

(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
30. Oktober 2014 (30.10.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/173382 AI

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
F01K 27/00 (2006.01) *F03G 7/00* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE20 14/000 135
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
15. März 2014 (15.03.2014)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2013 007 189.5
25. April 2013 (25.04.2013) DE
- (71) **Anmelder:** FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; 52425 Jülich (DE).
- (72) **Erfinder:** RIPOLL, Marisol; Dr.-Halbsguth-Strasse 11, 52428 Jülich (DE). YANG, Mingcheng; No. 8, 3rd South Street, Zhongguancun, Haidian District, Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing, 1001 90 (CN).
- (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, LT, 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.

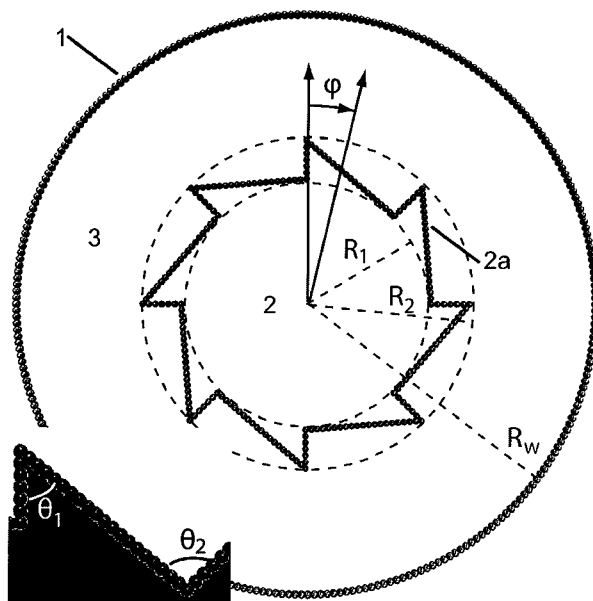
- (84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, 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).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.1 7 Ziffer ix)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

- (54) **Title:** THERMOPHORETIC MACHINE
(54) **Bezeichnung :** THERMOPHORETISCHE KRAFTMASCHINE



Figur 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a device for Converting heat into kinetic energy, said device comprising two surfaces (1, 2a) that Surround a cavity (3), wherein at least one of the surfaces (2a) is asymmetrically structured in at least one direction tangentially to the surface, and means for bringing both surfaces to different temperatures. According to the invention a working fluid comprising at least one first species of particles is arranged in the cavity, wherein a second species of particles arranged on the structured surface and/or contained in the working fluid is energised to effect a drift movement when a local temperature gradient is applied. At the same time the nature of the structuring of the surface is such that when the temperatures at the two surfaces are different, a local temperature gradient develops in the working fluid along the tangential direction. As a result, the thermophoretic drift movement caused by the temperature gradient then provokes a directed movement of the working fluid and/or of the surfaces relative to one another. The essential difference over the prior art is that the movement is not confined to the movement of a single particle species in the direction from colder to warmer regions, but is a thermophoretic relative movement of two species relative to one another, which is based on an interaction between the species.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/173382 A1

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz V

Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie, welche Vorrichtung zwei Oberflächen (1, 2a) umfasst, die einen Hohlraum (3) einschließen, wobei mindestens eine der Oberflächen (2a) in mindestens einer zu der Oberfläche tangentialen Richtung asymmetrisch strukturiert ist, sowie Mittel, um beide Oberflächen auf verschiedene Temperaturen zu bringen. Erfindungsgemäß ist in dem Hohlraum eine Arbeitsflüssigkeit aus mindestens einer ersten Spezies von Teilchen angeordnet, in der eine auf der strukturierten Oberfläche angeordnete und/oder in der Arbeitsflüssigkeit enthaltene zweite Spezies von Teilchen bei Anlegen eines lokalen Temperaturgradienten zu einer Driftbewegung angeregt wird. Zugleich ist die Strukturierung der Oberfläche so beschaffen, dass sich bei Vorlage der verschiedenen Temperaturen an den beiden Oberflächen in der Arbeitsflüssigkeit ein lokaler Temperaturgradient entlang der tangentialen Richtung ausbildet. Im Ergebnis treibt dann die durch den Temperaturgradienten hervorgerufene thermophoretische Driftbewegung eine gerichtete Bewegung der Arbeitsflüssigkeit und/oder der Oberflächen zueinander an. Der wesentliche Unterschied zum Stand der Technik besteht darin, dass die Bewegung nicht auf die Bewegung einer einzigen Teilchenspezies in der Richtung von kälteren zu wärmeren Gebieten festgelegt ist, sondern eine thermophoretische Relativbewegung zweier Spezies zueinander ist, die auf einer Wechselwirkung zwischen den Spezies beruht.

B e s c h r e i b u n g

Thermophoretische Kraftmaschine

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie.

Stand der Technik

5 Zur Manipulation von Materie auf der Nanoskala und zur Miniaturisierung von Geräten und Versuchsaufbauten („lab on a chip“) ist es erforderlich, gezielt Bewegungen in dieser Größenordnung anzuregen. Dies geschieht üblicherweise mit Vorrichtungen, die elektrische Energie in Bewegungsenergie umwandeln. Derartige Vorrichtungen sind technisch vergleichsweise anspruchsvoll, weil sie elektrisch kontaktiert werden müssen, und häufig durch filigrane bewegliche Teile ausfallgefährdet.

10 Die Umwandlung thermischer Energie in Bewegungsenergie ist wesentlich einfacher und mit weniger empfindlichen beweglichen Teilen zu realisieren. Aus (A. A. Donkov, S. Tiwari, T. Lang, S. Hardt, A. Klar, W. Ye, „Momentum and mass fluxes in a gas confined between periodically structured surfaces at different temperatures“, Physical Review E 84, 016304 (2011)) ist eine Kraftmaschine bekannt, in der eine unstrukturierte und eine asymmetrisch strukturierte Oberfläche einander gegenüberliegen.
15 Werden beide Oberflächen auf unterschiedliche Temperaturen gebracht, bildet sich entlang der strukturierten Oberfläche ein Temperaturgradient. Dieser regt ein zwischen den beiden Oberflächen eingeschlossenes verdünntes Arbeitsgas dazu an, von kälteren in wärmere Bereiche zu fließen. Dabei kann es zugleich auch eine Kraft
20 auf die strukturierte Oberfläche ausüben und diese in Bewegung versetzen, sofern sie beweglich gelagert ist.

Nachteilig ist der auf diese Weise angetriebene Gasfluss auf die Richtung von kälteren in wärmere Gebiete festgelegt. Weiterhin muss das Arbeitsgas stark verdünnt sein, damit seine Moleküle auf einer großen freien Weglänge durch den Temperaturgradienten beschleunigt werden können. Es fließt daher immer nur eine sehr geringe
25 Stoffmenge Arbeitsgas, so dass auch eine beweglich gelagerte Oberfläche nur mit einer sehr geringen Kraft angetrieben werden kann.

Aufgabe und Lösung

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, die durch Anlegen einer Temperaturdifferenz zwischen zwei Oberflächen erzeugte Bewegung besser steuerbar zu machen und die auf diesem Wege erzeugbare Antriebskraft zu steigern.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung gemäß Hauptanspruch. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf rückbezogenen Unteransprüchen.

Gegenstand der Erfindung

10 Im Rahmen der Erfindung wurde eine Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie entwickelt. Diese Vorrichtung umfasst zwei Oberflächen, die einen Hohlraum einschließen, wobei mindestens eine der Oberflächen in mindestens einer zu der Oberfläche tangentialen Richtung asymmetrisch strukturiert ist, sowie Mittel, um beide Oberflächen auf verschiedene Temperaturen zu bringen.

15 Erfindungsgemäß ist in dem Hohlraum eine Arbeitsflüssigkeit aus mindestens einer ersten Spezies von Teilchen angeordnet, in der mindestens eine auf der strukturierten Oberfläche angeordnete und/oder in der Arbeitsflüssigkeit enthaltene zweite Spezies von Teilchen bei Anlegen eines lokalen Temperaturgradienten zu einer Driftbewegung angeregt wird. Zugleich ist die Strukturierung der Oberfläche so beschaffen, dass sich bei Vorlage der verschiedenen Temperaturen an den beiden
20 Oberflächen in der Arbeitsflüssigkeit ein lokaler Temperaturgradient entlang der tangentialen Richtung ausbildet. Im Ergebnis treibt dann die durch den Temperaturgradienten hervorgerufene thermophoretische Driftbewegung eine gerichtete Bewegung der Arbeitsflüssigkeit und/oder der Oberflächen zueinander an. Die zweite Spezies kann beispielsweise in Form fester Partikel oder auch als gelöster Feststoff
25 in der Arbeitsflüssigkeit enthalten sein. Es kann aber beispielsweise auch eine zweite Flüssigkeit sein, die mit der ersten gemischt ist, oder ein Gas, das in der Arbeitsflüssigkeit gelöst oder in Form von Blasen in ihr enthalten ist. Neben den beiden Spezies können in der Arbeitsflüssigkeit noch weitere Bestandteile, beispielsweise in Lösung, enthalten sein, die die thermophoretische Wechselwirkung zwischen den beiden
30 Spezies verändern.

Wenn die zweite Spezies auf der strukturierten Oberfläche vorhanden ist, hat dies den Vorteil, dass mit einer einkomponentigen Arbeitsflüssigkeit gearbeitet werden kann und dass es nur ein einziges Verbrauchsmaterial gibt. Dazu kann der Grundkörper, dessen Oberfläche die strukturierte Oberfläche ist, insbesondere vollständig aus dieser zweiten Spezies bestehen. Er kann aber auch mit der zweiten Spezies beschichtet oder gar nur in Teilbereichen der strukturierten Oberfläche mit dieser Spezies vergütet sein. Zum Antrieb trägt die zweite Spezies nur an den Orten bei, an denen im Betrieb ein lokaler Temperaturgradient herrscht. Wenn die zweite Spezies sehr kostbar ist, kann es daher sinnvoll sein, sie nur an diesen Orten auf die strukturierte Oberfläche aufzubringen. Die thermophoretische Drift der zweiten Spezies auf der strukturierten Oberfläche in der ersten Spezies der Arbeitsflüssigkeit bewegt die strukturierte Oberfläche relativ zur Arbeitsflüssigkeit. Dazu muss diese Oberfläche bzw. der Grundkörper, dessen Oberfläche sie ist, beweglich gelagert sein. Die Arbeitsflüssigkeit muss in dieser Ausgestaltung nicht einkomponentig sein. Es können in ihr noch weitere Bestandteile, beispielsweise in Lösung, enthalten sein, die die thermophoretische Wechselwirkung zwischen der Spezies in der Arbeitsflüssigkeit und der Spezies auf der strukturierten Oberfläche verändern.

Wenn die zweite Spezies in der Arbeitsflüssigkeit selbst enthalten ist, kann die thermophoretische Drift der beiden Spezies gegeneinander ebenfalls die strukturierte Oberfläche antreiben, sofern diese beweglich gelagert ist. Zugleich kann die Arbeitsflüssigkeit selbst angetrieben werden. Eine Arbeitsflüssigkeit mit zwei Spezies hat den zusätzlichen Vorteil, dass durch Veränderung des Konzentrationsverhältnisses der beiden Spezies die Stärke und Richtung der Bewegung verändert werden können. Die Arbeitsflüssigkeit kann zu diesem Zweck im Betrieb einfacher verändert oder ausgetauscht werden als die strukturierte Oberfläche bzw. der Grundkörper, dessen Oberfläche sie ist.

Die thermophoretische Drift ist auf der Ebene der einzelnen Teilchen ein statistisches Phänomen. Indem die Oberfläche asymmetrisch strukturiert ist, erhält sie in der Mittelung über das Ensemble aller Teilchen eine Vorzugsrichtung, weil insgesamt signifikant mehr Teilchen zu einer Bewegung in dieser Vorzugsrichtung beitragen als zu einer Bewegung in die Gegenrichtung.

Der wesentliche Unterschied zu der Vorrichtung gemäß Stand der Technik besteht darin, dass die Bewegung nicht auf die Bewegung einer einzigen Teilchenspezies in der Richtung von kälteren zu wärmeren Gebieten festgelegt ist, sondern eine thermophoretisch getriebene Relativbewegung zweier Teilchenspezies zueinander ist.

5 Maßgeblich für die Bewegung ist also nicht das Verhalten einer einzelnen Spezies, sondern eine Wechselwirkung zwischen zwei Spezies. Dies bietet wesentlich mehr Freiheitsgrade, sowohl die Stärke als auch die Richtung der Bewegung durch die Wahl der beiden Spezies und die Festlegung der sonstigen Bedingungen (etwa Druck oder mittlere Temperatur) in dem Hohlraum, von denen die Thermophorese

10 abhängt, festzulegen. Stärke und Richtung der Bewegung können vorteilhaft auch im laufenden Betrieb umgeschaltet werden, beispielsweise durch Änderung des Drucks, der Temperatur oder des Konzentrationsgefälles zwischen den Spezies.

Nach dem Stand der Technik konnte die Richtung der Bewegung nur umgeschaltet werden, indem die Richtung des Temperaturgradienten entlang der strukturierten

-15 Oberfläche umgekehrt wurde. Der Temperaturgradient wird jedoch wesentlich durch die Strukturierung der Oberfläche bestimmt. Um ihn umzukehren, reicht es also nicht notwendigerweise aus, die zwischen beiden Oberflächen angelegte Temperaturdifferenz umzukehren. Nur bei bestimmten Sonderfällen von Strukturierungen kehrt sich mit der Temperaturdifferenz zwischen den beiden Oberflächen auch der Temperaturgradient entlang der strukturierten Oberfläche um.

20

Im Unterschied zum Stand der Technik hängen Stärke und Richtung der Bewegung nicht nur von der Arbeitsflüssigkeit selbst ab, sondern auch von den Materialien der Oberflächen. Zum Einen kann die strukturierte Oberfläche selbst mit der zweiten Spezies, die die Driftbewegung ausführt, funktionalisiert sein. Zum Anderen kann

25 eine der Oberflächen auf eine der Spezies in einer aus zwei Spezies bestehenden Arbeitsflüssigkeit eine besondere attraktive oder repulsive Wirkung haben und so die Reaktion der Spezies auf den Temperaturgradienten verändern.

Weiterhin können die an der Driftbewegung beteiligten Stoffmengen erheblich größer sein als die Stoffmengen der nach dem Stand der Technik eingesetzten verdünnten

30 Gase, da Flüssigkeiten und Festkörper eine um einen Faktor von ca. 1000 höhere Dichte haben als verdünnte Gase. Damit hat die erfindungsgemäße Vorrichtung das

Potential, eine größere Antriebskraft zu erzeugen als die Vorrichtung gemäß Stand der Technik.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die strukturierte Oberfläche der Umfang eines drehbar gelagerten Rades. Die Driftbewegung erzeugt dann ein Drehmoment, das dieses Rad antreibt.

In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung verlaufen beide Oberflächen bis auf die Strukturierung zueinander parallel und sind starr miteinander gekoppelt. Beide Oberflächen schließen dann einen Kanal ein, durch den die Arbeitsflüssigkeit getrieben wird.

Vorteilhaft steigt, entlang der tangentialen Richtung gesehen, die Topographie der strukturierten Oberfläche in der Normalen zu dieser Oberfläche zunächst mit einer ersten Rate an und fällt dann mit einer von der ersten Rate verschiedenen zweiten Rate ab. Das beste Beispiel hierfür ist eine sägezahnförmige Strukturierung, bei der die Topographie zunächst in der Form einer schiefen Ebene ansteigt und dann senkrecht abfällt. Derartige Strukturen sind besonders asymmetrisch, so dass die Vorzugsrichtung der Bewegung besonders ausgeprägt ist.

Vorteilhaft wiederholt die Strukturierung der strukturierten Oberfläche sich entlang der tangentialen Richtung periodisch. Die Bewegung kann dann gleichförmig sein und sich ebenfalls wiederholen, insbesondere wenn die strukturierte Oberfläche der Umfang eines Rades ist.

Vorteilhaft besteht mindestens eine der Oberflächen aus Polystyrol, Latex, Quarz, Gold oder einem Polyvinylalkohol, oder sie ist damit beschichtet. Diese Materialien zeigen eine besonders starke thermophoretische Kraftwechselwirkung mit der Arbeitsflüssigkeit.

In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Arbeitsflüssigkeit ein Lösungsmittel, in dem ein Feststoff gelöst, suspendiert oder dispergiert ist. Ein Lösungsmittel als erste Spezies und ein Feststoff als zweite Spezies unterscheiden sich besonders stark in ihrer Reaktion auf den Temperaturgradienten, so dass die thermophoretische Driftbewegung besonders stark ist. Wenn der Feststoff gelöst ist,

hat dies den weiteren Vorteil, dass er sich nicht in der Vorrichtung anlagern und diese lokal verstopfen kann.

Das Lösungsmittel ist vorteilhaft Wasser oder ein organisches Lösungsmittel, insbesondere Ethanol oder ein anderer Alkohol, Benzol oder Toluol. Der Feststoff ist vorteilhaft ein Salz, ein Polymer oder ein Stoff, der mit dem Lösungsmittel ein Kolloid bildet.

Vorteilhaft sind Mittel zur Umschaltung der Geometrie mindestens einer Oberfläche zwischen mindestens zwei Zuständen vorgesehen. Damit kann im laufenden Betrieb die Stärke oder Richtung der Bewegung gewechselt werden. Beispielsweise können die beiden Flanken einer sägezahnförmigen Strukturierung gegeneinander vertauscht werden, um die Bewegungsrichtung umzukehren.

In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung sind Mittel zur Änderung des Drucks oder der mittleren Temperatur in der Arbeitsflüssigkeit vorgesehen. Die Reaktion der beiden Spezies auf den Temperaturgradienten kann druck- oder temperaturabhängig sein. Über die Druck- oder Temperaturänderung, die vermittelt durch die Arbeitsflüssigkeit aus der Distanz in den Hohlraum eingebracht werden kann, lassen sich dann Stärke und Richtung der Bewegung einstellen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind Mittel zur Beaufschlagung der Arbeitsflüssigkeit mit einem elektrischen und/oder magnetischen Feld vorgesehen. Dann kann zum Einen eine elektrische und/oder magnetische Kraft direkt mit der thermophoretischen Kraft zusammenwirken. Zum Anderen kann ein derartiges Feld Moleküle orientieren, so dass die Wechselwirkung der Arbeitsflüssigkeit mit den Oberflächen verändert werden kann. Dadurch lassen sich Stärke und Richtung der Bewegung durch eine Änderung des Felds berührungslos beeinflussen.

Der in der Beschreibungseinleitung zitierte Stand der Technik (Donkov et al.) treibt ein Zahnrad durch Stöße mit Gasteilchen des Arbeitsgases per saldo in eine Richtung, indem die beiden Seiten eines jeden Zahnradzahnes so ausgebildet sind, dass sie mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten von den Teilchen des Arbeitsgases getroffen werden. Die Teilchen des Arbeitsgases wechselwirken nicht miteinander, da das Arbeitsgas verdünnt ist. Demgegenüber wird erfindungsgemäß der thermo-

phoretische Antrieb genutzt, bei dem durch einen Temperaturgradienten eine Teilchenspezies zu einer Relativbewegung gegenüber einer in der Arbeitsflüssigkeit vorhandenen anderen Spezies veranlasst wird. Die Strukturierung der Oberfläche, etwa in Form von Zähnen eines Zahnrads, hat hier nicht mehr die Funktion, die Auftreffwahrscheinlichkeit für Teilchen zu verändern. Sie dient zur Erzeugung des Temperaturgradienten, der wiederum eine thermophoretische Kraftwechselwirkung zwischen den beiden Spezies erzeugt. Die asymmetrische Form der Strukturierung sorgt dafür, dass sich die über die ganze Oberfläche gemittelten Kraftwechselwirkungen nicht aufheben, sondern es eine Nettokraft bzw. ein Nettodrehmoment in eine Richtung gibt und eine Relativbewegung angetrieben wird.

Dabei kann diese Strukturierung auch mit weiteren Maßnahmen zur Ausbildung des Temperaturgradienten zusammenwirken. Beispielsweise kann die strukturierte Oberfläche oder ein Körper (etwa ein Zahnrad), auf dem sie sich befindet, mit einem Laserstrahl erwärmt werden. Die Oberfläche oder der Körper können aber beispielsweise auch von einem Kanal durchzogen sein, durch den ein heizendes oder kühlendes Medium geführt werden kann. Entscheidend für das Funktionieren des Antriebs ist nur, dass ein Temperaturgradient entlang der tangentialen Richtung erzeugt wird, so dass eine Nettobewegung in dieser Richtung angeregt wird. Mit Blick auf die sonstigen Randbedingungen in der Anwendung, in der die erfindungsgemäße Kraftmaschine eingesetzt werden soll, wird der Fachmann aus dem hier nicht erschöpfend darstellbaren Katalog der Maßnahmen eine Auswahl treffen.

Für eine Abschätzung der erzielbaren Drehgeschwindigkeit wurde ein Zahnrad aus Polystyren mit einem Durchmesser von $50\ \mu\text{m}$ und einer Dicke von $1\ \mu\text{m}$ als hydrodynamische Scheibe modelliert, deren Trägheitsmoment von der flächigen Reibung an der Arbeitsflüssigkeit dominiert wird. Ursache für diese Reibung ist die von Null verschiedene Viskosität der Arbeitsflüssigkeit (Wasser). Das Verhalten der Arbeitsflüssigkeit wurde mit mesoskopischer Vielteilchen-Stoßdynamik (multi-particle collision dynamics, MPC) modelliert. Das Zahnrad sowie seine Wechselwirkung mit der Arbeitsflüssigkeit wurden mit Molekulardynamik (MD) untersucht, vergleich hierzu auch die Beschreibung zu den Figuren 1 und 2. Für ein $1\ \mu\text{m}$ großes Polystyren-Partikel in Wasser ist aus Experimenten bekannt (F. M. Weinert, D. Braun, Physical Review Letters 101, 168301 (2008)), dass dieses einen Thermodiffusionsfaktor in der

Größenordnung 5000 hat. Der Thermodiffusionsfaktor ist die Proportionalitätskonstante zwischen der auf das Partikel ausgeübten thermophoretischen Kraft und dem lokalen Temperaturgradienten. Jede lange Flanke eines Zahnradzahns wurde nun als aus 100 überlappenden Polystyren-Partikeln (Beads) bestehend angenommen. Diese Beads erfahren in der Arbeitsflüssigkeit bei Anwesenheit eines Temperaturgradienten eine thermophoretische Kraft. Dabei wird diese Kraft im Vergleich zu der auf ein isoliertes Partikel um einen Faktor 10 abgeschwächt, weil ein in die lange Flanke des Zahnradzahns eingebettetes Partikel nur auf einem kleinen Teil seiner Oberfläche mit der Arbeitsflüssigkeit in Kontakt steht. Für einen Temperaturgradienten von $0,1 \text{ K}/\mu\text{m}$ führt die Abschätzung auf eine Drehgeschwindigkeit von 1 Umdrehung pro Sekunde.

Erweiterungen des Modells, etwa die Berücksichtigung eines Temperaturgradienten innerhalb des Zahnrades auf Grund einer moderaten Wärmeleitfähigkeit, können das Ergebnis quantitativ ändern, ändern aber nichts an der qualitativen Tatsache, dass eine Rotation in Gang gesetzt wird. Um einen solchen Temperaturgradienten in die Simulation einzubeziehen, müssten interne Freiheitsgrade der Partikel zugelassen werden. Das einfachste Modell hierfür wäre ein Zahnrad, bei dem nur die Partikel auf der Oberfläche interne Freiheitsgrade haben, nicht jedoch die Partikel im Inneren. Dies lässt sich beispielsweise experimentell realisieren, indem das Zahnrad einen Grundkörper aus einem ersten Material umfasst, der mit einem zweiten Material beschichtet wird. Ein Zahnrad, bei dem alle Partikel interne Freiheitsgrade haben, würde sich in der Realität qualitativ ähnlich verhalten, es wäre aber wesentlich schwieriger zu simulieren.

Für weitere Details zu der Simulation wird auf das nach dem Prioritätstag veröffentlichte Paper (M. Yang, M. Ripoll, „Self-Propelled Thermophoretic Microgear“, Soft Matter, DOI: 10.1039/C3SM52417E (2013)) verwiesen. Das Zahnrad kann alternativ auch als zylindrische Säule oder als Hindernis in einem sehr dünnen Kanal modelliert werden. Die Simulation führt dann zu qualitativ ähnlichen Ergebnissen.

Die eingesetzte Simulationsmethode MPC wurden zuerst 1999 von Kaprai vorgeschlagen (A. Malevanets, R. Kaprai, „Mesoscopic model for solvent dynamics“, Journal of Chemical Physics 110, 8605 (1999)). Sie wurde seither auf viele bekannte

Probleme angewendet, etwa auf das Verhalten von Polymeren, Kolloiden und sogar roten Blutkörperchen. Der Review-Artikel (G. Gompper, T. Ihle, D.M. Kroll, R.G. Winkler, „Multi-Particle Collision Dynamics: A Particle-Based Mesoscale Simulation Approach to the Hydrodynamics of Complex Fluids“, Advances in Polymer Sciences 221 , 1-87 (2009)) gibt einen Überblick über derartige Anwendungen und diskutiert die zufriedenstellende Übereinstimmung der erhaltenen Ergebnisse sowohl mit analytischen Überlegungen als auch mit experimentellen Daten.

Derzeit laufen Arbeiten der Erfinder zur experimentellen Realisierung. Zahnräder nach dem hier und in den Figuren beschriebenen Muster, aber mit einem Durchmesser zwischen 350 und 650 μm wurden bereits durch konventionelle mechanische Bearbeitung (Bohren) hergestellt. Es ist beabsichtigt, Zahnräder mit Durchmessern von 50 μm und darunter durch optische Lithographie herzustellen. Mit Elektronenstrahlithographie sind auch Zahnräder, die um bis zu zwei Größenordnungen kleiner sind, in Reichweite.

15 Spezieller Beschreibungsteil

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung hierdurch beschränkt wird. Es ist gezeigt:

Figur 1: Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung in Aufsicht.

Figur 2: Simulation der lokalen Temperaturverteilung für das in Figur 1 gezeigte Ausführungsbeispiel.

Figur 3: Abhängigkeit von Richtung und Geschwindigkeit der Drehbewegung für das Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz (Teilbild a) und der Materialeigenschaften (Teilbild b).

Figur 4: Funktion des in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiels als Pumpe.

25 Figur 5: Lineare Pumpe als weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Eine unstrukturierte Oberfläche 1 und ein Zahnrad 2, dessen Oberfläche die strukturierte Oberfläche ist, sind konzentrisch zueinander angeordnet. In dem Hohlraum 3 zwischen beiden Oberflächen befindet sich eine einkomponentige Arbeitsflüssigkeit. Das

Zahnrad hat entlang seines Umfangs acht Zähne, an deren Grenzen die strukturierte Oberfläche jeweils alternierend um $\theta_1=40^\circ$ bzw. um $\theta_2=90^\circ$ geknickt ist. In der tangentialen Richtung entlang des Außenumfangs des Zahnrades ist die Strukturierung somit asymmetrisch, weil in der einen Umlaufrichtung immer ein anderer Knick zu sehen ist als in der anderen Umlaufrichtung. Der Innenumfang R_1 des Zahnrads 2 ist 300 μm und sein Außenumfang R_2 400 μm . Die Oberfläche 1 ist ein Zylinder mit einem Radius R_w von 700 μm . Die Arbeitsflüssigkeit ist Wasser, Ethanol oder Toluol. Das Zahnrad 2 besteht aus einem massiven Grundkörper aus Quarz mit einem Trägheitsmoment von $10^6 \mu\text{g}/\mu\text{m}^3$, der an seiner äußeren Oberfläche mit Monomer-Beads 2a aus Gold beschichtet ist. Eine Drehung des Zahnrads im Uhrzeigersinn entspricht einer Zunahme des Drehwinkels ϕ .

Das Verhalten dieses Zahnrads wurde in einer zweidimensionalen Simulation studiert, in der das Verhalten der Arbeitsflüssigkeit mit der als Vielteilchen-Stoßdynamik (multi-particle collision dynamics, MPC) bekannten mesoskopischen Methode und das Verhalten des Zahnrads sowie seine Wechselwirkung mit der Arbeitsflüssigkeit mit Molekulardynamik (MD) modelliert wurden. Diese Hybridmodellierung trägt der Tatsache Rechnung, dass sich die charakteristischen Längen- und Zeitskalen des Verhaltens von Zahnrad und Arbeitsflüssigkeit jeweils um Größenordnungen unterscheiden. In der MPC-Modellierung der Arbeitsflüssigkeit alternieren Schritte, in denen sich die Teilchen der Flüssigkeit ballistisch bewegen, und Schritte, in denen sie an ihrem aktuellen Ort einen Stoß ausführen entsprechend der stochastischen Kollisionsregel von Ryder und Yeomans. Diese Regel gewährleistet die Erhaltung von Masse, Impuls, Energie und Drehimpuls, so dass die Simulation hydrodynamische Wechselwirkungen und Temperaturgradienten, korrekt abbildet. Sie gewährleistet auch die korrekte Abbildung von thermischen Fluktuationen. Für die Wechselwirkung zwischen der ersten Spezies von Teilchen in der Arbeitsflüssigkeit und den Beads 2a auf dem Zahnrad 2 wurde ein Potential vom Lennard-Jones-Typ, das je nach verwendeten Materialien attraktiv oder repulsiv sein kann, angenommen.

Zunächst wurde die Temperaturverteilung in der Arbeitsflüssigkeit studiert, die sich einstellt, wenn das Zahnrad 2 auf einer Temperatur T_g und die unstrukturierte Zylinderwand 1 auf einer niedrigeren Temperatur T_w gehalten wird. Figur 2 zeigt den stationären Zustand, der sich nach kurzer Zeit einstellt, in Aufsicht, wobei Teilbild b)

eine Ausschnittsvergrößerung eines Zahns aus Teilbild a) ist. Die Graustufen geben jeweils das Verhältnis T/\bar{T} der Temperatur zur mittleren Temperatur an. Es bilden sich ein lokaler Temperaturgradient ∇T_i entlang der langen Flanke des Zahns und ein lokaler Temperaturgradient ∇T_s entlang der kurzen Flanke des Zahns. Für den Antrieb des Zahnrads nutzbar ist der lokale Temperaturgradient ∇T_i entlang der langen Flanke des Zahns. Teilchen der zweiten Spezies auf dieser Flanke erfahren auf Grund ihrer inhomogenen Wechselwirkung mit der umgebenden Arbeitsflüssigkeit eine thermophoretische Kraft, die entweder entlang der Richtung des Temperaturgradienten (thermophil) oder aber ihr entgegengesetzt (thermophob) gerichtet ist. In beiden Fällen lässt sich die Kraft in eine radiale, auf das Zentrum des Zahnrads gerichtete Komponente und in eine tangentielle Komponente entlang des Umfangs des Zahnrads zerlegen. Letztere Komponente übt ein Drehmoment auf das Zahnrad aus.

Figur 3a zeigt eine Simulation des Drehwinkels ϕ über die Zeit t in Abhängigkeit der vorgelegten Temperaturdifferenz ΔT zwischen dem Zahnrad 2 und der Wand 1. Für jede Kurve ist das Verhältnis $\Delta T/\bar{T}$ der Temperaturdifferenz ΔT zur mittleren Temperatur \bar{T} angegeben. Eine positive Drehrichtung entspricht dabei einer Drehung im Uhrzeigersinn. Je höher die vorgelegte Temperaturdifferenz ΔT , desto schneller die Drehung. Sind Zahnrad und Wand auf gleicher Temperatur, kommt die Drehung zum Erliegen. Wird die Richtung der Temperaturdifferenz umgekehrt, kehrt sich auch die Drehrichtung um. Die Drehung verschwindet auch dann, wenn die Geometrie des Zahnrads so geändert wird, dass die Zähne symmetrisch sind (Winkel $\theta_1 = \text{Winkel } \alpha_2$; in Figur 3a nicht eingezeichnet).

Figur 3b zeigt Simulationen des Drehwinkels ϕ über die Zeit t für ein und dieselbe Temperaturdifferenz ΔT , aber für verschiedene Wechselwirkungen zwischen den Beads 2a und der Arbeitsflüssigkeit 3, die verschiedenen Materialkombinationen entsprechen. In Kurve a ist das thermophile Material Polyvinylalkohol in Wasser mit einem attraktiven Potential vom Lennard-Jones-Typ simuliert. Kurven b und c sind für die thermophoben Materialien Quarz und Gold in Wasser mit verschiedenen stark repulsiven Potentialen vom Lennard-Jones-Typ simuliert. Sowohl die Richtung als auch die Geschwindigkeit der Drehbewegung lassen sich somit über die Wahl der Materialien, aber beispielsweise auch über den Druck oder die mittlere Temperatur der Ar-

beitsflüssigkeit, steuern. Ein Material ist grundsätzlich nicht für sich allein thermophob oder thermophil, sondern immer nur in der Wechselwirkung mit einem anderen Material, etwa einem Lösungsmittel.

5 Die Simulationen wurden qualitativ überprüft, indem die auf die Beads 2a wirkende makroskopische thermophoretische Kraft, die zum lokalen Temperaturgradienten proportional ist, berechnet und hieraus das makroskopische, auf das Zahnrad 2 wirkende Drehmoment bestimmt wurde. Hieraus ergibt sich, dass die Winkelgeschwindigkeit proportional zur Temperaturdifferenz zwischen dem Zahnrad 2 und der Wand 1 ist, was in guter Übereinstimmung mit den in Figur 3 gezeigten Simulationsergebnissen ist.

10 Figur 4 zeigt eine Anwendung des in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiels als Pumpe. Hier ist das Zahnrad fixiert. Die thermophoretischen Kräfte bewegen an Stelle des Zahnrads die Arbeitsflüssigkeit. In Figur 4 ist die lokale Richtung des Strömungsfeldes durch kleine Pfeile eingezeichnet. Die durchgezogenen Linien zeigen die hieraus gebildete mittlere Richtung der Arbeitsflüssigkeit an. Wenn es an den Zähnen des Zahnrads auch lokale Verwirbelungen gibt, so bewegt sich die Arbeitsflüssigkeit per saldo im Uhrzeigersinn durch den Zwischenraum zwischen Zahnrad und Wand.

20 Figur 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, das als lineare Pumpe ausgelegt ist. Eine unstrukturierte Oberfläche 1, die auf einer ersten Temperatur gehalten wird, und eine analog zum Zahnrad in Sägezähnen strukturierte Oberfläche 2, die auf einer zweiten, höheren Temperatur gehalten wird, sind mechanisch starr miteinander verbunden und schließen den Hohlraum 3 ein, in dem sich die Arbeitsflüssigkeit befindet. Der Hohlraum hat die Form eines Kanals, durch den die Arbeitsflüssigkeit getrieben wird. Die kleinen Pfeile verdeutlichen das lokale Strömungsfeld in der Arbeitsflüssigkeit. Die durchgezogenen Linien zeigen die hieraus gebildete mittlere Richtung der Arbeitsflüssigkeit an. Sie wird bis auf einige Wirbel an den Zähnen von rechts nach links durch den Kanal transportiert.

P a t e n t a n s p r ü c h e

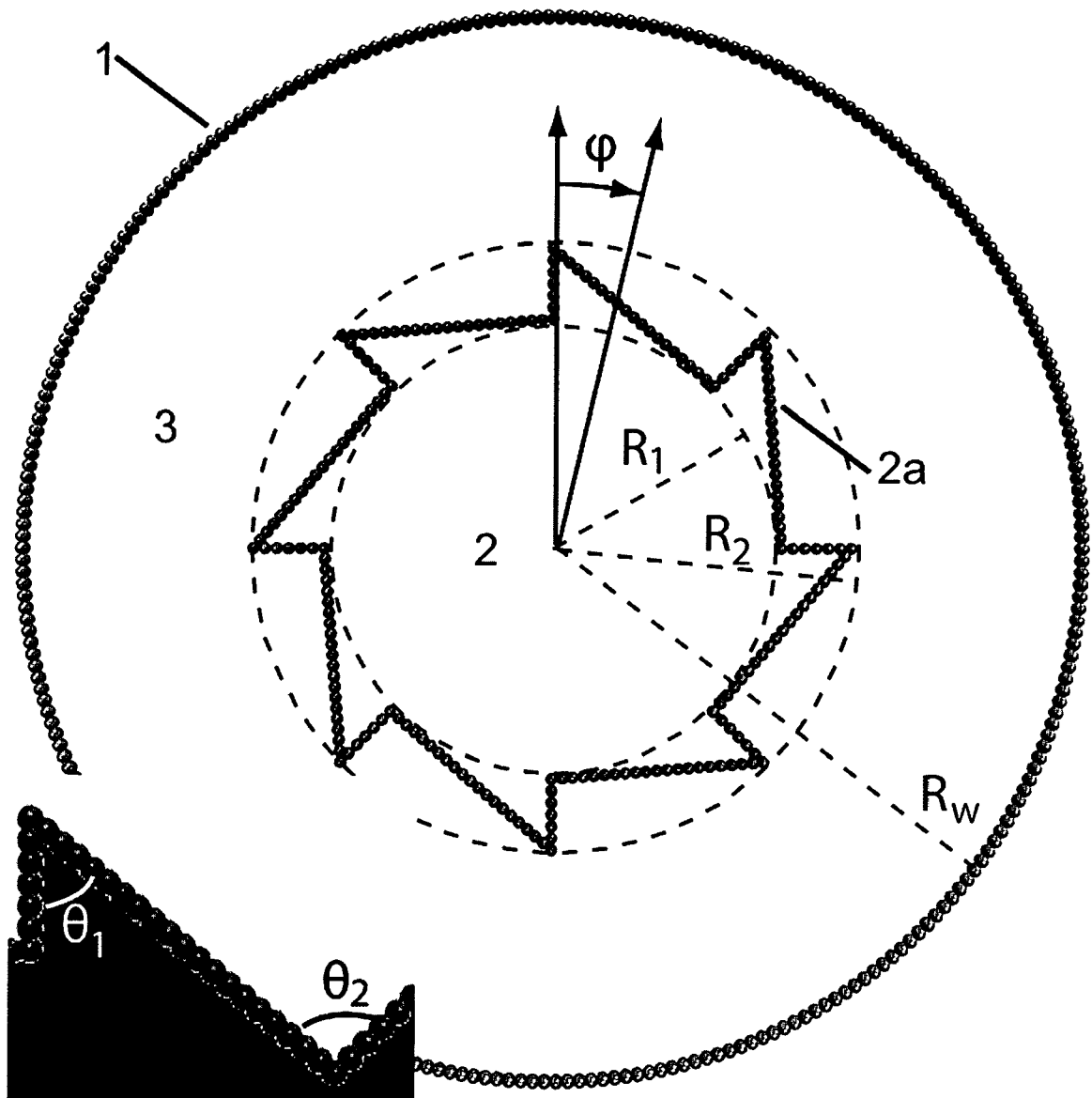
-
1. Vorrichtung zur Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie, umfassend zwei Oberflächen, die einen Hohlraum einschließen, wobei mindestens eine der Oberflächen in mindestens einer zu der Oberfläche tangentialen Richtung asymmetrisch strukturiert ist, sowie Mittel, um beide Oberflächen auf verschiedene Temperaturen zu bringen,
- 5 dadurch gekennzeichnet, dass
- in dem Hohlraum eine Arbeitsflüssigkeit aus mindestens einer ersten Spezies von Teilchen angeordnet ist, in der mindestens eine auf der strukturierten Oberfläche angeordnete und/oder in der Arbeitsflüssigkeit enthaltene zweite

10 Spezies von Teilchen bei Anlegen eines lokalen Temperaturgradienten zu einer Driftbewegung angeregt wird, und

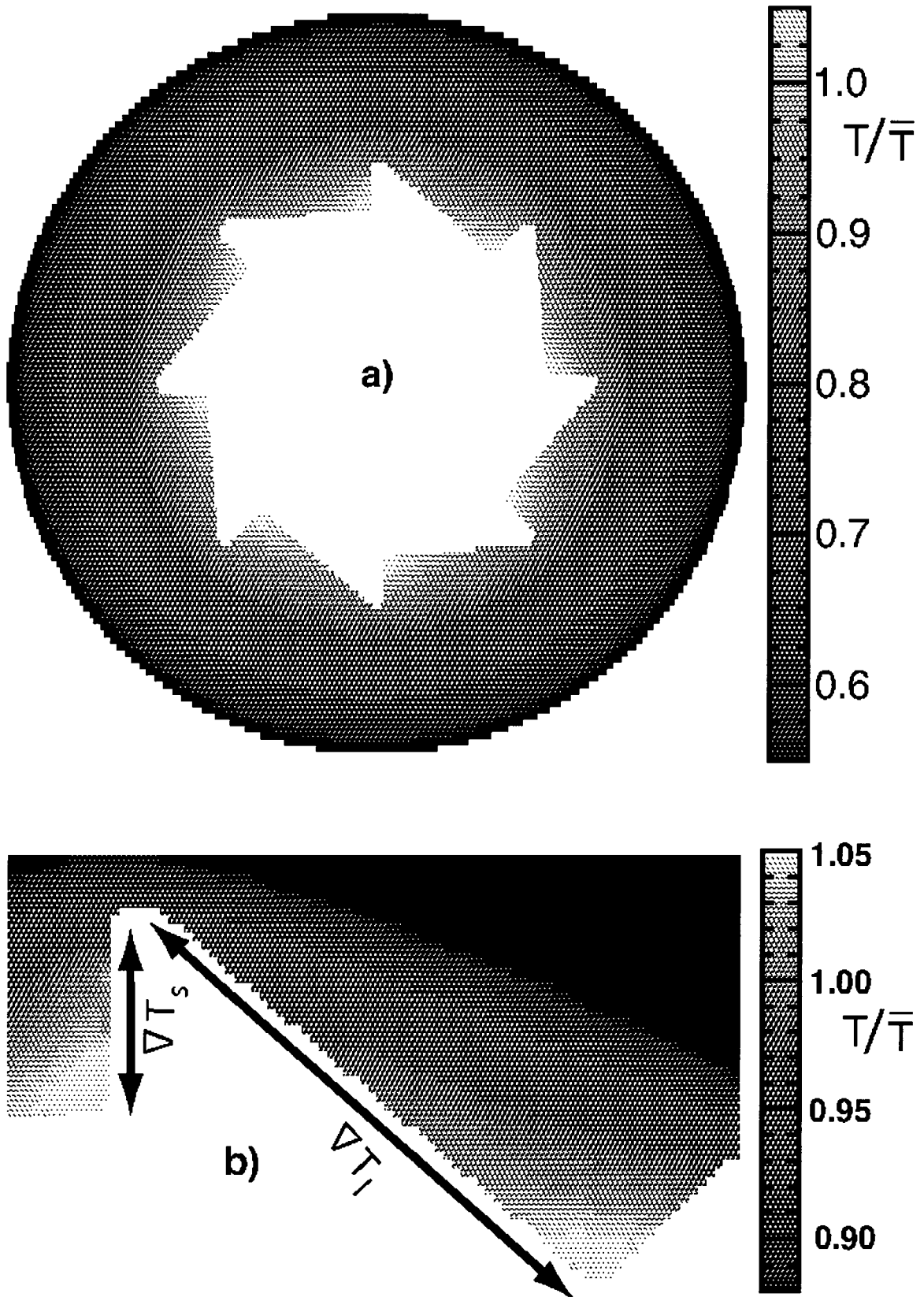
 - die Strukturierung der Oberfläche so beschaffen ist, dass sich bei Vorlage der verschiedenen Temperaturen an den beiden Oberflächen in der Arbeitsflüssigkeit ein lokaler Temperaturgradient entlang der tangentialen Richtung

15 ausbildet.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die strukturierte Oberfläche der Umfang eines drehbar gelagerten Rades ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass beide Oberflächen bis auf die Strukturierung zueinander parallel verlaufen und starr miteinander
- 20 gekoppelt sind.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass, entlang der tangentialen Richtung gesehen, die Topographie der strukturierten Oberfläche in der Normalen zu dieser Oberfläche zunächst mit einer ersten Rate ansteigt und dann mit einer von der ersten Rate verschiedenen zweiten Rate abfällt.
- 25

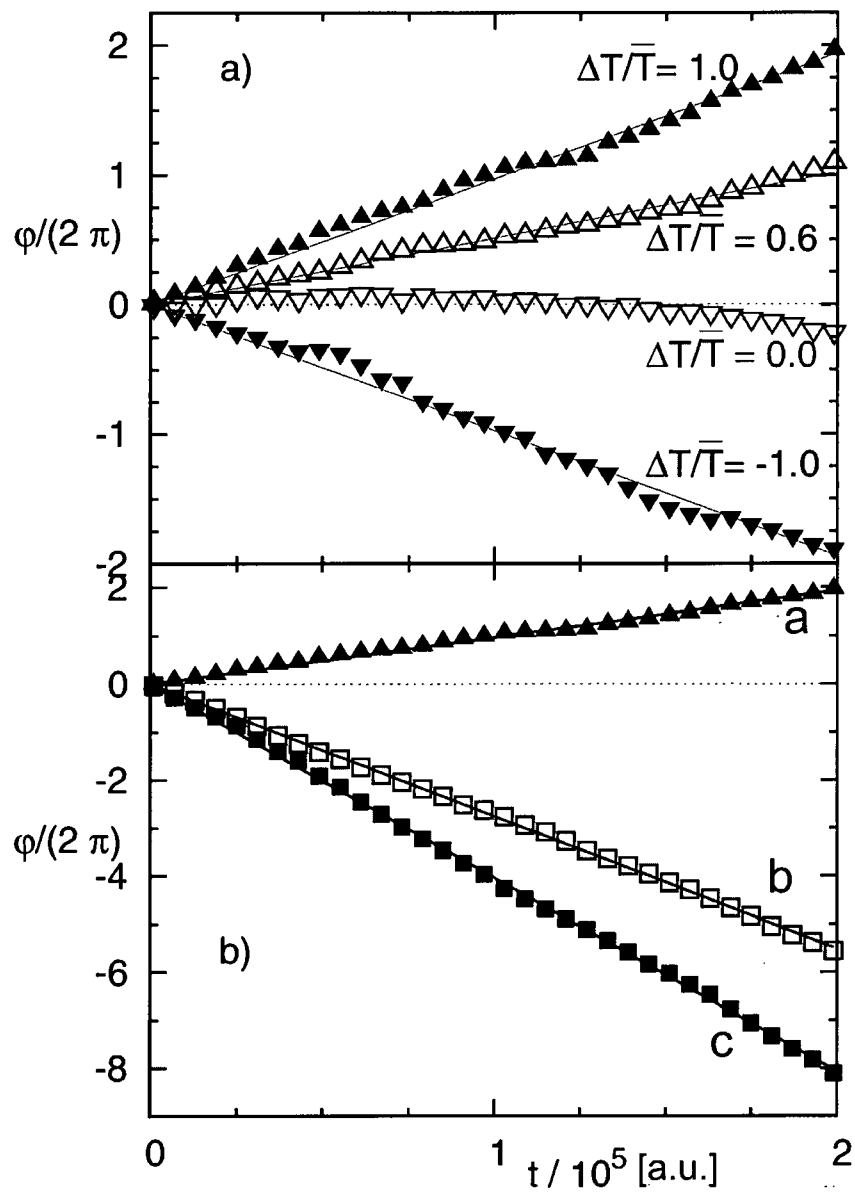
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Strukturierung der strukturierten Oberfläche sich entlang der tangentialen Richtung periodisch wiederholt.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass
5 mindestens eine der Oberflächen aus Polystyrol, Latex, Quarz, Gold oder einem Polyvinylalkohol besteht oder damit beschichtet ist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsflüssigkeit ein Lösungsmittel ist, in dem ein Feststoff gelöst, suspendiert oder dispergiert ist.
- 10 8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmittel Wasser oder ein organisches Lösungsmittel, insbesondere Ethanol oder ein anderer Alkohol, Benzol oder Toluol ist.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass
15 der Feststoff ein Salz, ein Polymer oder ein Stoff, der mit dem Lösungsmittel ein Kolloid bildet, ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Änderung der Konzentration des Feststoffs in dem Lösungsmittel vorgesehen sind.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass
20 Mittel zur Umschaltung der Geometrie mindestens einer Oberfläche zwischen mindestens zwei Zuständen vorgesehen sind.
12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Änderung des Drucks oder der mittleren Temperatur in der Arbeitsflüssigkeit vorgesehen sind.
- 25 13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Beaufschlagung der Arbeitsflüssigkeit mit einem elektrischen und/oder magnetischen Feld vorgesehen sind.



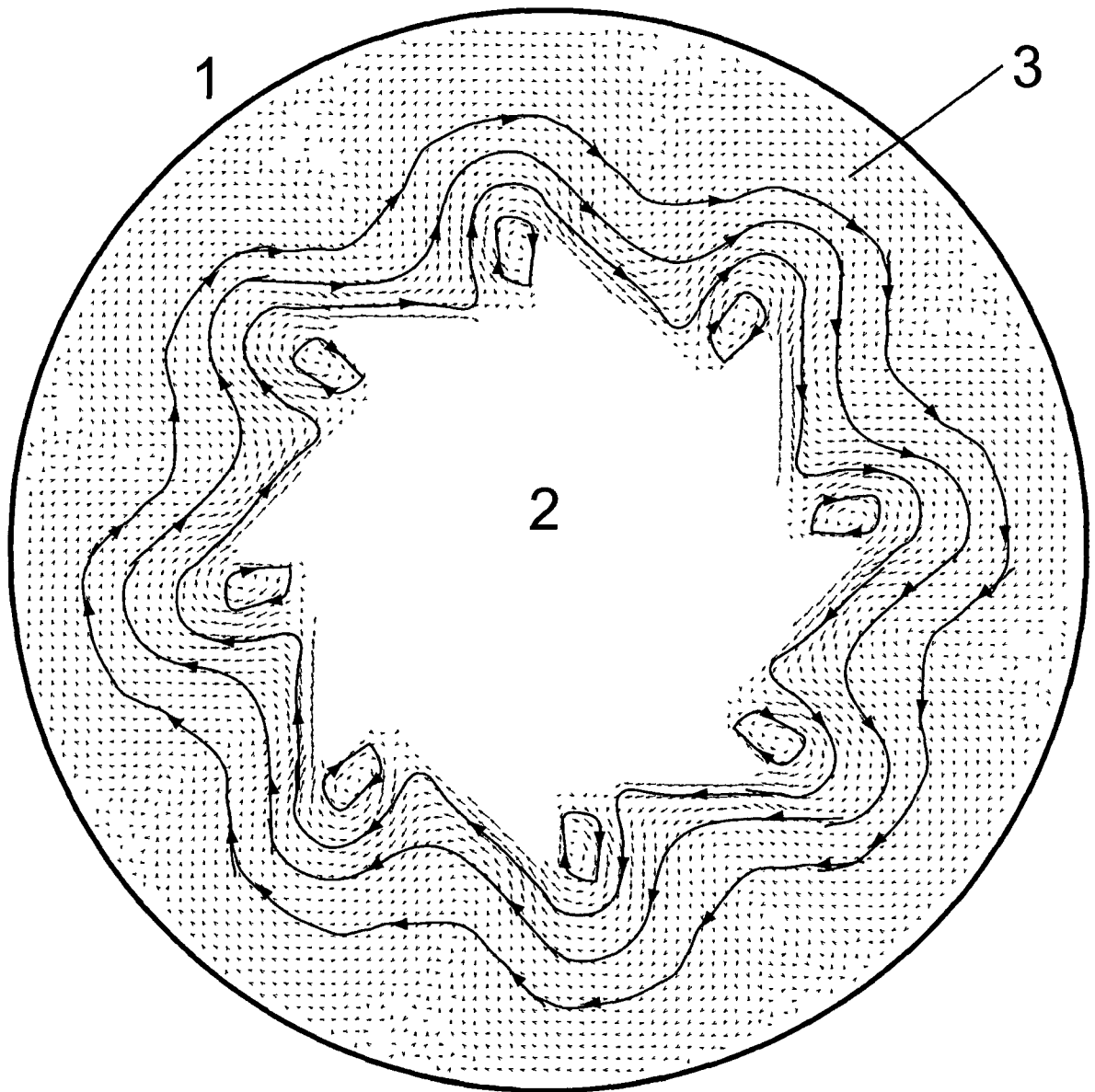
Figur 1



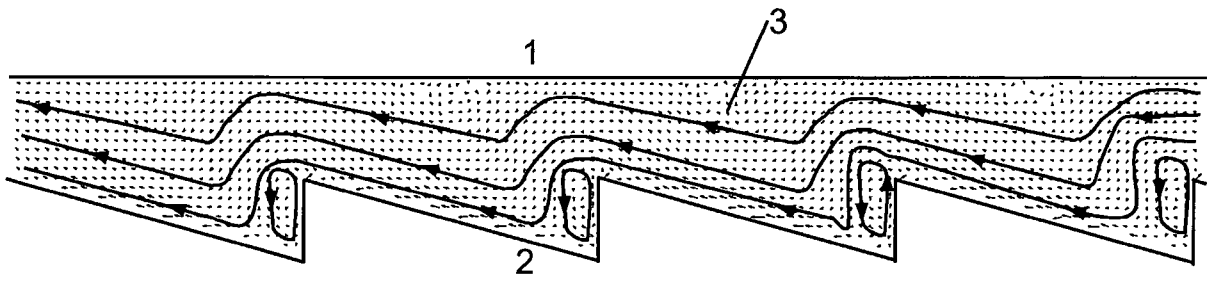
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/DE2014/000135

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F01K27/00 F03G7/00
 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)
F01K F03G

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.
A, P	<p>WEI WANG ET AL: "Small power: Autonomous nano- and micro-motors propelled by self-generated gradients" , NANO TODAY, vol . 8, no. 5, 1 October 2013 (2013-10-01) , pages 531-554, XP055127247 , ISSN: 1748-0132 , DOI : 10.1016/j.nantod.2013.08.009 page 11, right-hand column, lines 5-45</p> <p align="center">----- -/- .</p>	1

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general State of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 22 July 2014	Date of mailing of the international search report 01/08/2014
--	---

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2014/000135

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No.
A	Dsuda ET AL: "Perspective: Nanomotors without moving parts that propel themselves in Solution", THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, 8 January 2013 (2013-01-08), page 20901, XP055127274, Retrieved from the Internet: URL: http://www.chem.utoronto.ca/~rkapral/Papers/meso-perspective-JCP-2013.pdf [retrieved on 2014-07-07] Paragraph [0011]	1
A	Daniel Lüsebrink: "Colloidal Suspensions in Temperature Gradients with Mesoscopic Simulations", 1 January 2011 (2011-01-01), XP055127293, Retrieved from the Internet: URL: http://kups.ub.uni-koeln.de/4410/lthesis_published.pdf [retrieved on 2014-07-07] paragraphs [05.1] - [5.3.6]	1
A, P	MINGCHENG YANG ET AL: "A self-propelled thermophoretic microgear", SOFT MATTER, vol. 10, no. 7, 1 January 2014 (2014-01-01), page 1006, XP055127382, ISSN: 1744-683X, DOI: 10.1039/c3sm52417e the whole document	1-13
A	US 2006/000215 A1 (KREMEN STANLEY H [US] ET AL) 5 January 2006 (2006-01-05) paragraphs [0023] - [0038]; figures 1-10	1, 12, 13
A	US 2010/011768 A1 (HACSI JAMES SCOTT [US]) 21 January 2010 (2010-01-21) paragraphs [0041] - [0054]; figures	1, 6, 13
A	US 2002/014158 A1 (PAGE ANDREW E [US] ET AL) 7 February 2002 (2002-02-07) paragraphs [0039] - [0071]; figures	1, 2, 6, 13
A	WO 2006/025851 A2 (KREMEN STANLEY H [US]; SCANDURRA MARCO DR [US]) 9 March 2006 (2006-03-09) page 38, line 26 - page 39, line 6	1, 2, 7, 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2014/000135

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006000215 AI	05-01-2006	US 2006000215 AI WO 2007002600 A2	05-01-2006 04-01-2007

US 2010011768 AI	21-01-2010	NONE	

US 2002014158 AI	07-02-2002	US 2002014158 AI WO 03009921 AI	07-02-2002 06-02-2003

WO 2006025851 A2	09-03-2006	EP 1728093 A2 WO 2006025851 A2	06-12-2006 09-03-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2014/000135

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F01K27/00 F03G7/00

ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F01K F03G

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.
A, P	<p>WEI WANG ET AL: "Small power: Autonomous nano- and micro-motors propelled by self-generated gradients" , NANO TODAY, Bd. 8, Nr. 5, 1. Oktober 2013 (2013-10-01) , Seiten 531-554, XP055127247 , ISSN: 1748-0132 , DOI : 10.1016/j.nantod.2013.08.009 Seite 11, rechte Spalte, Zeilen 5-45</p> <p style="text-align: center;">----- -/- .</p>	1

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

- | | |
|--|---|
| <p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"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)</p> <p>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> | <p>"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</p> <p>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>"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</p> <p>"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p> |
|--|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
22. Juli 2014	01/08/2014

<p>Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde</p> <p style="text-align: center;">Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016</p>	<p>Bevollmächtigter Bediensteter</p> <p style="text-align: center;">Henkes , Roel and</p>
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>Dsuda ET AL: "Perspective: Nanomotors without moving parts that propel themselves in Solution", THE JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS, 8. Januar 2013 (2013-01-08), Seite 20901, XP055127274, Gefunden im Internet: URL: http://www.chem.utoronto.ca/~rkapral/Papers/meso-perspective-JCP-2013.pdf [gefunden am 2014-07-07] Absatz [0011]</p>	1
A	<p>Daniel Lüsebrink: "Colloidal Suspensions in Temperature Gradients with Mesoscopic Simulations", 1. Januar 2011 (2011-01-01), XP055127293, Gefunden im Internet: URL: http://kups.ub.uni-koeln.de/4410/lthesis_public.pdf [gefunden am 2014-07-07] Absätze [05.1] - [5.3.6]</p>	1
A, P	<p>MINGCHENG YANG ET AL: "As self-propelled thermophoretic microgear", SOFT MATTER, Bd. 10, Nr. 7, 1. Januar 2014 (2014-01-01), Seite 1006, XP055127382, ISSN: 1744-683X, DOI: 10.1039/c3sm52417e das ganze Dokument</p>	1-13
A	<p>US 2006/000215 AI (KREMEN STANLEY H [US] ET AL) 5. Januar 2006 (2006-01-05) Absätze [0023] - [0038]; Abbildungen 1-10</p>	1, 12, 13
A	<p>US 2010/011768 AI (HACSI JAMES SCOTT [US]) 21. Januar 2010 (2010-01-21) Absätze [0041] - [0054]; Abbildungen</p>	1, 6, 13
A	<p>US 2002/014158 AI (PAGE ANDREW E [US] ET AL) 7. Februar 2002 (2002-02-07) Absätze [0039] - [0071]; Abbildungen</p>	1, 2, 6, 13
A	<p>wo 2006/025851 A2 (KREMEN STANLEY H [US]; SCANDURRA MARCO DR [US]) 9. März 2006 (2006-03-09) Seite 38, Zeile 26 - Seite 39, Zeile 6</p>	1, 2, 7, 13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2014/000135

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2006000215 AI	05-01-2006	US 2006000215 AI WO 2007002600 A2	05-01-2006 04-01-2007

US 2010011768 AI	21-01-2010	KEINE	

US 2002014158 AI	07-02-2002	US 2002014158 AI WO 03009921 AI	07-02-2002 06-02-2003

WO 2006025851 A2	09-03-2006	EP 1728093 A2 WO 2006025851 A2	06-12-2006 09-03-2006
