

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50897/2023
(22) Anmeldetag: 08.11.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.05.2025

(51) Int. Cl.: **F04D 3/00** (2006.01)
F04D 29/18 (2006.01)
B01J 19/18 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2006165566 A1
WO 2020005072 A1

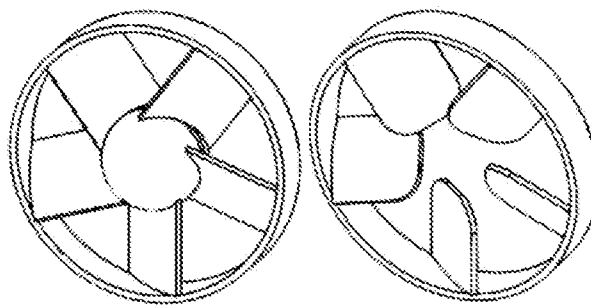
(71) Patentanmelder:
Circe Biotechnologie GmbH
1210 Wien (AT)

(74) Vertreter:
SONN Patentanwälte GmbH & Co KG
1010 Wien (AT)

(54) **Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas enthält**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas umfasst, wobei das Verfahren die Schritte (a) Bereitstellen eines Rohrsegments, das einen felgenretriebenen Antrieb enthält, wobei der felgenretriebene Antrieb ein Laufrad aufweist, das innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt, und (b) Transportieren des Fluids durch das Rohrsegment, so dass das Fluid mittels des felgenretriebenen Antriebes angetrieben wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Rohrsegment zum Transportieren eines Fluids, das ein Gas und eine Flüssigkeit umfasst, wobei das Rohrsegment einen felgenretriebenen Antrieb umfasst, wobei der felgenretriebene Antrieb innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des felgenretriebenen Antriebes parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt.

Abb.
2



Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas umfasst, wobei das Verfahren die Schritte (a) Bereitstellen eines Rohrsegments, das einen felgengetriebenen Antrieb enthält, wobei der felgengetriebene Antrieb ein Laufrad aufweist, das innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt, und (b) Transportieren des Fluids durch das Rohrsegment, so dass das Fluid mittels des felgengetriebenen Antriebes angetrieben wird. Die Erfindung betrifft ferner ein Rohrsegment zum Transportieren eines Fluids, das ein Gas und eine Flüssigkeit umfasst, wobei das Rohrsegment einen felgengetriebenen Antrieb umfasst, wobei der felgengetriebene Antrieb innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des felgengetriebenen Antriebes parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Transport eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas umfasst. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Rohrsegment zum Transport des Fluids sowie einen Kreislaufreaktor (Schlaufenreaktor, Schleifenreaktor) und eine Rohrleitung, die jeweils das Rohrsegment umfassen.

Eine Vielzahl von Anwendungen erfordert den Transport von Flüssigkeiten. Je nach gewünschtem Druck und Durchfluss können unterschiedliche Pumpentypen zum Transport von Flüssigkeiten eingesetzt werden. Beispielsweise können Kolbenpumpen verwendet werden, wenn ein hoher Druck erforderlich ist, während Axialpumpen für große Durchflussmengen und einen niedrigen Druck zum Einsatz gebracht können und Kreiselpumpen (Zentrifugalpumpen) ein Standardtyp sind. Aufgrund der Kompressibilität von Gasen können Flüssigkeiten, die größere Mengen an Gaseinschlüssen enthalten, jedoch nicht gut mit herkömmlichen Pumpen gehandhabt werden. Ab einem bestimmten Gasanteil, der typischerweise bei etwa 10 Vol.-% liegt (bezogen auf das Gesamtvolumen des zu transportierenden Fluids), ist kein Transport der Flüssigkeit mehr möglich.

Wie aus US 2023/0159874 A1 bekannt ist, werden traditionell Druck, starke Rühr- und Scherkräfte eingesetzt, um die Massenübertragungseffizienz eines Fluids, das aus einem Gas und einer Flüssigkeit besteht, zu fördern. Dies ist jedoch in Bezug auf Fermentationsprozesse nachteilig, da die Verwendung starker Rührkräfte die Zellwände von Mikroorganismen zerstören und so die Fermentationsproduktivität beeinträchtigen kann. US 2023/0159874 A1 bietet ein Reaktorgasrückführungssystem, das einen Gasraum zum Sammeln von Gas umfasst, das von einem Flüssigkeitsraum innerhalb des Reaktors getrennt ist, und einen angetriebenen Propeller, der eine Welle mit einem oberen und einem unteren Ende umfasst, wobei das untere Ende in den Flüssigkeitsraum hineinragt und wobei eine Vielzahl von radialen Schaufeln mit dem unteren Ende der Welle verbunden ist.

US 7,579,163 B2 betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Biomasse, das in einem Schleifenreaktor durchgeführt wird, der eine Abgasentfernungszone zum Entfernen von kohlendioxidhaltigem Abgas aus dem Reaktor und stromaufwärts davon eine Entgasungszone aufweist, in die ein Treibgas eingeführt wird, um Kohlendioxid in der flüssigen Phase in eine abtrennbare Abgasphase zu treiben.

Wenn Fluide nicht nur eine Flüssigkeit, sondern auch ein Gas enthalten (wie etwa mitgerissene Gasblasen), wird das Gas im Allgemeinen vor dem Pumpen entfernt, um eine gute Transportierbarkeit und Pumpbarkeit der Fluide aufrechtzuerhalten. Eine Gasentfernung ist jedoch nicht immer möglich. Beispielsweise werden bei der Öl- und Gasexploration flüssige Kohlenwasserstoffe zusammen mit Erdgas transportiert. Außerdem ist aus EP 3 027 726 B1 bekannt, dass in Zwangsumlauf-Kreislaufreaktorkonfigurationen eine Erhöhung der Kreislaufpumpengeschwindigkeit die Gasmitnahme vom Steigrohr zum Fallrohr verbessert. Wenn ein Fluid bei einer Temperatur nahe seinem Siedepunkt transportiert wird, kann es außerdem Dampfblasen bilden, was ein als „Dampfblasensperre“ bekanntes Phänomen verursacht, das beispielsweise bei Flugzeugen auftritt, wenn sie in großen Höhen fliegen, wo der Siedepunkt des Treibstoffs sinkt. Solche Dampfblasen

können den Treibstofffluss verringern oder sogar stoppen, was zu einer gefährlichen Situation führen kann. Daher besteht Bedarf an einem Verfahren, das einen sicheren und effizienten Transport von Fluiden ermöglicht, die sowohl eine Flüssigkeit als auch ein Gas enthalten. Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren und Mittel bereitzustellen, um diesem Bedarf gerecht zu werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas enthält, wobei das Verfahren die folgenden 2 Schritte umfasst:

(a) Bereitstellen eines Rohrsegments mit einem felgengetriebenen Triebwerk (englisch: *rim driven thruster*, RDT, auch als „Randgetriebener Antrieb“ oder als „Randgetriebener Propeller“ bezeichnet), wobei das felgengetriebene Triebwerk ein Laufrad umfasst, das innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt, und

(b) Transportieren der Flüssigkeit durch das Rohrsegment, so dass die Flüssigkeit mittels des randgetriebenen Triebwerks angetrieben wird.

Ein felgengetriebener Antrieb ist ein wellenloses Laufrad, das keine Welle zur Übertragung eines Antriebsdrehmoments benötigt. Ein Getriebe ist optional. Typischerweise umfassen felgengetriebene Antriebe ein Laufrad, das mit Schaufelblättern ausgestattet ist und das in einen Motor, beispielsweise einen Elektromotor, integriert ist. Ein Stator des Motors ist in einem Kanal montiert, und ein Rotor (z. B. ein permanentmagnetischer Rotor) bildet einen Ring um einen Laufradrand. Felgengetriebene Antriebe ermöglichen ein kompaktes Design, einen hohen Wirkungsgrad, eine flexible Anpassung und einen höheren hydrodynamischen Wirkungsgrad. Darüber hinaus verbessert die Beseitigung von Zwischenräumen zwischen den Schaufelblättern des Laufrads und dem Kanal (Rand) die Betriebseffizienz durch Verringerung des Energieverlusts.

Aufgrund dieser Vorteile sind felgengetriebene Triebwerke für den Schiffsantrieb attraktiv, wo sie herkömmliche Propeller (also Propeller, die mit einer Welle verbunden sind) ersetzen können. Solche herkömmlichen Propeller verursachen nicht nur einen erheblichen Reibungsleistungsverlust, sondern nehmen auch viel Platz ein und erzeugen im Betrieb Lärm und Vibrationen (Yan X. et al., *Ocean Engineering* 144, 2017, 142-156).

Obwohl die Verwendung von felgengetriebenen Triebwerken bei Schiffsantrieben weit verbreitet ist, wurden sie im Stand der Technik für den Einsatz in Rohrsystemen noch nicht beschrieben. Die Erfinder haben überraschenderweise festgestellt, dass die Effizienz und Sicherheit beim Transport von Fluiden, die eine Flüssigkeit und ein Gas umfassen, durch ein Rohr erheblich verbessert werden kann, wenn anstelle einer herkömmlichen Pumpe ein felgengetriebenes Triebwerk verwendet wird. Bei Verwendung herkömmlicher Pumpen treten häufig Probleme beim Pumpen von gashaltigen Flüssigkeiten auf, wie in Abb. 1 schematisch dargestellt. Stattdessen kann ein felgengetriebenes Triebwerk solche gemischten (mehrphasigen) Ströme transportieren. In einer bevorzugten Ausführungsform ist vor dem felgengetriebenen Triebwerk ein „Wirbelement“ (Leitschaukeln)

installiert, das die Flüssigkeit einer Kreisbewegung verleiht. Das felgengetriebene Triebwerk kann Zentrifugal- und/oder Rotationskräfte nutzen, was aufgrund ihrer unterschiedlichen Dichte eine zumindest teilweise Trennung der Flüssigkeit und des Gases ermöglicht. Während die Flüssigkeit in Richtung eines äußeren Abschnitts (Wand) des Rohrsegments gedrückt wird, bleibt das Gas in einem inneren Bereich (d. h. die Gasblasen befinden sich überwiegend in einem zentrumsnahen Bereich des Querschnitts des Rohrsegments). Überraschenderweise können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, mit und ohne das „Wirbelement“, sogar Fluide, die eine Flüssigkeit und vorzugsweise ein Gas umfassen, z. B. Gasblasen, auf sichere Weise und mit hoher Effizienz transportiert werden. Die Erfindung umfasst auch den Transport einer gaslosen Flüssigkeit in einem Rohr mittels eines randgetriebenen Triebwerks. Der positive Effekt der offenbarten Erfindung ist besonders ausgeprägt bei hohen Gasgehalten in dem Fluid, z. B. 30 Vol.-% oder mehr oder 35 Vol.-% oder mehr oder sogar 40 Vol.-% oder mehr (bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids). Insbesondere kann eine hohe Gesamtdurchflussrate des Fluids aufrechterhalten werden, selbst bei höheren Gasgehalten. Außerdem ist das erfindungsgemäße Verfahren weniger anfällig für Kavitation im Vergleich zu Verfahren, die eine herkömmliche Pumpe verwenden. Dadurch wird die Lebensfähigkeit biologischer Zellen verbessert und die Funktionsfähigkeit der Anlage auch für nicht-biotechnologische Anwendungen gesteigert.

Unter einem „Rohrsegment“ (auch als „Rohrabschnitt“ bezeichnet) ist ein Segment zu verstehen, das in beliebiger Anordnung mit einem Rohr verbunden werden kann, beispielsweise in einem vertikalen Rohr, in einem geneigten Rohr oder in einem horizontalen Rohr. Der Begriff „Rohr“ wird synonym mit den Begriffen „Leitung“ und „Schlauch“ verwendet und bezieht sich im Allgemeinen auf jeden länglichen Körper, der zum Transport von Flüssigkeiten geeignet ist, z. B. einen zylindrischen Körper oder einen rechteckigen Körper oder einen Körper mit beliebigem Querschnitt und Ausdehnung in eine Richtung (in der die Strömung erzeugt oder aufrechterhalten werden soll).

Das Laufrad des felgengetriebenen Triebwerks ist innerhalb des Rohrsegments angeordnet, und eine Drehachse des Laufrads ist parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments oder fällt mit dieser zusammen. Vorzugsweise ist die Drehachse des Laufrads parallel zu der Längsachse des Rohrsegments oder fällt mit dieser zusammen, zumindest in einer Ebene, die senkrecht zur Drehachse des Laufrads ist und deren Position in derselben Ebene wie der Massenpunkt des Laufrads liegt. Die Anordnung des Laufrads innerhalb des Rohrsegments ermöglicht es, die Flüssigkeit während ihres Transports durch das Rohrsegment durch das Laufrad zu leiten, so dass die Flüssigkeit auf die Schaufeln des Laufrads trifft (und dadurch in die gewünschte Richtung bewegt wird). Vorzugsweise ist das Laufrad bündig mit einer Innenwand des Rohrsegments. Somit kann das Laufrad an der Innenwand des Rohrsegments montiert werden, was einen unproblematischen Betrieb ermöglicht und die Stabilität und Robustheit des Laufrads verbessert, sodass es einem hohen Strömungswiderstand standhalten kann. Andere Teile des felgengetriebenen Triebwerks können je nach Größe des felgengetriebenen Triebwerks und/oder der Größe des Rohrsegments und/oder ihrer relativen Anordnung innerhalb oder außerhalb des Rohrsegments angeordnet sein. Es ist bevorzugt, dass die Drehachse des Impellers mit der Längsachse des Rohrsegments zusammenfällt. Dies ermöglicht eine zentrische Ausrichtung des Impellers innerhalb

des Rohrsegments, was die Prozessstabilität verbessert. Das felgengetriebene Triebwerk kann den gesamten Querschnitt des Rohrs oder nur einen Teil davon nutzen (im letzteren Fall würde es einen Bypass-Fluss geben).

Das Rohrsegment kann gerade sein. In diesem Fall ist die Drehachse des Laufrads parallel zur Längsachse des Rohrsegments oder fällt mit dieser über die gesamte Länge des Rohrsegments zusammen (da die Richtung der Längsachse des Rohrsegments unverändert bleibt). Alternativ kann das Rohrsegment zumindest teilweise eine nicht gerade Form aufweisen; beispielsweise kann das Rohrsegment zumindest teilweise gekrümmt und/oder spiralförmig sein. In diesem Fall ist die Drehachse des Laufrads parallel zur Längsachse des Rohrsegments oder fällt mit dieser zusammen, zumindest in einer Ebene, die senkrecht zur Drehachse des Laufrads ist und die sich in derselben Ebene befindet wie der Massenpunkt des Laufrads.

Vorzugsweise enthält das Fluid das Gas in einer Menge von 5 Vol.-% oder mehr, vorzugsweise 10 Vol.-% oder mehr, bevorzugter 15 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 20 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 25 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 30 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 35 Vol.-% oder mehr, besonders bevorzugt 40 Vol.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids. Besonders bevorzugt enthält das Fluid das Gas in einer Menge von 5 bis 40 Vol.-%, bevorzugter 5 bis 35 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids (Anmerkung: Fluid = Flüssigkeit und Gas). Auch Fluide mit einem derart hohen Gasgehalt können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren sicher und effizient transportiert werden.

Das Gas ist vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Methan, Wasserstoff, Luft, einer verdampften Flüssigkeit oder einer Mischung davon; vorzugsweise Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und/oder Methan. Die verdampfte Flüssigkeit kann Ethanol, Methanol und/oder ein Kohlenwasserstoff oberhalb seines Siedepunkts sein. In einer bevorzugten Ausführungsform ist das Gas ausgewählt aus Luft, Sauerstoff und/oder Methan, besonders bevorzugt Methan. Dies ist insbesondere bevorzugt, wenn das Verfahren im Rahmen einer aeroben Fermentation durchgeführt wird. In einer alternativen bevorzugten Ausführungsform ist das Gas ausgewählt aus Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und/oder Wasserstoff. Dies ist insbesondere bevorzugt, wenn das Verfahren im Rahmen einer anaeroben Fermentation durchgeführt wird.

Die Flüssigkeit wird vorzugsweise aus der Gruppe ausgewählt, die aus Wasser, einem flüssigen Kohlenwasserstoff, einem Lösungsmittel, einer organischen Flüssigkeit, einer anorganischen Flüssigkeit, einer nichtionischen Flüssigkeit, einer ionischen Flüssigkeit oder einer Mischung davon besteht. Wie leicht ersichtlich ist, kann das Verfahren unabhängig davon, welche Flüssigkeit in der Flüssigkeit enthalten ist, angewendet werden und funktioniert gut. Vorzugsweise enthält die Flüssigkeit Wasser. Das Verfahren kann dann im Zusammenhang mit der Gasfermentation durchgeführt werden. „Gasfermentation“ ist ein Prozess, bei dem Zellen, insbesondere Mikroorganismen, gasförmige Ausgangsstoffe in einem Bioreaktor in Produkte von Interesse umwandeln. Der Bioreaktor kann ein Rührkesselreaktor, ein Schleifenreaktor, eine Blasensäule, ein

Airlift-Reaktor oder eine beliebige andere Ausführungsform sein. Ein „Schleifenreaktor“ ist ein Strömungsreaktor (englisch: *plug flow reactor*, PFR), bei dem zumindest ein Teil der Flüssigkeit zirkuliert. Es kann sich um einen Airlift-Reaktor mit interner oder externer Rückführung oder ein Rohr mit Zwangszirkulation handeln, z. B. in horizontaler oder vertikaler Konfiguration. „Schleifenreaktoren“ können z. B. für die Polyolefinpolymerisation und für die Gasfermentation verwendet werden. Der Schleifenreaktor kann eine Axialfluspumpe enthalten und verwenden.

Die Flüssigkeit, vorzugsweise Wasser, kann verschiedene Salze und anorganische sowie organische Mikro- und Makronährstoffe für die Mikroorganismen im Falle der Gasfermentation enthalten. Die Flüssigkeit kann Medium für die Zellen sein. Es ist bevorzugt, dass die Flüssigkeit das Gas in einer Menge von 5 bis 20 Vol.-%, vorzugsweise 7,5 bis 15 Vol.-%, in Bezug auf das Gesamtvolumen der Flüssigkeit enthält, und wobei die Flüssigkeit außerdem Wasser enthält. Vorzugsweise ist das Gas ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Methan, Sauerstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff und Stickstoff oder einer Mischung davon. Bei Verwendung einer Flüssigkeit mit dieser Zusammensetzung wird das Verfahren vorzugsweise im Rahmen der Gasfermentation durchgeführt. Das Methan kann aus Erdgas, Biogas, synthetischem Erdgas, Deponiegas, Power-to-Gas oder einer anderen Quelle stammen. Das Synthesegas kann aus der Vergasung von organischem oder anorganischem Material stammen, z. B. Biomasse, Klärschlamm, Siedlungsabfälle, Kunststoffe oder Kohle.

Vorzugsweise liegt die Temperatur der Flüssigkeit im Bereich von 10 bis 70 °C, bevorzugter im Bereich von 25 bis 60 °C. Die tatsächliche Temperatur kann beispielsweise gewählt werden, um eine bestimmte Viskosität der Flüssigkeit einzustellen und/oder abhängig sein vom verwendeten Zelltyp und/oder Stamm bzw. den verwendeten Stämmen und deren optimalen Wachstumsbedingungen. Alternativ oder zusätzlich liegt der Druck der Flüssigkeit vorzugsweise im Bereich von 0,1 bis 20 bar (absolut), bevorzugter im Bereich von 1 bis 15 bar (absolut). Dies ermöglicht einen hohen Durchsatz aufgrund des erhöhten Massentransfers (höherer $K_L a$ -Wert). Der tatsächliche Druck kann beispielsweise entsprechend der Temperatur und/oder der Viskosität der Flüssigkeit gewählt werden. Alternativ oder zusätzlich liegt die Fließgeschwindigkeit der Flüssigkeit vorzugsweise im Bereich von 0,2 bis 5 m/s, bevorzugter im Bereich von 0,5 bis 2,5 m/s. Dies ermöglicht einen effizienten Transport der Flüssigkeit.

Weiter bevorzugt enthält das Fluid einen Feststoff, vorzugsweise in einer Menge von 35 Gew.-% oder weniger, bevorzugter 25 Gew.-% oder weniger, noch bevorzugter 15 Gew.-% oder weniger, noch bevorzugter 5 Gew.-% oder weniger, bezogen auf das Gesamtgewicht des Fluids. Bevorzugt enthält der Feststoff Zellen (z. B. Bakterienzellen), jegliche Art von Mikroorganismen in Rein- oder Mischkultur, Katalysatorpartikel, Enzyme (immobilisiert oder frei fließend), feste Reaktionsedukte und/oder feste Reaktionsprodukte; bevorzugt enthält der Feststoff Bakterienzellen in einer Konzentration von 0,1 bis 400 g/l, bevorzugt 2,5 bis 250 g/l. Die Masse oder Konzentration der Zellen wird als Trockenzellgewicht (englisch *dry cell weight*, DCW) bestimmt. Der Feststoff ist bevorzugt im Fluid dispergiert, insbesondere so, dass die Dispersion homogen ist, d. h. dass der Feststoff gleichmäßig im Fluid verteilt ist. Dies ermöglicht einen unproblematischen Transport des Fluids. Die sichere und hocheffiziente

Durchführung der Methode auch in Gegenwart solcher Feststoffe, insbesondere Bakterienzellen, zeigt deutlich, dass sie sich gut für die Anwendung bei der Gasfermentation eignet.

Vorzugsweise weist das Fluid eine Reynoldszahl von 20 bis 20.000, vorzugsweise von 2500 bis 15.000, noch besser von 3000 bis 10.000 auf. Wie bekannt ist, liegt eine laminare Strömung vor, wenn die Reynoldszahl unter 2300 liegt, und eine turbulente Strömung, wenn die Reynoldszahl über 2900 liegt. Dementsprechend kann das erfindungsgemäße Verfahren unabhängig davon durchgeführt werden, ob das Fluid mit einer laminaren Strömung oder einer turbulenten Strömung durch das Rohrsegment transportiert wird. Vorzugsweise wird das Fluid mit einer turbulenten Strömung transportiert. Dies kann die Effizienz des Verfahrens verbessern, da es ermöglicht, die Flüssigkeit durch Zentrifugal- und Rotationskräfte besser vom Gas zu trennen und dabei die unterschiedlichen Dichten des Gases und der Flüssigkeit auszunutzen.

Vorzugsweise umfasst das Laufrad Schaufelblätter. Die Schaufelblätter können am Rand des Laufrads angebracht sein. Die Spitzen der Schaufelblätter erstrecken sich von einem äußeren Umfang des Laufrads in Richtung eines inneren Bereichs des Rohrsegments (wie exemplarisch aus Fig. 2 ersichtlich). Vorzugsweise umfasst das Laufrad zwei oder mehr Schaufelblätter, z. B. drei Schaufelblätter, bevorzugter vier oder mehr Schaufelblätter, z. B. fünf Schaufelblätter, noch bevorzugter sechs oder mehr Schaufelblätter, z. B. 7 Schaufelblätter, noch bevorzugter acht oder mehr Schaufelblätter, besonders bevorzugt zwei bis acht Schaufelblätter. Auf diese Weise kann eine gute Antriebskraft erzielt werden. Die Schaufelblätter können flach sein (d. h. nicht gekrümmt und nicht verdreht). Alternativ können die Schaufelblätter gekrümmt und/oder verdreht sein. Die Verwendung gekrümmter und/oder verdrehter Schaufelblätter kann die Antriebseffizienz verbessern.

Vorzugsweise weisen die Schaufeln einen Anstellwinkel von 2° oder mehr, bevorzugter von 10° oder mehr, noch bevorzugter von 10 bis 40° auf. Dadurch ergibt sich ein besonders hoher Auftriebskoeffizient. Unter dem Anstellwinkel versteht man den Winkel zwischen einer Schaufel und der Anströmung bzw. der Drehachse des Laufrades.

Es ist bevorzugt, dass die Schaufelblätter eine Länge von 5 bis 48 % des Durchmessers eines Laufrads des randgetriebenen Triebwerks aufweisen, vorzugsweise von 10 bis 35 %, besser noch von 15 bis 30 %. Dadurch kann die Flüssigkeit, die in die äußeren Bereiche des Querschnitts des Rohrsegments gedrückt wird, gut angetrieben werden, während das in einem inneren Bereich des Rohrsegments befindliche Gas keiner derartigen Antriebskraft ausgesetzt ist, insbesondere wenn die Schaufelblätter nicht bis zu diesem inneren Bereich reichen.

Vorzugsweise bestehen die Schaufeln aus einem Polymer, einer Keramik, einem Metall oder einer Kombination davon, vorzugsweise aus einem Polymer, besonders bevorzugt aus einem faserverstärkten Polymer (Komposit). Besonders bevorzugt bestehen die Schaufeln aus einem mit Kohlenstofffasern und/oder Glasfasern verstärkten Epoxidharz oder Polyamid. Die Schaufeln können dann nicht nur eine gute Festigkeit, sondern auch eine gute Flexibilität aufweisen, so dass sie hohen Strömungskräften standzuhalten vermögen, und weisen darüber hinaus eine gute chemische Beständigkeit auf, die den Einsatz einer großen Vielfalt von Fluiden ermöglicht.

Vorzugsweise werden die Schaufelblätter im 3D-Druckverfahren hergestellt. Dadurch können Schaufelblätter mit einer auf die jeweiligen Anforderungen zugeschnittenen Geometrie hergestellt werden.

Eine Rotationsgeschwindigkeit des Impellers (Rotors) beträgt vorzugsweise 100 bis 5000 U/min, bevorzugter 1000 bis 4000 U/min, noch bevorzugter 2000 bis 3600 U/min (U = Umdrehungen). Dies ermöglicht eine Optimierung der Durchflussrate.

Vorzugsweise umfasst das Rohrsegment außerdem eine Leitschaufel (auch „Führungsschaufel“ genannt) oder mehrere davon, vorzugsweise eine statische Leitschaufel (z. B. Drallelement). Die Leitschaufel wirkt als Drallelement, so dass in Schritt (b) die Flüssigkeit mittels der Leitschaufel verwirbelt wird/in Rotation versetzt wird. Die Leitschaufel verleiht der Flüssigkeit eine zusätzliche Rotationskraft, während sie an ihr entlang strömt. Dies ermöglicht eine erheblich verbesserte Trennung der Flüssigkeit vom Gas mittels Zentrifugal- und/oder Rotationskräften aufgrund der unterschiedlichen Dichte der Flüssigkeit und des Gases.

Der felgengetriebene Antrieb kann stromaufwärts (vor, in Strömungsrichtung) oder stromabwärts (nach, in Strömungsrichtung) der Leitschaufel angeordnet sein. Vorzugsweise ist der felgengetriebene Antrieb stromabwärts der Leitschaufel angeordnet. Dies ermöglicht es, das Gas im inneren Bereich des Rohrsegments und die Flüssigkeit in einem äußeren nahen Bereich des Rohrsegments (d. h. in einem Bereich nahe der Innenwand des Rohrsegments) bereits vor dem Eintritt in den felgengetriebenen Antrieb zu konzentrieren. Somit interagieren die Schaufeln hauptsächlich mit der Flüssigkeit. Dies erhöht die Durchflussrate und die Effizienz erheblich und ermöglicht es, eine hohe Gesamtdurchflussrate aufrechtzuerhalten, selbst wenn Flüssigkeiten mit hohem Gasgehalt transportiert werden.

Vorzugsweise umfasst das Rohrsegment zwei oder mehr Leitschaufeln. Leitschaufeln mit verschiedenen Winkeln, Steigungen und/oder Längen können in der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Die Länge einer Leitschaufel soll sich auf ihre Länge in axialer Richtung des Rohrsegments beziehen. Die Leitschaufeln können vor und/oder hinter dem randgetriebenen Triebwerk angeordnet sein.

Vorzugsweise weisen die Schaufelblätter des felgengetriebenen Triebwerks und/oder die Leitschaufel eine oder mehrere Nuten auf. Dadurch lässt sich der gewünschte Grad der Turbulenz gezielter einstellen.

Der erfindungsgemäße Schlaufenreaktor kann einen horizontalen und/oder einen vertikalen Abschnitt aufweisen. Vorzugsweise befindet sich der randgetriebene Antrieb im horizontalen oder im vertikalen Abschnitt oder in einem horizontalen und im vertikalen Abschnitt.

Vorzugsweise umfasst der felgengetriebene Antrieb ein nabenloses Laufrad, er kann jedoch auch mit einem nabenartigen Laufrad ausgestattet sein. Ein nabenartiges Laufrad umfasst eine Nabe (d. h. eine Laufradscheibe), in deren Mitte die Schaufelblätter angeordnet sind, so dass die Spitzen der Schaufelblätter mit der Nabe verbunden sind, während ein nabenloses Laufrad keine Nabe umfasst, so dass die Schaufelblätter ein freies Ende haben (siehe Abb. 2). Vorzugsweise erreichen die

Schaufelblätter nicht die Mitte und/oder die Nabe des Laufrads. Vorzugsweise ist die Mitte des nabenlosen Laufrads ein freier Raum, der einen ungehinderten Transport des Fluids, insbesondere des Gases der Flüssigkeit, ermöglicht. In alternativen Ausführungsformen kann sich in der Mitte der Nabe ein Verbindungsstück befinden, das die Schaufelblätter verbindet (nabenartiges Laufrad). In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst der felgengetriebene Antrieb ein nabenartiges Laufrad. Da die Spitzen der Schaufelblätter mit der Nabe verbunden sind, kann der felgengetriebene Antrieb größer gebaut werden und eine höhere Schubkraft erzeugen. In einer alternativen bevorzugten Ausführungsform umfasst das felgengetriebene Triebwerk ein nabenloses Laufrad. Dies ist vorteilhaft für die Verbesserung der hydrodynamischen Effizienz, da der Strömungswiderstand ohne Nabe geringer ist. Somit kann eine höhere Strömungsgeschwindigkeit aufrechterhalten werden. Darüber hinaus ermöglicht die Verwendung eines nabenlosen Laufrads den Transport von Flüssigkeiten mit einem höheren Gasgehalt im Vergleich zu einem nabenartigen Laufrad. Das nabenlose Laufrad ist nämlich gut in der Lage, bei konstanter Leistung des felgengetriebenen Triebwerks bei einem höheren Luftgehalt in der Flüssigkeit eine höhere Gesamtdurchflussrate aufrechtzuerhalten, wie im Beispielabschnitt gut gezeigt wird.

Vorzugsweise umfasst das Rohrsegment zwei oder mehr felgengetriebene Triebwerke, wobei die zwei oder mehr felgengetriebenen Triebwerke parallel (in Serie) und/oder in Reihe (hintereinander) angeordnet sind. Wenn die felgengetriebenen Triebwerke in Reihe (d. h. in Folge) angeordnet sind, können sie als mehrere Stufen angesehen werden, vergleichbar mit einer Wasserturbine. Die felgengetriebenen Triebwerke können in direkter Folge angeordnet sein, oder es können andere Teile dazwischen angeordnet sein, wie z. B. ein statischer Mischer und/oder ein Wirbelelement. Die Konfiguration der verschiedenen felgengetriebenen Triebwerke kann variieren, ebenso wie ihre Rotationsgeschwindigkeit.

Wenn das Rohrsegment zwei oder mehr felgengetriebene Triebwerke umfasst, insbesondere in Reihe angeordnet, wird vorzugsweise mindestens eines dieser felgengetriebenen Triebwerke im Rückwärtsmodus betrieben. Vorzugsweise sind die Blätter des felgengetriebenen Triebwerks, das im Rückwärtsmodus betrieben wird, kürzer als die Blätter der anderen felgengetriebenen Triebwerke (d. h. der felgengetriebenen Triebwerke, die im Normalmodus betrieben werden). Die Blätter des felgengetriebenen Triebwerks, das im Rückwärtsmodus betrieben wird, haben vorzugsweise eine Länge von 5 bis 30 % des Durchmessers des Impellers, besser noch von 10 bis 25 %. Beispielsweise können die Blätter eines felgengetriebenen Triebwerks, das im Rückwärtsmodus betrieben wird, eine Länge von 15 % haben, während die Blätter eines felgengetriebenen Triebwerks, das im Normalmodus betrieben wird, eine Länge von 30 % haben können, bezogen auf den Durchmesser des jeweiligen Impellers (Rotors). Dies kann zusätzliche Turbulenzen einbringen und so einen effizienteren Durchsatz des zu transportierenden Fluids, aber auch eine Durchmischung (Rückvermischung) und eine Veränderung der Verweilzeitverteilung ermöglichen. Vorzugsweise umfasst das Rohrsegment drei in Reihe angeordnete felgengetriebene Triebwerke, wobei ein zweites felgengetriebenes Triebwerk im Rückwärtsmodus betrieben wird und wobei ein erstes und ein drittes felgengetriebenes Triebwerk im

Normalmodus betrieben werden, wobei das zweite felgengetriebene Triebwerk zwischen dem ersten und dritten felgengetriebenen Triebwerk angeordnet ist.

Der felgengetriebene Antrieb gemäß der vorliegenden Erfindung kann zusätzlich zu einer herkömmlichen Pumpe, wie einer Axialpumpe und/oder einer Kreiselpumpe, verwendet werden. Dies ermöglicht eine schnellere, umfassendere und bessere Steuerung des Drucks und/oder der Durchflussrate und kann somit zur Optimierung des Durchsatzes beitragen. Wenn der felgengetriebene Antrieb nicht verwendet wird (d. h. nicht rotiert), kann er in einen Leerlaufmodus versetzt werden, in dem er sich frei bewegen kann, oder er kann so eingestellt werden, dass er in einer festen Position bleibt, in der er als statischer Mischer und/oder Wirbelement fungieren kann.

Die vorliegende Erfindung betrifft außerdem das Rohrsegment zum Transportieren eines Fluids, das ein Gas und eine Flüssigkeit umfasst, und vorzugsweise zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei das Rohrsegment das felgengetriebene Triebwerk umfasst, wobei das felgengetriebene Triebwerk das im Inneren des Rohrsegments angeordnete Laufrad umfasst, und wobei die Drehachse des Laufrads parallel zur Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt.

Vorzugsweise ist ein Ende des Rohrsegments mit einem Befestigungselement ausgestattet, das dazu ausgebildet ist, das Rohrsegment mit einem Rohr (d. h. mit einem bestehenden Rohr, wie einem Kreislaufreaktor oder einem Rohr in einem Rohrsystem) zu verbinden. Das Befestigungselement kann beispielsweise einen Flansch mit Löchern enthalten, die jeweils zur Aufnahme einer Schraube geeignet sind. Ein Rohr mit einem Flansch mit Löchern, die mit den Löchern des Befestigungselements des Rohrsegments deckungsgleich sind, kann dann über Schrauben mit dem Rohrsegment verbunden werden. Natürlich können auch andere dem Fachmann aus dem Stand der Technik bekannte Befestigungselemente verwendet werden. Vorzugsweise sind beide Enden des Rohrsegments mit einem Befestigungselement ausgestattet. Dies ermöglicht es, das Rohrsegment flexibel an einer gewünschten Stelle mit einem bestehenden Rohr zu verbinden. Ein entsprechendes Segment des bestehenden Rohrs muss möglicherweise entsprechend entfernt werden, so dass das erfindungsgemäße Rohrsegment das entfernte Segment des bestehenden Rohrs ersetzen kann. Außerdem muss das Rohr möglicherweise mit Befestigungselementen ausgestattet werden, sodass eine dichte Verbindung mit dem erfindungsgemäßen Rohrsegment hergestellt werden kann. Vorzugsweise wird eine Dichtung in einer Kontaktfläche des Rohrsegments und des vorhandenen Rohrs platziert, um die Dichtheit der Verbindung zu verbessern.

Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin einen Schlaufenreaktor, der das Rohrsegment gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst. Unter einem Schlaufenreaktor wird ein Rohr in einer Schleifenform verstanden. Ein Segment dieses Rohrs kann das Rohrsegment gemäß der vorliegenden Erfindung sein. Der Schlaufenreaktor (auch als „Rohrreaktor“ bezeichnet) kann beispielsweise ein Strahlschlaufenreaktor oder ein Airlift-Reaktor mit einer externen Rückführung sein, wobei das

Rohrsegment in einem Fallrohr eines äußeren Schenkels des Airlift-Reaktors angeordnet sein kann. Der Schlaufenreaktor kann für verschiedene Anwendungen verwendet werden, beispielsweise zur Herstellung von Polymeren, insbesondere Polyolefinen, oder vorzugsweise zur Gasfermentation. Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gasfermentation, bei dem ein Fermentationsmedium im Schlaufenreaktor der Erfindung zirkuliert oder durch den erfindungsgemäßen randgetriebenen Triebwerk transportiert wird. Das Fermentationsmedium ist eine Flüssigkeit, die Zellen enthalten kann. Die Zellen können Fermentationsprodukte produzieren. Bei einer Gasfermentation können Gaskomponenten von den Zellen fermentiert und/oder produziert werden. Die vorliegende Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Polymerherstellung durch Polymerisation, wie etwa Polyolefinpolymerisation, wobei Polymerisationsedukte im Schleifenreaktor der Erfindung zirkuliert werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Rohr zum Transportieren eines Fluids, das einen flüssigen Kohlenwasserstoff und ein Erdgas umfasst, wobei das Rohr das Rohrsegment gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst. Dieses Fluid kann mit hoher Effizienz und Sicherheit transportiert werden, selbst wenn es einen hohen Anteil an Erdgas enthält. Daher ist die vorliegende Erfindung gut für die Verwendung bei der Öl- und Gasexploration, insbesondere Offshore, geeignet. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Rohr zum Transportieren eines Kraftstoffs, wobei das Rohr das Rohrsegment gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst. Die vorliegende Erfindung ist gut für die Verwendung beim sicheren Transportieren von Kraftstoff in Flugzeugen (z. B. Flugzeugen) geeignet, wo Dampfblasen ansonsten ein Sicherheitsproblem darstellen können. Das Rohr kann eine einzelne Rohrleitung oder ein Rohrteil in einem Rohrsystem sein, d. h. einem Netzwerk, das zwei oder mehr Rohre umfasst.

Vorzugsweise umfasst der Schleifenreaktor oder das Rohr einen, zwei oder mehr Einlässe und/oder einen, zwei oder mehr Auslässe. Die Einlässe und/oder Auslässe können so konfiguriert sein, dass sie das Fluid, die Flüssigkeit und/oder das Gas einleiten. Vorzugsweise umfasst der Schleifenreaktor einen, zwei oder mehr Gaseinlässe und einen, zwei oder mehr Flüssigkeitseinlässe. Dies ermöglicht die Verwendung des Schleifenreaktors in der Gasfermentation im halbkontinuierlichen oder kontinuierlichen Modus.

Es ist bevorzugt, dass der Kreislaufreaktor oder die Rohrleitung einen Entgasungsbehälter umfasst. Der Entgasungsbehälter ist dazu ausgebildet, zumindest einen Teil des im Fluid enthaltenen Gases, insbesondere gasförmige Reaktionsprodukte, zu entfernen. Dies kann den Transport des Fluids erleichtern, insbesondere bei hohen Gasgehalten im Fluid, z. B. von 50 Vol.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids.

Der Kreislaufreaktor oder das Rohr umfasst vorzugsweise einen Durchflussmesser. Der Durchflussmesser ist so konfiguriert, dass er den Volumenstrom des Fluids, der Flüssigkeit und/oder des Gases, vorzugsweise kontinuierlich, bestimmt. Beispielsweise kann der Durchflussmesser ein Rotameter sein. Der Durchflussmesser ermöglicht die Überwachung des Gasgehalts im Fluid, um einen problemlosen und sicheren Betrieb aufrechtzuerhalten. Besonders bevorzugt umfasst der

Kreislaufreaktor oder das Rohr einen ersten Durchflussmesser und einen zweiten Durchflussmesser, wobei der erste Durchflussmesser die Bestimmung des Volumenstroms des Fluids und der zweite Durchflussmesser die Bestimmung des Volumenstroms des Gases ermöglicht. So kann der Gasgehalt im Fluid berechnet werden. Andere Messungen sind ebenfalls üblich, z. B. optische Dichte (ein Proxy für die Zelldichte), pH-Wert, Temperatur und (gelöste) Gaskonzentrationen (CO_2 , O_2 , usw.).

Der randgetriebene Antrieb wurde an verschiedenen Stellen z. B. eines Kreislaufreaktors zur Fermentation getestet. Er wurde zum Beispiel vor und nach der Zugabe von Speisegasen (Edukte) getestet. In einer bevorzugten Ausführungsform werden die Speisegase dem Kreislaufreaktor stromabwärts (als in Strömungsrichtung nach bzw. hinter) des randgetriebenen Antriebes zugeführt. Für einige Konfigurationen war es ideal, die Speisegase dem Kreislaufreaktor stromaufwärts des randgetriebenen Antriebes zuzuführen. Der randgetriebene Antrieb kann im horizontalen oder vertikalen Abschnitt des Kreislaufs installiert werden. In einem „Standard“-Aufbau der Gasfermentation wird das Speisegas am oberen Abschnitt eines vertikalen Rohrs („Fallrohr“, engl. *downcomer*) zugeführt und die Flüssigkeit nach unten gepumpt. Das Speisegas wird verbraucht (ein hoher Verbrauch wird angestrebt) und die Flüssigkeit wird am Ende des zweiten vertikalen Beins („Steigrohr“, engl. *riser*) beispielsweise mit N_2 oder Luft gespült („gestrippt“), um im Falle einer aeroben Fermentation CO_2 auszutreiben. Dann wird die Flüssigkeit entgas, bevor sie wieder in den Kreislauf eintritt. Der randgetriebene Antrieb wurde an diesen Stellen getestet: vor der Einführung der Speisegase am oberen Abschnitt des Fallrohrs; nach der Einführung der Einsatzgase im mittleren und unteren Abschnitt des Fallrohrs; im horizontalen Rohr, welches Fallrohr und Steigrohr verbindet; im unteren Abschnitt des Steigrohrs; im mittleren Abschnitt des Steigrohrs vor der Einführung des Spülgases; im oberen Abschnitt des Steigrohrs, nach der Einführung des Spülgases (dies war die schlechteste Stelle); im oberen horizontalen Rohr, das den Entgasungsbehälter enthält, nach (stromabwärts von) dem Entgasungsbehälter.

Abhängig von der Zusammensetzung des Ausgangsgases und dem Prozess zeigte jede Konfiguration ihre Vorzüge.

Im Allgemeinen führt eine niedrigere Position des randgetriebenen Triebwerks zu einem geringeren Gasanteil (aufgrund des hydrostatischen Drucks) ebenso wie eine Position weiter stromabwärts im Prozess (wo bei nur einem Zufuhrgaszugabepunkt mehr Zufuhrgas verbraucht wurde). In den meisten Aufbauten erwies es sich als vorteilhaft, zuerst das randgetriebene Triebwerk zu installieren und danach (stromabwärts) die Gase hinzuzufügen. In Aufbauten mit mehr als einem randgetriebenen Triebwerk lieferten eines im oberen Abschnitt des Fallrohrs (direkt vor der Gaseinleitung) und ein randgetriebenes Triebwerk im unteren Abschnitt des Steigrohrs die höchsten Durchflussraten und den niedrigsten Stromverbrauch, gefolgt von einer Konfiguration, bei der das zweite randgetriebene Triebwerk im mittleren Abschnitt des Steigrohrs installiert wurde, bevor das Spülgas hinzugefügt wurde. Das Spülgas wird nicht für alle Fermentationsprozesse benötigt, und die Zufuhrgase können auch an mehreren Punkten zugeführt werden. In allen Fällen übertraf das randgetriebene Triebwerk

herkömmliche Axial- und Kreispumpen in der Leistung, wenn der Gasanteil 5 % (Vol.-%) überstieg. Sie übertraf auch die Leistung klassischer Pumpen mit Induktoren.

Die vorliegende Offenlegung betrifft weiterhin die Verwendung des Rohrsegments gemäß der vorliegenden Erfindung in einem Schleifenreaktor zur Gasfermentation, zum Treibstofftransport, insbesondere in Flugzeugen, und/oder zur Öl- und Gasexploration.

Die vorliegende Offenlegung bezieht sich insbesondere auf die folgenden Ausführungsformen:

1. Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas umfasst, wobei das Verfahren die Schritte
 - (a) Bereitstellen eines Rohrsegments, das ein felgengetriebenes Triebwerk enthält, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein Laufrad umfasst, das innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt, und
 - (b) Transportieren des Fluids durch das Rohrsegment, so dass die Flüssigkeit mittels des randgetriebenen Triebwerks angetrieben wird.
2. Verfahren nach Ausführungsform 1, wobei die Drehachse des Laufrades mit der Längsachse des Rohrsegments zusammenfällt.
3. Verfahren nach Ausführungsform 1 oder 2, wobei das Fluid das Gas in einer Menge von 5 Vol.-% oder mehr, bevorzugt 10 Vol.-% oder mehr, bevorzugter 15 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 20 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 25 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 30 Vol.-% oder mehr, noch bevorzugter 35 Vol.-% oder mehr, besonders bevorzugt 40 Vol.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids, umfasst.
4. Verfahren nach Ausführungsform 3, wobei das Fluid das Gas in einer Menge von 5 bis 40 Vol.-%, vorzugsweise 5 bis 35 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids, umfasst.
5. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 4, wobei das Gas ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Stickstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Sauerstoff, Methan, Wasserstoff, Luft, einer verdampften Flüssigkeit oder einer Mischung davon; vorzugsweise Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und/oder Methan.
6. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 5, wobei die Flüssigkeit ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Wasser, einem Kohlenwasserstoff, einem Lösungsmittel, einer organischen Flüssigkeit, einer anorganischen Flüssigkeit, einer nichtionischen Flüssigkeit, einer ionischen Flüssigkeit oder einer Mischung davon; wobei die Flüssigkeit vorzugsweise Wasser umfasst.

7. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 6, wobei das Fluid das Gas in einer Menge von 5 bis 20 Vol.-%, vorzugsweise 7,5 bis 15 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids, umfasst, und wobei das Fluid weiterhin Wasser umfasst, vorzugsweise wobei das Gas ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Methan, Sauerstoff, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Wasserstoff und Stickstoff oder einer Mischung davon.
8. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 7, wobei die Temperatur des Fluids im Bereich von 10 bis 70 °C, vorzugsweise 25 bis 60 °C, liegt; und/oder ein Druck des Fluids im Bereich von 0,1 bis 20 bar_(absolut), vorzugsweise 1 bis 15 bar_(absolut), liegt; und/oder eine Fließgeschwindigkeit des Fluids im Bereich von 0,2 bis 5 m/s, vorzugsweise 0,5 bis 2,5 m/s, liegt.
9. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 8, wobei das Fluid einen Feststoff umfasst, vorzugsweise in einer Menge von 35 Gew.- % oder weniger, bevorzugter 25 Gew.- % oder weniger, noch bevorzugter 15 Gew.- % oder weniger, noch bevorzugter 5 Gew.- % oder weniger, bezogen auf das Gesamtgewicht des Fluids.
10. Verfahren nach Ausführungsform 9, wobei der Feststoff Zellen (z. B. Bakterienzellen), Mikroorganismen, Enzyme, Katalysatorpartikel, feste Reaktionsedukte und/oder feste Reaktionsprodukte umfasst; vorzugsweise wobei der Feststoff Bakterienzellen in einer Menge von 0,1 bis 400 g/l, vorzugsweise 2,5 bis 250 g/l, gemessen als Trockenzellgewicht, umfasst.
11. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 10, wobei das Fluid eine Reynoldszahl von 20 bis 20.000, vorzugsweise von 2.500 bis 15.000, bevorzugter von 3.000 bis 10.000 aufweist.
12. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 11, wobei das Laufrad Schaufelblätter aufweist, vorzugsweise zwei oder mehr Schaufelblätter, weiter bevorzugt vier oder mehr Schaufelblätter, noch weiter bevorzugt sechs oder mehr Schaufelblätter, noch weiter bevorzugt acht oder mehr Schaufelblätter, besonders bevorzugt zwei bis acht Schaufelblätter.
13. Verfahren gemäß Ausführungsform 12, wobei die Blätter gekrümmt sind, wobei die Blätter vorzugsweise einen Anstellwinkel von 2° oder mehr, bevorzugter von 10° oder mehr, noch bevorzugter von 10 bis 40° aufweisen.
14. Verfahren nach Ausführungsform 12 oder 13, wobei die Blätter eine Länge von 5 bis 48 % eines Durchmessers eines Impellers (Rotors, Laufrads) des felgengetriebenen Triebwerks aufweisen, vorzugsweise von 10 bis 35 %, noch mehr bevorzugt von 15 bis 30 %.

15. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 12 bis 14, wobei die Schaufeln aus einem Polymer, einer Keramik, einem Metall oder einer Kombination davon bestehen, bevorzugt aus einem Polymer, besonders bevorzugt aus einem faserverstärkten Polymer (Kompositwerkstoff).
16. Verfahren gemäß einer der Ausführungsformen 1 bis 15, wobei das Rohrsegment weiterhin eine Leitschaufel, vorzugsweise eine statische Leitschaufel oder eine Kombination davon umfasst.
17. Verfahren nach Ausführungsform 16, wobei das randgetriebene Triebwerk stromabwärts (in Strömungsrichtung nach) der Leitschaufel angeordnet ist.
18. Verfahren nach Ausführungsform 16 oder 17, wobei das Rohrsegment zwei oder mehr Leitschaufeln umfasst.
19. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 16 bis 18, wobei die Schaufelblätter des randgetriebenen Triebwerks und/oder die Leitschaufel mindestens eine Nut aufweisen.
20. Verfahren gemäß einer der Ausführungsformen 1 bis 19, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein nabenloses Laufrad oder ein Laufrad vom Nabentyp, vorzugsweise ein nabenloses Laufrad, umfasst.
21. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 20, wobei das Rohrsegment zwei oder mehr felgengetriebene Triebwerke umfasst, wobei die zwei oder mehr felgengetriebenen Triebwerke parallel und/oder in Reihe angeordnet sind.
22. Rohrsegment zum Transportieren eines Fluids, das ein Gas und eine Flüssigkeit umfasst, und vorzugsweise zum Durchführen des Verfahrens gemäß einer der Ausführungsformen 1 bis 21, wobei das Rohrsegment ein felgengetriebenes Triebwerk umfasst, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein im Inneren des Rohrsegments angeordnetes Laufrad umfasst, und wobei eine Rotationsachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt.
23. Rohrsegment gemäß Ausführungsform 22, das ferner ein oder mehrere Merkmale einer der Ausführungsformen 2 bis 21 aufweist, insbesondere wobei das Laufrad, der felgengetriebene Antrieb und/oder das Rohrsegment wie in einer der Ausführungsformen 2 bis 21 dargelegt definiert ist/sind.
24. Schlaufenreaktor umfassend ein Rohrsegment gemäß Ausführungsform 22 oder 23.
25. Rohr zum Transport eines Fluids umfassend einen flüssigen Kohlenwasserstoff und ein Erdgas, wobei das Rohr ein Rohrsegment gemäß Ausführungsform 22 oder 23 umfasst.

26. Rohr zum Transportieren eines Fluids, das einen Brennstoff umfasst, wobei das Rohr ein Rohrsegment gemäß Ausführungsform 22 oder 23 umfasst.
27. Schlaufenreaktor oder Rohr nach einer der Ausführungsformen 24 bis 26, wobei der Schlaufenreaktor oder das Rohr einen, zwei oder mehrere Einlässe und/oder einen, zwei oder mehrere Auslässe umfasst.
28. Schlaufenreaktor oder Rohr gemäß einer der Ausführungsformen 24 bis 27, wobei der Schlaufenreaktor oder das Rohr einen Entgasungsbehälter umfasst.
29. Kreislaufreaktor oder Rohr gemäß einer der Ausführungsformen 24 bis 28, wobei der Kreislaufreaktor oder das Rohr einen Durchflussmesser umfasst.
30. Schleifenreaktor gemäß einer der Ausführungsformen 24 bis 29, umfassend einen horizontalen und/oder einen vertikalen Abschnitt, wobei sich der randgetriebene Antrieb im horizontalen oder einem vertikalen Abschnitt befindet.
31. Verwendung des Rohrsegments gemäß Ausführungsform 22 oder 23 in einem Schleifenreaktor, gegebenenfalls einem Schleifenreaktor gemäß einer der Ausführungsformen 24–28, zur Gasfermentation, zum Treibstofftransport, insbesondere in Flugzeugen, und/oder bei der Öl- und Gasexploration.
32. Ein Verfahren zur Gasfermentation oder Polyolefinpolymerisation, wobei ein Fermentationsmedium bzw. Polymerisationsedukte im Schleifenreaktor oder Ausführungsform 24 oder 29 zirkuliert werden, wobei das Verfahren vorzugsweise weiterhin wie in einer der Ausführungsformen 1 bis 21 definiert ist.

Abbildungen

Die folgenden Abbildungen sollen die in dieser Offenlegung beschriebene Erfindung weiter veranschaulichen, wobei die vorliegende Erfindung nicht hierauf beschränkt ist.

In Abb. 1 sind schematische Pumpenkurven dargestellt, die die Förderhöhe (also den Druck) als Funktion des Durchflusses von Fluiden, bestehend aus Flüssigkeit und Luft, und mit unterschiedlichem Gasgehalt zeigen. Zum Pumpen der Fluide wurde eine herkömmliche, im Stand der Technik bekannte Pumpe verwendet. Wie man sieht, ist die Förderhöhe und damit der resultierende Durchsatz umso geringer, je höher der Gasanteil ist, was durch die Kompressibilität des Gases bedingt ist. Dies kann beim Pumpen von gashaltigen Fluiden zu Problemen führen.

In Abb. 2 sind verschiedene Ausführungen von Impellern (Rotoren) für felgengetriebene Triebwerke dargestellt. Das Bild auf der linken Seite zeigt einen Nabenimpeller eines felgengetriebenen Triebwerks, der eine Nabe aufweist, die in der Mitte der Impellerblätter angeordnet ist, so dass die Spitzen der Blätter mit der Nabe verbunden sind. Das Bild auf der rechten Seite zeigt einen nabenlosen Impeller eines felgengetriebenen Triebwerks, der keine Nabe aufweist. Diese Ausführungsformen zeigen flache Impellerblätter, es könnten jedoch auch andere Arten von Impellerblättern verwendet werden, wie gekrümmte und/oder verdrehte Impellerblätter. Auch kann die Nabe verschiedene Formen haben, wobei eine Kugel die grundlegendste ist. Eine Tropfenform in der einströmenden Richtung, oder in beiden Richtungen hat sich als vorteilhaft erwiesen.

Abb. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Versuchsaufbaus, der in den in der vorliegenden Offenlegung beschriebenen Beispielen verwendet wurde. Dieser Aufbau wurde verwendet, um Leistungsdaten in einem Testaufbau zu erhalten. Der felgengetriebene Antrieb kann in verschiedenen Konfigurationen von Rohrsystemen eingesetzt werden, die der in Abb. 3 gezeigten Variante ähneln oder nicht.

Abb. 4 zeigt zwei mit einem Rohr verbindbare Rohrsegmente, wobei jedes Rohrsegment ein randgetriebenes Triebwerk mit einem im Rohrsegment angeordneten Impeller umfasst. Das Rohrsegment im rechten Bild ist zusätzlich mit zwei statischen Leitschaufeln ausgestattet. Die Strömungsrichtung des Fluids ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. Es können verschiedene Konfigurationen von statischen Leitschaufeln verwendet werden.

Abb. 5 zeigt ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate als Funktion der Gasdurchflussrate, wie sie beim Transport einer Flüssigkeit durch ein Rohrsegment erhalten wird, das aus einem felgengetriebenen Triebwerk mit einem Laufrad vom Nabentyp oder einem Laufrad ohne Nabe und ohne Leitschaufeln besteht.

In Abb. 6 ist ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate im Verhältnis zur Startdurchflussrate als Funktion des Gasgehalts in der Flüssigkeit beim Transport der Flüssigkeit durch ein Rohrsegment dargestellt, das aus einem randgetriebenen Triebwerk mit einem Laufrad vom Nabentyp oder einem Laufrad ohne Nabe und ohne Leitschaufeln besteht.

Fig. 7 zeigt ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate als Funktion der Gasdurchflussrate, wie sie beim Transportieren eines Fluids durch ein Rohrsegment erhalten wird, das ein felgengetriebenes Triebwerk mit einem Laufrad vom Nabentyp oder ein Laufrad ohne Nabe umfasst, wobei das Rohrsegment außerdem Leitschaufeln umfasst, die stromaufwärts des felgengetriebenen Triebwerks angeordnet sind.

In Abb. 8 ist ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate im Verhältnis zur Startdurchflussrate als Funktion des Luftgehalts im Fluid dargestellt, wie sie beim Transportieren eines Fluids durch ein Rohrsegment erhalten wird, das ein felgengetriebenes Triebwerk mit einem Nabenlaufrad oder einem nabenlosen Laufrad umfasst, wobei das Rohrsegment außerdem Leitschaufeln umfasst, die stromaufwärts des felgengetriebenen Triebwerks angeordnet sind.

Abb. 9 zeigt ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate als Funktion der Luftdurchflussrate, wie sie beim Transport eines Fluids durch ein Rohrsegment erhalten wird, das ein felgengetriebenes Triebwerk

mit einem Nabenlaufrad umfasst, entweder mit oder ohne vor dem felgengetriebenen Triebwerk angeordnete(n) Leitschaufeln.

In Abb. 10 ist ein Beispiel für die Gesamtdurchflussrate im Verhältnis zur Startdurchflussrate dargestellt, wie sie beim Transport einer Flüssigkeit bzw. eines Fluids durch ein Rohrsegment erhalten wird, das aus einem felgengetriebenen Triebwerk mit einem Nabenlaufrad besteht, entweder mit oder ohne vor dem felgengetriebenen Strahlruder angeordnete Leitschaufeln.

Abb. 11 zeigt ein Beispiel der Gesamtdurchflussrate als Funktion der Luftdurchflussrate, wie sie beim Transport eines Fluids durch ein Rohrsegment erhalten wird, das ein felgengetriebenes Triebwerk mit einem nabenlosen Laufrad umfasst, entweder mit oder ohne vor dem felgengetriebenen Triebwerk angeordnete Leitschaufeln.

In Abb. 12 ist ein Beispiel für die Gesamtdurchflussrate im Verhältnis zur Startdurchflussrate dargestellt, wie sie beim Transport einer Flüssigkeit durch ein Rohrsegment erhalten wird, das aus einem felgengetriebenen Triebwerk mit nabenlosem Laufrad besteht, entweder mit oder ohne vor dem felgengetriebenen Triebwerk angeordnete Leitschaufeln.

In Abb. 13 wird ein Beispiel für die Effizienz des Transports eines Fluids mit unterschiedlichem Gasanteil durch ein Rohrsegment gezeigt, das aus einem felgengetriebenen Triebwerk mit einem nabenlosen Laufrad besteht, wobei keine Leitschaufeln verwendet wurden.

In Abb. 14 ist ein Beispiel für die Effizienz des Transports eines Fluids mit unterschiedlichem Gasanteil durch ein Rohrsegment dargestellt, das ein felgengetriebenes Triebwerk mit einem nabenlosen Laufrad umfasst, wobei das Rohrsegment außerdem Leitschaufeln umfasst, die stromaufwärts (vor dem) des felgengetriebenen Triebwerks angeordnet sind.

Abb. 15 zeigt ein Beispiel für Leitschaufeln in einem Rohrsegment. Die Leitschaufeln weisen im Querschnitt des dargestellten Rohrsegments eine sigmoidale Form auf, wobei auch andere Formen möglich sind.

Beispiele

Die folgenden Beispiele erläutern die vorliegende Erfindung weiter, ohne sie in irgendeiner Weise einzuschränken.

I. Versuchsaufbau

Herkömmliche Pumpen wie Kreiselpumpen und Axialpumpen haben den Nachteil, dass sich Flüssigkeiten (Fluide) mit einem Gasanteil von mehr als etwa 15 bis 20 Vol.-% nicht oder nur schlecht pumpen lassen. Ziel der Experimente war es, herauszufinden, ob randgetriebene Triebwerke die Pumpleistung von Flüssigkeiten mit hohem Gasanteil verbessern und somit als Ersatz für herkömmliche Pumpen zum Transport von Flüssigkeiten eingesetzt werden können. Der Gasanteil wird durch Blasen im Inneren des Fluids gebildet, die unterschiedliche Größen haben können, darunter Mikrobblasen und größere Blasen.

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abb. 3 dargestellt. Die Flüssigkeit bewegte sich im Uhrzeigersinn in einem Kreislaufreaktor (Schleifenreaktor). Der Prozess wurde durch Zufuhr von Gas (wie Luft oder im Falle einer tatsächlichen Fermentation O_2 und CH_4 oder CO_2 und H_2) gestartet. Vor der Zugabe in den Kreislaufreaktor passieren die zugeführten Gase einen ersten Durchflussmesser (Rotameter), um den Volumenstrom des Gases/der Luft zu überwachen. In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Gase nicht vorgemischt und werden separat dosiert. Der erste Durchflussmesser (hier: für die vorgemischten Gase) war mit einem Ventil zur Steuerung des Gasstroms ausgestattet. Das zugeführte Gas diffundierte in Wasser, das mittels eines Blasendiffusers durch den Kreislaufreaktor geleitet wurde, um ein Fluid zu bilden, das Wasser und mitgerissene Gasblasen umfasste. Diese Flüssigkeit passierte einen randgetriebenen Antrieb, der in einem Abschnitt des Kreislaufreaktors angeordnet war. Der randgetriebene Antrieb wurde kontinuierlich mit einer Stromquelle angetrieben. Anschließend wurde der Volumenstrom der Flüssigkeit mit einem zweiten Durchflussmesser (Rotameter) überwacht. Da der Volumenstrom des zugeführten Gases und der Volumenstrom der Flüssigkeit bekannt waren, konnte der Gasgehalt in der Flüssigkeit bestimmt werden. Anschließend wurde die Flüssigkeit in einen Entgasungsbehälter überführt, in dem das Wasser vom Gas getrennt wurde. Das Wasser wurde dann im Kreislaufreaktor zurückgeführt, um erneut mit einer bestimmten Menge des zugeführten Gases vermischt zu werden.

Die Experimente wurden mit zwei verschiedenen Impellertypen von felgengetriebenen Triebwerken durchgeführt, nämlich mit einem Nabenimpeller und einem nabenlosen Impeller, wie aus Abb. 2 ersichtlich. Die Impeller wurden beide 3D-gedruckt und hatten die gleiche Schaufelgeometrie. Der Austausch der Impeller war bei diesen Experimenten einfach und konnte innerhalb kurzer Zeit durchgeführt werden.

Darüber hinaus wurden die Experimente mit und ohne statische Leitschaufeln durchgeführt, die vor dem felgengetriebenen Triebwerk angeordnet waren (in Strömungsrichtung, also stromaufwärts). Für einen schnellen Austausch von Teilen wurden Rohrsegmente wie in Abb. 4 dargestellt verwendet, die für einen Kreislaufreaktor geeignet sind. Die Leitschaufeln dienen dazu, der Flüssigkeit eine Wirbelbewegung zu verleihen, bevor sie in das felgengetriebene Triebwerk eintritt. Infolgedessen leiten Rotations- und Zentrifugalkräfte das dichtere Medium (d. h. Wasser) zur Innenwand des Kreislaufreaktors. Somit verbleibt das leichtere Medium (d. h. Luft oder andere Gase) hauptsächlich in einem inneren Bereich eines Querschnitts des Kreislaufreaktors. Die Leitschaufeln ermöglichen es somit, dass das Wasser (die Flüssigkeit) zumindest zu einem großen Teil auf die Schaufeln des Laufrads des felgengetriebenen Triebwerks auftrifft, was zu einer verbesserten Effizienz, insbesondere zu einer verbesserten Gesamtdurchflussrate, führt.

In den Experimenten wurde ein felgengetriebener Antrieb mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Leistung von 300 W verwendet, der sich mit einer Drehzahl von bis zu 3600 U/min drehen kann. Mit diesen Parametern können beispielsweise bei einer Versorgungsspannung von 16 V etwa 2,5 kg (25N) Schub erreicht werden. Darüber hinaus betrug die Flüssigkeitstemperatur 22 °C, und die Drehzahl des felgengetriebenen Antriebes wurde in diesem Experiment auf einen konstanten Wert von 500 U/min eingestellt.

II. Ergebnisse

Die Gasdurchflussrate und die Gesamtdurchflussrate für die verschiedenen Versuchsaufbauten (nabenloses/nabenförmiges Laufrad, mit/ohne Leitschaufeln) sind in den Tabellen 1 bis 4 aufgeführt. Die Gasdurchflussrate bezeichnet die mit dem ersten Durchflussmesser gemessene Durchflussrate des Gases und die Gesamtdurchflussrate bezeichnet die mit dem zweiten Durchflussmesser gemessene Durchflussrate des Fluids (bestehend aus Wasser und Gas). Darüber hinaus sind in den Tabellen 1 bis 4 die Gasgehalte im Fluid aufgeführt, wobei diese Werte auf das Gesamtvolumen des Fluids bezogen sind.

Tabelle 1: Luftdurchsatz, Gesamtdurchsatz und Luftinhalt bei Verwendung eines Nabenlaufrades ohne Leitschaufeln. Statt Luft kann auch ein anderes Gas (-gemisch) verwendet werden.

Luftdurchsatz Durchflussmenge (l/min)	Gesamtdurchflussrate (m ³ /h)	Gesamtdurchflussrate (l/min)	Luftgehalt (Vol.-%)
0	4,4	73,33	0
1,0	4,4	73,33	1,36
1,5	4,4	73,33	2,05
2,0	4,4	73,33	2,73
2,5	4,2	70,00	3,57
3,0	2,7	45,00	6,67
3,5	0	0	-

Tabelle 2: Luftdurchsatz, Gesamtdurchsatz und Luftinhalt bei Verwendung eines nabenseiten Laufrades und ohne Leitschaufeln

Luftdurchsatz Durchflussmenge (l/min)	Gesamtdurchflussrate (m ³ /h)	Gesamtdurchflussrate (l/min)	Luftgehalt (Vol.-%)
0	4,4	73,33	0
1,0	4,4	73,33	1,36
1,5	3,5	58,33	2,57
2,0	3	50,00	4,00
2,5	2,5	41,67	6,00
3,0	2,5	41,67	7,20
3,5	2,5	41,67	8,40
4,0	2	33,33	12,00
4,5	0	0	-

Tabelle 3: Luftvolumenstrom, Gesamtvolumenstrom und Luftinhalt bei Verwendung eines Laufrads in Nabenbauweise und mit Leitschaufeln

Luftdurchsatz Durchflussmenge (l/min)	Gesamtdurchflussrate (m³/h)	Gesamtdurchflussrate (l/min)	Luftgehalt (Vol.-%)
0	5,4	90,00	0,00
1	5,4	90,00	1,11
1,5	5,4	90,00	1,67
2	5,4	90,00	2,22
2,5	5,4	90,00	2,78
3	3,5	58,33	5,14
3,5	2,3	38,33	9,13
4	1,5	25,00	16,00
4,5	0	0,00	-

Tabelle 4: Luftdurchsatz, Gesamtdurchsatz und Luftinhalt bei Verwendung eines nabenlosen Laufrades und mit Leitschaufeln

Luftdurchsatz Durchflussmenge (l/min)	Gesamtdurchflussrate (m³/h)	Gesamtdurchflussrate (l/min)	Luftgehalt (Vol.-%)
0	5,4	90,00	0,00
1	5,4	90,00	1,11
1,5	5,4	90,00	1,67
2	5,4	90,00	2,22
2,5	4,2	70,00	3,57
3	4,2	70,00	4,29
3,5	3,9	65,33	5,36
4	3,6	60,67	6,59
4,5	2,8	46,67	9,64
5	2,3	38,33	13,04
5,5	1,8	30,00	16,67
6	1,2	20,00	27,50
6,5	0,0	0,00	-

II. a Analyse der Ergebnisse ohne Leitschaufeln

Wie aus den Tabellen 1 und 2 sowie aus Abb. 5 ersichtlich ist, wird mit beiden Laufradtypen bei einem Luftdurchsatz von 0 l/min der gleiche anfängliche Gesamtdurchsatz des Fluids (reine Flüssigkeit) erreicht. Bei Verwendung eines Laufrads mit Nabe kann dieser anfängliche Gesamtdurchsatz (d. h. der Startdurchsatz) bis zu einem Luftdurchsatz von 2,0 l/min aufrechterhalten werden, wonach der Gesamtdurchsatz schnell abfällt und bei einem Luftdurchsatz von 3,5 l/min 0 l/min erreicht. Im Gegensatz dazu kann bei Verwendung eines Laufrads ohne Nabe bis zu einem Luftdurchsatz von 3,5 l/min ein angemessener, nur geringfügig reduzierter Gesamtdurchsatz von über 40 l/min erreicht werden; 0 l/min wird bei einem Luftdurchsatz von 4,5 l/min erreicht.

In Abb. 6 wird der Luftanteil in der Flüssigkeit in Prozent mit der Gesamtdurchflussrate korreliert. Der Anfangswert der Durchflussrate bei einer Luftdurchflussrate von 0 l/min entspricht 100 Vol.-% der

Gesamtdurchflussrate. Es ist ersichtlich, dass das nabenlose Laufrad mit einem Luftgehalt in der Flüssigkeit von bis zu 12 Vol.-% betrieben werden kann, während das Laufrad mit Nabe eine Flüssigkeit mit einem Luftgehalt von nur 6,67 Vol.-% nicht mehr pumpen kann. Dies zeigt, dass das nabenlose Laufrad mit fast dem doppelten Luftgehalt in der Flüssigkeit betrieben werden kann als das Laufrad mit Nabe.

II.b Analyse der Ergebnisse bei Verwendung von Leitschaufeln

Wie aus Tabelle 7 ersichtlich, kann das Nabenlaufrad mit Hilfe von Leitschaufeln einen Luftgehalt von bis zu 16 Vol.-% bewältigen, bevor die Flüssigkeit (das Fluid) nicht mehr pumpbar ist. Im Gegensatz dazu kann, wie aus Tabelle 8 hervorgeht, bei Verwendung des nabenlosen Laufrads ein Luftgehalt von bis zu 27,5 Vol.-% in der Flüssigkeit erreicht werden, bevor die Flüssigkeit nicht mehr pumpbar ist. Dieser Luftgehalt ist fast doppelt so hoch wie der, der bei Verwendung des Nabenlaufrads erreicht wird.

Die Analyse der Kurven in Abb. 7 zeigt, dass beide Laufräder einen anfänglichen Gesamtdurchfluss (d. h. einen Startdurchfluss) von 90 l/min haben. Der Gesamtdurchfluss des Laufrads ohne Nabe sinkt bei einem Luftdurchfluss von 2,5 l/min auf 70 l/min. Danach beginnt der Gesamtdurchfluss zu sinken, zunächst langsam, dann schneller, bis er bei einem Luftdurchfluss von 6,4 l/min 0 l/min erreicht. Andererseits sinkt der Gesamtdurchfluss des Laufrads mit Nabe nicht, bis der Luftdurchfluss 3 l/min erreicht. Im Vergleich zum Laufrad ohne Nabe ist der anschließende Abfall jedoch viel steiler, sodass der Gesamtdurchfluss bei einem Luftdurchfluss von 4,5 l/min 0 l/min erreicht. Beim Vergleich der Luftinhalte übertrifft das Laufrad ohne Nabe, wie aus Abb. 8 hervorgeht, das Laufrad mit Nabe hinsichtlich der Effizienz. Darüber hinaus ist der Luftinhalt, der mit dem nabenlosen Laufrad bewältigt werden kann, nahezu doppelt so hoch wie bei Verwendung eines Laufrads mit Nabe.

II.c Fazit

Wie gezeigt wurde, übertrifft das nabenlose Laufrad das Nabenlaufrad, außer beim Transport einer Flüssigkeit mit einem geringen Luftgehalt von unter 5 Vol.-%. Dementsprechend hat das nabenlose Laufrad einen höheren Wirkungsgrad – es ist durchaus in der Lage, bei einem höheren Luftgehalt in der Flüssigkeit eine höhere Gesamtdurchflussrate aufrechtzuerhalten.

Es ist anzumerken, dass diese Experimente mit verschiedenen Impelleranordnungen (z. B. gekrümmte Schaufeln, unterschiedliche Schaufelanzahl von vier, sechs oder acht Schaufeln) und unterschiedlichen Längen der Impellerschaufeln (von 15 bis 48 % des Impellerdurchmessers) durchgeführt wurden. Auch die Dicke der Impellerschaufeln wurde variiert, und Impellerschaufeln mit Rillen wurden getestet. Darüber hinaus wurden Leitschaufeln mit unterschiedlichen Geometrien verwendet, z. B. Leitschaufeln mit Rillen. In einigen getesteten Anordnungen konnte sogar eine Flüssigkeit mit einem Luftgehalt von bis zu 35,5 Vol.-% gepumpt werden. Dies zeigt die hervorragende Verwendbarkeit der vorliegenden Erfindung in verschiedenen Anwendungen, wie z. B. Gasfermentation, Öl- und Gasexploration sowie Kraftstofftransport, insbesondere in Flugzeugen.

Ansprüche

1. Verfahren zum Transportieren eines Fluids, das eine Flüssigkeit und ein Gas umfasst, wobei das Verfahren die Schritte
 - (a) Bereitstellen eines Rohrsegments, das ein felgengetriebenes Triebwerk (randgetriebenes Triebwerk, englisch: *rim driven thruster*, RDT) enthält, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein Laufrad aufweist, das innerhalb des Rohrsegments angeordnet ist, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt, und
 - (b) Transportieren der Flüssigkeit durch das Rohrsegment, so dass die Flüssigkeit mittels des randgetriebenen Triebwerks angetrieben wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Fluid das Gas in einer Menge von 5 bis 35 Vol.-%, bezogen auf das Gesamtvolumen des Fluids, enthält.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Gas Kohlendioxid, Wasserstoff, Kohlenmonoxid und/oder Methan umfasst und wobei die Flüssigkeit Wasser umfasst.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Laufrad Schaufelblätter umfasst, wobei die Schaufelblätter eine Länge von 15 bis 48 %, vorzugsweise 15 bis 30 %, eines Durchmessers eines Laufrads des felgengetriebenen Triebwerks aufweisen.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Rohrsegment außerdem eine oder mehrere Leitschaufeln umfasst, wobei das randgetriebene Triebwerk stromabwärts der Leitschaufeln angeordnet ist (d.h. ein Fluidpaket passiert zuerst die Leitschaufeln und dann das randgetriebene Triebwerk).
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein nabenloses Laufrad umfasst.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Rohrsegment zwei oder mehr felgengetriebene Triebwerke umfasst, wobei die zwei oder mehr felgengetriebenen Triebwerke parallel (in Serie) und/oder in Reihe (hintereinander) angeordnet sind.
8. Rohrsegment zum Transportieren eines Fluids, das ein Gas und eine Flüssigkeit umfasst, und zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Rohrsegment ein felgengetriebenes Triebwerk umfasst, wobei das felgengetriebene Triebwerk ein im Inneren des Rohrsegments angeordnetes Laufrad umfasst, und wobei eine Drehachse des Laufrads parallel zu einer Längsachse des Rohrsegments ist oder mit dieser zusammenfällt.

9. Schlaufenreaktor umfassend ein Rohrsegment gemäß Anspruch 8.
10. Rohr zum Transport eines Fluids, das einen flüssigen Kohlenwasserstoff und ein Erdgas umfasst, oder zum Transport eines Kraftstoffs, wobei das Rohr ein Rohrsegment gemäß Anspruch 8 umfasst.
11. Schleifenreaktor nach Anspruch 9, umfassend einen horizontalen und/oder einen vertikalen Abschnitt, wobei sich das randgetriebene Triebwerk im horizontalen oder einem vertikalen Abschnitt befindet.
12. Verfahren zur Gasfermentation oder Polyolefinpolymerisation, wobei ein Fermentationsmedium bzw. Polymerisationsedukte im Schleifenreaktor nach Anspruch 9 oder 11 zirkuliert werden, wobei das Verfahren vorzugsweise ferner wie in einem der Ansprüche 1 bis 7 definiert ist.

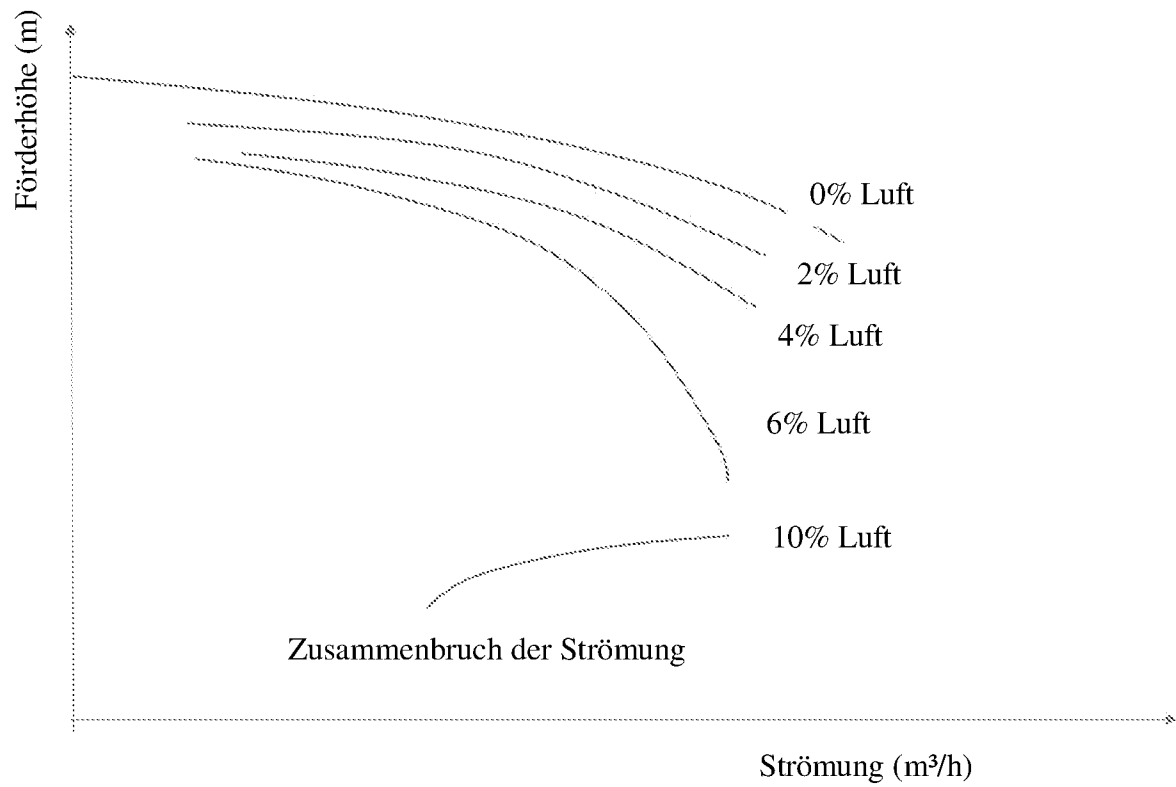
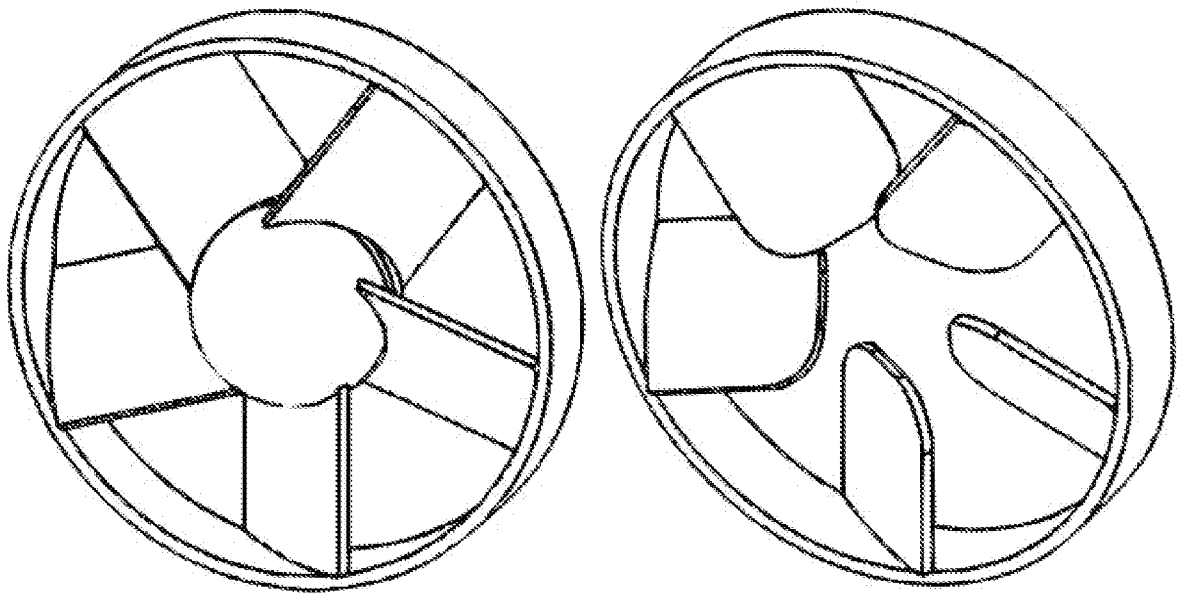
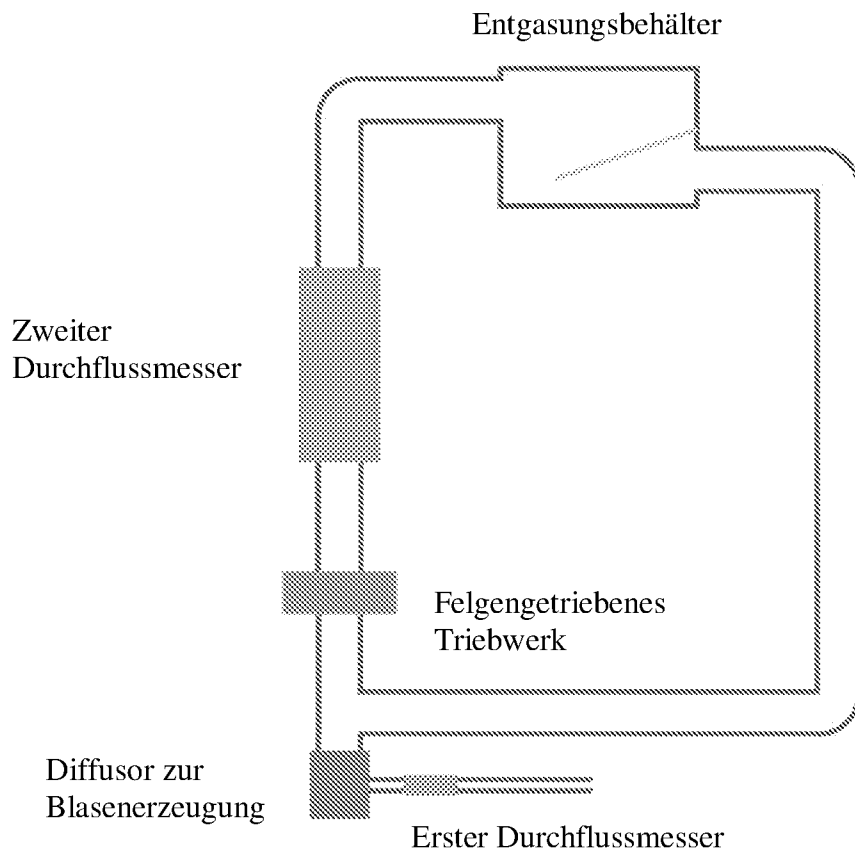
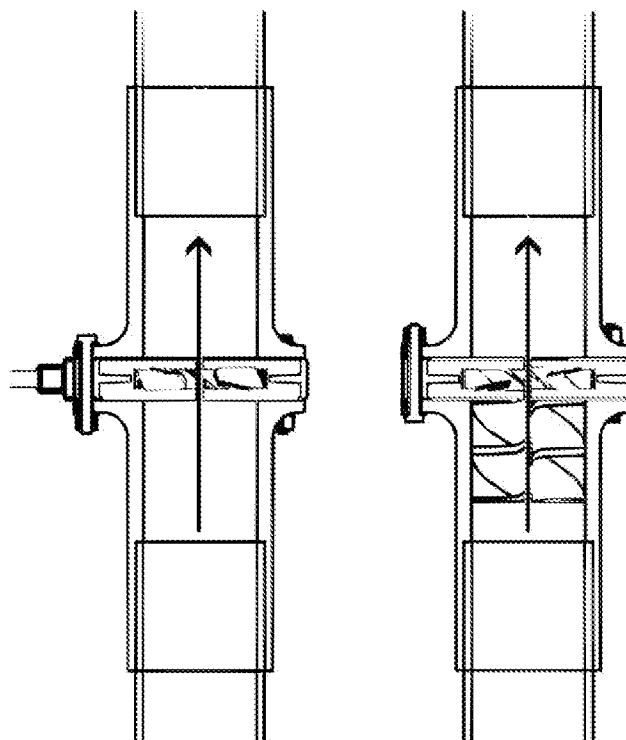
Abb. 1**Abb.
2**

Abb. 3



**Abb.
4**



→ Strömungsrichtung

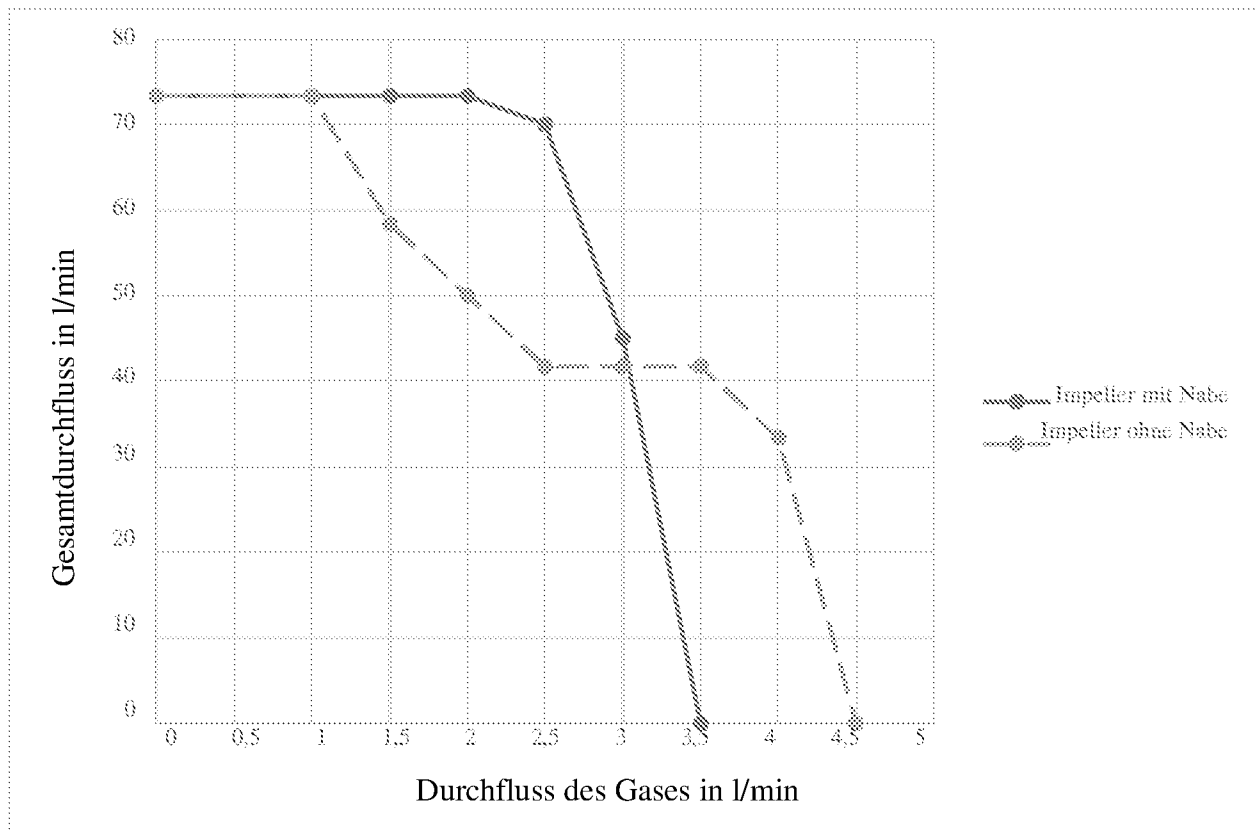
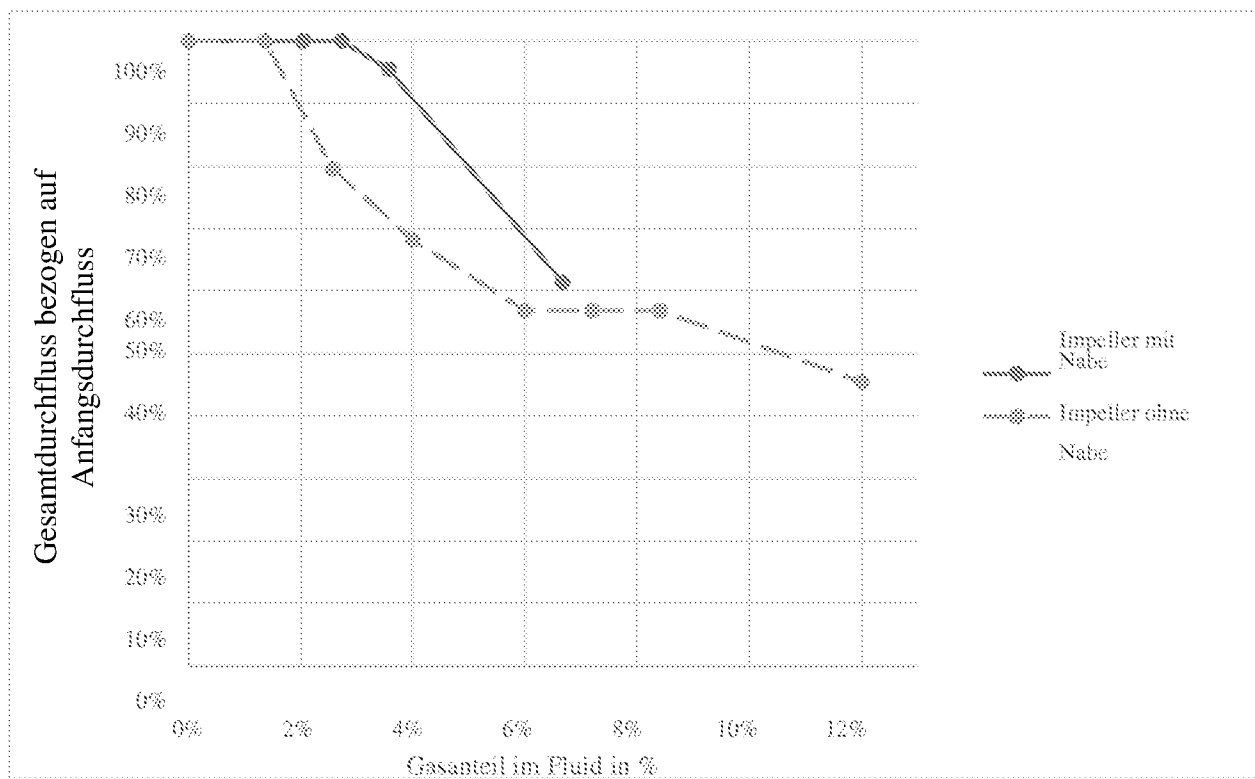
Abb. 5**Abb.
6**

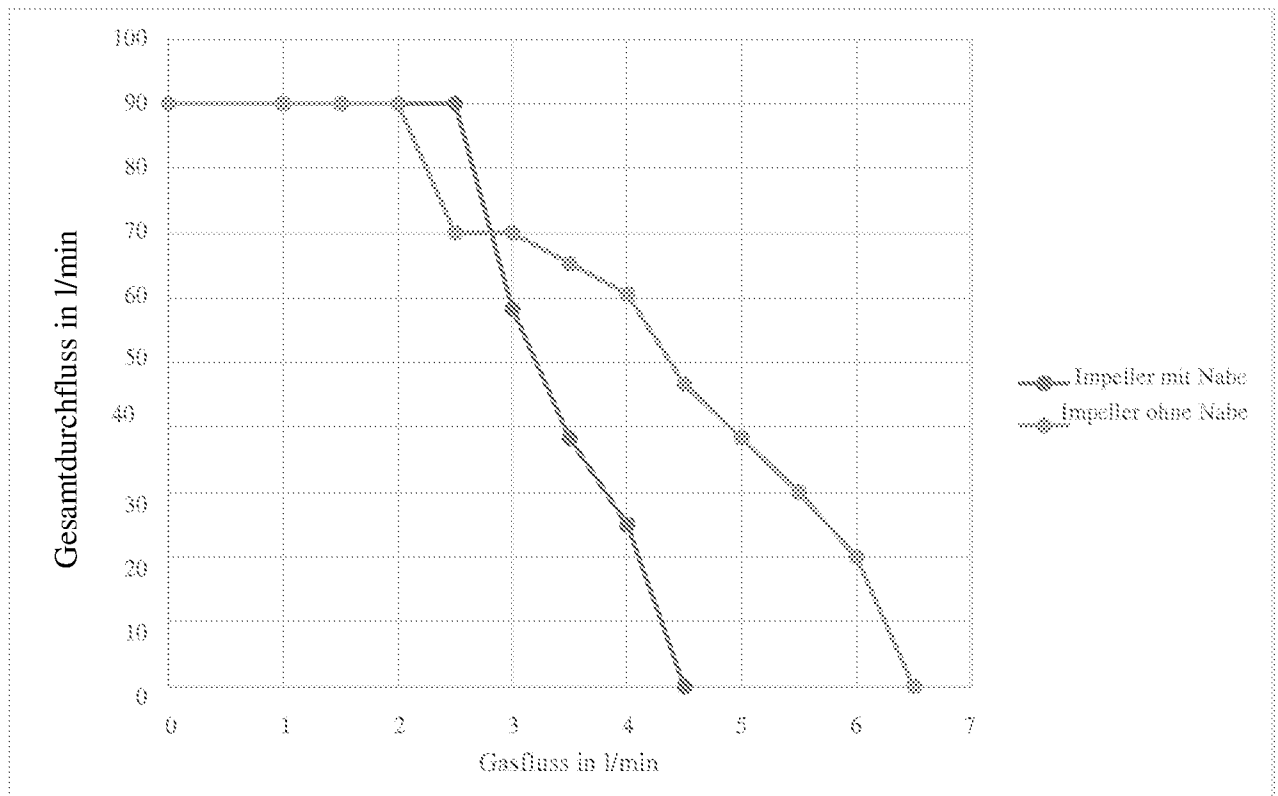
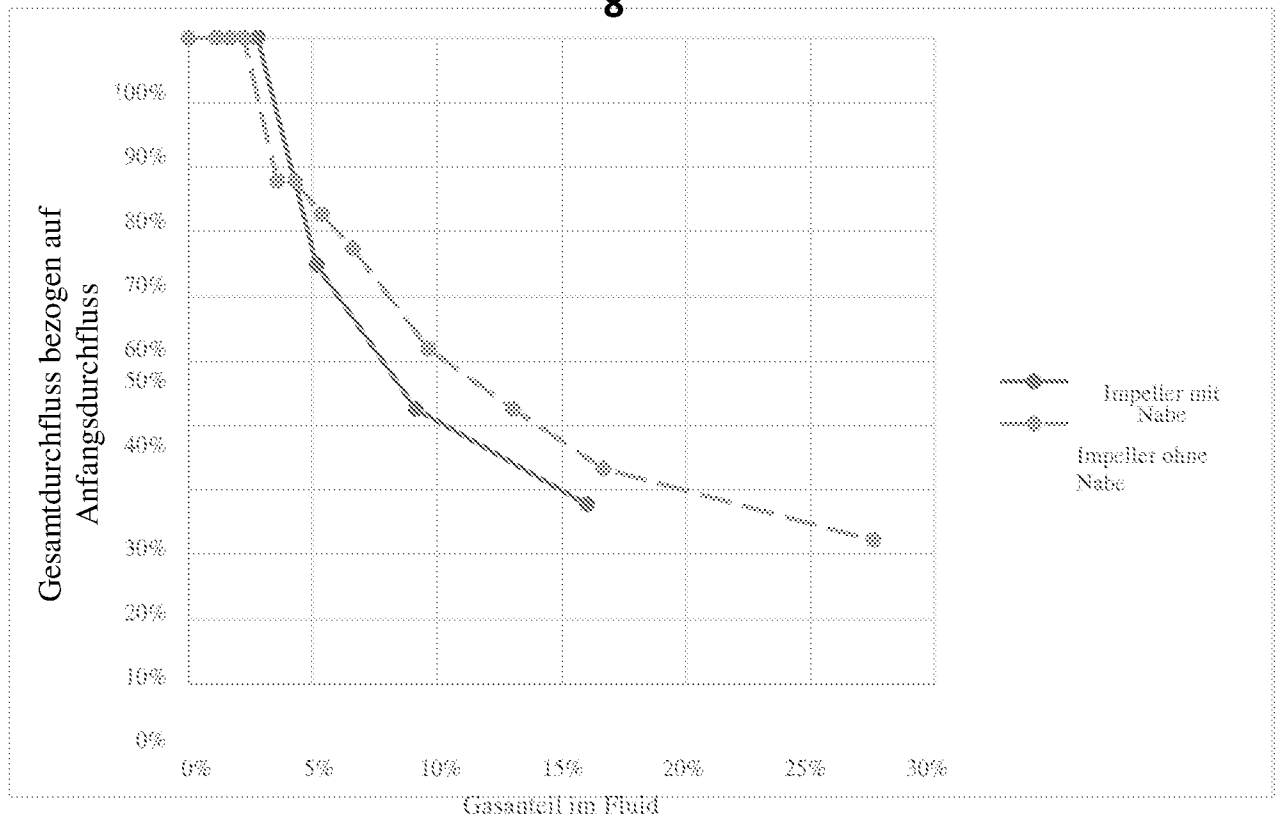
Abb. 7**Abb. 8**

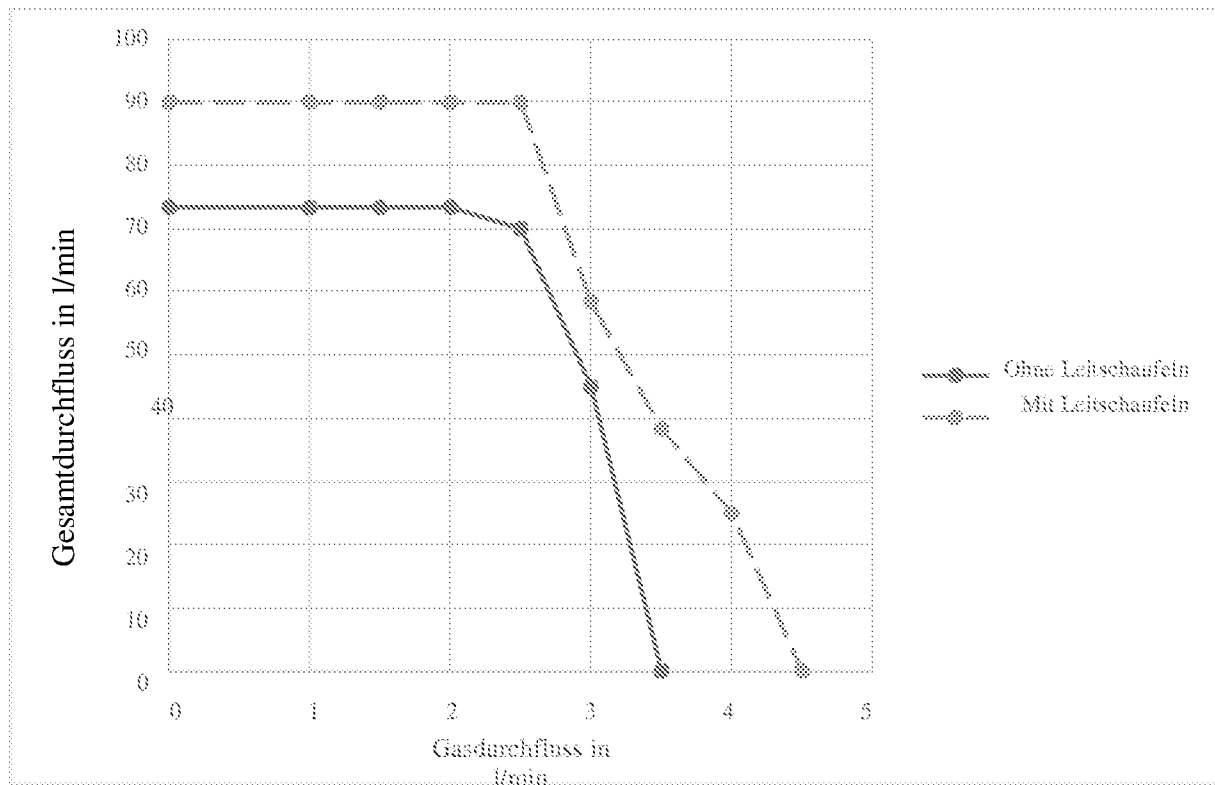
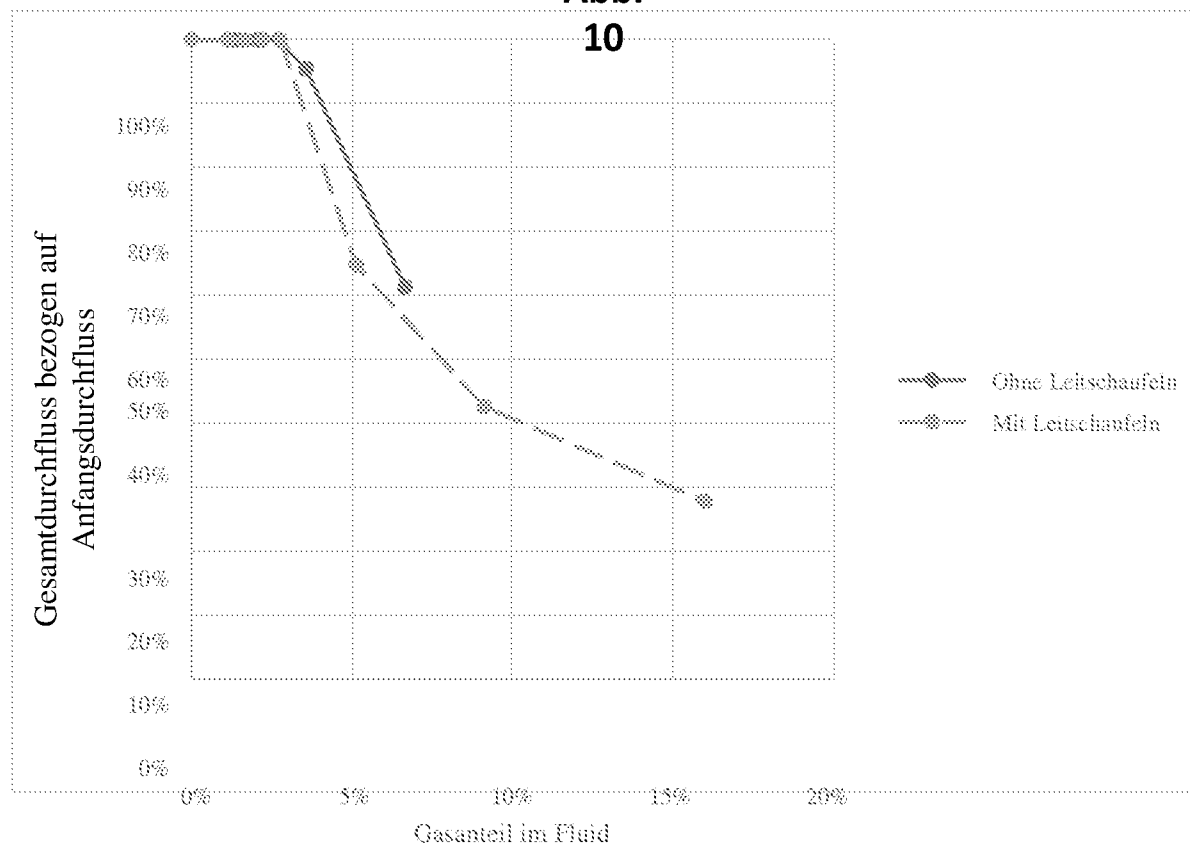
Abb. 9**Abb.
10**

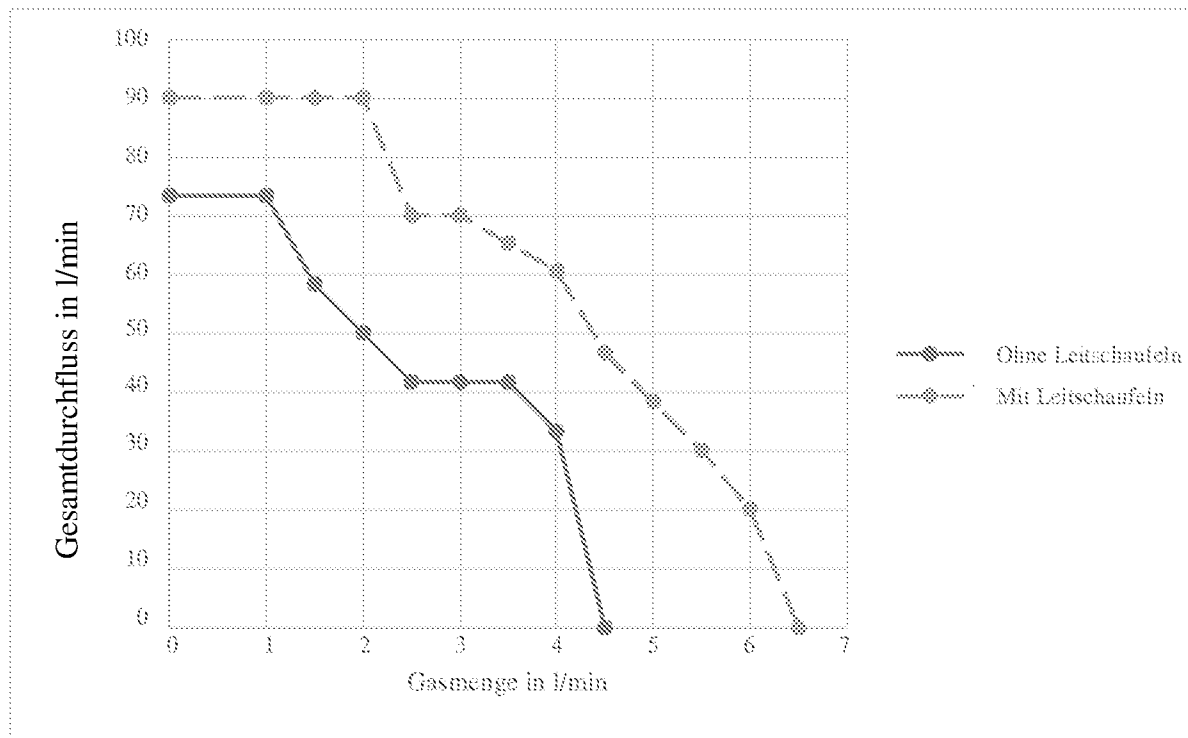
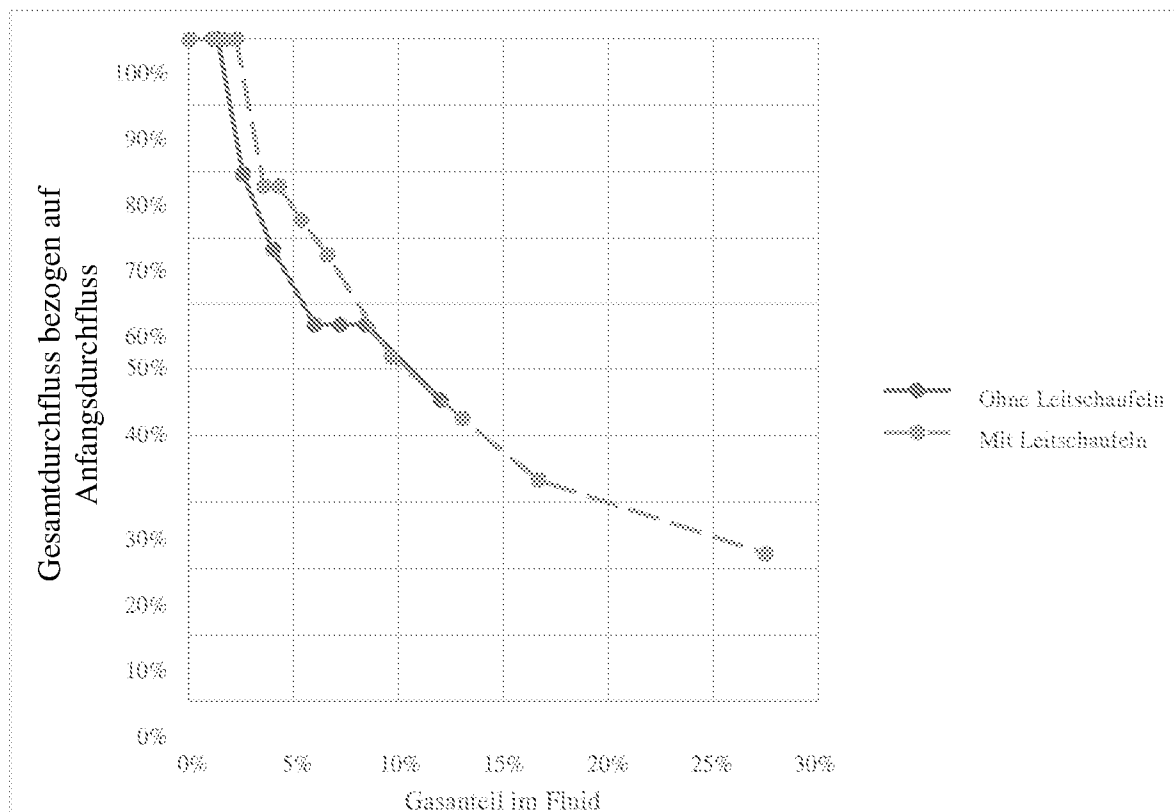
Abb. 11**Abb.
12**

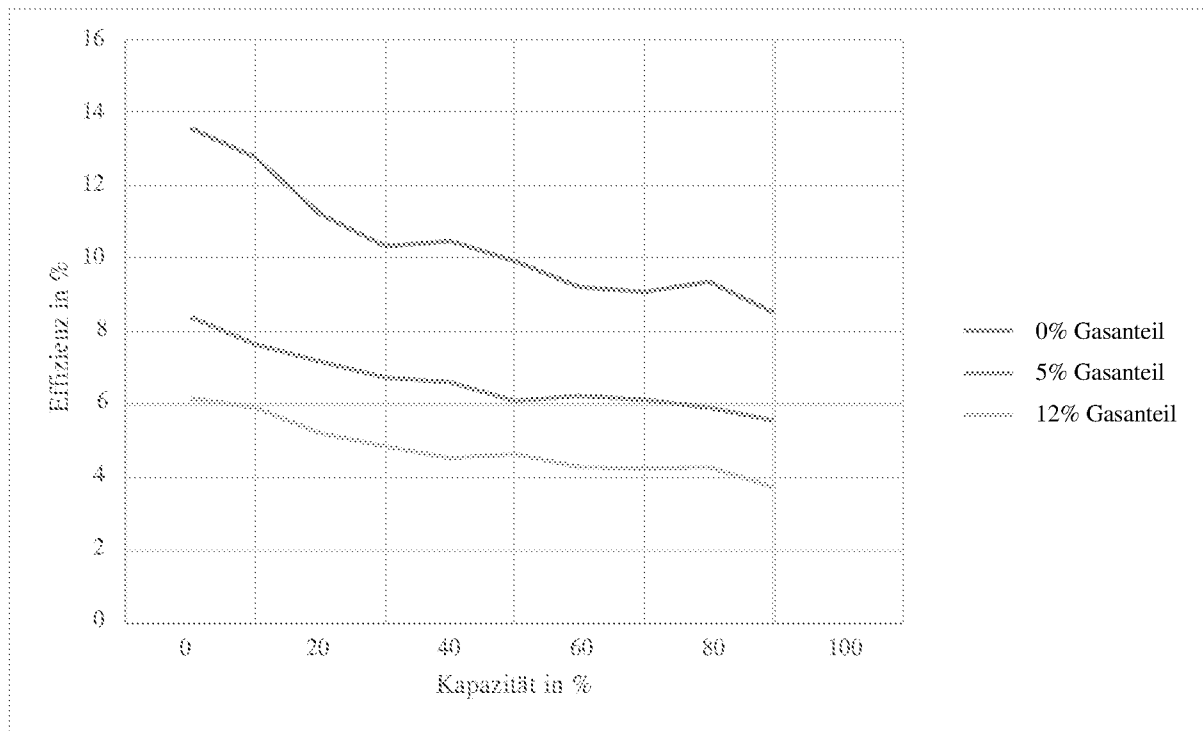
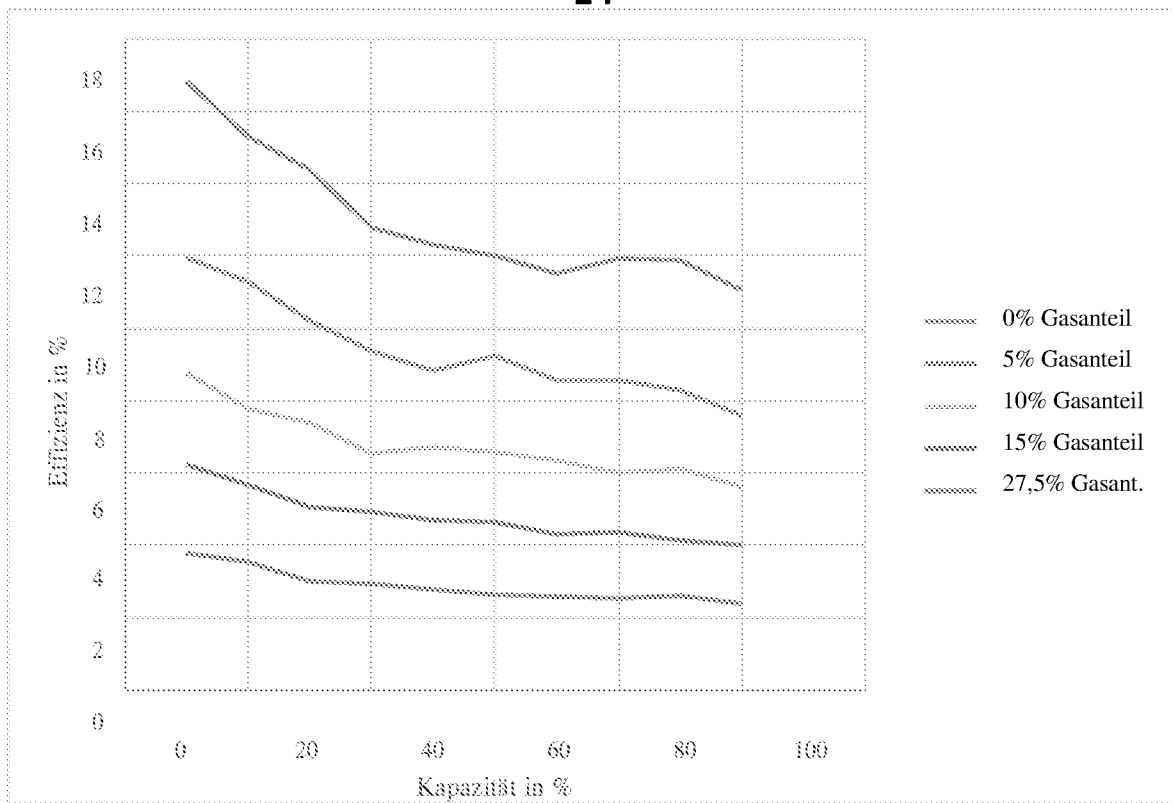
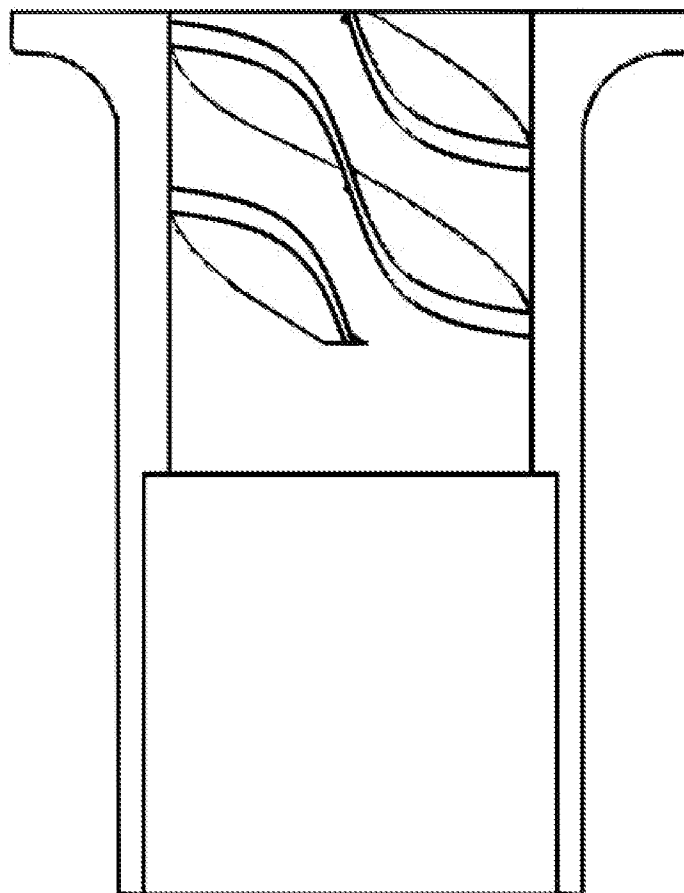
Abb. 13**Abb.
14**

Abb. 15



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

F04D 3/00 (2006.01); F04D 29/18 (2006.01); B01J 19/18 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

F04D 3/00 (2013.01); F04D 29/181 (2013.01); B01J 19/1837 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

F04D, B01J

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPIAP

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 08.11.2023 eingereichten Ansprüchen 1-12 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 2006165566 A1 (KELM CHARLES [US]) 27. Juli 2006 (27.07.2006) Zusammenfassung; Fig. 1-3; Absätze 0021,0052,0053,0059-0063;	1,3,5,7-12
Y		6
Y	WO 2020005072 A1 (JUNGMINDS AS [NO]) 02. Januar 2020 (02.01.2020) Zusammenfassung; Fig. 1,2,7; Seite 7, Zeile 27 - Seite 8, Zeile 9;	6

Datum der Beendigung der Recherche:

23.04.2024

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

HÖRZER Klaus

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
- P** Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.