwischen angrenzenden Kompartimenten minimiert werden. In diesem Fall steigt jedoch der Druckverlust im Apparat und
20 der Austrag von Feststoffen ist nicht mehr möglich, so dass diese Maßnahme in der praktischen Anwendung häufig ungeeignet ist.

- Die Anwendung eines kaskadierten Rohres in der Reaktionstechnik ist beispielsweise in US 4,370,470 (DE 32 13 628 A1) beschrieben. Gegenstand ist eine Kontaktvorrichtung, bei der es sich um ein senkrechtes langes zylindrisches Gehäuse mit geschlossenen Enden handelt, das durch
25 waagerechte Prallplatten in mehrere Einzelkammern unterteilt ist, mit Zugang von einer Kammer zur anderen durch konzentrische kreisförmige Öffnungen, die axial zentriert in den Prallwänden sind, mit einer kontinuierlich drehbaren Welle, die sich konzentrisch mit den Prallwänden innerhalb des Gehäuses erstreckt, mit mindestens einer Rührereinrichtung, die an die Welle befestigt ist, in jeder Kammer, wobei die Welle in den kreisförmigen Öffnungen ringförmige Öffnungen in den
30 Prallwänden ergibt, derart, dass das Verhältnis des Rückströmungsausmaßes zum Beschickungsausmaß durch die Öffnungen kleiner als 1,5 ist. Beschrieben wird auch ein Verfahren zur kontinuierlichen Herstellung von Arylensulfidpolymeren, bei dem Reaktionskomponenten, die geeignet zur Herstellung von Poly(arylensulfid) sind, in mindestens eine erste Kammer des vorstehend beschriebenen Kontaktgefäßes eingespeist werden, wodurch ein Reaktionsgemisch

gebildet wird, das durch die Kammern der Kontaktvorrichtung geführt wird, während jede Kammer unter Bedingungen zur Bildung von Arylensulfidpolymeren gehalten wird, und Arylensulfidpolymeres aus einer Kammer gewonnen wird, die entfernt von der Kammer liegt, in die die Ausgangsreaktionskomponenten eingeführt werden. Der erzielbare Rückvermischungsgrad in derartigen Apparaten ist für Anwendungen, die eine sehr enge Verweilzeitverteilung benötigen, häufig zu hoch; insbesondere, wenn das Reaktorvolumen klein (einige Liter oder weniger) ist und die realisierbare Stufenzahl damit begrenzt ist.

WO 2006/126891 (EP 1 904 225) offenbart beispielsweise einen zylindrischen Reaktor für die kontinuierliche Behandlung einer gerührten Stoffzusammensetzung, die mindestens zwei Komponenten umfasst, umfassend eine Zahl von Reaktorkammern, die in einer hauptsächlich vertikalen Säule angeordnet sind, getrennt durch Bodenplatten, während der Transport der Stoffzusammensetzung von einer beliebigen Reaktorkammer im stationären Zustand angeordnet ist, um zu der angrenzenden Kammer unterhalb zu erfolgen, wobei jede Reaktorkammer mit einem Flügelmechanismus versehen ist. Der Flügelmechanismus umfasst ein ringförmiges Glied, das mit der Reaktorkammer konzentrisch ist und eine vertikale Verlängerung aufweist und mindestens ein bewegbares Rührglied, das angeordnet ist, um eine vertikale Bewegungskomponente in dem Stoff in der Kammer herbeizuführen. Der Transport ist von einer Kammer zu der nächsten Kammer angeordnet, um periodisch durch eine Öffnung mit einer Schieberklappe in der Bodenplatte jeder Kammer stattzufinden. Ein solcher Apparat hat jedoch den Nachteil, dass an jeder Kammer ein zusätzliches bewegliches Teil und damit verbunden auch eine Dichtung vorzusehen ist.

Kaskadierte Rohranlagen mit verlängerten Spalten zur Verringerung der Rückvermischung werden in den folgenden Publikationen beschrieben: J. R. Couper, Chemical process equipment: Selection and design, 2nd ed., Elsevier, Amsterdam, Boston, 2005, S.307-315 und B. C. Xu, W. R. Penney, J. B. Fasano, Interstage Backmixing for Single-Phase Systems in Compartmented, Agitated Columns: Design Correlations, Ind. Eng. Chem. Res. 44 (2005) 6103-6109.

Insbesondere für abrasive Systeme ist es wünschenswert, eine robustere apparative Lösung der beschriebenen Problemstellung zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich ist es wünschenswert, das Apparatedesign möglichst flexibel zu gestalten, so dass ein Einsatz mit verschiedenen Systemen und unter verschiedenen Prozessbedingungen möglich ist. Hierbei umfasst der Flexibilitätsbegriff sowohl die Eigenschaft, das Gesamtvolumen des Reaktors flexibel zu verändern wie auch den Austausch einzelner Elemente wie Rührer oder Strombrecher zur Optimierung der Geometrie für einen bestimmten Anwendungsfall.

Die vorliegende Erfindung hat sich die Aufgabe gestellt, einen Apparat bereitzustellen, welcher die genannten Anforderungen kombiniert. Vorzugsweise stellt dieser Apparat weiterhin eine möglichst

hohe spezifische Wärmeaustauschfläche zur Verfügung.

Erfindungsgemäß gelöst wird diese Aufgabe durch eine Reaktionskammer für einen chemischen Reaktor, umfassend einen Mantel der Reaktionskammer, einen Boden der Reaktionskammer mit einer in dem Boden befindlichen Öffnung und eine in der Kammer befindliche Rührerwelle mit
5 mindestens einem damit verbundenen Rührelement, wobei die Rührerwelle in Längsrichtung gesehen einen Anfang und ein Ende aufweist. Weiterhin ist in der Öffnung des Bodens eine herausnehmbare Hülse vorgesehen, welche aus der Reaktionskammer herausragt, die Hülse ist in einer Flucht mit der Drehachse der Rührerwelle angeordnet, der Innendurchmesser der Hülse ist größer als der Durchmesser der Rührerwelle und die Rührerwelle ist an ihrem Anfang und/oder an
10 ihrem Ende eingerichtet, um reversibel ein mittels einer weiteren Welle bereitgestelltes Drehmoment aufzunehmen und/oder ein Drehmoment auf eine weitere Welle zu übertragen.

Mittels einer Mehrzahl von erfindungsgemäßen Reaktionskammern kann ein chemischer Reaktor modular aufgebaut werden und flexibel an sich verändernde Anforderungen angepasst werden. Die erfindungsgemäße Reaktionskammer kann selbstverständlich nicht nur für chemische Reaktionen
15 im engeren Sinne eingesetzt werden, sondern auch beispielsweise für Extraktionen und dergleichen.

Der "Mantel der Reaktionskammer" ist derjenige Teil der Reaktorkammer, welcher bei einer aufrecht stehenden Reaktionskammer die seitliche Begrenzung des Kammerinneren zur Außenwelt, darstellt. Im Fall einer zylindrischen oder zylinderähnlichen Reaktionskammer handelt es sich dann
20 um den Zylindermantel. Dementsprechend ist der "Boden der Reaktionskammer" die in vertikaler Richtung gesehen untere Begrenzung des Kammerinneren zur Außenwelt.

Dem Gedanken einer modularen Verwendbarkeit folgend liegt in der Reaktionskammer bereits eine Rührerwelle mit mindestens einem damit verbundenen Rührelement zum Umrühren des Inhalts der Reaktionskammer vor. Es können sowohl radial als auch tangential fordernde Rührelemente
25 eingesetzt werden. Die Rührelemente können auch von der Rührerwelle abnehmbar und somit austauschbar gestaltet werden.

Weiterhin können in der Reaktionskammer zusätzliche Einbauten vorliegen. Diese erfüllen zwei Hauptzwecke. Zum einen dienen Sie als Strombrecher und verhindern das Mitrotieren der Flüssigkeit im Apparat und unterstützen eine intensive Durchmischung, zum anderen unterstützen
30 sie eine axiale und radiale Lagerung der Rührerwelle. Durch den modularen Aufbau ist die schnelle Anpassung an verschiedene Stoffsysteme realisierbar. Beispielsweise können in einem System höherer Viskosität ohne großen Aufwand die Strombrecher angepasst und Ankerrührer eingesetzt werden.

Eine feste obere Begrenzung des Kammerinneren zur Außenwelt, welche als "Deckel" aufgefasst werden könnte, ist für die erfindungsgemäße Reaktionskammer nicht zwingend notwendig. Dieses deshalb, da mehrere Reaktionskammern aufeinander gestapelt werden können (und sollen, um den weiter unten beschriebenen erfindungsgemäßen chemischen Reaktor zu bilden) und der Boden der

5 einen Reaktionskammer als Deckel der unter ihr liegenden Kammer fungieren kann.

Der Boden der erfindungsgemäßen Reaktionskammer weist ferner eine Öffnung auf. Durch diese Öffnung können Rührerwellen aus dem Inneren der Reaktionskammer herausgeführt werden und ferner Stoffe in die Kammer eingetragen oder aus der Kammer ausgetragen werden. Am Anfang und/oder am Ende der Rührerwelle ist diese eingerichtet, um ein Drehmoment aufzunehmen oder

10 weiterzugeben. Vorzugsweise handelt es sich um eine wieder lösbare formschlüssige Verbindung. Dieses kann beispielsweise mit einer einfachen Steckverbindung wie einem Innensechskant realisiert werden. Auf diese Weise kann bei aufeinander gestapelten erfindungsgemäßen Reaktionskammern eine gemeinsame Rührerwelle für alle Reaktionskammern geschaffen werden.

Die erfindungsgemäße Reaktionskammer weist ferner eine herausnehmbare Hülse auf, welche in

15 der Öffnung des Bodens angeordnet ist. In geometrischer Hinsicht ist die Hülse (und somit auch die Öffnung des Bodens der Reaktionskammer) in einer Flucht mit der Drehachse der Rührerwelle angeordnet, damit bei den zuvor erwähnten aufeinander gestapelten Reaktionskammern eine durchgehende Rührerwelle erhalten werden kann.

Weiterhin ist der Innendurchmesser der Hülse größer als der Durchmesser der Rührerwelle

20 (selbstverständlich werden an der Rührerwelle angebrachte Rührelemente bei der Bestimmung des Durchmessers nicht berücksichtigt). Dann kann auch bei einer durch die Öffnung und Hülse hindurch geführten Rührerwelle ein Stoffaustausch zwischen aufeinander gestapelten Kammern stattfinden. Vorzugsweise ist die Differenz zwischen dem Innendurchmesser der Hülse und dem Durchmesser der Rührerwelle $> 0 \text{ mm}$ bis $\leq 10 \text{ mm}$, mehr bevorzugt $\geq 1 \text{ mm}$ bis $\leq 8 \text{ mm}$ und

25 besonders bevorzugt $\geq 2 \text{ mm}$ bis $\leq 7 \text{ mm}$. Dadurch, dass die Hülse herausnehmbar ist, kann für jedes Reaktionssystem der Stoffaustausch durch die Öffnung zwischen Hülse und Rührerwelle individuell angepasst werden.

Dadurch, dass die Hülse aus der Reaktionskammer hinausragt, sorgt sie für eine verringerte Rückvermischung zwischen dem Inhalt ihrer Reaktionskammer und dem Inhalt der

30 darauffolgenden Reaktionskammer, in die sie wiederum hineinragt. Das Ausmaß, in dem die Hülse durch die Öffnung aus der Reaktionskammer hinausragt, kann beispielsweise $\geq 10\%$ bis $\leq 200\%$, mehr bevorzugt $\geq 20\%$ bis $\leq 150\%$ und besonders bevorzugt $\geq 30\%$ bis $\leq 100\%$ ihres Innendurchmessers betragen, jeweils gemessen von der Unterseite des Bodens.

Weitere Ausführungsformen und Aspekte der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend

geschildert. Sie können beliebig miteinander kombiniert werden, sofern sich nicht aus dem Kontext eindeutig das Gegenteil ergibt.

In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer ist die Rührerwelle durch die Hülse aus der Reaktionskammer herausgeführt, so dass sie aus der Reaktionskammer herausragt
5 und zwischen Rührerwelle und Hülse ein Spalt gebildet wird.

Vorzugsweise weist der Spalt zwischen Rührerwelle und Hülse eine Weite von $> 0 \text{ mm}$ bis $\leq 5 \text{ mm}$ auf. Bevorzugt sind Werte von $\geq 0,5 \text{ mm}$ bis $\leq 4 \text{ mm}$ und besonders bevorzugt $\geq 1 \text{ mm}$ bis $\leq 3,5 \text{ mm}$.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer weist der Boden eine
10 Neigung gegenüber der Horizontalen von $> 0^\circ$ bis $\leq 60^\circ$ auf. Bevorzugte Neigungen sind $> 5^\circ$ bis $\leq 50^\circ$, mehr bevorzugt $> 10^\circ$ bis $\leq 45^\circ$. Eine solche Anschrägung des Kammerbodens dient der Unterstützung eines Feststofftransports innerhalb der Reaktionskammer. Weiterhin können die Ecken, an denen der Boden an den Mantel stößt, ausgerundet sein.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer sind der Mantel und
15 der Boden der Reaktionskammer gemeinsam als Heiz- und/oder Kühlmantel ausgeführt. Dieses lässt sich beispielsweise durch eine doppelwandige Konstruktion mit einem Hohlraum für ein durchströmendes Temperiermedium erreichen. Diese Ausführungsform hat generell den Vorteil, dass eine möglichst große spezifische Wärmeübertragungsfläche zur Verfügung gestellt werden kann: es erfolgt die Temperierung nicht nur über die Seitenwände, sondern auch über die Böden der
20 Kammer. Zur Maximierung der äußeren Wärmeübergangskoeffizienten kann die Anströmung im Hohlraum tangential erfolgen, so dass die gesamte Strömung des Temperiermediums in Rotation versetzt und eine hohe Relativgeschwindigkeit zwischen Wand und Temperiermedium erreicht wird. Die Einströmgeschwindigkeit kann durch Variation des Durchmessers der entsprechenden Anschlüsse angepasst werden.

25 In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer wird die Rührerwelle innerhalb der Reaktionskammer durch ein Lager aufgenommen, welches innerhalb der Reaktionskammer abgestützt ist.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer umfasst die Hülse einen polymeren Werkstoff. Geeignet sind insbesondere Polytetrafluorethylen (PTFE) und
30 Polyolefine wie Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP).

Zum Erreichen einer hohen spezifischen Oberfläche und einer hohen Stufenzahl auf kleinem Bauraum bieten flache Kammern Vorteile. Zu flache Kammern unterdrücken jedoch die

Ausbildung von Wirbeln und verhindern so eine effektive Vermischung. In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer weist daher die Kammer ein Verhältnis von Höhe zu Durchmesser von $\geq 0,4:1$ bis $\leq 1:1$ auf. Der Durchmesser ist hierbei als Innendurchmesser der Kammer zu verstehen und die Höhe als Innenhöhe, gemessen vom tiefsten Punkt innerhalb der Kammer vertikal bis zum höchsten Punkt innerhalb der Kammer. Bevorzugte Verhältnisse von Kammerhöhe zu -durchmesser liegen bei $\geq 0,5:1$ bis $\leq 0,9:1$ und mehr bevorzugt $\geq 0,6:1$ bis $\leq 0,8:1$. Der Kammerinnendurchmesser beträgt beispielsweise zwischen 2 und 15 cm.

In einer weiteren Ausführungsform der erfindungsgemäßen Reaktionskammer umfasst diese weiterhin zusätzliche Zuführungen und/oder Abläufe, durch die Substanzen eingeführt und/oder ausgetragen werden können. Zusätzliche Zuführungen und/oder Abläufe können erwünscht sein, um nicht alle Reaktionskomponenten am Beginn des Reaktors zuzugeben, sondern entlang des Reaktors. Auf diese Weise können in einer chemischen Reaktion zum Beispiel unerwünschten Neben- oder Folgereaktionen unterdrückt werden. Analog kann es gewünscht sein, entstehende Stoffe abzutrennen.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein chemischer Reaktor, wobei der Reaktor eine Mehrzahl von Reaktionskammern gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst, wobei mindestens eine erste Reaktionskammer und eine zweite Reaktionskammer aufeinander folgend angeordnet sind und die Rührerwelle der ersten Reaktionskammer mit der Rührerwelle der zweiten Reaktionskammer zur Übertragung eines Drehmoments verbunden ist.

Vorzugsweise werden 2 bis 20 einzelne Reaktionskammern eingesetzt. Es ist weiterhin möglich, dass mehrere Reaktionskammern durch zusätzliche Zuführungen und/oder Abläufe miteinander verbunden sind.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Durchführung einer chemischen Reaktion, wobei die Reaktion in einem Reaktor gemäß der vorliegenden Erfindung durchgeführt wird.

In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Reaktion zumindest zeitweise mit einer konstanten Menge von in den Reaktor eingebrachten und aus dem Reaktor ausgetragenen Substanzen durchgeführt.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in dem Rührreaktor eine erste erfindungsgemäße Reaktionskammer umfassend zusätzliche Zuführungen und/oder Abläufe, durch die Substanzen eingeführt und/oder ausgetragen werden können und eine zweite erfindungsgemäße Reaktionskammer umfassend zusätzliche Zuführungen und/oder Abläufe, durch die Substanzen eingeführt und/oder ausgetragen werden können aufeinander folgend angeordnet. Weiterhin ist die Rührerwelle der ersten Reaktionskammer mit der Rührerwelle der zweiten

Reaktionskammer zur Übertragung eines Drehmoments verbunden und in der ersten und/oder zweiten Reaktionskammer wird wenigstens ein Betriebszustand überwacht, bei einer zuvor bestimmten Abweichung des Betriebszustandes von einem zuvor bestimmten Wert für diesen Betriebszustand werden die in diese Reaktionskammer einmündenden Zuführungen geschlossen und die ursprünglich durch diese Zuführungen transportierten Substanzen werden in eine andere Reaktionskammer eingeführt.

Hierbei ist es bevorzugt, dass der überwachte Betriebszustand der Druckabfall von einer Reaktionskammer zur benachbarten Reaktionskammer ist.

Diese Reaktionsführung ermöglicht es, bei Verstopfungen oder anderen Störungen in einer Reaktionskammer diese stillzulegen und die Stoffströme im Reaktor an dieser Kammer vorbeizuleiten. So kann die Reaktion an einer nachfolgenden Stelle weitergeführt werden.

In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Reaktion eine Mehrphasenreaktion. Hierunter fallen beispielsweise sowohl flüssig/flüssig-Systeme als auch fest/flüssig-Systeme.

Die vorliegende Erfindung wird anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert, ohne darauf beschränkt zu sein. Es zeigen:

FIG. 1 eine erfindungsgemäße Reaktionskammer in Ansicht von oben und im Querschnitt

FIG. 2 mehrere aufeinander gestapelte erfindungsgemäße Reaktionskammern im Querschnitt

FIG. 3 einen erfindungsgemäßen chemischen Reaktor

FIG. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Reaktionskammer in einer kombinierten Ansicht mit einer Draufsicht (oberer Teil der Figur) und einer seitlichen Querschnittsansicht (unterer Teil der Figur). Die Reaktionskammer weist einen Mantel 100, einen in diesem Falle um 33° geneigten Boden 200 sowie eine Öffnung 300 im Boden 200 auf. Der Mantel 100 und der Boden 200 sind gemeinsam als Heiz- und Kühlmantel ausgebildet. Hierzu wird eine Doppelmantelkonstruktion mit einem zweiten Mantel 110 und einem zweiten Boden 210 verwendet, welche einen Hohlraum 120 beinhaltet. Durch diesen Hohlraum 120 kann ein Temperiermedium zum Wärmeaustausch mittels hier nicht gezeigter Ein- und Auslässe geführt werden. Somit wird auch der Kammerboden geheizt oder gekühlt und nicht nur der Mantel wie in vielen herkömmlichen Konstruktionen von Kesselreaktoren.

Die Reaktionskammer weist weiterhin eine Rührerwelle 400 zum Antrieb von Rührelementen 500 auf. Der Anfang 600 der Rührerwelle 400 ist in FIG. 1 oben, das Ende 700 unten dargestellt.

Anfang 600 und Ende 700 der Rührerwelle 400 sind als Stecker beziehungsweise Buchse von Steckverbindungen konzipiert, so dass beim Aufeinanderstapeln mehrerer Reaktionskammern die Rührerwellen von zwei aufeinanderfolgenden Reaktionskammern in Rotationsrichtung formschlüssig ineinandergreifen. Dann bilden sie eine gemeinsame Rührerwelle, mit der die Rührelemente der einzelnen Kammern angetrieben werden können.

Innerhalb der Reaktionskammer wird die Rührerwelle 400 von einem Lager 1000 aufgenommen, welches selbst über entsprechende Stützen 1100 in der Reaktionskammer getragen wird. Weiterhin liegen innerhalb der Reaktionskammer Strombrecher 1200 vor, welche im Zusammenwirken mit Rührelementen 500 für eine größere Durchmischung des Reaktorinhalts sorgen.

10 In der Öffnung 300 des Bodens 200 der Reaktionskammer liegt ferner eine herausnehmbare Hülse 800 vor, welche (wie hier dargestellt nach unten) aus der Reaktionskammer hinausragt. Die Hülse 800 ist in einer Flucht mit der Drehachse der Rührerwelle 600 angeordnet. In FIG. 1 sind Hülse und Drehachse in der Reaktionskammer zentriert.

Der Innendurchmesser der Hülse 800 ist größer als der Durchmesser der Rührerwelle 400 auf der Höhe der Hülse 800. Weiterhin ragt die Rührerwelle 400 durch die Hülse 800 aus der Reaktionskammer heraus. Dadurch wird zwischen Rührerwelle 400 und Hülse 800 ein Spalt 900 gebildet, durch den bei mehreren aufeinandergestapelten Reaktionskammern ein Stoffaustausch zwischen einer Kammer und der benachbarten Kammer stattfinden kann.

Zur Erhöhung der Vielseitigkeit und Modularität der Verwendung der erfindungsgemäßen Reaktionskammer sind nicht nur die Hülse 800, sondern auch die Rührerwelle 400, das Lager 500, die Stützen 1100 und die Strombrecher 1200 herausnehmbar und somit durch andere, für einen konkreten Anwendungsfall angepasste Konstruktionen ersetzbar.

FIG. 2 zeigt eine Querschnittsansicht von drei aufeinander gestapelten erfindungsgemäßen Reaktionskammern, wie sie in einem erfindungsgemäßen chemischen Reaktor auftreten können. Die individuellen Kammern sind wie in FIG. 1 dargestellt und erläutert. Wie zu erkennen ist, sind die Reaktionskammern so konzipiert, dass der untere Abschluss einer Kammer den oberen Abschluss der darunter liegenden Kammer bildet. Dadurch lässt sich ein chemischer Reaktor modular aufbauen. Selbstverständlich können aber auch noch zwischen den einzelnen Reaktionskammern Dichtungsmittel vorgesehen sein.

30 Die in Rotationsrichtung formschlüssig ineinander greifenden Rührerwellen 400 bilden, was die Übertragung eines Drehmoments betrifft, eine gemeinsame Rührerwelle. Hierbei kann festgestellt werden, dass auch in dem Spalt 900, welcher zwischen Rührerwelle 400 und Hülse 800 gebildet wird und durch den ein Stoffaustausch zwischen benachbarten Reaktionskammern stattfinden kann,

Scherkräfte auftreten. Es existiert somit keine "tote Zone", in der der Inhalt der Reaktionskammer nicht durchgerührt wird.

Die Breite der Spalte 900 und damit der Stoffübergang zwischen den einzelnen Reaktionskammern lassen sich mittels des Durchmessers der Rührerwelle und/oder des Innendurchmessers der Hülsen 800 einstellen. Aus praktischen Gründen ist es bevorzugt, nur die Hülsen 800 auszutauschen, wenn eine andere Spaltbreite zwischen den Kammern gewünscht wird. Dadurch, dass die Hülsen 800 herausnehmbar sind, ist dieses in einfacher Weise zu bewerkstelligen.

FIG. 3 zeigt schematisch einen erfindungsgemäßen chemischen Reaktor mit insgesamt sieben erfindungsgemäßen Reaktionskammern. Die Reaktionskammern sind analog zu der in FIG. 2 gezeigten Anordnung aufeinander gestapelt und nach oben und unten mit einer Deckelplatte 2000 und einer Bodenplatte 2010 abgeschlossen. Mittels Zugstangen 2100 und Muttern 2110 wird die Anordnung mechanisch stabilisiert.

Ein Drehmoment zum Antrieb der Rührerwellen wird mittels Kupplung 2200 auf die Rührerwellen im Inneren des chemischen Reaktors übertragen. In der Deckelplatte 2000 sind weiterhin Zugänge 2300 und 2310 angeordnet, durch die Stoffe oder Messfühler in die oberste Reaktionskammer eingebracht werden können. Ein solcher Zugang 2320 befindet sich auch an dem Auslauf 2400, welcher in der Bodenplatte 2010 integriert ist.

Über die Zuleitungen 2500 und die Abläufe 2510 können die Heiz-/Kühlmäntel der einzelnen Reaktionskammern mit einem Temperiermedium versehen werden. Eine individuelle Temperierung ist möglich.

Die einzelnen Reaktionskammern sind über Zugänge 2600 und 2610 für Stoffeintrag, Stoffaustrag und Messfühler zugänglich. Durch eine geeignet gewählte Rohrleitungsinstallation kann ferner ein Überbrücken einer Reaktionskammer erreicht werden, falls im laufenden Betrieb eine Störung auftritt.

Patentansprüche

1. Reaktionskammer für einen chemischen Reaktor, umfassend:

einen Mantel (100) der Reaktionskammer,

5 einen Boden (200) der Reaktionskammer mit einer in dem Boden befindlichen Öffnung (300),

eine in der Kammer befindliche Rührerwelle (400) mit mindestens einem damit verbundenen Rührelement (500), wobei die Rührerwelle (400) in Längsrichtung gesehen einen Anfang (600) und ein Ende (700) aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

10 in der Öffnung (300) des Bodens (400) eine herausnehmbare Hülse (800) vorgesehen ist, welche aus der Reaktionskammer herausragt,

die Hülse (800) in einer Flucht mit der Drehachse der Rührerwelle (400) angeordnet ist,

der Innendurchmesser der Hülse (800) größer als der Durchmesser der Rührerwelle (400) ist

15 und dass die Rührerwelle (400) an ihrem Anfang (600) und/oder an ihrem Ende (700) eingerichtet ist, um reversibel ein mittels einer weiteren Welle bereitgestelltes Drehmoment aufzunehmen und/oder ein Drehmoment auf eine weitere Welle zu übertragen.

2. Reaktionskammer gemäß Anspruch 1, wobei die Rührerwelle (400) durch die Hülse (800) aus der Reaktionskammer herausgeführt ist, so dass sie aus der Reaktionskammer herausragt und
20 zwischen Rührerwelle und Hülse ein Spalt (900) gebildet wird.

3. Reaktionskammer gemäß Anspruch 1 oder 2, wobei der Boden (200) eine Neigung gegenüber der Horizontalen von $> 0^\circ$ bis $\leq 60^\circ$ aufweist.

4. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Mantel (100) und der Boden (200) der Reaktionskammer gemeinsam als Heiz- und/oder Kühlmantel ausgeführt sind.

25 5. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Rührerwelle innerhalb der Reaktionskammer durch ein Lager (1000) aufgenommen wird, welches innerhalb der Reaktionskammer abgestützt ist.

6. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Hülse (800) einen polymeren

Werkstoff umfasst.

7. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Kammer ein Verhältnis von Höhe zu Durchmesser von $\geq 0,4:1$ bis $\leq 1:1$ aufweist.
8. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 2 bis 7, wobei der Spalt (900) zwischen
5 Rührerwelle (400) und Hülse (800) eine Weite von > 0 mm bis ≤ 5 mm aufweist.
9. Reaktionskammer gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, weiterhin umfassend zusätzliche Zuführungen (2600) und/oder Abläufe (2610), durch die Substanzen eingeführt und/oder ausgetragen werden können.
10. Chemischer Reaktor, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reaktor eine Mehrzahl von
10 Reaktionskammern gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9 umfasst, wobei mindestens eine erste Reaktionskammer und eine zweite Reaktionskammer aufeinander folgend angeordnet sind und die Rührerwelle der ersten Reaktionskammer mit der Rührerwelle der zweiten Reaktionskammer zur Übertragung eines Drehmoments verbunden ist.
11. Verfahren zur Durchführung einer chemischen Reaktion, **dadurch gekennzeichnet, dass** die
15 Reaktion in einem Reaktor gemäß Anspruch 10 durchgeführt wird.
12. Verfahren gemäß Anspruch 11, wobei die Reaktion zumindest zeitweise mit einer konstanten Menge von in den Reaktor eingebrachten und aus dem Reaktor ausgetragenen Substanzen durchgeführt wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 11 oder 12, wobei in dem Rührreaktor eine erste Reaktionskammer
20 gemäß Anspruch 9 und eine zweite Reaktionskammer gemäß Anspruch 9 aufeinander folgend angeordnet sind und die Rührerwelle der ersten Reaktionskammer mit der Rührerwelle der zweiten Reaktionskammer zur Übertragung eines Drehmoments verbunden ist und weiterhin in der ersten und/oder zweiten Reaktionskammer wenigstens ein Betriebszustand überwacht wird, bei einer zuvor bestimmten Abweichung des Betriebszustandes von einem zuvor bestimmten Wert für diesen
25 Betriebszustand die in diese Reaktionskammer einmündenden Zuführungen geschlossen werden und die ursprünglich durch diese Zuführungen transportierten Substanzen in eine andere Reaktionskammer eingeführt werden.
14. Verfahren gemäß Anspruch 13, wobei der überwachte Betriebszustand der Druckabfall von einer Reaktionskammer zur benachbarten Reaktionskammer ist.
- 30 15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die Reaktion eine Mehrphasenreaktion ist.