(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
17. Dezember 2015 (17.12.2015)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/189280 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B01L 3/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/062956

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Juni 2015 (10.06.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 211 121.8 11. Juni 2014 (11.06.2014) DE

(71) Anmelder: **HAHN-SCHICKARD-GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG E.V.** [DE/DE]; Wilhelm-Schickard-Straße 10, 78052 Villingen-Schwenningen (DE). **ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG** [DE/DE]; Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg (DE).

(72) Erfinder: **SCHWEMMER, Frank**; Kaiserstuhlstrasse 26a, 79108 Freiburg (DE). **ZEHNLE, Steffen**; Dunantstr. 3, 79110 Freiburg (DE). **PAUST, Nils**; Ida-Kerkoviusstraße 9, 79100 Freiburg (DE). **MARK, Daniel**; Badenweilerstraße 5, 79115 Freiburg (DE).

(74) Anwälte: **STÖCKELER, Ferdinand** et al.; Schoppe, Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB, Radlkoferstr. 2, 81373 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title**: FLUIDIC MODULE, APPARATUS AND METHOD FOR HANDLING A LIQUID

(54) **Bezeichnung** : FLUIDIKMODUL, VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM HANDHABEN VON FLÜSSIGKEIT

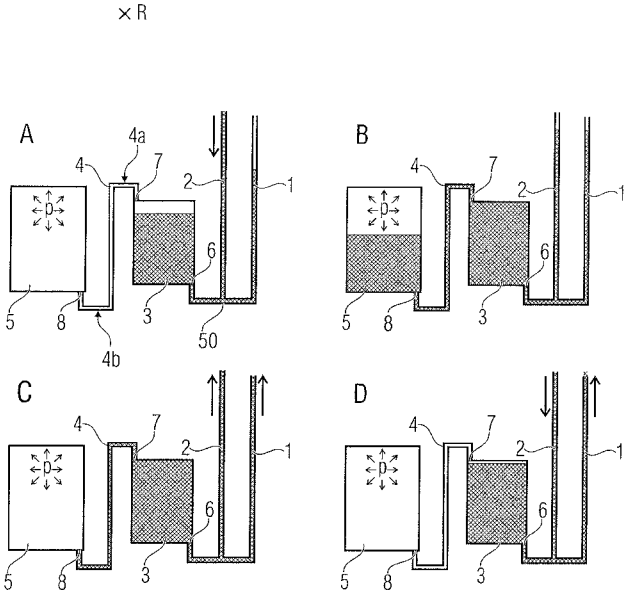


FIG 1

(57) **Abstract**: A fluidic module, which is rotatable about a centre of rotation, has a first compression chamber with a fluid inlet and a fluid outlet, a second compression chamber with a fluid inlet, a first fluid channel, which is connected to the first compression chamber by way of the fluid inlet of the first compression chamber, and a second fluid channel, which connects the fluid outlet of the first compression chamber to the fluid inlet of the second compression chamber. By rotating the fluidic module, a liquid can be driven centrifugally through the first fluid channel into the first compression chamber and into the second fluid channel, and thereby a compressible medium in the second compression chamber can be enclosed and compressed. By lowering the rotating frequency and resultant expansion of the compressible medium, liquid can be driven out of the second fluid channel into the first compression chamber, out of the first compression chamber into an outlet channel and through the outlet channel. The second fluid channel has a higher flow resistance than the outlet channel and/or the fluid inlet of the second compression chamber is arranged radially further outwards with respect to the centre of rotation than the fluid outlet of the first compression chamber.

(57) **Zusammenfassung**:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/189280 A1

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Ein Fluidikmodul, das um ein Rotationszentrum drehbar ist, weist eine erste Kompressionskammer mit einem Fluideinlass und einem Fluidauslass, eine zweite Kompressionskammer mit einem Fluideinlass, einen ersten Fluidkanal, der über den Fluideinlass der ersten Kompressionskammer mit der ersten Kompressionskammer verbunden ist, und einen zweiten Fluidkanal, der den Fluidauslass der ersten Kompressionskammer mit dem Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer verbindet, auf. Durch eine Drehung des Fluidikmoduls ist eine Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer und in den zweiten Fluidkanal treibbar, und dadurch ein kompressibles Medium in der zweiten Kompressionskammer einschließbar und komprimierbar. Durch Absenken der Drehfrequenz und dadurch bedingtes Ausdehnen des kompressiblen Mediums ist Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer, aus der ersten Kompressionskammer in einen Auslasskanal und durch den Auslasskanal treibbar. Der zweite Fluidkanal weist einen höheren Strömungswiderstand auf als der Auslasskanal und/oder der Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer ist bezüglich des Rotationszentrums radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass der ersten Kompressionskammer.

Fluidikmodul, Vorrichtung und Verfahren zum Handhaben von Flüssigkeit

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Fluidikmodul, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Handhaben von Flüssigkeit, die insbesondere zum Handhaben wie dem Zurückhalten und Freisetzen bzw. Pumpen von Flüssigkeit in einem zentrifugal-mikrofluidischen System geeignet sind.

Die zentrifugale Mikrofluidik beschäftigt sich mit der Handhabung von Flüssigkeiten im pl bis ml Bereich in rotierenden Systemen. Solche Systeme sind meist Polymer-Einwegkartuschen, die in oder anstelle von Zentrifugenrotoren verwendet werden, mit der Absicht komplett neuartige Prozesse zu ermöglichen, die durch manuelle Prozesse oder Pipettierroboter aufgrund der benötigten Präzission oder Volumenmenge nicht abbildbar sind, oder Laborprozesse zu automatisieren. Dabei können Standardlaborprozesse, wie Pipettieren, Zentrifugieren, Mischen oder Aliquotieren in einer mikrofluidischen Kartusche implementiert werden. Zu diesem Zweck beinhalten die Kartuschen Kanäle für die Fluidführung, sowie Kammern für das Auffangen von Flüssigkeiten. Die Kartuschen werden mit einer vordefinierten Abfolge von Drehfrequenzen, dem Frequenzprotokoll, beaufschlagt, so dass die in den Kartuschen befindlichen Flüssigkeiten durch Trägheitskräfte in entsprechende Kammern geführt werden können. Anwendung findet die zentrifugale Mikrofluidik hauptsächlich in der Laboranalytik und in der mobilen Diagnostik.

Die bislang häufigste Ausführung von Kartuschen sind zentrifugal-mikrofluidische Scheiben, die beispielsweise unter den Bezeichnungen bzw. Marken „Lab-on-a-disk“, „Lab-Disk“, und „Lab-on-CD“ bekannt sind, die in spezielle Prozessiergeräte eingesetzt werden. Andere Formate, wie ein mikrofluidisches Zentrifugenröhrchen, das unter der Bezeichnung „LabTube“ bekannt ist, können in Rotoren bereits bestehender Standardlaborgeräten eingesetzt werden.

Eine wesentliche Grundoperation, die in zentrifugal-mikrofluidischen Kartuschen ausgeführt werden muss, ist das gezielte Zurückhalten und Freisetzen von Flüssigkeiten. Die Problematik besteht darin, Flüssigkeiten bei definierten Drehfrequenzen oder definierten

Änderungen der Drehfrequenzen von einer ersten Fluidkammer in eine zweite Fluidkammer zu überführen, beziehungsweise, Flüssigkeiten bei definierten Drehfrequenzen oder definierten Änderungen der Drehfrequenzen in einer ersten Kammer zurückzuhalten. Für die Verwendung dieser Grundoperation in einem möglichen Produkt ist die Robustheit des Prozesses von höchster Bedeutung. Ferner sollte die Grundoperation als monolithisch integriertes Ventil realisiert sein, so dass keine zusätzlichen Komponenten oder Materialien – die durch Materialkosten oder zusätzliche Aufbau- und Verbindungstechnik (Assemblierung) die Kosten der Kartusche wesentlich steigern – erforderlich sind.

Monolithisch integrierte Ventile in zentrifugal-mikrofluidischen Systemen sind aus dem Stand der Technik bekannt. So ist bei R. Gorkin u.a., „Pneumatic Pumping in Centrifugal Microfluidic Platform", Microfluid Nanofluid, 2010, 9, S. 541–549, ein Verfahren zum peumatischen Pumpen beschrieben, das es ermöglicht, Flüssigkeit in einer ersten Phase bei definierten, hohen Drehfrequenzen (in der Regel mehrere 10 Hz) in einer ersten Fluidkammer zurückzuhalten, um nachfolgend in einer zweiten Phase bei definierten, niedrigeren Drehfrequenzen die Flüssigkeit in eine zweite Fluidkammer zu leiten. Dabei wird Flüssigkeit bei ansteigender Drehfrequenz von einem Reservoir in eine erste Fluidkammer überführt. Bei erhöhter Drehfrequenz wird die Flüssigkeit in der ersten Fluidkammer zurückgehalten, wobei ein in der ersten Fluidkammer eingeschlossenes Gasvolumen komprimiert wird. Bei sinkender Drehfrequenz dehnt sich das eingeschlossene Gasvolumen wieder aus und verdrängt einen Teil der Flüssigkeit in einen gebogenen, als Siphon fungierenden Kanal. Nach Überschreiten des Siphonscheitels entsteht ein zusätzlicher Zentrifugaldruck, der bewirkt, dass die Flüssigkeit von der ersten in die zweite Fluidkammer transferiert wird. Somit wird in der ersten Phase ein von der Prozessflüssigkeit eingeschlossenes Gasvolumen in der ersten Fluidkammer komprimiert, um in der zweiten Phase die entsprechende Ausdehnung des Gasvolumens für die Rückführung der Flüssigkeit zu nutzen.

Beim Verfahren des pneumatischen Pumpens muss in der ersten Phase ein bestimmter Schwellenwert der Drehfrequenz (Schwellenfrequenz) überschritten werden, um die Flüssigkeit in der ersten Fluidkammer zurückzuhalten. Dieselbe Schwellenfrequenz muss nachfolgend unterschritten werden, um die Flüssigkeit über den Siphonscheitel rückzuführen und den Fluidtransfer von der ersten Fluidkammer in die zweite Fluidkammer zu starten.

Damit die Befüllung des Siphons unabhängig von Kapillarkräften ist, sollte die Schwellenfrequenz möglichst hoch liegen.

S. Zehnle, F. Schwemmer, G. Roth, F. von Stetten, R. Zengerle und N. Paust, „Centrifugo-dynamic Inward Pumping of Liquids on a Centrifugal Microfluidic Platform", Lab Chip, 2012, 12, S. 5142 – 5145, beschreiben ein Verfahren zum zentrifugo-dynamischen Einwärtspumpen, das es ermöglicht, Flüssigkeit in einer ersten Phase bei definierten, hohen Drehfrequenzen (in der Regel mehrere 10 Hz) in einer ersten Fluidkammer zurückzuhalten, um nachfolgend in einer zweiten Phase bei schnell sinkender Drehfrequenz einen Großteil der Flüssigkeit in eine zweite, radial innen gelegene Fluidkammer zu leiten. Dabei wird Flüssigkeit bei ansteigender Drehfrequenz von einem Reservoir in eine erste Fluidkammer überführt. Bei erhöhter Drehfrequenz wird die Flüssigkeit in der ersten Fluidkammer zurückgehalten, wobei ein in der ersten Fluidkammer eingeschlossenes Gasvolumen komprimiert wird. Bei schnell sinkender Drehfrequenz dehnt sich das eingeschlossene Gasvolumen wieder aus und verdrängt den Großteil der Flüssigkeit durch jenen Kanal, der den geringeren Flusswiderstand aufweist. Somit wird in der ersten Phase ein von der Prozessflüssigkeit eingeschlossenes Gasvolumen in der ersten Kammer komprimiert, um in der zweiten Phase die Energie des komprimierten Gases für das radiale Einwärtspumpen der Flüssigkeit zu nutzen. Ein entsprechendes Verfahren ist in der DE 10 2012 202 775 A1 beschrieben.

Wie oben dargelegt wurde, sollte die Schwellenfrequenz beim pneumatischen Pumpen möglichst hoch liegen, um den Einfluss von Kapillarkräften gering zu halten. Dies bedeutet, dass der Siphon in der Regel auch bei hohen Drehfrequenzen befüllt wird (selbst wenn die Verzögerungsrate mehrere 10 Hz/s beträgt). Die Erfinder haben erkannt, dass dies Nachteile mit sich zieht. Beim Erreichen der Flüssigkeit des Siphonscheitels bei höheren Drehfrequenzen kann es zur Instabilität der Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche am Siphonscheitel kommen. Das Einschließen von Luftblasen und somit der Funktionsausfall des Siphons können die Folge sein. Dieser Effekt könnte in einem Siphon mit kleiner Querschnittsfläche minimiert werden, was jedoch die Abhängigkeit von Kapillarkräften, sowie den fluidischen Widerstand und somit die für den Fluidtransfer benötigte Zeit erhöhen würde. Beim Pumpen von Flüssigkeit durch einen Siphon bei höheren Drehfrequenzen kann es auch zur Instabilität der Flüssigkeits/Gas-Grenzfläche am äußeren Siphonende kommen. Auch hier

kann das Einschließen von Luftblasen und somit der Funktionsausfall der Siphons die Folge sein. Je nach Ausführung des Siphons kann bei hoher Drehfrequenz der Druck im Siphonscheitel so gering werden, dass die Flüssigkeit verdampft und folglich Gasblasenbildung zum Funktionsausfall des Siphons führen. Selbst bei geringeren Drehfrequenzen und somit geringeren Unterdrücken kann Gasblasenbildung entstehen, da sich aufgrund des geringeren Drucks im Scheitelbereich des Siphons die Löslichkeit von Gasen, wie z.B. Sauerstoff, verringert und somit die nicht mehr lösliche Gasmenge in Form von Blasen ausgast.

Wird ein Einwärtspumpen, wie es beispielsweise in der DE 10 2012 202 775 A1 beschrieben ist, in Funktion eines Ventils verwendet, ist dies nachteilig dahingehend, dass nie die gesamte Flüssigkeitsmenge von der Kompressionskammer in die Auffangkammer transferiert werden.

Eine weitere Möglichkeit, Flüssigkeiten zurückzuhalten ist durch das Ausnutzen der Kapillarkraft gegeben, welche, durch die Drehfrequenz gesteuert, von der Zentrifugalkraft überwunden werden muss, um die Flüssigkeit zu bewegen. Solche Methoden sind jedoch stark von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und von der Oberflächenbeschaffenheit der fluidischen Kanäle abhängig und können somit nicht als robust eingestuft werden.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Fluidikmodul, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Handhaben, insbesondere Pumpen, einer Flüssigkeit zu schaffen, die ein zeitgesteuertes und von der Zentrifugendynamik entkoppeltes Pumpen über eine bestimmte radiale Distanz ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Fluidikmodul nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 10 und ein Verfahren nach Anspruch 12 gelöst.

Ausführungsbeispiele der Erfindung schaffen ein Fluidikmodul, das um ein Rotationszentrum drehbar ist, mit folgenden Merkmalen:

einer ersten Kompressionskammer mit einem Fluideinlass und einem Fluidauslass;

einer zweiten Kompressionskammer mit einem Fluideinlass;

einem ersten Fluidkanal, der über den Fluideinlass der ersten Kompressionskammer mit der ersten Kompressionskammer verbunden ist; und

einem zweiten Fluidkanal, der den Fluidauslass der ersten Kompressionskammer mit dem Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer verbindet,

wobei durch eine Drehung des Fluidikmoduls eine Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer und in den zweiten Fluidkanal treibbar ist, und dadurch ein kompressibles Medium in der zweiten Kompressionskammer einschließbar und komprimierbar ist,

wobei durch Absenken der Drehfrequenz und dadurch bedingtes Ausdehnen des kompressiblen Mediums Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer, aus der ersten Kompressionskammer in einen Auslasskanal und durch den Auslasskanal treibbar ist,

wobei zumindest eines der folgenden Merkmale erfüllt ist:

der zweite Fluidkanal weist einen höheren Strömungswiderstand auf als der Auslasskanal, und

der Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer ist bezüglich des Rotationszentrums radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass der ersten Kompressionskammer.

Ausführungsbeispiele der Erfindung schaffen eine Vorrichtung zum Handhaben, insbesondere Pumpen, von Flüssigkeit mit einem Fluidikmodul wie es hierin beschrieben ist und einer Antriebsvorrichtung, die ausgelegt ist, um das Fluidikmodul mit Rotationen bei unterschiedlichen Drehfrequenzen zu beaufschlagen. Die Antriebsvorrichtung ist ausgelegt, um in einer ersten Phase das Fluidikmodul mit einer Rotation bei einer Drehfrequenz bei oder oberhalb einer ersten Drehfrequenz zu beaufschlagen, bei der Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer getrieben wird, bei der die

erste Kompressionskammer mit der Flüssigkeit gefüllt wird und bei der Flüssigkeit aus der ersten Kompressionskammer in den zweiten Fluidkanal getrieben wird, um dadurch das kompressible Medium in der zweiten Kompressionskammer einzuschließen und zu komprimieren. Die Antriebsvorrichtung ist ferner ausgelegt, um in einer zweiten Phase nach der ersten Phase die Drehfrequenz unter eine zweite Drehfrequenz abzusenken, bei der die durch das komprimierte Medium in der zweiten Kompressionskammer auf die Flüssigkeit ausgeübte Kraft die durch die Flüssigkeit ausgeübte Zentrifugalkraft überwiegt, so dass sich das kompressible Medium ausdehnt und dadurch Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer, aus der ersten Kompressionskammer in den Auslasskanal und durch den Auslasskanal getrieben wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung schaffen ein Verfahren zum Handhaben von Flüssigkeit mit einem Fluidikmodul wie es hierin beschrieben ist. In einer ersten Phase wird das Fluidikmodul mit einer Rotation bei einer Drehfrequenz bei oder oberhalb einer ersten Drehfrequenz gedreht, um Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer zu treiben, um die erste Kompressionskammer mit der Flüssigkeit zu füllen, und um Flüssigkeit aus der ersten Kompressionskammer in den zweiten Fluidkanal zu treiben, um dadurch das kompressible Medium in der zweiten Kompressionskammer einzuschließen und zu komprimieren. In einer zweiten Phase nach der ersten Phase wird die Drehfrequenz unter eine zweite Drehfrequenz abgesenkt, bei der die durch das komprimierte Medium in der zweiten Kompressionskammer auf die Flüssigkeit ausgeübte Kraft die durch die Flüssigkeit ausgeübte Zentrifugalkraft überwiegt, so dass sich das kompressible Medium ausdehnt und dadurch Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer, aus der ersten Kompressionskammer in den Auslasskanal und durch den Auslasskanal getrieben wird.

Ausführungsbeispiele der Erfindung beziehen sich somit auf Fluidikmodule, Vorrichtungen und Verfahren, die zur kontrollierten Freisetzung und zum kontrollierten Leiten einer Flüssigkeit durch einen Kanal geeignet sind, und insbesondere solche Fluidikmodule, Vorrichtungen und Verfahren, die zum zeitgeschalteten Pumpen einer Flüssigkeit in Zentrifugenrotoren geeignet sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung basieren auf der Erkenntnis, dass es durch das Vorsehen einer ersten Kompressionskammer, einer zweiten Kompressionskammer und eines zweiten Fluidkanals, der die erste und die zweite Kompressionskammer fluidisch verbindet, sowie eine entsprechende Auslegung des Verlaufs und der Dimensionen des zweiten Fluidkanals möglich ist, die Dynamik des Pumpvorgangs durch den Auslasskanal während und nach der Absenkung der Drehfrequenz passiv, das heißt ohne weitere Änderung der Drehfrequenz zu steuern.

So kann bei Ausführungsbeispielen der Erfindung der zweite Fluidkanal einen höheren Strömungswiderstand aufweisen als der Auslasskanal. Beispielsweise kann der Querschnitt des zweiten Fluidkanals klein genug sein, um einen Strömungswiderstand für die Flüssigkeit darzustellen, der höher ist, als der Strömungswiderstand des Auslasskanals. Die Viskosität der Flüssigkeit (z.B. Wasser) kann signifikant höher sein, als die Viskosität des kompressiblen Mediums (z.B. Luft). Somit ermöglichen Ausführungsbeispiele der Erfindung aufgrund der höheren Viskosität der Flüssigkeit eine Verzögerung des Pumpvorgangs durch den Auslasskanal, solange der zweite Fluidkanal mit Flüssigkeit gefüllt ist. Erst sobald der zweite Fluidkanal teilweise oder ganz mit dem niederviskosen kompressiblen Medium gefüllt ist, findet der Pumpvorgang durch den Auslasskanal mit einer deutlich höheren Flussrate statt, die nicht durch den Strömungswiderstand im zweiten Fluidkanal begrenzt wird. Durch die Verzögerung des Pumpvorgangs kann das Leiten der Flüssigkeit durch den Auslasskanal somit bei einer beliebigen Drehfrequenz, insbesondere auch bei Stillstand, stattfinden.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann das Ende des zweiten Fluidkanals radial weiter außen liegen, als der Anfang des zweiten Fluidkanals, sodass eine Ausdehnung des kompressiblen Mediums in der zweiten Kompressionskammer und im zweiten Fluidkanal bewirkt, dass beim Leerpumpen des zweiten Fluidkanals der zentrifugale Gegendruck auf das sich ausdehnende kompressible Medium aufgrund dieses Verlaufs des zweiten Fluidkanals signifikant absinkt. Dabei wird dieser Abfall des zentrifugalen Gegendrucks durch eine nur geringere Volumenänderung des kompressiblen Mediums herbeigeführt, was bedeutet, dass dem fast konstant bleibenden Überdruck des kompressiblen Mediums eine signifikante Änderung des zentrifugalen Gegendrucks gegenüber steht. Diese Druckänderung wird ausgeglichen, indem die Flüssigkeit in der ersten Kompressionskammer mit ho-

her Flussrate in den Auslasskanal gepumpt wird. Somit ermöglichen Ausführungsbeispiele der Erfindung eine hohe Dynamik beim Entleeren der Flüssigkeit aus der ersten Kompressionskammer. Aufgrund der starken Änderung des zentrifugalen Gegendrucks beim Entleeren, aber auch beim Befüllen des zweiten Fluidkanals wird nicht nur die Dynamik der Entleerung der ersten Kompressionskammer, beziehungsweise die Dynamik der Befüllung der zweiten Kompressionskammer beeinflusst, sondern auch die Drehfrequenz, bei welcher – ausgehend davon, dass die Flüssigkeitsfüllstände sich im Gleichgewicht befinden – die Entleerung der ersten Kompressionskammer stattfindet. Somit ermöglichen Ausführungsbeispiele der Erfindung, aufgrund der unterschiedlichen radialen Positionen des Fluidauslasses der ersten Kompressionskammer und des Fluideinlasses der zweiten Kompressionskammer das Einstellen der Schaltfrequenzen.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann der Auslasskanal zumindest teilweise durch den ersten Fluidkanal gebildet sein. So ist bei Ausführungsbeispielen der Erfindung der erste Kanal der Auslasskanal. Bei alternativen Ausführungsbeispielen der Erfindung weist der Auslasskanal einen Teil des ersten Fluidkanals und einen dritten Fluidkanal, der von dem ersten Fluidkanal abzweigt, auf. Bei alternativen Ausführungsbeispielen ist der Auslasskanal ein von dem ersten Fluidkanal separater Fluidkanal, der an einem radial äußeren Abschnitt oder dem radial äußeren Ende derselben in die erste Kompressionskammer mündet. Bei Ausführungsbeispielen weist der Auslasskanal einen geringeren Strömungswiderstand auf als der erste Fluidkanal. Bei Ausführungsbeispielen weist der Auslasskanal einen Siphon auf, wobei ein Auslassende des Siphons bezüglich des Rotationszentrums radial weiter außen angeordnet ist als die Position, an der der Auslasskanal in die erste Kompressionskammer mündet.

Ausführungsbeispiele der Erfindung stellen zentrifugo-pneumatische Verzögerungsschalter dar. Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung findet zunächst eine Verzögerung einer Entleerung einer ersten Kompressionskammer statt, woraufhin dynamisch eine Entleerung ohne weitere Änderung der Drehfrequenz stattfinden kann. Diese Effekte können entweder durch den Verlauf des zweiten Fluidkanals (Verbindungskanals) im zentrifugalen Kraftfeld oder durch den höheren Strömungswiderstand des zweiten Fluidkanals gegenüber dem Auslasskanal oder durch beides erreicht werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A bis 1D schematische Draufsichten auf Fluidikstrukturen eines Ausführungsbeispiels eines Fluidikmoduls, wobei ein Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer radial weiter außen angeordnet ist als ein Fluidauslass der ersten Kompressionskammer;

Fig. 2 ein Diagramm zur Erläuterung von dem in den Fig. 1A bis 1D gezeigten Ausführungsbeispiel zugrundeliegenden Effekten;

Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf Fluidikstrukturen gemäß einem Ausführungsbeispiel eines Fluidikmoduls, bei dem der zweite Fluidkanal einen größeren Fluidwiderstand aufweist als der Auslasskanal;

Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf Fluidikstrukturen gemäß einem Ausführungsbeispiel eines Fluidikmoduls, bei dem der erste Kanal auch den Auslasskanal bildet;

Fig. 5 eine schematische Draufsicht auf Fluidikstrukturen gemäß einem Ausführungsbeispiel eines Fluidikmoduls, bei dem der Auslasskanal einen Siphon aufweist;

Fig. 6 und 7 schematische Seitenansicht zur Erläuterung von Ausführungsbeispielen von Vorrichtungen zum Handhaben von Flüssigkeit.

Bevor Ausführungsbeispiele der Erfindung näher erläutert werden, sei zunächst darauf hingewiesen, dass Beispiele der Erfindung insbesondere auf dem Gebiet der zentrifugalen Mikrofluidik Anwendung finden können, bei der es um die Prozessierung von Flüssigkeiten im Picoliter- bis Milliliterbereich geht. Entsprechend können die Fluidikstrukturen geeignete Abmessungen im Mikrometerbereich für die Handhabung entsprechender Flüssigkeitsvolumina aufweisen. Insbesondere können Ausführungsbeispiele der Erfindung auf

zentrifugal-mikrofluidischen Systemen Anwendung finden, wie sie beispielsweise unter der Bezeichnung „Lab-on-a-Disk" bekannt sind.

Wird hierin der Ausdruck radial verwendet, so ist jeweils radial bezüglich des Rotationszentrums, um das das Fluidikmodul bzw. der Rotor drehbar ist, gemeint. Im Zentrifugalfeld ist somit eine radiale Richtung von dem Rotationszentrum weg radial abfallend und eine radiale Richtung zu dem Rotationszentrum hin ist radial ansteigend. Ein Fluidkanal, dessen Anfang näher am Rotationszentrum liegt als dessen Ende, ist somit radial abfallend, während ein Fluidkanal, dessen Anfang weiter vom Rotationszentrum entfernt ist als dessen Ende, radial ansteigend ist. Ein Kanal, der einen radial ansteigenden Abschnitt aufweist weist also Richtungskomponenten auf, die radial ansteigen bzw. radial nach innen verlaufen. Es ist klar, dass ein solcher Kanal nicht exakt entlang einer radialen Linie verlaufen muss, sondern in einem Winkel zu der radialen Linie oder gebogen verlaufen kann.

Unter Kompressionskammer ist hierin eine Kammer zu verstehen, die das Komprimieren eines kompressiblen Mediums ermöglicht. Bei Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung kann es sich dabei um eine nicht entlüftete Kammer handeln. Bei Ausführungsbeispielen kann es sich um eine Kammer handeln, die zwar eine Entlüftung aufweist, wobei die Entlüftung aber für das kompressible Medium einen so hohen Strömungswiderstand aufweist, dass durch eine einströmende Flüssigkeit dennoch ein Komprimieren des kompressiblen Mediums erfolgt und dass durch ein durch eine solche Entlüftung auftretender Druckabbau in der Kompressionskammer (in dem relevanten Zeitraum) vernachlässigbar ist. Als solches könnten die hierein beschriebene erste und die zweite Kompressionskammer auch als eine Kompressionskammer betrachtet werden, die zwei Bereiche aufweist, die über den zweiten Fluidkanal verbunden sind. Bei Ausführungsbeispielen weisen die Kompressionskammern mit Ausnahme der beschriebenen Einlässe und Auslässe keine weiteren Fluidöffnungen auf. Bei alternativen Ausführungsbeispielen können die Kompressionskammer über einen oder mehrere optionale zusätzliche Kanäle mit zusätzlichem Kompressionsvolumen gekoppelt sein. Bei wiederum alternativen Ausführungsbeispielen kann eine oder können mehrere Kompressionskammern eine verschließbare Entlüftungsöffnung aufweisen.

Allgemein können bei Ausführungsbeispielen der Erfindung unterschiedliche Strömungswiderstände (hydraulische Widerstände) jeweiliger Fluidkanäle über unterschiedliche Strömungsquerschnitte erreicht werden. Bei alternativen Ausführungsbeispielen können unterschiedliche Strömungswiderstände auch durch andere Mittel erreicht werden, beispielsweise unterschiedliche Kanallängen, in die Kanäle integrierte Hindernisse und dergleichen. Ist hierin von einem Fluidkanal die Rede, so ist eine Struktur gemeint, deren Längenabmessung von einem Fluideinlass zu einem Fluidauslass größer ist, beispielsweise mehr als 5-mal oder mehr als 10-mal größer, als die Abmessung bzw. Abmessungen, die den Strömungsquerschnitt definiert bzw. definieren. Somit weist ein Fluidkanal einen Strömungswiderstand für ein Durchströmen desselben von dem Fluideinlass zu dem Fluidauslass auf. Dagegen ist eine Fluidkammer hierein eine Kammer die solche Abmessungen aufweist, dass ein relevanter Strömungswiderstand in derselben nicht auftritt.

Bezug nehmend auf die Fig. 6 und 7 werden zunächst Beispiele von zentrifugal-mikrofluidischen Systemen beschrieben, bei denen die Erfindung verwendet werden kann.

Fig. 6 zeigt eine Vorrichtung mit einem Fluidikmodul 10 in Form eines Rotationskörpers, der ein Substrat 12 und einen Deckel 14 aufweist. Das Substrat 12 und der Deckel 14 können in Draufsicht kreisförmig sein, mit einer mittigen Öffnung, über die der Rotationskörper 10 über eine übliche Befestigungseinrichtung 16 an einem rotierenden Teil 18 einer Antriebsvorrichtung 20 angebracht sein kann. Das rotierende Teil 18 ist drehbar an einem stationären Teil 22 der Antriebsvorrichtung 20 gelagert. Bei der Antriebsvorrichtung 20 kann es beispielsweise um eine herkömmliche Zentrifuge mit einstellbarer Drehgeschwindigkeit oder auch ein CD- oder DVD-Laufwerk handeln. Eine Steuereinrichtung 24 kann vorgesehen sein, die ausgelegt ist, um die Antriebsvorrichtung 20 zu steuern, um den Rotationskörper 10 mit Rotationen mit unterschiedlichen Drehfrequenzen zu beaufschlagen. Die Steuereinrichtung 24 kann, wie für Fachleute offensichtlich ist, beispielsweise durch eine entsprechend programmierte Recheneinrichtung oder eine anwenderspezifische integrierte Schaltung implementiert sein. Die Steuereinrichtung 24 kann ferner ausgelegt sein, um auf manuelle Eingaben durch einen Benutzer hin die Antriebsvorrichtung 20 zu steuern, um die erforderlichen Rotationen des Rotationskörpers zu bewirken. In jedem Fall kann die Steuereinrichtung 24 konfiguriert sein, um die Antriebsvorrichtung 20 zu steuern, um den Rotationskörper mit den erforderlichen Drehfrequenzen zu beaufschlagen, um

Ausführungsbeispiele der Erfindung, wie sie hierin beschrieben sind, zu implementieren. Als Antriebsvorrichtung 20 kann eine herkömmliche Zentrifuge mit nur einer Drehrichtung verwendet werden.

Der Rotationskörper 10 weist die erforderlichen Fluidikstrukturen auf. Die erforderlichen Fluidikstrukturen können durch Kavitäten und Kanäle in dem Deckel 14, dem Substrat 12 oder in dem Substrat 12 und dem Deckel 14 gebildet sein. Bei Ausführungsbeispielen können beispielsweise Fluidikstrukturen in dem Substrat 12 abgebildet sein, während Einfüllöffnungen und Entlüftungsöffnungen in dem Deckel 14 gebildet sind. Bei Ausführungsbeispielen ist das strukturierte Substrat (inklusive Einfüllöffnungen und Entlüftungsöffnungen) oben angeordnet und der Deckel unten angeordnet.

Bei einem alternativen in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiel sind Fluidikmodule 32 in einen Rotor 30 eingesetzt und bilden zusammen mit dem Rotor 30 den Rotationskörper 10. Die Fluidikmodule 32 können jeweils ein Substrat und einen Deckel aufweisen, in denen wiederum entsprechende Fluidikstrukturen gebildet sein können. Der durch den Rotor 30 und die Fluidikmodule 32 gebildete Rotationskörper 10 ist wiederum durch eine Antriebsvorrichtung 20, die durch die Steuereinrichtung 24 gesteuert wird, mit einer Rotation beaufschlagbar.

In den Figuren 6 und 7 ist ein Rotationszentrum, um das das Fluidikmodul bzw. der Rotationskörper drehbar ist, mit R bezeichnet.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung können das Fluidikmodul bzw. der Rotationskörper, das bzw. der die fluidischen Strukturen aufweist, aus einem beliebigen geeigneten Material gebildet sein, beispielsweise einem Kunststoff, wie PMMA (Polymethylmethacrylat), PC (Polycarbonat), PVC (Polyvinylchlorid) oder PDMS (Polydimethylsiloxan), Glas oder dergleichen. Der Rotationskörper 10 kann als eine zentrifugal-mikrofluidische Plattform betrachtet werden.

Im Folgenden wird Bezug nehmend auf die Fig. 1A bis 1D ein Ausführungsbeispiel eines Fluidikmoduls mit entsprechenden Fluidikstrukturen beschrieben, wobei in den Fig. 1A bis

1D die Fluidikstrukturen, die in einem entsprechenden Fluidikmodul gebildet sind, während unterschiedlicher Betriebsphasen gezeigt sind.

Die Fluidikstrukturen weisen einen ersten Fluidkanal 2, der einen Einlasskanal darstellt, eine erste Kompressionskammer 3 und eine zweite Kompressionskammer 5, die über einen zweiten Fluidkanal 4 miteinander verbunden sind, sowie einen dritten Fluidkanal 1, der einen Teil eines Auslasskanals darstellt, auf. Genauer gesagt zweigt bei dem in den Fig. 1A bis 1D gezeigten Beispiel der dritte Fluidkanal 1 an einer Verzweigung 50 von dem ersten Fluidkanal 2 ab, so dass ein Teil des ersten Fluidkanals zwischen der ersten Kompressionskammer 3 und der Verzweigung 50 und der dritte Fluidkanal den Auslasskanal darstellen. Der dritte Fluidkanal 1 kann einen geringeren Strömungswiderstand (also beispielsweise einen größeren Flussquerschnitt) aufweisen als der erste Fluidkanal 2, so dass eine Entleerung der ersten Kompressionskammer 3 zu einem größeren Teil durch den dritten Fluidkanal 1 stattfindet.

Ein Fluideinlass 6 der ersten Kompressionskammer 3, der in dem Ausführungsbeispiel an einem radial äußeren Ende der ersten Kompressionskammer 3 angeordnet ist, ist mit dem ersten Fluidkanal 2 und somit auch dem dritten Fluidkanal 1 fluidisch verbunden. Ein Fluidauslass 7 der ersten Kompressionskammer 3, der in dem Ausführungsbeispiel an einem radial inneren Ende der ersten Kompressionskammer 3 angeordnet ist, ist mit dem zweiten Fluidkanal 4 fluidisch verbunden.

Ein Fluideinlass 8 der zweiten Kompressionskammer 5, der in dem Ausführungsbeispiel an einem radial äußeren Ende der zweiten Kompressionskammer 5 angeordnet ist, ist mit dem zweiten Fluidkanal 4 fluidisch verbunden. Der Fluideinlass 8 der zweiten Kompressionskammer 5, befindet sich radial weiter außen als der Fluidauslass 7 der ersten Kompressionskammer 3. Somit erstreckt sich ein Abschnitt des zweiten Fluidkanals zwischen dem radial innersten Abschnitt 4a und dem radial äußersten Abschnitt 4b des zweiten Fluidkanals bezüglich des Rotationszentrums, das in Fig. 1A mit R bezeichnet ist, radial nach außen.

Nachfolgend wird bezugnehmend auf die Fig. 1A bis 1D und das Diagramm in Fig. 2 der Betrieb des Ausführungsbeispiels der Fig. 1A bis 1D detailliert erläutert.

Phase 1: Befüllvorgang

Im Betrieb werden in einer ersten Phase zunächst bei hoher Drehfrequenz die erste Kompressionskammer 3 und der dritte Kanal (Fluidauslasskanal) 1 über den ersten Kanal (Fluideinlasskanal) 2 teilweise gefüllt. Beispielsweise kann ein radial inneres Ende des ersten Fluideinlasskanals zu diesem Zweck mit einer Einlasskammer (nicht gezeigt) fluidisch gekoppelt sein. Dabei wird in der ersten und in der zweiten Kompressionskammer 3, 5 sowie im zweiten Fluidkanal (Fluidverbindungskanal) 4 eine kompressibles Medium eingeschlossen, das von der in die erste Kompressionskammer einströmenden Flüssigkeit komprimiert wird, Fig. 1A. Dabei baut sich im kompressiblen Medium ein Überdruck auf, der durch den Zentrifugaldruck der Flüssigkeit im Fluideinlasskanal 2 und im Fluidauslasskanal 1 ausgeglichen wird. Wird eine Drehfrequenz f_1 überschritten, so wird die erste Kompressionskammer 3 komplett gefüllt, und die Flüssigkeit fließt über den Verbindungskanal 4 in die zweite Kompressionskammer 5. Nach ausreichend langer Zeit der Befüllung erreicht das System den Gleichgewichtszustand, in welchem die Flüssigkeitsfüllstände sich bei gegebener Drehfrequenz nicht mehr ändern. Bei sinkender Drehfrequenz dehnt sich das eingeschlossene komprimierte kompressible Medium (Gasvolumen) wieder aus und Flüssigkeit wird durch den ersten Fluidkanal 2 und den dritten Fluidkanal 1 rückgepumpt.

Phase 2a: Entleerungsvorgang mit Dynamik durch Hystereseverhalten

In dem Fall, dass der Fluideinlass 8 der zweiten Kompressionskammer 5 radial weiter außen liegt, als der Fluidauslass 7 der ersten Kompressionskammer 3, wie bei den Fig. 1A bis 1D, befindet sich das System bei Erreichen der Drehfrequenz f_1 außerhalb des Gleichgewichts von zentrifugalem Druck und pneumatischem (im Falle von Gas als kompressiblem Medium) Gegendruck des kompressiblen Mediums. Dieses Ungleichgewicht wird, wie in Fig. 2 gezeigt ist, durch schnelles (‚dynamisches') Befüllen der zweiten Kompressionskammer 5 ausgeglichen, bis der Gleichgewichtszustand wieder erreicht ist. Fig. 1B zeigt den Zustand bei einer Drehung oberhalb der Drehfrequenz f_1.

Wird nachfolgend die Drehfrequenz wieder verringert, so entleert sich die zweite Kompressionskammer 5 vollständig erst bei Erreichen der Drehfrequenz f_2, wobei $f_2 < f_1$. Sobald f_2 unterschritten wird, entleert sich auch der Verbindungskanal 4, wodurch sich das

System wiederum außerhalb des Gleichgewichts von zentrifugalem Druck und pneumatischem (im Falle von Gas als kompressibles Medium) Gegendruck des kompressiblen Mediums befindet. Dieses Ungleichgewicht wird gemäß Fig. 2 durch schnelles (‚dynamisches') Entleeren der ersten Kompressionskammer 3 ausgeglichen, bis der Gleichgewichtszustand wieder erreicht ist.

Dieses durch den pneumatischen Druck bewirkte dynamische Entleeren erzeugt hohe Flussraten im ersten Fluidkanal 2 und im dritten Fluidkanal 1. Somit kann die Flüssigkeit im dritten Fluidkanal 1 radial innere Positionen erreichen, die im Gleichgewichtszustand nicht erreichbar sind. Anders ausgedrückt erhöht sich bei der Entleerung das zweiten Fluidkanals 3 die Dynamik des Entleerungvorgangs, wodurch in den ersten und dritten Fluidkanälen 2 und 1 höhere Füllhöhen erreicht werden als im Gleichgewichtszustand. Bei Ausführungsbeispielen kann der dritte Fluidkanal als Siphon ausgestaltet sein, dessen Auslassende radial weiter außen angeordnet ist als der Fluideinlass der ersten Kompressionskammer 3, um ein Abfließen der gesamten Flüssigkeit zu ermöglichen.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, unterliegen die Flüssigkeitsvolumina in den Fluidkammern 3 und 5 einem Hystereseverhalten bezüglich der Drehfrequenz. Für den Fall, dass der Fluideinlass 8 der Fluidkammer radial weiter außen liegt als der Fluidauslass 7 der Fluidkammer 3, erfolgt bei ansteigender Drehfrequenz, die in Fig. 2 durch Pfeile mit + gekennzeichnet ist, ein dynamisches „schlagartiges" Befüllen der Fluidkammer 5 sobald die Drehfrequenz f_1 überschritten wird. Bei absinkender Drehfrequenz, die in Fig. 2 durch Pfeile mit - gekennzeichnet ist, erfolgt ein dynamisches „schlagartiges" Entleeren der Fluidkammer 3 sobald die Drehfrequenz f_2 unterschritten wird.

Phase 2b: Entleerungsvorgang mit Dynamik durch hohen Strömungswiderstand

Fig. 3 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem der Fluideinlass 8 der zweiten Kompressionskammer 5 nicht radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass der ersten Kompressionskammer. Vielmehr liegt bei dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel der Fluideinlass 8 der zweiten Kompressionskammer 5 radial weiter innen als der Fluidauslass 7 der ersten Kompressionskammer 3. Es sei zu beachten, dass das Rotationszentrum in den Figuren jeweils oberhalb der Fluidikstruktur liegt, wie in Fig. 3

wiederum durch dass mit dem Bezugszeichen R bezeichnete Rotationszentrum angedeutet ist.

Für den Fall, dass der Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer 5 nicht radial weiter außen liegt, als der Fluidauslass der ersten Kompressionskammer 3 (vgl. Fig. 3), tritt das in Phase 2a beschriebene Hystereseverhalten nicht auf: es gilt $f_2 \geq f_1$. Ein schnelles, ‚schlagartiges' Entleeren der Kompressionskammer 3 wird dennoch erreicht, wenn der zweite Fluidkanal (Verbindungskanal) 4 einen ausreichend hohen Strömungswiderstand für die Flüssigkeit darstellt. In diesem Fall wird beim Befüllen der Kompressionskammer 5 der Befüllvorgang zunächst durch den hohen Strömungswiderstand im Verbindungskanal 4 verzögert. Nach ausreichend langer Zeit der Befüllung erreicht das System den Gleichgewichtszustand, in welchem die Flüssigkeitsfüllstände sich bei gegebener Drehfrequenz nicht mehr ändern.

Wird nachfolgend die Drehfrequenz verringert, so wird das Rückströmen der Flüssigkeit durch den hohen Strömungswiderstand in zweiten Fluidkanal 4 limitiert. Bei ausreichend hohem Strömungswiderstand im zweiten Fluidkanal 4 ist die Flussrate der Flüssigkeit während des Rückströmens auch bei Stillstand des Zentrifugenrotors so gering, dass sich die Flüssigkeitsfüllhöhen in den Fluidkanälen 1 und 2 nur geringfügig ändern. Während diesem Rückströmvorgang können beliebige Drehfrequenzen gefahren werden. Insbesondere kann die Drehfrequenz den kritischen Wert f_1 deutlich unterschreiten oder gar 0 betragen. Wird die Drehfrequenz f_1 lange genug unterschritten, so entleert sich zunächst die zweite Kompressionskammer 5, gefolgt vom zweiten Fluidkanal 4. Während sich der zweite Fluidkanal 4 entleert, verringert sich der Strömungswiderstand im zweiten Fluidkanal 4 (aufgrund der geringeren Viskosität des kompressiblen Mediums), sodass die Flussrate der Flüssigkeit während des Rückströmens steigt. Bei entsprechender Auslegung der Geometrie der Fluidkanäle und der Kompressionskammern und bei entsprechend angewandten Drehfrequenzen kann die die Flussrate während und nach der Entleerung des zweiten Fluidkanals 4 stark genug ansteigen, um im dritten Fluidkanal (Fluidauslasskanal) 1 eine radial innere Position zu erreichen, die im Gleichgewichtszustand nicht erreichbar ist.

Bei Ausführungsbeispielen können der hohe Strömungswiderstand und das Hystereseverhalten kombiniert werden. Die Dynamik des Entleerungsvorgangs kann erhöht oder maxi-

miert werden, indem sowohl ein Verbindungskanal mit einem höheren Strömungswiderstand als der Auslasskanal ausgelegt wird als auch der Fluideinlass der zweiten Kompressionskammer radial weiter außen angeordnet wird als der Fluidauslass der ersten Kompressionskammer. Dadurch kann eine Kombination der oben beschriebenen Effekte erreicht werden, wodurch es möglich ist, Flüssigkeit im Auslassfluidkanal radial noch weiter nach innen zu pumpen.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem der Fluideinlasskanal 2 auch den Fluidauslasskanal darstellt. Die oben beschriebenen Effekte können in analoger Weise auch erreicht werden, wenn der Fluideinlasskanal 2 auch als Fluidauslasskanal betrieben wird.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem der Fluidauslasskanal 1 als Siphon 60 gestaltet ist, so dass zumindest ein Bereich, beispielsweise ein Auslassende 62 des Fluidauslasskanals 1 radial weiter außen liegt als der Fluideinlass 6 der ersten Kompressionskammer. Dadurch ist es möglich, die gesamte Flüssigkeit aus der Fluidikstruktur, die die beschriebenen Fluidkanäle und Kompressionskammern aufweist, zu entleeren.

Bei weiteren Ausführungsbeispielen kann die zweite Kompressionskammer in mehrere Kompressionskammern unterteilt sein, die über jeweilige Fluidkanäle hintereinandergeschaltet sind. Es ist somit möglich, dass die zweite Kompressionskammer wiederum in mehrere Kammern unterteilt ist. Dadurch ist es möglich, dass bestimmte Kammern ausschließlich mit dem kompressiblen Medium gefüllt sind, während andere Kammern sowohl mit dem kompressiblen Medium als auch mit der Flüssigkeit gefüllt sind.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung können mehrere Flüssigkeiten, die nacheinander über die erste Fluidleitung zugeführt werden, für den beschriebenen Betrieb verwendet werden, wobei eine oder mehrere der Flüssigkeiten auch kompressibel sein können.

Bei weiteren Ausführungsbeispielen können mehrere der beschriebenen Fluidikstrukturen parallelgeschaltet werden. Durch unterschiedliche Kanalgeometrien der jeweiligen zweiten Fluidkanäle (Verbindungskanäle) kann dann ein sequentielles Schalten der Fluide zu vor-

definierten Zeitpunkten erreicht werden. Dies ist nützlich für die Automatisierung verschiedenster bio-chemischer Verfahren.

Bei Ausführungsbeispielen muss der Auslasskanal nicht gemeinsam mit dem Einlasskanal in die erste Kompressionskammer münden. Der Auslasskanal kann auch separat in einem radial äußeren Abschnitt, beispielsweise dem radial äußeren Ende, in die erste Kompressionskammer münden, solange durch die Ausgestaltung gewährleistet bleibt, dass das kompressible Medium in der Kompressionskammer komprimiert werden kann. Beispielsweise kann der separate Auslasskanal ausgebildet sein, um beim Befüllen der ersten Kompressionskammer durch den ersten Fluidkanal durch die Flüssigkeit verschlossen zu werden.

Beispielhafte typische Werte und Geometrien werden nun angegeben, wobei jedoch klar ist, dass die vorliegende Erfindung nicht auf solche Werte und Geometrien beschränkt ist.

Bei einer typischen Ausführung kann der Verbindungskanal 4 einen Durchmesser von 20 µm bis 200 µm. Das Volumen der Kompressionskammer 3 kann zwischen 25 und 75 µl, beispielsweise 50 µl, liegen und das Volumen der Kompressionskammer 4 kann bei 150 µl bis 360 µl liegen. Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung ist das Volumen der ersten Kompressionskammer kleiner, beispielsweise um einen Faktor von 2 bis 6, als das Volumen der zweiten Kompressionskammer. Typische Fluidvolumina der prozessierten Flüssigkeit können bei 100 µl liegen, wobei Volumina von 100 nl bis 5 ml bei entsprechender Ausführung der Kammern denkbar sind.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann der Auslasskanal (inklusive Fluideinlass 6) einen fluidischen Widerstand (Strömungswiderstand) aufweisen, welcher mindestens um den Faktor 2 oder mindestens um den Faktor 10 kleiner ist als der fluidische Widerstand des Verbindungskanals. Dies ist, wie beschrieben wurde, nicht in jeder Ausführung erforderlich. Die Viskosität der prozessierten Flüssigkeit (z.B. Wasser) kann eine um einen Faktor von 30 bis 90 höhere Viskosität als das kompressible Medium aufweisen. Beispielsweise hat Wasser als zu prozessierende Flüssigkeit eine etwa um den Faktor 60 höhere Viskosität als Luft als kompressibles Medium.

Die Fluidikstrukturen müssen nicht die dargestellten Formen aufweisen. Beispielsweise müssen die Kammern nicht rechtwinklig sein, sondern können jede Form annehmen und können typischerweise abgerundete Ecken haben.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann das maximale Volumen des Verbindungskanals auf ca. 0,3 µl bis 0,5 µl begrenzt sein. Das minimale Volumen der ersten Kompressionskammer sollte in diesem Fall ca. 5 µl betragen. Grundsätzlich kann der Verbindungskanal auch mit einer großen Länge ausgeführt werden, wobei dann auch höhere Kanalvolumen denkbar wären. Dies wäre allerdings mit technischen Nachteilen beispielsweise einem höheren Totvolumen und einem größeren Fertigungsaufwand verbunden.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung findet ein dynamisches Befüllen und Entleeren einer Kompressionskammer statt. Ein solches dynamisches Befüllen und Entleeren kann durch die über den Verbindungskanal verbundenen ersten und zweiten Kompressionskammern erreicht werden. Durch diesen Aufbau kann ein Befüllen und Entleeren erreicht werden, dass sich vom dynamischen Befüllen und Entleeren in Kompressionskammern, wie sie dem Stand der Technik bekannt sind, unterscheidet.

Bei einer Kompressionskammer, wie sie dem Stand der Technik bekannt ist, ist der Gleichgewichtsfüllstand als Funktion der Drehfrequenz stetig, d.h. dass mit einer sehr kleinen Drehfrequenzänderung (z.B. 0.1 Hz) geht immer eine sehr kleine Änderung des Füllstandes der Kompressionskammer (z.B. < 1%) einher. Der Gleichgewichtsfüllstand ist definiert als der Füllstand, der sich bei unendlich lang anhaltender gleichbleibender Drehfrequenz einstellt.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann ein dynamisches Befüllen bzw. eine dynamische Entleerung mit einem Hystereseverhalten erreicht werden. Für einen bestimmten Drehfrequenzbereich kann, aufgrund der geometrischen Anordnung eines Kammersystems (bestehend aus mind. zwei Kompressionskammern bzw. Pneumatikkammern) keiner Drehfrequenz im Gleichgewichtszustand, d.h. bei unendlich lang andauernder Zentrifugation, ein definierter Flüssigkeitsfüllstand zugewiesen werden. Je nachdem, ob ein Kammersystem gerade befüllt oder entleert wird, kann sich ein erster oder ein zweiter Gleichgewichtsfüllstand einstellen. Wird dieser Drehfrequenzbereich verlassen, kann ein neuer Gleich-

wichtsfüllstand angestrebt werden, welcher vom aktuellen Füllstand stark abweicht. Diese starke Abweichung kann ausgeglichen werden, indem der Befüll- bzw. Entleervorgang, angetrieben durch Zentrifugalkraft oder pneumatische Kraft, beschleunigt wird. Bei dieser Art der dynamischen Befüllung bzw. Entleerung ist der Gleichgewichtsfüllstand als Funktion der Drehfrequenz unstetig, d.h. dass eine sehr kleine Änderung der Drehfrequenz (z.B. 0.1 Hz) kann zu einer starken Änderung des Füllstands (z.B. > 20%) der Kompressionskammer führen.

Bei Ausführungsbeispielen der Erfindung kann ein dynamisches Befüllen bzw. eine dynamische Entleerung durch Einsatz hoher Strömungswiderstände erreicht werden. Der zeitliche Verlauf des Befüll- bzw. Entleervorgangs kann dabei maßgeblich durch Kanalquerschnitte bestimmt werden. Somit können aufgrund viskoser Kräfte auch bei konstanter Drehfrequenz Durchflussraten ungleich Null erzielt. Insbesondere kann der Austausch verschiedener Medien in engen Kanälen und die damit verbundenen Viskositätsänderungen zu hohen Durchflussratenänderungen führen, welche den Befüll- bzw. Entleervorgang auch bei konstanter Drehfrequenz beschleunigen können.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein Fluidikmodul, das um ein Rotationszentrum drehbar ist, mit folgenden Merkmalen: einem ersten Fluidkanal; einer ersten Kompressionskammer, die mit dem ersten Fluidkanal fluidisch gekoppelt ist; einer zweiten Kompressionskammer, die über einen zweiten Fluidkanal mit der ersten Kompressionskammer fluidisch gekoppelt ist; und einem dritten Fluidkanal, der mit der ersten Kompressionskammer fluidisch gekoppelt ist. Eine Flüssigkeit ist zentrifugal durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer treibbar. Bei einer Drehung des Fluidikmoduls ist ein kompressibles Medium in der zweiten Kompressionskammer durch eine Flüssigkeit, die durch die Zentrifugalkraft durch den ersten Fluidkanal in die erste Kompressionskammer, in den zweiten Fluidkanal und in die zweite Kompressionskammer getrieben wird, einschließbar und komprimierbar. Flüssigkeit ist durch Absenken der Drehfrequenz und dadurch bedingtes Ausdehnen des kompressiblen Mediums aus der zweiten Kompressionskammer und aus dem zweiten Fluidkanal durch den dritten Fluidkanal treibbar.

Ausführungsbeispiele der Erfindung schaffen eine zentrifugal-mikrofluidische Struktur mit einer durch einen Fluidkanal in einen ersten Teil und einen zweiten Teil geteilten Kompressionskammer, wobei beide Teile reversibel zumindest teilweise mit Flüssigkeit gefüllt und entleert werden können. Im Betrieb weisen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung die Erzeugung hochdynamischer fluidischer Schaltvorgänge auf, bei welchen keine schnellen Änderungen der Rotationsfrequenz erforderlich sind. Ferner weisen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung im Betrieb die Erzeugung hochdynamischer fluidischer Schaltvorgänge auf, bei welchen weder schnelle Änderungen der Rotationsfrequenz, noch hohe fluidische Widerstände erforderlich sind. Des Weiteren zeigen Ausführungsbeispiele der Erfindung die Aufrechterhaltung der Kompression eines kompressiblen Mediums in einem Zentrifugenrotor über einen bestimmten Mindestzeitraum bei beliebiger Variation der Drehfrequenz.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung ermöglichen das Einhalten von Flüssigkeiten in Fluidkammern, während für eine bestimmte Zeit ein beliebiges Drehfrequenzprotokoll angewandt werden kann. Dies ermöglicht die Durchführung paralleler Prozesse während dem Einhalten der Flüssigkeit und somit die Automatisierung komplexerer Prozesse als sie dem Stand der Technik bisher bekannt sind.

Ferner ermöglichen Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung auch ein Einhalten von Flüssigkeiten oberhalb einer definierten Drehfrequenz, die deutlich unterhalb der Drehfrequenz liegen kann, die zur Aktivierung der Einhaltung der Flüssigkeit verwendet wird.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung ermöglichen eine hochdynamische Freisetzung von Flüssigkeit aus Fluidkammern auch wenn nur sehr geringe Beschleunigungsraten zur Verfügung stehen. Das ist vor allem für den Betrieb in Standardlaborzentrifugen nützlich. Ferner ermöglichen sie den Flüssigkeitstransfer über einen Fluidauslasskanal, insbesondere über einen Siphon, bei geringen Drehfrequenzen. Somit können die eingangs genannten Nachteile des Entleerens bei hohen Drehfrequenzen umgangen werden.

Ansprüche

1. Fluidikmodul (10, 32), das um ein Rotationszentrum (R) drehbar ist, mit folgenden Merkmalen:

einer ersten Kompressionskammer (3) mit einem Fluideinlass (6) und einem Fluidauslass (7);

einer zweiten Kompressionskammer (5) mit einem Fluideinlass (8);

einem ersten Fluidkanal (2), der über den Fluideinlass (6) der ersten Kompressionskammer (3) mit der ersten Kompressionskammer (3) verbunden ist; und

einem zweiten Fluidkanal (4), der den Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3) mit dem Fluideinlass (8) der zweiten Kompressionskammer (5) verbindet,

wobei durch eine Drehung des Fluidikmoduls (10, 32) eine Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal (2) in die erste Kompressionskammer (3), in den zweiten Fluidkanal (4) und in die zweite Kompressionskammer (5) treibbar ist, und dadurch ein kompressibles Medium in der zweiten Kompressionskammer (5) einschließbar und komprimierbar ist,

wobei durch Absenken der Drehfrequenz und dadurch bedingtes Ausdehnen des kompressiblen Mediums Flüssigkeit aus der zweiten Kompressionskammer (5) und dem zweiten Fluidkanal (4) in die erste Kompressionskammer (3), aus der ersten Kompressionskammer (3) in einen Auslasskanal und durch den Auslasskanal treibbar ist,

wobei zumindest eines der folgenden Merkmale erfüllt ist:

der zweite Fluidkanal (4) weist für die Flüssigkeit einen höheren Strömungswiderstand auf als der Auslasskanal, und

der Fluideinlass (8) der zweiten Kompressionskammer (5) ist bezüglich des Rotationszentrums (R) radial weiter außen angeordnet als der Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3).

2. Fluidikmodul (10, 32) nach Anspruch 1, bei dem der erste Fluidkanal (2) der Auslasskanal ist.

3. Fluidikmodul (10, 32) nach Anspruch 1, bei dem der Auslasskanal einen Teil des ersten Fluidkanals (2) und mindestens einen dritten Fluidkanal (1), der von dem ersten Fluidkanal (2) abzweigt, aufweist.

4. Fluidikmodul (10, 32) nach Anspruch 3, bei dem der mindestens eine dritte Fluidkanal (1) einen geringeren Strömungswiderstand für die Flüssigkeit aufweist als der erste Fluidkanal (2).

5. Fluidikmodul (10, 32) nach Anspruch 1 bis 4, bei dem der Auslasskanal einen Siphon (60) aufweist, wobei ein Auslassende (60) des Siphons (60) bezüglich des Rotationszentrums (R) radial weiter außen angeordnet ist als die Position, an der der Auslasskanal in die erste Kompressionskammer (3) mündet.

6. Fluidikmodul (10, 32) nach Anspruch 1, bei dem der Auslasskanal ein von dem ersten Fluidkanal (2) separater Fluidkanal ist, der an einem radial äußeren Abschnitt oder dem radial äußeren Ende derselben in die erste Kompressionskammer (3) mündet.

7. Fluidikmodul (10, 32) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem der Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3) an einem bezüglich des Rotationszentrums (R) radial inneren Abschnitt oder radial inneren Ende der ersten Kompressionskammer (3) angeordnet ist.

8. Fluidikmodul (10, 32) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem der Fluideinlass (8) der zweiten Kompressionskammer (5) an einem bezüglich des Rotationszentrums (R) radial äußeren Abschnitt oder radial äußeren Ende der zweiten Kompressionskammer (5) angeordnet ist.

9. Fluidikmodul (10, 32) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem der zweite Fluidkanal (4) in Flussrichtung von der zweiten Kompressionskammer (5) zu der ersten Kompressionskammer (4) bezüglich des Rotationszentrums (R) einen Abschnitt aufweist, dessen Anfang weiter von dem Rotationszentrum (R) entfernt ist als dessen Ende.

10. Vorrichtung zum Handhaben von Flüssigkeit, mit folgenden Merkmalen:

einem Fluidikmodul (10, 32) nach einem der Ansprüche 1 bis 9; und

einer Antriebsvorrichtung (20), die ausgelegt ist, um das Fluidikmodul (10, 32) mit Rotationen bei unterschiedlichen Drehfrequenzen zu beaufschlagen,

wobei die Antriebsvorrichtung (20) ausgelegt ist, um in einer ersten Phase das Fluidikmodul (10, 32) mit einer Rotation bei einer Drehfrequenz bei oder oberhalb einer ersten Drehfrequenz zu beaufschlagen, bei der Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal (2) in die erste Kompressionskammer (3) getrieben wird, bei der die erste Kompressionskammer (3) mit der Flüssigkeit gefüllt wird und bei der Flüssigkeit aus der ersten Kompressionskammer (3) in den zweiten Fluidkanal (4) und die zweite Kompressionskammer (5) getrieben wird, um dadurch das kompressible Medium in der zweiten Kompressionskammer (5) einzuschließen und zu komprimieren,

wobei die Antriebsvorrichtung (20) ausgelegt ist, um in einer zweiten Phase nach der ersten Phase die Drehfrequenz unter eine zweite Drehfrequenz abzusenken, bei der die durch das komprimierte Medium in der zweiten Kompressionskammer (5) auf die Flüssigkeit ausgeübte Kraft die durch die Flüssigkeit ausgeübte Zentrifugalkraft überwiegt, so dass sich das kompressible Medium ausdehnt und dadurch Flüs-

sigkeit aus der zweiten Kompressionskammer (5) und dem zweiten Fluidkanal (4) in die erste Kompressionskammer (3), aus der ersten Kompressionskammer (3) in den Auslasskanal und durch den Auslasskanal getrieben wird.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, bei der der Fluideinlass (8) der zweiten Kompressionskammer (5) bezüglich des Rotationszentrums (R) radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3), wobei die zweite Drehfrequenz geringer ist als die erste Drehfrequenz und bei dem die Antriebsvorrichtung ausgelegt ist, um in einer Zwischenphase zwischen der ersten Phase und der zweiten Phase das Fluidikmodul (10, 32) mit einer Drehfrequenz zu beaufschlagen, die zwischen der ersten Drehfrequenz und der zweiten Drehfrequenz liegt, ohne dass Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal (4) in die erste Kompressionskammer (3) getrieben wird.

12. Verfahren zum Handhaben von Flüssigkeit mit einem Fluidikmodul (10, 32) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mit folgenden Merkmalen:

in einer ersten Phase, Drehen des Fluidikmoduls (10, 32) mit einer Rotation bei einer Drehfrequenz bei oder oberhalb einer ersten Drehfrequenz, um Flüssigkeit zentrifugal durch den ersten Fluidkanal (2) in die erste Kompressionskammer (3) und die zweite Kompressionskammer (5) zu treiben, um die erste Kompressionskammer (3) mit der Flüssigkeit zu füllen, und um Flüssigkeit aus der ersten Kompressionskammer (3) in den zweiten Fluidkanal (4) zu treiben, um dadurch das kompressible Medium in der zweiten Kompressionskammer (5) einzuschließen und zu komprimieren,

in einer zweiten Phase nach der ersten Phase, Absenken der Drehfrequenz unter eine zweite Drehfrequenz, bei der die durch das komprimierte Medium in der zweiten Kompressionskammer (5) auf die Flüssigkeit ausgeübte Kraft die durch die Flüssigkeit ausgeübte Zentrifugalkraft überwiegt, so dass sich das kompressible Medium ausdehnt und dadurch Flüssigkeit aus der zweiten Kompressionskammer (5) und dem zweiten Fluidkanal (4) in die erste Kompressionskammer (3), aus der ers-

ten Kompressionskammer (3) in den Auslasskanal und durch den Auslasskanal getrieben wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem der Fluideinlass (8) der zweiten Kompressionskammer (5) bezüglich des Rotationszentrums (R) radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3), wobei die zweite Drehfrequenz geringer ist als die erste Drehfrequenz, und das in einer Zwischenphase zwischen der ersten Phase und der zweiten Phase ein Drehen des Fluidikmoduls mit einer Drehfrequenz, die zwischen der ersten Drehfrequenz und der zweiten Drehfrequenz liegt, aufweist, ohne dass Flüssigkeit aus dem zweiten Fluidkanal (4) in die erste Kompressionskammer (3) getrieben wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, das ein Verwenden eines Fluidikmoduls aufweist, dessen Fluideinlass (8) bezüglich des Rotationszentrums (R) radial weiter außen angeordnet ist als der Fluidauslass (7) der ersten Kompressionskammer (3), wobei in der ersten Phase bei ansteigender Drehfrequenz ein dynamisches Befüllen der zweiten Kompressionskammer (5) beginnt, sobald eine erste Drehfrequenz f_1 überschritten wird, und wobei in der zweiten Phase bei absinkender Drehfrequenz ein dynamisches Entleeren der ersten Kompressionskammer (3) beginnt, sobald eine zweite Drehfrequenz f_2 unterschritten wird, wobei $f_2 < f_1$.

× R

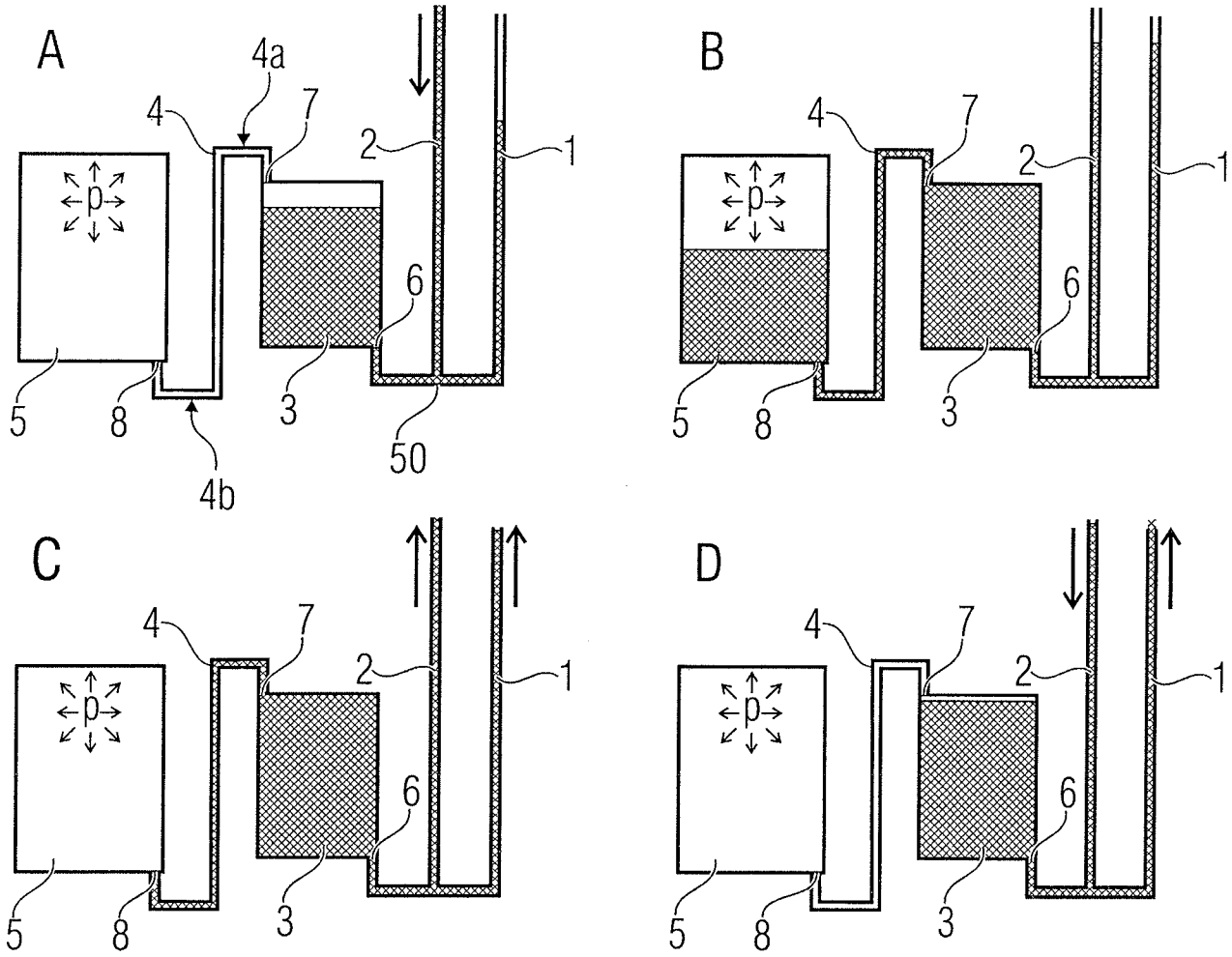


FIG 1

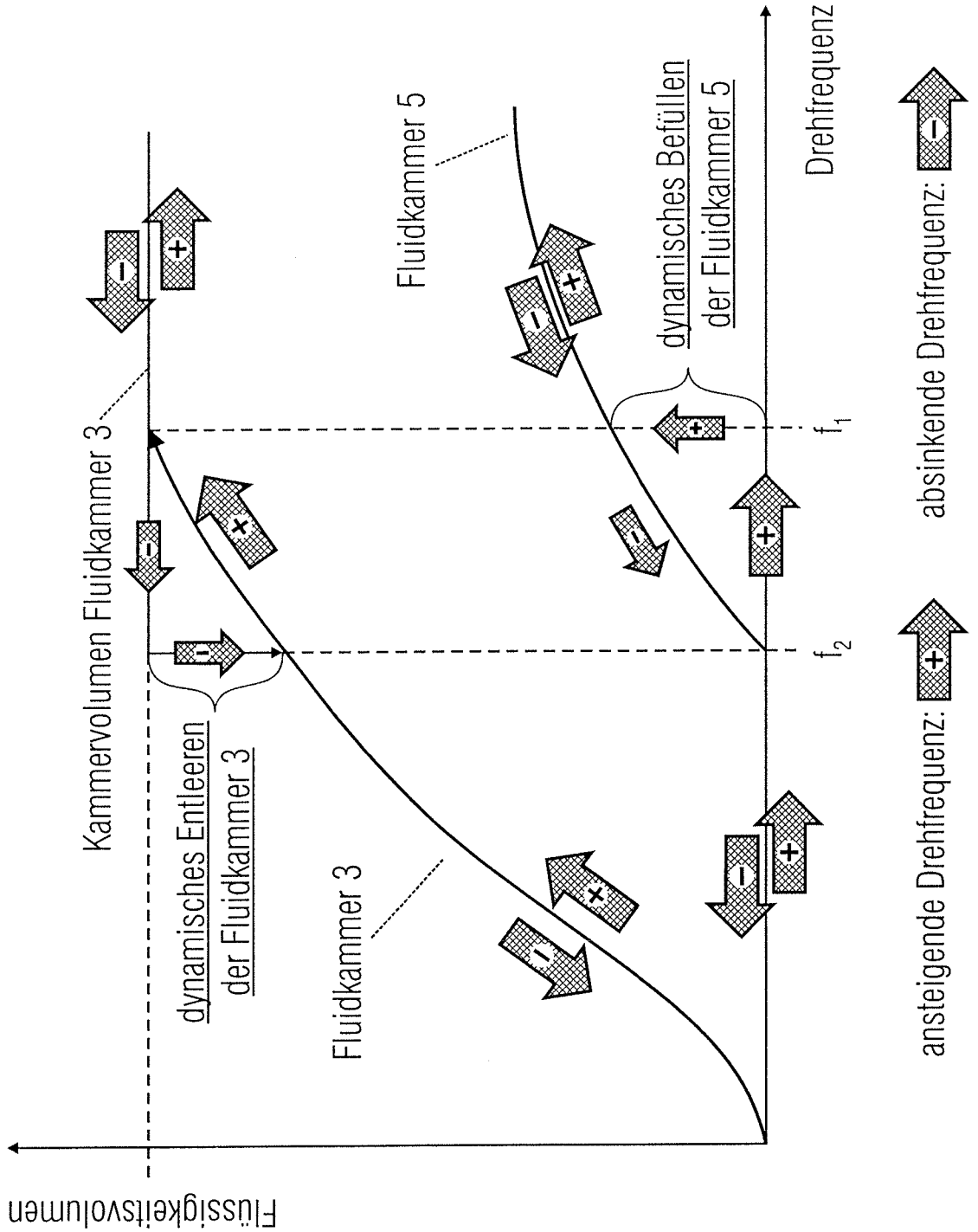

Flüssigkeitsvolumen
Kammervolumen Fluidkammer 3
Fluidkammer 3
Fluidkammer 5
Drehfrequenz
dynamisches Entleeren der Fluidkammer 3
dynamisches Befüllen der Fluidkammer 5
f_1
f_2
ansteigende Drehfrequenz:
absinkende Drehfrequenz:

FIG 2

× R

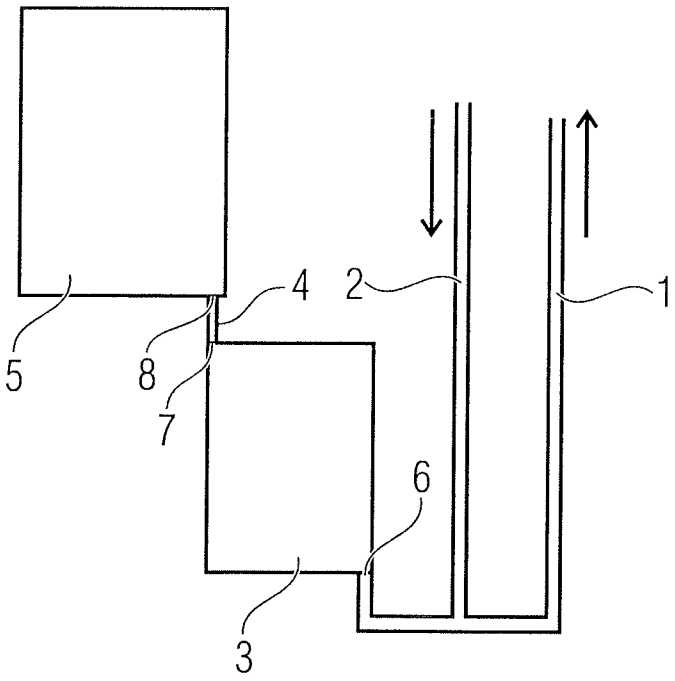


FIG 3

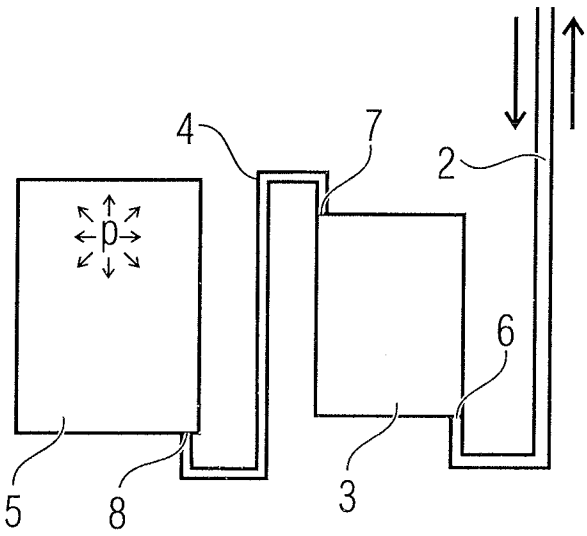


FIG 4

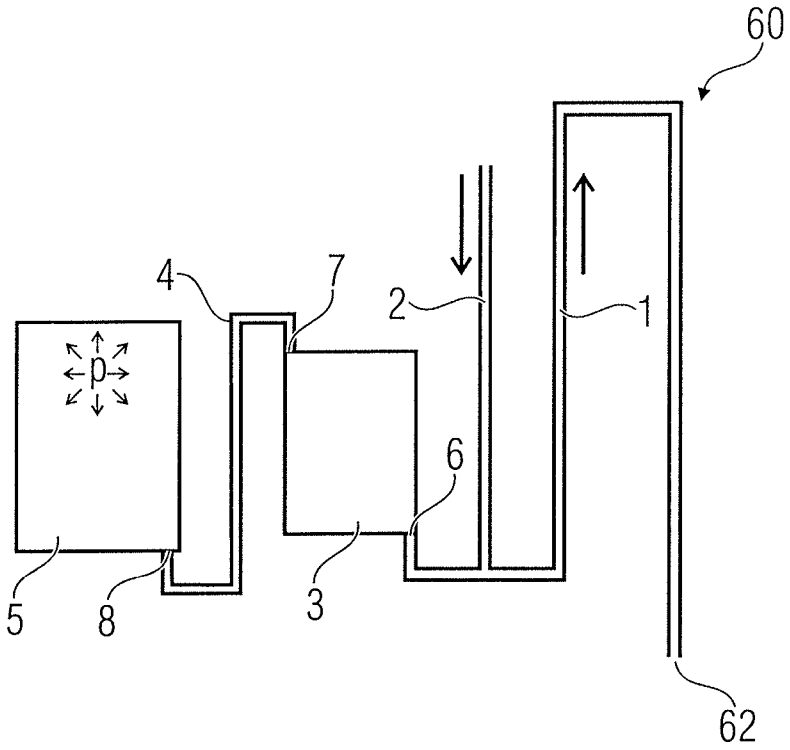


FIG 5

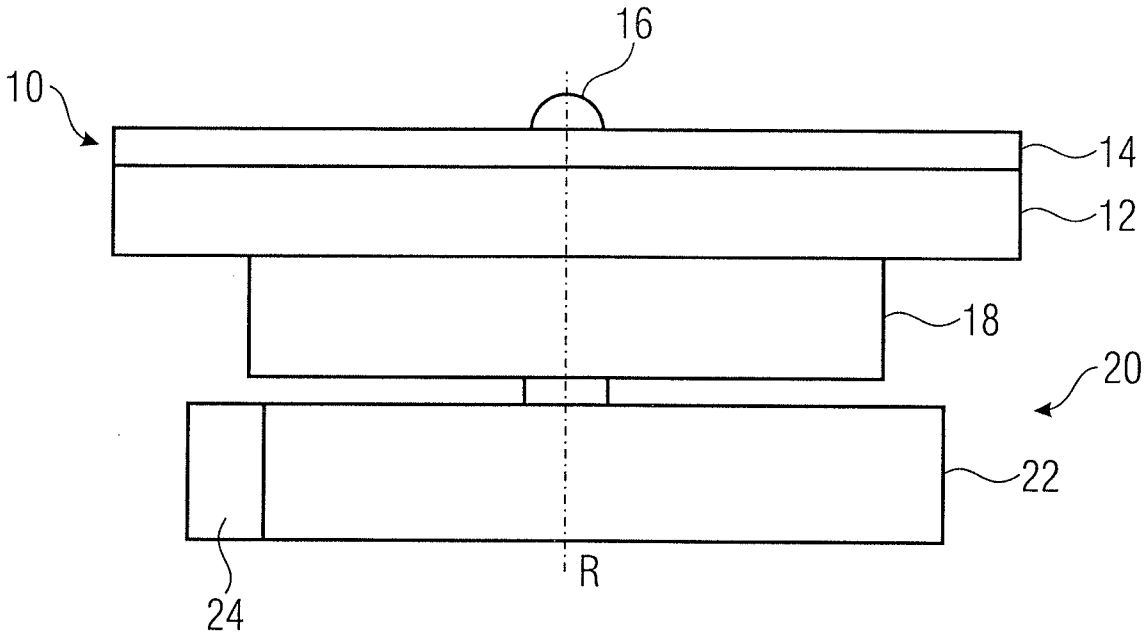


FIG 6

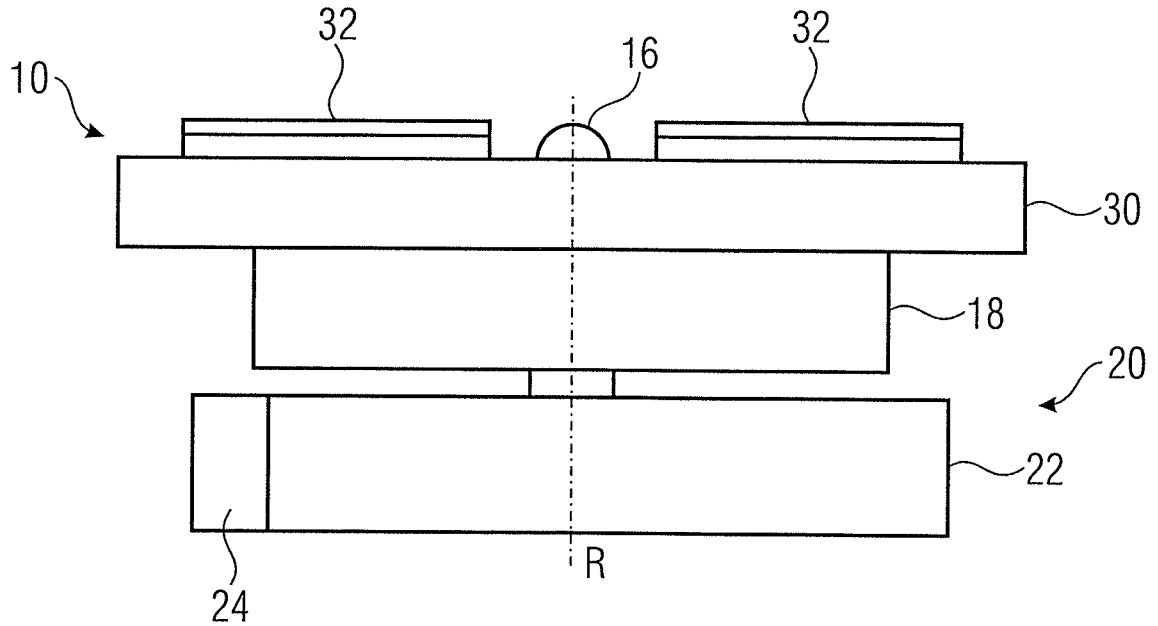


FIG 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/062956

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B01L3/00
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2012 202775 A1 (HAHN SCHICKARD GES [DE]) 29 August 2013 (2013-08-29) cited in the application abstract paragraphs [0036] - [0048], [0059] figures 1-3	1-14
A	DE 10 2009 050979 A1 (HAHN SCHICKARD GES [DE]) 5 May 2011 (2011-05-05) the whole document	1-3

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
24 August 2015	01/10/2015

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Sinn, Cornelia

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/062956

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	ROBERT GORKIN ET AL: "Pneumatic pumping in centrifugal microfluidic platforms", MICROFLUIDICS AND NANOFLUIDICS, SPRINGER, BERLIN, DE, vol. 9, no. 2-3, 17 February 2010 (2010-02-17), pages 541-549, XP019811154, ISSN: 1613-4990 the whole document	1-14
A	DE 10 2013 210818 B3 (HAHN SCHICKARD GES FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG E V [DE]; ALBERT LUDWIGS U) 15 May 2014 (2014-05-15) the whole document	1-14

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2015/062956

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102012202775 A1	29-08-2013	CN 104169590 A	26-11-2014
		DE 102012202775 A1	29-08-2013
		EP 2817519 A1	31-12-2014
		US 2014356129 A1	04-12-2014
		WO 2013124258 A1	29-08-2013
DE 102009050979 A1	05-05-2011	NONE	
DE 102013210818 B3	15-05-2014	DE 102013210818 B3	15-05-2014
		WO 2014198703 A1	18-12-2014

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/062956

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B01L3/00
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2012 202775 A1 (HAHN SCHICKARD GES [DE]) 29. August 2013 (2013-08-29) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung Absätze [0036] - [0048], [0059] Abbildungen 1-3	1-14
A	DE 10 2009 050979 A1 (HAHN SCHICKARD GES [DE]) 5. Mai 2011 (2011-05-05) das ganze Dokument	1-3

-/--

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen [X] Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
24. August 2015	01/10/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Sinn, Cornelia

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/062956

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	ROBERT GORKIN ET AL: "Pneumatic pumping in centrifugal microfluidic platforms", MICROFLUIDICS AND NANOFLUIDICS, SPRINGER, BERLIN, DE, Bd. 9, Nr. 2-3, 17. Februar 2010 (2010-02-17), Seiten 541-549, XP019811154, ISSN: 1613-4990 das ganze Dokument	1-14
A	DE 10 2013 210818 B3 (HAHN SCHICKARD GES FÜR ANGEWANDTE FORSCHUNG E V [DE]; ALBERT LUDWIGS U) 15. Mai 2014 (2014-05-15) das ganze Dokument	1-14

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2015/062956

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102012202775 A1	29-08-2013	CN 104169590 A	26-11-2014
		DE 102012202775 A1	29-08-2013
		EP 2817519 A1	31-12-2014
		US 2014356129 A1	04-12-2014
		WO 2013124258 A1	29-08-2013
DE 102009050979 A1	05-05-2011	KEINE	
DE 102013210818 B3	15-05-2014	DE 102013210818 B3	15-05-2014
		WO 2014198703 A1	18-12-2014