Verfahren und Vorrichtung zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten.

Ein Mischen oder sogar Lösen von Gasen in Flüssigkeiten hat viele Nutzungszwecke. So bietet unter anderem das Lösen von Ozon in wässerigen Lösungen mit einer Belastung an organischen und anorganischen Substanzen eine hoch wirksame Oxidation dieser Substanzen. Die zielgerichtete und effiziente Zugabe von Sauerstoff und das Lösen dieses Sauerstoffs oder Luftsauerstoff in Abwasser ist eine der wichtigsten Grundlagen heutiger aerober Wasseraufbereitungsanlagen.

Weitere mögliche Anwendungen sind Bleichprozesse, Stripp-Prozesse oder jede andere Form von Anreicherung und Erhöhung des gelösten Anteils eines Gases in eine Flüssigkeit.

Auch die für die Versorgung einer stetig wachsenden Weltbevölkerung mit gesunden Eiweißen immer stärker an Bedeutung gewinnende Aquakultur erfordert einen großen Anteil einer ausreichenden und effizienten Versorgung der Fische mit Sauerstoff, um eine wirtschaftliche Produktion bei hoher Fischgesundheit zu gewährleisten.

Das Mischen bereits gashaltiger Lösungen und anderer Flüssigkeit ist in der chemischen Industrie wichtig, unter anderem zur Herstellung unterschiedlicher Stoffe und Stoffgruppen. Gleichmäßiges Mischen kann die Sicherheit spezifischer Herstellungsverfahren erhöhen, da zu hohe punktuelle Konzentrationen bestimmter Stoffe vermieden und damit nachteilige Vorgänge, wie exotherme Reaktionen, gar nicht auftreten können.

Es sind unterschiedliche Verfahren zum Mischen von Gas in Flüssigkeiten bekannt. Beispielsweise beschreibt die US 4 007 920 eine rotierende Scheibe mit axialen Bohrungen, die dazu benutzt wird, Luft, die sich an der Oberfläche der

Scheibe befindet, mit Wasser, das sich an der Unterseite der Scheibe befindet, zu vermischen.

Die EP 2 125 174 B1 beschreibt ein mechanisches Kavitationselement, mit Hilfe dessen Gas mit Flüssigkeit vermischt wird. Dies erfolgt durch Eintragen des Gases unmittelbar an der Oberfläche des Kavitationselementes und durch Bewegen dieses Kavitationselementes. Es wird in diesem Stand der Technik beschrieben, dass Gas durch den Kavitationsprozess in die Flüssigkeit gelangt. In einer zweiten Stufe wird Ultraschall auf das Gas und die Flüssigkeit aufgebracht, mit dem die erzeugten Gasblasen verkleinert werden. Damit wird letztlich eine sonochemische Lösung des Gases in der Flüssigkeit erreicht.

Die DE 2 300 205 A offenbart eine Vorrichtung zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten. Die Vorrichtung umfasst einen Behälter, in dem ein rotationssymmetrischer Mischkörper in Form eines Läufers angeordnet ist, der von einer Antriebseinrichtung angetrieben wird. Die Antriebseinrichtung ist über einen Wellenabschnitt mit dem Läufer verbunden. Der Läufer hat eine konische Form und somit zumindest an seinem vom Antrieb abgewandten Ende einen gegenüber dem Wellenabschnitt verbreiterten Durchmesser.

Die DE 36 08 201 A1 beschreibt einen Mischer zum Mischen eines Mischgutes mit einem Mischtrog und einem in den Mischtrog hineinragenden Mischwerkzeug. Beim Mischen soll das Festsetzen und Anbacken von Mischgut an dem Mischwerkzeug verhindert werden.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, das Mischen von Gasen in Flüssigkeiten oder das Mischen gashaltiger Flüssigkeiten in anderen, weniger gashaltigen oder nicht gashaltigen Flüssigkeiten mit einer einzigen Apparatur zu verbessern, um möglichst wenig Gasverlust zu haben.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten gelöst, mit einem Behälter und einem in den Behälter ragenden, um eine Drehachse rotierenden Mischer, der bis auf zumindest eine vorgegebene Unwuchtstelle eine rotationssymmetrische Form aufweist, die eine fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle ausgebildeten, ansonsten identischen, ideal rotationssymmetrischen Mischer aufweist, wobei die fehlende oder zusätzliche Masse mindestens 1% und vorzugsweise maximal 5%

der Eigenmasse des Mischers beträgt und dem Mischer beim Drehen um die Drehachse eine Unwucht verleiht. Der Mischer hat einen Wellenabschnitt, der mit einem Drehantrieb verbunden ist, und einen in dem Behälter positionierten Mischerkörper, der am Wellenabschnitt sitzt und einen gegenüber dem Wellenabschnitt vergrößerten Durchmesser aufweist.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung bezieht sich bezüglich ihrer Definition von Unwucht und fehlender Masse auf einen fabrikneuen, also unbenutzten Mischer. Dieser Mischer wird mit einer relativ hohen Drehzahl im Behälter in Rotation versetzt und soll bewusst durch eine Unwucht eine seitliche Auslenkung erfahren, sodass sich Bewegungen überlagern und die Bewegung der Außenoberfläche des Mischerkörpers nicht auf einer reinen Kreisbahn erfolgt.

Es hat sich bei den Forschungen der Anmelderin gezeigt, dass diese Unwucht die Mischqualität erheblich steigert aufgrund der zusätzlichen, durch die Unwucht hervorgerufenen Bewegung.

Die Beweglichkeit kann entweder durch eine entsprechend „weiche“ Lagerung oder durch eine Elastizität des Wellenabschnitts oder eine Kombination hiervon realisiert werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung führt zu einer verbesserten Mischung von Gasen in Flüssigkeiten aufgrund der durch die Unwucht erzwungenen zusätzlichen Frequenz und Schwingung.

Die Unwucht wird im Fertigungsprozess des Mischers gezielt durch das spezifische und klar definierte Entfernen oder Hinzufügen von Masse an einer oder mehreren Stellen des Mischers im Bereich des Mischerkörpers erzeugt. Die dadurch entstehende harmonische Schwingung lässt sich durch Änderung der Drehzahl bezüglich Höhe der Amplitude und Frequenz einstellen.

Das Mischen von Gasen erfolgt so gut, wie die umfangreichen Versuche ergeben haben, dass das Gas auch in der Flüssigkeit gelöst werden kann. Die Vorrichtung ist damit eine Vorrichtung zum Eintragen, zum Mischen, aber auch zum Lösen (Oberbegriff Mischen) von Gas in Flüssigkeit.

Nach dem Zugeben von Gas, was vorzugsweise in der Nähe des Mischerkörpers erfolgen sollte, kommt es im Bereich der Oberfläche des

Mischerkörpers zu einer sogenannten Transferzone. Diese entsteht durch die Bildung eines Films oder einer Grenzfläche, welche zwischen den jeweils vorhandenen gasförmigen, gashaltigen und flüssigen Phasen entsteht. Der Grund für diese Transferzone ist die Bewegungsenergie an der Oberfläche des Mischerkörpers. Die erzeugte Grenzfläche beeinflusst den an dieser Stelle herrschenden Partialdruck. Durch die Zusatzbewegung aufgrund der Unwucht ist die Bewegungsenergie an der Oberfläche höher, sodass der Partialdruck steigt und eine erhöhte Gastransferrate erreicht wird.

Durch den rotationssymmetrischen Mischerkörper kommt es an dessen Oberfläche zu einem Saugeffekt, dem sogenannten hydrodynamischen Paradoxon, und zum Magnuseffekt. Diese beiden Effekte sorgen dafür, dass die zugegebene Phase, hier das Gas, in Richtung auf die Oberfläche des sich bewegenden Körpers gesaugt wird. Das bedeutet, wenn das Gas in der Nähe des Mischerkörpers in die Flüssigkeit eingeleitet wird, wird es auf die Oberfläche gesaugt, um dann dort in die Flüssigkeit gemischt zu werden.

Wie bereits betont, kann das Mischen so weit gehen, dass es zum Lösen des Gases in der Flüssigkeit kommt, z. B. von Ozon oder Sauerstoff in Flüssigkeit. Es ergeben sich dann feinste Mikro- und Nanoblasen mit einem Durchmesser von 120 nm bis 10 µm.

Der Behälter kann ein Tank, ein Kessel, ein Becken, die jeweils geschlossen oder offen sein können, oder auch ein Kanal sein, durch den die Flüssigkeit hindurchströmt.

Dabei kann beispielsweise bei einem Kanal der Mischerkörper in einem Bypass oder einem Hauptkanal angeordnet sein, um einen Teilstrom oder den gesamten Strom an Flüssigkeit mit Gas anzureichern.

Eine Ausführungsform der Erfindung sieht vor, dass die fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwucht ansonsten aber identischen, ideal rotationssymmetrisch ausgebildeten Mischer mindestens 2 % der Eigenmasse des Mischers beträgt und/oder dass der Mischerkörper eine vollständig geschlossene Außenkontur hat und/oder absatzfrei ausgebildet ist.

Eine vollständig geschlossene Außenkontur bedeutet, dass keine Durchgangsöffnungen vorgesehen sind, wie dies teilweise im Stand der Technik

der Fall ist. Für die Ausbildung einer Unwucht durch Wegnahme von Material hat der Mischerkörper eine Ausnehmung.

Ist die Außenkontur des Mischerkörpers absatzfrei ausgebildet, bedeutet dies, dass er in jeder Richtung eine kontinuierliche Krümmung hat, ohne Kanten und Absätze, um hier keine Strömungsablösung zu erreichen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform hat der Mischerkörper eine Kugel- , Diskus- oder Glockenform, die sich in Versuchen als sehr vorteilhaft herausgestellt haben.

Der Behälter ist insbesondere ein Durchlaufbehälter, mit einer Einlassöffnung für Flüssigkeit und einer entgegengesetzten Auslassöffnung für mit Gas vermischte Flüssigkeit sowie einem Gaseinlass stromaufwärts des zwischen der Einlassöffnung und der Auslassöffnung liegenden Mischers.

Insbesondere kann der Gaseinlass auf die Oberfläche des Mischerkörpers gerichtet sein. Durch die sehr hohe Mischkapazität der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es möglich, diese im Durchlaufbetrieb arbeiten zu lassen.

Die Oberfläche des Mischerkörpers hat vorzugsweise eine Rauigkeit im Bereich von Rz 2 bis Rz 6,3.

Die Rauigkeit spielt, wie sich herausgestellt hat, eine nicht zu unterschätzende Rolle in Hinblick auf die Kapazität der Vorrichtung.

Der Mischerkörper kann oberflächenbeschichtet sein, d. h, er kann eine Metallbeschichtung, eine Kunststoff- oder Keramikbeschichtung haben oder auch durch Verbundwerkstoffe beschichtet sein.

Die Oberflächenbeschichtung kann optional aus einem solchen Material sein, welches das Festsetzen und Ausbilden von Kristallen an der Oberfläche erschwert oder gar verhindert. Bei bestimmten Flüssigkeiten könnte es ansonsten zur Anhaftung von Eisen und Mangan kommen, was durch die Oberflächenbeschichtung verhindert wird. Beispielsweise kann für die Oberflächenbeschichtung Nickel oder ein Polymer, beispielsweise ein Polymer-Hydrogel, genutzt werden.

Alternativ oder zusätzlich hierzu wird durch eine Wärmebehandlung die Zusammensetzung des Materials an der Oberfläche des Mischerkörpers so verändert, dass dieses Material an der Oberfläche das Festsetzen und Ausbilden von Kristallen erschwert oder verhindert, verglichen mit der Oberfläche des Mischerkörpers ohne die Wärmebehandlung. Beispielsweise wird durch die Wärmebehandlung das Material an der Oberfläche des Mischerkörpers so verändert, dass an der Oberfläche mikrofeine Rillen vorhanden sind. Die Rillenstruktur kann der Struktur einer Haihaut entsprechen. Eine derartige Struktur verhindert besonders effektiv, dass sich an der Oberfläche Kristalle ausbilden oder festsetzen. Die mikrofeinen Rillen sorgen konkret dafür, dass Kristalle weniger Kontakt zur Oberfläche haben und sich nicht festsetzen bzw. sich besser ablösen können. Dadurch wird verhindert, dass die Kristalle zu einer hartnäckigen Schicht zusammenwachsen.

Statt einer Wärmebehandlung ist auch eine Behandlung der Oberfläche mittels Fotolithografie möglich, um die mikrofeinen Rillen zu erzeugen.

Der Behälter und die Lagerung des Mischers lassen es gemäß einer Variante der Erfindung zu, dass der Winkel, unter dem die Drehachse in den Behälter ragt, verstellbar ist, weil damit auch unterschiedliche Effekte möglich sind.

Eine weitere Besonderheit ergibt sich dadurch, dass eine Antriebseinheit oder mehrere Antriebseinheiten vorgesehen sind, die dem Mischer zusätzlich zur Rotation um seine Drehachse eine überlagerte Oszillationsbewegung oder Vibrationsbewegung in einer radialen, schräg zur axialen oder in axialer Richtung auferlegen. Das bedeutet, neben der Rotationsbewegung und der Zusatzbewegung durch die Unwucht wird noch eine oder werden weitere Bewegungsmuster aufgesetzt, die weitere Verbesserungen in Hinblick auf die Mischkapazität der Vorrichtung haben. Ein Beispiel ist die vorgenannte Vibrationsbewegung, in der der Wellenabschnitt beispielsweise axial auf und ab bewegt wird, und zwar mit einer Frequenz von vorzugsweise über 20 Hz.

Der Drehantrieb ist so ausgebildet, dass er den Mischer mit einer Umdrehung in einem Bereich zwischen 10 und 10.000 Umdrehungen/min antreiben kann, wobei prinzipiell gilt, dass bei einem kleineren Maximaldurchmesser des Mischerkörpers höhere Umdrehungen notwendig sind als bei sehr großen

Durchmessern. Solche großvolumigen Mischerkörper werden beispielsweise bei Abwasseraufbereitungsanlagen genutzt.

Vorzugsweise ist die Drehgeschwindigkeit, auf die der Drehantrieb einstellbar ist, so geregelt, dass die maximale Umlaufgeschwindigkeit im durchmesseräußeren Viertel des Mischerkörpers zwischen 5 m/sec und 160 m/sec liegt. Dieser Wert wird, da die Umlaufgeschwindigkeit mit dem Radius zunimmt, damit an der Stelle gemessen, die 75% des Maximaldurchmessers des Mischerkörpers beträgt, denn am Beginn des äußersten Viertels ist dieser Bereich der am langsamstem bewegte Bereich des äußersten Viertels. Der vorgenannte Geschwindigkeitsbereich ist wichtig, um bei Flüssigkeit, insbesondere Wasser, ausreichende Mischeffekte zu realisieren.

Die Unwucht sollte durch einen lokal begrenzten, maschinellen Oberflächenabtrag am Mischerkörper herstellerseitig erfolgen oder durch Befestigen eines lokalen Zusatzgewichts am Rest des Mischerkörpers. Dies bezieht sich, wie gesagt, auf die Herstellung der Vorrichtung.

Eine weitere Verbesserung ergibt sich dadurch, dass Schwingungssensoren vorgesehen sind, welche die auftretenden Schwingungen des Mischerkörpers bestimmen, um über die auftretenden Schwingungen eine Steuerung der Drehzahl zu erreichen. Damit lässt sich auch der optimale Betriebspunkt ansteuern und beibehalten. Darüber hinaus kann die Vorrichtung dadurch auch auf Schäden überprüft werden. Treten nämlich beispielsweise Schwingungsveränderungen oder wiederkehrende Schwingungsspitzen auf, kann so unter Umständen auf eine Veränderung der Lagerung des Wellenabschnitts oder andere aufkommende Schäden geschlossen werden. Somit kann eine vorausschauende Schadensdetektion erfolgen.

Die oben genannte Aufgabe kann auch durch ein Verfahren zum Herstellen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gelöst werden, bei dem ein Mischer hergestellt wird und anschließend auf der Oberfläche des Mischers in einem eigenen, nachfolgenden Verfahrensschritt Material abgetragen oder Material hinzugefügt wird, sodass die vorgenannte Unwucht erzeugt wird.

Die obengenannte Aufgabe wird schließlich auch durch ein Verfahren zum Mischen von Gas in Flüssigkeiten gelöst, das durch folgende Schritte gekennzeichnet ist:

Einbringen von Flüssigkeit und Gas und in einen Behälter, und

Vermischen von Gas und Flüssigkeit in dem Behälter mittels eines Mischers, der um eine Drehachse rotiert und einen mit einem Drehantrieb gekoppelten Wellenabschnitt und einen an dem Wellenabschnitt angebrachten Mischerkörper aufweist, der bis auf eine vorgegebene Unwuchtstelle eine rotationssymmetrische Form hat, wobei die Unwuchtstelle eine fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle ausgebildeten, ansonsten identischen, ideal rotationssymmetrischen Mischer aufweist, welche mindestens 1% der Eigenmasse des Mischers beträgt und dem Mischer beim Drehen um die Drehachse eine Unwucht verleiht. Vorzugsweise beträgt die Massendifferenz maximal 5% der Eigenmasse des Mischers.

Wie bereits erläutert, sollte der Mischerkörper auf eine Drehzahl zwischen 10 und 10.000 Umdrehungen/min gebracht werden, und das Gas sollte so lange im Behälter bewegt werden, bis Mikroblasen oder Nanoblasen erzeugt sind, welche einen Durchmesser zwischen 120 nm und 10 µm aufweisen.

Der Mischerkörper wird gemäß einer weiteren Variante zusätzlich zur Drehbewegung so angetrieben, dass er eine überlagerte Oszillationsbewegung oder Vibrationsbewegung vollzieht, nämlich genauer gesagt in radialer, schräg zur radialen Richtung oder in axialer Richtung, um das Gas und die Flüssigkeit zu mischen.

Zur Erhöhung des Durchsatzes kann das Verfahren im Durchlauf in einem Kanal erfolgen.

Wie bereits erläutert, können mittels einer Schwingungssensorik die Schwingungen des Mischerkörpers im Betrieb erfasst werden und abhängig hiervon kann die Drehzahl des Mischerkörpers verstellt werden oder eine Schadensdetektion erfolgen.

Schließlich ist es von Vorteil, wenn die Durchflussrate sensorüberwacht und geregelt wird, um einerseits die Flüssigkeit und das Gas nicht zu lange in der

Umgebung des Mischerkörpers zu belassen und den Durchsatz zu erhöhen, und andererseits gerade ausreichend lange, um die gewünschte Mischung oder das Lösen des Gases in der Flüssigkeit zu erreichen.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Beschreibungen und aus den nachfolgenden Zeichnungen, auf die Bezug genommen wird. In den Zeichnungen zeigen:

- Figur 1 eine schematische Ansicht einer ersten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 2 eine schematische Ansicht einer zweiten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 3 eine dritte Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 4 eine vierte Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 5 eine fünfte Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 6 eine sechste Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 7 eine siebte Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 8 eine achte Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Figur 9 eine perspektivische Ansicht einer Variante des Mischerkörpers der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Figur 10 eine weitere Variante des Mischerkörpers der erfindungsgemäßen Vorrichtung,

- Figur 11 noch eine Variante des Mischerkörpers der erfindungsgemäßen Vorrichtung, und
- Figur 12 eine zusätzliche Variante des Mischerkörpers der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

In Figur 1 ist eine Vorrichtung zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten dargestellt. Die Vorrichtung umfasst einen Behälter 10, hier in Form einer Rohrleitung, mit einer Einlassöffnung 12 an einem Ende und einer Auslassöffnung 14 am entgegengesetzten Ende.

Die Pfeile bezeichnen die Strömungsrichtung.

Der durch das Rohr gebildete Kanal 16 muss nicht zwingend komplett mit Flüssigkeit gefüllt sein, er kann auch nur teilweise mit Flüssigkeit gefüllt sein, vorzugsweise wenigstens zu 2/3.

Die Flüssigkeit muss eine Viskosität haben, sodass sie noch fließfähig ist.

Sie kann aus einem Tank oder einem Becken stammen und zugeführt werden.

In den Kanal 16 ragt ein um eine Drehachse A rotierbarer Mischer 18, der einen vorzugsweise vollständig in die Flüssigkeit ragenden Mischerkörper 20 aufweist, welcher an einem Wellenabschnitt 22 angebracht ist. Der Wellenabschnitt 22 ist mit einem Drehantrieb 24 gekoppelt, welcher den Mischer 18 auf eine Umdrehungszahl von 10 bis 10.000 Umdrehungen/min bringen kann.

Der Drehantrieb 24 muss nicht im gesamten Umdrehungsbereich arbeiten können, es reicht, wenn er abgestimmt auf die Abmessungen des Mischerkörpers 20 und die Flüssigkeit sowie das zu mischende Gas eine entsprechende Drehzahl oder einen entsprechenden Drehzahlbereich anfahren kann.

Stromaufwärts des Mischerkörpers 20 ist ein Gaseinlass 26 für einzumischendes Gas vorgesehen, der so positioniert ist und so weit in den Kanal 16 ragt, dass das Gas durch die Strömung der Flüssigkeit mitgerissen wird und auf die Außenoberfläche des Mischerkörpers 20 trifft.

Das Gas kommt von einem Behälter 28, der über eine Leitung 29 mit dem Gaseinlass 26 gekoppelt ist.

Der Mischerkörper 20 hat eine rotationssymmetrische Form, bezogen auf die Drehachse A.

Er besitzt jedoch eine vom Hersteller bereits vorgesehene, durch Planung festgelegte Unwuchtstelle 32, die dem Mischerkörper 20 insgesamt eine Unwucht gibt.

Diese Unwuchtstelle 32 kann durch ein bewusstes Entfernen von Material mittels einer Fertigungsmaschine erzeugt werden oder durch bewusstes und gezieltes Aufbringen eines vorab konstruierten und bezüglich Größe und Masse des Mischerkörpers 20 abgestimmten Zusatzgewichts, welches am Rest des Mischerkörpers 20 befestigt ist, insbesondere durch Löten, Kleben, Schweißen oder eine mechanische Verbindung.

Optional kann der Mischerkörper 20, der Wellenabschnitt 22 oder der Drehantrieb 24 mit einer weiteren Antriebseinheit 34 gekoppelt sein, die dafür sorgt, dass während der Drehung des Mischerkörpers 20 diesem auch noch eine Oszillations- oder Vibrationsbewegung in einer radialen, schräg zur axialen oder in axialer Richtung A auferlegt wird.

Diese Bewegung überlagert einerseits die Rotationsbewegung und andererseits auch die durch die Unwucht hervorgerufene taumelnde Bewegung.

Damit die Unwucht auch tatsächlich zu einer Zusatzbewegung oder einer Zusatzkomponente der Bewegung des Mischerkörpers 20 führt, ist die Unwuchtstelle so ausgebildet, dass die durch sie fehlende Masse oder die durch sie hinzugegebene, zusätzliche Masse wenigstens 1 % der Eigenmasse des Mischers beträgt, verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle ausgebildeten, ansonsten identischen und ideal rotationssymmetrischen Mischer.

Die Lagerungen des Mischers 18 und die des Drehantriebs 24, und auch die Biegestabilität des Wellenabschnitts 22 müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass diese nicht unerhebliche Unwucht auch tatsächlich zu einer zusätzlichen Seitwärtsbewegung des Mischerkörpers führt.

Die Seitwärtsbewegung sollte dabei vorzugsweise größer 0,5 mm, insbesondere größer 1 mm sein, um eine effektive Wirkung zu erreichen.

Vorzugsweise ist die vorerwähnte fehlende oder zusätzliche Masse sogar mindestens 2 % der Eigenmasse des Mischers. Um entweder das Volumen der fehlenden Masse oder das der zusätzlichen Masse zu bestimmen, wird ein ideal rotationssymmetrischer Mischer als Referenz herangezogen, bei dem durch die Rotationssymmetrie die Fehlstelle abgedeckt wird oder die zusätzliche Masse abgeschnitten wird, um jeweils die fehlende oder zusätzliche Masse zu bestimmen.

Eine Unwucht, deren fehlende Masse oder die Zusatzmasse, welche mehr als 5 % der Eigenmasse beträgt, scheint angesichts der sich daraus ergebenden Lagerungsprobleme sowie zusätzlichen Festigkeitsprobleme wenig praktischen Nutzen zu haben.

Bei der Ausführungsform nach Figur 1 ist der Mischerkörper 20 diskusförmig ausgebildet, mit der Mittelachse des Diskus in der Drehachse A.

In Folgendem wird das Verfahren zum Mischen von Gas in die durchgeführte Flüssigkeit beschrieben.

Über die Einlassöffnung 12 wird Flüssigkeit, z. B. Wasser, dem Kanal 16 zugeführt, wobei der Kanal 16 hierbei wenigstens zu 2/3 mit Wasser gefüllt ist. Parallel hierzu wird Gas, z. B. Ozon, über den Behälter 28 zum Gaseinlass 26 transportiert, die entsprechenden Gasblasen 40 sind in diesem Bereich noch relativ groß, sind aber übertrieben groß dargestellt.

Durch die Strömung wird das stromaufwärts des Mischerkörpers 20 eingebrachte Gas mitgenommen und auf der Oberfläche des Mischerkörpers 20, der sich in hoher Drehzahl dreht, in kleine Gasblasen geteilt, unter Bildung feinster Mikro- und Nanoblasen. Diese Blasen vermischen sich dann homogen in der Flüssigkeit, wie anhand der in der Nähe der Auslassöffnung 14 dargestellten kleinen Kreise zu sehen ist.

Um die Mischung des Gases optimal zu kontrollieren, kann eine Schwingungssensorik 48 vorgesehen sein, die in einer geeigneten Stelle die Schwingung des Mischerkörpers 20 detektiert und die entsprechend

aufgenommenen Werte zu einer Steuerung sendet. Über diese detektierten Schwingungen lässt sich ermitteln, ob der Mischerkörper 20 in der gewünschten Weise bewegt wird, sei es durch die Unwucht oder durch die zusätzliche auferlegte Bewegung mittels der Antriebseinheit 34.

Die Ausführungsform nach Figur 2 entspricht im Wesentlichen der in Figur 1 dargestellten, sodass nachfolgend nur auf die Unterschiede eingegangen werden muss.

Anstatt einer diskusförmigen Oberfläche hat der Mischerkörper 20 in dieser Ausführungsform eine Kugelfläche mit einer Ausnehmung, die eine Unwuchtstelle 32 erzeugt.

Die Drehachse A ist nicht vertikal ausgerichtet, sondern unter einem Winkel α zur Vertikalen, was eine schräge Bewegungsrichtung der Flüssigkeit und des Gases nach oben hervorruft.

Alternativ kann die Lagerung des Mischers 18 z. B. am Behälter 10 so ausgebildet sein, dass der Winkel α, unter dem die Drehachse A in den Behälter 10 ragt, verstellbar ist, unter Umständen sogar in zwei Dimensionen. Dies hat, wie Versuche gezeigt haben (in V, Einfluss auf die Mischeigenschaften.

Auch hier können zusätzliche Bewegungen neben der Unwucht durch eine separate Antriebseinheit 34 erzeugt werden. Zur Erhöhung der Übersichtlichkeit sind in Figur 2 weder diese zusätzliche Antriebseinheit 34 noch der Drehanrieb 24 dargestellt.

Der Weg des Gases ist hier zuerst horizontal, genauer gesagt parallel zu den oberen und unteren Wänden des Behälters 10 und dann schräg aufwärts aufgrund der Schrägstellung der Drehachse A.

Wie durch die Kreise dargestellt, reduziert sich mit zunehmender Wegstrecke des Gases auch der Querschnitt der Gasbläschen, sodass die Mischung am rechten oberen Ende des Behälters 10 am besten ist. Hier kann dann eventuell auch eine Auslassöffnung 14 vorgesehen sein, wenn nicht die gesamte Stirnseite des Kanals 16 die Auslassöffnung 14 bildet.

Die Variante nach Figur 3 entspricht im Wesentlichen der nach Figur 1, auch hier ist die Unwuchtstelle 32 durch einen Materialabtrag erreicht.

Die Einlassöffnung 12 und die Auslassöffnung 14 bilden jedoch nur einen Teil der gegenüberliegenden Stirnwände aus. Die Ausrichtung des Gaseinlasses 26 ist hier in Strömungsrichtung ausgerichtet.

Dieser veränderte Gasauslass ist auch bei der Variante nach Figur 4 entsprechend ausgeführt, die ansonsten der Variante nach Figur 2 entspricht.

Bei der Variante nach Figur 4 ist auch zu sehen, dass die Auslassöffnung 14 am oberen Ende des Behälters 10 stromabwärts des Mischerkörpers 20 angeordnet ist, also in etwa in der Richtung, in der auch eine Radialebene zur Drehachse A verläuft.

Die Einlassöffnung 12 hingegen liegt in etwa auf Höhe des Mischerkörpers 20.

Bei der Variante nach Figur 5 ist der Behälter 10 eine Art Tank mit einem Überlauf 50.

Der Mischerkörper 20 ist eine Halbkugel oder eine hohle Halbkugel, mit einer Unwucht an einer Unwuchtstelle 32, die durch ein Zusatzgewicht, in Form eines Zusatzkörpers, auf der Oberfläche der Halbkugel gebildet wird.

Unterhalb des Mischerkörpers sind die Einlassöffnung 12 und, fluchtend hierzu, die Auslassöffnung 14 vorgesehen.

Der Gaseinlass 26 ist unmittelbar auf die Halbkugeloberfläche gerichtet.

Die Ausführungsform nach Figur 6 hat einen Mischerkörper 20 in Form eines Zylinders mit am Umfang vorgesehenen Abflachungen und einer liegenden Drehachse A. Die Abflachungen sind hier übertrieben dargestellt und dienen dazu, Unwuchtstellen 32 zu bilden.

Bei der Variante nach Figur 7 sind im Gegensatz zu der nach Figur 3 die Einlassöffnung 12 und die Auslassöffnung 14 höhenversetzt.

Die Leitung 30 ragt von der Stirnwand, an der die Einlassöffnung 12 vorgesehen ist, in Strömungsrichtung ins Innere des Behälters 10, welcher hier zylinderförmig ist, und endet kurz vor, d. h. kurz stromaufwärts des hier diskusförmigen Mischerkörpers 20.

Die Variante nach Figur 8 entspricht weitestgehend der nach Figur 3, wobei jedoch als Mischerkörper 20 ein Kegel, unter Umständen ein Vollkegel oder ein von unten hohler Kegel, verwendet wird, mit einer durch eine Ausnehmung gebildeten Unwuchtstelle 32.

Weitere Formen von Mischerkörpern 20 sind in den Figuren 9 bis 12 dargestellt. Figur 9 zeigt einen Mischerkörper 20 mit einer Ringform, dessen Oberseite eine geschlossen umlaufende Rinne 60 aufweist, wobei sich im Zentrum ein konisch zulaufender Stift oder eine konisch zulaufende Hülse in Richtung der Drehachse A erstreckt.

Die Unwuchtstelle 32 kann hier eine Ausnehmung oder ein separat befestigter Körper sein.

Bei dem Mischerkörper nach Figur 10 handelt es sich um eine Halbkugel, die zentrisch umlaufende Nuten 64 besitzt. Durch diese Nuten wird die Oberfläche des Mischerkörpers 20 noch einmal erhöht.

Der Mischerkörper 20 nach Figur 11 hat einen Ringwulst, der den Außenumfang bildet, wobei von der Oberseite eine koaxiale Vertiefung 66 ausgeht und im Zentrum noch einmal eine stiftförmige Erhebung 68 vorgesehen ist, die den Übergang zum Wellenabschnitt bildet.

Es können hier mehrere Unwuchtstellen 32 vorgesehen sein.

Die Variante nach Figur 20 zeigt im Gegensatz zu allen vorhergehenden Mischerkörpern keine vollständig geschlossene Außenkontur, denn der Mischerkörper hat einige durchgehende Öffnungen 70, die ihm eine Unwucht geben. Die Form des Mischerkörpers 20 ist die einer Halbkugelschale mit einer vom Inneren aufragenden Hülse 72, die in einer Rundung 74 in den Boden der Schale mündet.

Für sämtliche Ausführungsformen des Mischerkörpers 20 gilt, dass die Oberfläche eine Rauigkeit im Bereich von Rz 2 und Rz 6,3 aufweist und/oder oberflächenbeschichtet sein kann.

Diese Oberflächenbeschichtung besteht z. B. aus Metall, Kunststoff, Keramik oder aus einem Verbundwerkstoff; z. B. aus Nickel oder einer Nickellegierung oder einem Polymer. Alternativ zur Beschichtung, aber für denselben Zweck,

kann die Oberfläche wärmebehandelt sein, um das Material an der Oberfläche zu verändern.

Gemäß einer beispielhaften Ausführungsform sind an der Oberfläche mikrofeine Rillen ausgebildet.

Für sämtliche Mischerkörper 20 gilt auch, dass diese entweder nur durch einen Drehantrieb angetrieben werden können oder auch eine überlagerte Bewegung erfahren mithilfe einer oder mehrerer zusätzlicher Antriebseinheiten.

Die Oberfläche des Mischerkörpers 20 muss nicht zwingend glatt oder sehr glatt sein, sie kann auch porös ausgebildet werden, jedoch wird die Unwucht durch die Unwuchtstelle 32 hervorgerufen.

Ansprüche

1. Vorrichtung zum Mischen von Gasen in Flüssigkeiten, mit einem Behälter (10) und einem in den Behälter (10) ragenden, um eine Drehachse (A) rotierenden Mischer (18), der bis auf zumindest eine vorgegebene Unwuchtstelle (32) eine rotationssymmetrische Form aufweist, die eine fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle (32) ausgebildeten, ansonsten identischen, ideal rotationssymmetrischen Mischer (18) aufweist, welche mindestens 1% der Eigenmasse des Mischers (18) beträgt und dem Mischer (18) beim Drehen um die Drehachse (A) eine Unwucht verleiht, wobei der Mischer (18) einen Wellenabschnitt (22) hat, der mit einem Drehantrieb (24) verbunden ist, und einen in dem Behälter (10) positionierten Mischerkörper (20), der am Wellenabschnitt (22) sitzt und einen gegenüber dem Wellenabschnitt (22) vergrößerten Durchmesser aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle (32) ansonsten identischen, ideal rotationssymmetrisch ausgebildeten Mischer (18) mindestens 2 % der Eigenmasse des Mischers (18) beträgt und/oder dass der Mischerkörper (20) eine vollständig geschlossene Außenkontur hat und/oder absatzfrei ausgebildet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischerkörper (20) eine Kugel-, Diskus- oder Glockenform aufweist.

4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter (10) ein Durchlaufbehälter ist, mit einer Einlassöffnung (12) für Flüssigkeit und einer entgegengesetzten Auslassöffnung (14) für die mit Gas vermischte Flüssigkeit sowie mit einem Gaseinlass (26) stromaufwärts des zwischen der Einlassöffnung (12) und der Auslassöffnung (14) liegenden Mischers (18).

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischerkörper (20) eine Rauhigkeit im Bereich von Rz 6,3 - Rz 2 hat und/oder oberflächenbeschichtet ist.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter (10) und die Lagerung des Mischers (18) so ausgebildet sind, dass der Winkel, unter dem die Drehachse (A) in den Behälter (10) ragt, verstellbar ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Antriebseinheit (34) vorgesehen ist, die dem Mischer (18) zusätzlich zur Rotation um seine Drehachse (A) eine überlagerte Oszillationsbewegung oder Vibrationsbewegung in einer radialen, schräg zur axialen oder in axialer Richtung auferlegt.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Drehantrieb (24) so ausgebildet ist, dass er den Mischer (18) mit einer Umdrehung in einem Bereich zwischen 10 und 10.000 Umdrehungen/min antreiben kann.

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Unwucht durch einen lokal begrenzten, maschinellen Oberflächenabtrag am Mischerkörper (20) oder durch Befestigen eines lokalen Zusatzgewichts am Rest des Mischerkörper (20) erzeugt ist.

10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Schwingungssensorik (48) zur Bestimmung der Schwingungen des Mischerkörpers (20) vorgesehen ist.

11. Verfahren zum Mischen von Gas in Flüssigkeiten, gekennzeichnet durch folgende Schritte:

Einbringen von Flüssigkeit und Gas in einen Behälter (10), und

Vermischen von Gas und Flüssigkeit in dem Behälter (10) mithilfe eines Mischers (18), der um eine Drehachse (A) rotiert und einen mit einem Drehantrieb (24) gekoppelten Wellenabschnitt (22) und einen an dem Wellenabschnitt (22) angebrachten Mischerkörper (20) aufweist, der bis auf eine vorgegebene Unwuchtstelle (32) eine rotationssymmetrische Form hat, wobei die Unwuchtstelle (32) eine fehlende oder zusätzliche Masse verglichen mit einem ohne die Unwuchtstelle (32) ausgebildeten, ansonsten identischen, ideal rotationssymmetrischen Mischer (18) aufweist, welche mindestens 1% der Eigenmasse des Mischers (18)

beträgt und dem Mischer (18) beim Drehen um die Drehachse (A) eine Unwucht verleiht.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischerkörper (20) auf eine Drehzahl zwischen 10 und 10.000 Umdrehungen/min gebracht wird und das Gas so lange im Behälter bewegt wird, bis Mikroblasen oder Nanoblasen erzeugt sind, welche einen Durchmesser zwischen 120 nm und 10 µm aufweisen.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Mischerkörper (20) zusätzlich zur Drehbewegung eine überlagerte Oszillationsbewegung oder Vibrationsbewegung vollzieht, um das Gas und die Flüssigkeit zu mischen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-13, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren im Durchlauf in einem Kanal (16) erfolgt.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11-14, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Schwingungssensorik (48) die Schwingungen des Mischerkörpers (20) im Betrieb erfasst werden und abhängig hiervon die Drehzahl des Mischerkörpers (20) verstellt wird oder eine Schadensdetektion erfolgt.