(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 880 314 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
28.09.2016 Patentblatt 2016/39

(21) Anmeldenummer: **13747957.2**

(22) Anmeldetag: **28.06.2013**

(51) Int Cl.:
F04F 7/00 *(2006.01)* ***F04B 19/00*** *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2013/100234

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/000735 (03.01.2014 Gazette 2014/01)

(54) VORRICHTUNG ZUM KAPILLAREN TRANSPORT VON FLÜSSIGKEITEN, VERWENDUNG SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG EINER SOLCHEN VORRICHTUNG

DEVICE FOR CAPILLARY TRANSPORT OF LIQUIDS, USE AND METHOD OF THE PRODUCTION OF SUCH A DEVICE

DISPOSITIF DE TRANSPORT PAR CAPILLARITÉ DE LIQUIDES, UTILISATION ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION D'UN TEL DISPOSITIF

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **28.06.2012 DE 102012012884**
06.11.2012 DE 102012021603

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.06.2015 Patentblatt 2015/24

(73) Patentinhaber:
- **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.**
  80686 München (DE)
- **Baumgartner, Werner**
  52156 Monschau (DE)
- **Comanns, Philipp**
  52074 Aachen (DE)

(72) Erfinder:
- **COMANNS, Philipp**
  52074 Aachen (DE)
- **BAUMGARTNER, Werner**
  4202 Kirchschlag bei Linz (AT)
- **BERNHARDT, Frank**
  52072 Aachen (DE)
- **WINANDS, Kai**
  52074 Aachen (DE)
- **ARNTZ, Kristian**
  52146 Würselen (DE)

(74) Vertreter: **Naeven, Ralf**
König & Naeven
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei
Kackertstraße 10
52072 Aachen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A2- 0 258 019
EP-A2- 2 339 184
WO-A2-2005/094982
DE-A1- 10 309 695
DE-A1-102009 038 019

- **Philipp Comanns ET AL: "Moisture harvesting and water transport through specialized micro-structures on the integument of lizards", Beilstein journal of nanotechnology, 1 January 2011 (2011-01-01), pages 204-214, XP055258023, Germany DOI: 10.3762/bjnano.2.24 Retrieved from the Internet: URL:file:///C:\Users\NF21809\AppData\Roaming\Mozilla\Firefox\Profiles\NF21809\CiteNPLTemp\CiteNPLWebPage.pdf [retrieved on 2016-03-14]**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 880 314 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum kapillaren Transport von Flüssigkeiten gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, die Verwendung einer solchen Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Vorrichtung.

[0002] Eine Kapillare ist ein Hohlraum, in dem bei darin enthaltener Flüssigkeit Oberflächeneffekte gegenüber Viskositäts- und Trägheitseffekten dominieren können. Unter Ausnutzung dieser Besonderheit werden Kapillaren in verschiedenen Prozessen eingesetzt, um Flüssigkeiten zu verarbeiten, zu untersuchen oder auch gezielt zu transportieren. Anwendung finden Kapillaren auch in Kapillarpumpen für autonome Mikrofluidik-Systeme (M. Zimmermann et al; Capillary pumps for autonomous capillary systems; Lab Chip 2007, 7, 119-125).

[0003] Kapillaren können geschlossen oder teiloffen ausgeführt sein. In einer geschlossenen Kapillare ist die Transportrichtung der Flüssigkeit durch die Ausrichtung der Kapillare festgelegt. Die Transportwirkung ist eine Folge der Oberflächenspannung der in der Kapillare befindlichen Flüssigkeit und der sich zwischen der Flüssigkeit und der festen Oberfläche der Kapillare ergebenden Grenzflächenspannung. Des Weiteren spielt auch die Oberflächenreibung eine Rolle. Die Flüssigkeit steigt in einer Kapillare so lange, bis die Kapillarkraft gleich der entgegenwirkenden Schwerkraft der Flüssigkeit ist. Dabei ist die Steighöhe von den Eigenschaften der Kapillare (z. B. Materialparameter, Kapillarquerschnitt) sowie der Flüssigkeit (z. B. Kontaktwinkel, Oberflächenspannung) abhängig. Mathematische Modelle für geschlossene Kapillare mit rundem Querschnitt basieren in der Regel auf der Lukas-Washburn-Gleichung oder deren Modifikationen. Für geschlossene Kapillaren mit rechteckigem Querschnitt wird ein hydraulischer Radius eingeführt. Für Kapillaren, deren runder Querschnitt abschnittsweise variiert, hat Young (2004) den kapillaren Flüssigkeitstransport über die Lukas-Washburn-Gleichung modelliert.

[0004] Als teiloffene Kapillare werden z. B. solche in Form von Hohlräumen zwischen zwei parallelen Platten beschrieben. Des Weiteren gibt es auch rinnenförmige Kapillare, deren Querschnitt z. B. v-förmig oder u-förmig ist.

[0005] Eine Vorrichtung der eingangs genannten Art ist aus der EP 2 339 184 A2 bekannt, welche eine Vorrichtung zum Transport von Flüssigkeiten in vertikaler oder horizontaler Richtung offenbart, bei der teiloffene Kapillaren eingesetzt werden, wobei unterschiedliche Kontaktwinkel zwischen Flüssigkeit und Oberfläche der jeweiligen Kapillare zur Ausbildung einer den Flüssigkeitstransport steuernden hydrodynamischen Kraft ausgenutzt werden. Dabei soll der Verbrauch von energieexternen Quellen minimiert werden. Es werden Kanäle beschrieben, deren innere Oberfläche in Bereiche mit unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen aufgeteilt ist, die hierdurch unterschiedliche Kontaktwinkel oder Kontaktwinkelgradienten aufweisen. Solche chemischen Kontaktwinkelheterogenitäten können ringförmig oder helikal angeordnet sein und ermöglichen einen Transport von Flüssigkeitstropfen. Die Kontaktwinkelheterogenitäten können auch durch eine sägezahnförmige Geometrie an der Innenseite oder ringförmige bzw. helikale Protuberanzen erzeugt sein. Ein Überwinden eventueller Unstetigkeitsstellen wird durch Zufuhr externer Energie erreicht.

[0006] Aus der WO 2006/121534A1 ist eine Kapillare mit asymmetrischer, sägezahnähnlicher inneren Oberflächenstruktur bekannt. Die Asymmetrie bezieht sich auf eine Symmetrieachse senkrecht zu der kapillaren Oberfläche. Der offenbarte nichtmechanische Flüssigkeitstransport basiert auf dem Leidenfrost-Effekt und muss thermisch angetrieben werden.

[0007] A. Buguin (Ratchet-like topological structures for the control of microdrops; Appl. Phys. A 75,207 - 212 (2202)) beschreibt ebenfalls eine gerichtete Tropfenbewegung in einem Sägezahnkanal, die jedoch durch ein elektrisches Feld oder Vibration angetrieben wird.

[0008] Aus der WO 2007/035511A2 sind ebenfalls Kapillaren mit einer asymmetrischen inneren Oberflächenstruktur bekannt, die bei einem darin angeordneten Tropfen zu einer resultierenden Kraft führt. Gleichwohl wird zum Transport des Tropfens zusätzliche Energie, z. B. durch einen Fluiddruck benötigt, um die durch die Rauheit der Oberflächenstruktur bedingte Widerstandskraft zu überwinden.

[0009] Aus der WO 2008/114063A1 werden geschlossene Kapillaren mit einem Breite/Tiefeverhältnis von 10 bis 100 beschrieben, bei denen mindestens eine von vier Seitenwänden die Funktion der Geschwindigkeitsdrosselung aufweist und hierfür mikrostrukturiert ist.

[0010] In der Mikrofluidik werden nicht-kapillare Oberflächenstrukturen eingesetzt, um die Strömungsgeschwindigkeit im Randbereich zu drosseln und dadurch eine homogenere Strömung in breiten Kapillaren zu erzeugen. Dergleichen ist in EP 1 201 304 B1 offenbart. Nicht-kapillare Oberflächenstrukturen sind auch aus der bereits oben genannten WO 2007/035511 A2 bekannt.

[0011] Des Weiteren beschäftigt sich C. W. Extrand (Retention Forces of a Liquid Slug in a Rough Capillary Tube with Symmetrie or Asymmetric Features; Langmuir 2007, 23, 1867 - 1871) mit den Wirkungen von Oberflächenstrukturen, insbesondere asymmetrischen Oberflächenstrukturen in Kapillaren auf Flüssigkeiten. Es wird ausgeführt, dass ein in einer entsprechenden Kapillare eingeschlossener Tropfen erst ab Anwendung einer kritischen externen Kraft bewegt werden kann. Unterschiedliche Kontaktwinkel können auch bei einem Tropfen auf einer Oberfläche durch Heterogenitäten bzw. Rauheiten wesentlich beeinflusst werden. So kann hierdurch ein anisotropes Spreiten applizierter Tropfen verursacht werden.

[0012] Der vorgenannte Stand der Technik betrifft im Wesentlichen ungerichtetes Spreiten oder den gerichteten Trans-

port einzelner Flüssigkeitstropfen. Es handelt sich somit um den Transport sehr geringer Flüssigkeitsmengen auf in der Regel kurzen Transportstrecken. Es ist bislang jedoch noch nicht möglich, Flüssigkeiten auf Oberflächen bzw. in Materialien mit Kapillareigenschaften sowohl kapillar als auch, von einer beliebigen Stelle aus, ausschließlich oder zumindest überwiegend in eine Richtung zu transportieren. In teiloffenen Kapillar-Systemen sind in der Mikrofluidik diesbezügliche Ansätze vorhanden, jedoch aufgrund des kleinen Größenspektrums nur sehr eingeschränkt einsetzbar und auch anfällig für Verschleiß.

[0013] Comanns et al. beschreiben in "Moisture harvesting and water transport through specialized micro-structures on the integument of lizards." (Beilstein J. Nanotechnol. 2: 204-214; http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3148043/) diverse Eidechsenarten, die in der Lage sind, über ihre Haut aus der Umgebung, insbesondere aus der Luftfeuchtigkeit, Nebel, Regen oder aus feuchtem Erdreich Feuchtigkeit aufzunehmen und mittels in den Schuppen der Eidechsenhaut befindlichen teiloffenen kapillaren Strukturen die aufgenommene Flüssigkeit zu verteilen. Eine der Eidechsenarten (Phrynosoma cornutum) zeigt dabei keine gleichmäßige Ausbreitung der Flüssigkeit über die gesamte Haut sondern einen gerichteten Flüssigkeitstransport zum Mund hin. Welche Besonderheiten der Eidechsenhaut für den gerichteten Transport ursächlich ist, ist nicht offenbart.

[0014] Die DE 103 09 695 A1 offenbart ein Verfahren zur Verbindung von Kunststoffrohren zur Herstellung von Kapillarrohrmatten, bei denen ein Formwerkzeug eingesetzt wird, mit dem der Innenquerschnitt eines an eine Sammelrohr anzuschweißenden geschlossenen Kapillarrohres geformt werden kann.

[0015] Die DE 10 2009 038 019 A1 offenbart Verfahren zur Herstellung von Kanalstrukturen für einen Bioreaktor unter Einsatz von Stanzverfahren, Laserablationsverfahren, Prägeverfahren oder Mikrofräsverfahren.

[0016] Die EP 0 058 019 A2 offenbart ein Werkzeug zum Formen einer von Spinndüsenkapillare, bei dem Funkenerosion zur Ausbildung der Spinndüsenöffnung eingesetzt wird.

[0017] Aus der WO 2005/094982 A2 ist es bekannt, bei der Herstellung von kapillaren Strukturen einer Mikrokanalvorrichtung Laserschneiden, Laserablation, Rollformen oder funkenerosives oder photochemisches Abtragen einzusetzen.

[0018] Der hier betroffenen Erfindung liegt das technische Problem zugrunde, eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zur Verfügung zu stellen, mit der der kapillare Flüssigkeitstransport schneller und richtungsdiskriminierter gestaltet werden kann. Des Weiteren sollen Verwendungen der Vorrichtung sowie Verfahren zur Herstellung einer solchen Vorrichtung vorgeschlagen werden.

[0019] Bei einer Vorrichtung der eingangs genannten Art wird das technische Problem durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0020] Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen 2 bis 18.

[0021] In Bezug auf eine Verwendung wird das technische Problem mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst. Eine vorteilhafte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Verwendung ergibt sich aus Anspruch 20.

[0022] In Bezug auf ein Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung wird das technische Problem jeweils durch die Merkmale der Ansprüche 21 bis 24 gelöst.

[0023] Der passive, das heißt ohne äußere Kraftzufuhr, gerichtete Flüssigkeitstransport in der Kapillare basiert gemäß Anspruch 1 darauf, dass mindestens zwei der Kapillaren in Transportrichtung der Flüssigkeit über mindestens einen kapillaren Durchtrittskanal miteinander verbunden sind. Ein die Kapillaren verbindender Durchtrittskanal stellt eine funktionale Verbindung dar, die derart gestaltet ist, dass ein evtl. auftretendes lokales Stoppen der zu transportierenden Flüssigkeit in der einen Kapillare durch über den Durchtrittskanal erfolgender Flüssigkeitszufuhr aus der anderen Kapillare überwunden wird. Vorzugsweise sind die Kapillaren über eine Mehrzahl von Durchtrittskanälen, d.h. über mindestens zwei, weiter vorzugsweise mindestens drei, weiter vorzugsweise mindestens 5, weiter vorzugsweise mindestens zehn Durchtrittskanäle, miteinander verbunden.

[0024] Der Durchtrittskanal, der ebenfalls kapillarer Natur ist, sorgt für die Ausbildung einer weiteren Flüssigkeitsfront, die sich mit der gestoppten Flüssigkeitsfront verbindet und auf diese Weise eine neue gesamte Flüssigkeitsfront erzeugt, welche sich zumindest für eine bestimmte Strecke passiv gerichtet weiterbewegt. Flüssigkeitsfronten werden im Folgenden auch als Menisken bezeichnet.

[0025] Da die Kapillaren über die Durchtrittskanäle, die sich im Querschnitt ändern können, miteinander verbunden sind, also ein kommunizierendes System sind, bildet das Gesamtgebilde aus Kapillaren und Durchtrittskanälen eine gemeinsame Kapillarstruktur, zu denen die Kapillaren gemäß der Anspruchsdefinition als Unterstruktur gehören. Als Durchtrittskanäle im Sinne der Erfindung werden die Bereiche der Kapillarstruktur verstanden, in denen sich ein zusätzlicher Meniskus bildet, um Flüssigkeit von einer zur anderen Kapillare zu transportieren. Der Durchtrittskanal endet jeweils dort, wo eine Vereinigung mit einem Meniskus der versorgten Kapillare stattfindet.

[0026] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann so ausgebildet sein, dass die mindestens zwei Kapillaren jeweils mehrere in Transportrichtung gesehen aufeinander folgende, für den passiven gerichteten kapillaren Transport eingerichtete Transportabschnitte aufweisen. Die Transportabschnitte enden jeweils in einer Stopp-Stelle, welche geeignet ist, den ungestörten passiven gerichteten Flüssigkeitstransport zu unterbrechen. Die Durchtrittskanäle weisen jeweils

einen Kanalaustritt nahe der Stopp-Stelle insbesondere in Transportrichtung hinter der Stopp-Stelle und an der Stopp-Stelle angrenzend auf, so dass eine Vereinigung des Meniskus des Durchtrittskanals mit dem der zu versorgenden Kapillare erreicht wird. Der Meniskus der Kapillare kann auch bereits vor der Stopp-Stelle in der Vorwärtsbewegung anhalten. Ist der Abstand zur Stopp-Stelle hinreichend gering, kann gleichwohl eine Vereinigung der Menisken erfolgen.

[0027] Wird die Struktur aus Kapillaren und Durchtrittskanal aufeinanderfolgend wiederholt, kann über eine entsprechende Strecke ein Flüssigkeitstransport erreicht werden. Dabei versorgen sich die miteinander über die Durchtrittskanäle verbundenen Kapillaren abwechselnd gegenseitig mit der für die Überwindung einer Stopp-Stelle für den kapillaren Weitertransport erforderlichen Flüssigkeit. Die Stopp-Stelle kann z.B. eine Kante in einer Wandstruktur der Kapillare sein.

[0028] Der gerichtete Transport bedeutet, dass es für den Transport mindestens eine Vorzugsrichtung gibt. So kann das Kapillarsystem z.B. den Transport in eine Vorwärtsrichtung bewirken, einen hierzu entgegengesetzten Rückwärtstransport aber vollständig unterbinden. Der gerichtete Transport umfasst aber auch eine Variante bei der zusätzlich zum Vorwärtstransport auch ein rückwärts gerichteter Transport stattfinden kann, der aber gegenüber dem Vorwärtstransport verlangsamt ist. Der in unterschiedlichen Richtungen erfolgende asymmetrische Transport ist insbesondere dann möglich, wenn das Kapillarsystem von einer Flüssigkeitsquelle, z.B. einem aufliegenden Tropfen, gespeist wird.

[0029] Der gerichtete Transport umfasst zudem mehrdimensionale Systeme, bei denen sich der Flüssigkeitstransport verzweigen kann, also mehr als zwei Kapillaren gegeben sind, die sich zweidimensional oder dreidimensional in unterschiedliche Richtungen erstrecken und der Flüssigkeitstransport in Vorzugsrichtungen schneller erfolgt und in anderen Richtungen der Kapillarverläufe verlangsamt durchgeführt oder unterbunden wird.

[0030] Der gerichtete Transport umfasst des Weiteren Varianten, bei denen hintere Menisken in einer Vorzugsrichtung nachgezogen werden.

[0031] Der Ablauf ist z.B. wie folgt für zwei über Durchtrittskanäle miteinander verbundene Kapillaren. In der ersten Kapillare bildet die Flüssigkeit einen ersten Meniskus aus, der aufgrund kapillarer Kräfte fortschreitet, bis er im Bereich einer ersten Stopp-Stelle zum Stillstand kommt. In Fließrichtung hinter der Stopp-Stelle wird der folgende Transportabschnitt über mindestens einen der Durchtrittskanäle, in der sich ein weiterer Meniskus bildet, mit Flüssigkeit aus der zweiten Kapillare versorgt. Dies ist möglich, weil in der zweiten Kapillare ebenfalls ein Flüssigkeitstransport stattgefunden hat und ein Teil der Flüssigkeit der zweiten Kapillare in den Eingang des Durchtrittskanals eingetreten ist. Der weitere Meniskus des Durchtrittskanals vereinigt sich am Ausgang des Durchtrittskanals mit dem an der Stopp-Stelle oder in dessen Nähe befindlichen ersten Meniskus zu einem gemeinsamen Meniskus, der die Stopp-Stelle überwindet, so dass der gerichtete Transport in dem der Stopp-Stelle folgenden Transportabschnitt der ersten Kapillare bis zum Bereich einer zweiten Stopp-Stelle weiterläuft. Auf dem Weg zur zweiten Stopp-Stelle passiert die Flüssigkeit der ersten Kapillare den Eingang mindestens eines weiteren Durchtrittkanals, der dann in entsprechender Weise die zweite Kapillare mit Flüssigkeit versorgt, um einen dortigen Stopp des Flüssigkeitstransports zu überwinden.

[0032] Dieses Prinzip kann auch im Zusammenspiel mit mehr als zwei Kapillaren verwirklicht werden, indem z.B. drei oder mehr Kapillare wechselseitig durch Durchtrittskanäle miteinander verbunden sind. Dies kann auch so realisiert werden, dass ein erster Durchtrittskanal eine erste und eine zweite Kapillare miteinander verbindet, ein zweiter Durchtrittskanal die zweite und eine dritte Kapillare und ein dritter Durchtrittskanal die dritte Kapillare wieder mit der ersten Kapillare verbindet. Dieses Prinzip kann weiter ausgedehnt werden.

[0033] Es ist auch denkbar, dass eine Kapillare mit zwei oder mehr Kapillaren über Durchtrittskanäle verbunden ist.

[0034] Auf diese Weise ist ein gerichteter passiver, d. h. ohne Einsatz äußerer Energiequellen erzeugter Transport der Flüssigkeit möglich.

[0035] Mit der Struktur kann eine Vorzugsrichtung des Flüssigkeitstransports verwirklicht werden, so dass der Transport gerichtet ist. Hierzu kann die Struktur der Kapillaren so ausgebildet sein, dass der oben beschrieben Effekt des passiven Transportes mittels der Durchtrittskanäle nur in einer bestimmten Richtung des Verlaufs der beteiligten Kapillare erreicht wird. Die Struktur der Kapillaren ist dabei derart asymmetrisch aufgebaut, dass in einer zur gewünschten Transportrichtung entgegengesetzten Richtung die dort ausgebildeten weiteren Menisken stoppen, ohne den zum Auffüllen des dem jeweiligen Meniskus folgenden Hohlraums der Nachbarkapillare notwendigen Durchtrittskanal zu erreichen. Die Strukturen sind derart gewählt, dass die rückwärts, das heißt entgegen der gewünschten Transportrichtung, gerichteten Menisken eine deutlich geringere Krümmung aufweisen oder eine gerade oder konvexe (nach außen gebogene) Form annehmen.

[0036] Alternativ zum Stoppen des hinteren Meniskus in der der Transportrichtung entgegen gesetzten Richtung kann der hintere Meniskus z.B. auch verlangsamt transportiert werden, was zu einem asymmetrischen Transport der Flüssigkeit führt.

Für diesen Fall hat der hintere Meniskus in den Kapillaren vorzugsweise eine schwach konkave Form oder weist zumindest eine geringere Krümmung auf als einer der vorderen Menisken in den Kapillaren.

[0037] Die gewünschte Wirkung der Transportabschnitte, Flüssigkeit mittels Kapillarkraft passiv, d.h. ohne äußere Krafteinwirkung, gerichtet zu transportieren, kann z.B. durch eine geeignete Geometrie der Kapillaren erreicht werden. Hierfür kann z.B. vorgesehen werden, dass die Transportabschnitte einen sich in Transportrichtung verringernden Querschnitt aufweisen. Hinter einem Transportabschnitt kann sich der Querschnitt wieder aufweiten, vorzugsweise unstetig

in einer sprunghaften Querschnittsaufweitung, so dass sich ein neuer, sich im Querschnitt verringernder Transportabschnitt anschließen kann.

[0038] Die Wirkung der Transportabschnitte kann auch durch das Material der inneren Oberflächen der Kapillare erreicht werden, z.B. durch geeignete Beschichtungen oder durch Mikro- oder Nanostrukturierungen.

[0039] Eine Stopp-Stelle kann z.B. durch eine Aufweitung des Querschnitts der Kapillare gebildet werden. Alternativ kann eine Stopp-Stelle auch eine Änderung des Oberflächenmaterials oder der Oberflächenstruktur, z.B. der Rauhigkeit, zumindest in einem Teilbereich der Kapillarwandung erreicht werden. Die Kapillarwandung kann im Querschnitt rund sein oder beliebige Querschnittsformen aufweisen und z.B. Boden und/oder Seitenwände umfassen.

[0040] Der passive gerichtete Transport der Flüssigkeit kann sowohl mit geschlossenen als auch mit teiloffenen Kapillaren erreicht werden. Mit geschlossenen Kapillaren sind solche Kapillaren gemeint, die, abgesehen von Eingängen oder Ausgängen von Durchtrittskanälen, welche den Umfang durchstoßen und Kapillare verbinden, auf dem vollen Umfang geschlossen sind. Teiloffen sind alle Kapillare, die nicht geschlossen sind, z. B. solche, die durch zwei parallele oder weitgehend parallele Platten erzeugt werden, solche mit u-förmigem, v-förmigem Querschnitt oder Querschnitten mit unregelmäßigen Formen, die in mindestens einer Längsrichtung offen sind.

[0041] Wird z.B. auf eine Struktur mit teiloffenen Kapillaren Flüssigkeit aufgegeben, z.B. in Form eines im Vergleich zum Durchmesser der Kapillaren großen Tropfen oder über eine sonstige Flüssigkeitsquelle, bilden sich in Transportrichtung vordere Menisken und in Rückwärtsrichtung hintere Menisken aus. In Transportrichtung bewegen sich die vorderen Menisken in der oben beschriebenen Weise bereits allein aufgrund der Kapillarkräfte stetig weiter, während in der Rückwärtsrichtung die hinteren Menisken spätestens an einer Stopp-Stelle stehen bleiben, sofern keine äußeren Kräfte deren Überwindung bewirken, mindestens aber im Verhältnis zur Geschwindigkeit der vorderen Menisken deutlich langsamer sind. Die Bewegung der vorderen Menisken in Transportrichtung läuft weiter, so lange die Flüssigkeitsquelle die Kapillaren speist.

[0042] Erfolgt keine Flüssigkeitszufuhr mehr, stoppt entweder die weitere Bewegung in Transportrichtung oder aber die hinteren Menisken werden in Transportrichtung nachgezogen, so dass sich die gesamte Flüssigkeitsmasse aufgrund der Kapillarkräfte gerichtet bewegt. Das Verhalten hängt von den gegebenen Kräften an den Oberflächengrenzen, von Reibungskräften und ggf. von äußeren Kräften, wie z.B. der Gravitationskraft, ab.

[0043] In entsprechender Weise kann auch in geschlossenen Kapillaren das Bewegungsverhalten von der Zufuhr aus einer Flüssigkeitsquelle abhängen.

[0044] Kapillaren können sich entlang einer ebenen oder gekrümmten Oberfläche erstrecken oder dreidimensional, und z. B. eine schwammartige Struktur erzeugen.

[0045] Erfindungsgemäße Kapillaren können auch durch Fasermaterial, z.B. aus Vollfasern oder Hohlfasern gebildet sein. Hohlfasern können selbst geschlossene Kapillaren bilden. Eine Hohlfaser kann aber auch eine erste innere Struktur, die ebenfalls faserartig sein kann, umfassen. Diese innere Struktur kann regelmäßig oder unregelmäßig auf der Oberfläche sein.

[0046] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann es sich auch um ein Textil handeln, z. B. für Kleidung, Sportausrüstung, Bautextilien, Hygieneartikel, wie Windeln oder Binden, oder andere Flüssigkeit sammelnde Textilien, z.B. zum Aufnehmen von Öl.

[0047] In einer vorteilhaften Ausbildungsform kann die erfindungsgemäße Vorrichtung Teil eines Werkzeuges, insbesondere eines zerspanenden Werkzeuges sein. Die darauf befindlichen Kapillaren können insbesondere zur Zuführung von Flüssigkeit, z.B. Kühlflüssigkeit, Schmiermittel oder Kühlschmiermittel, an einer Bearbeitungsstelle dienen. Hierfür können geschlossene oder teiloffene Kapillaren vorgesehen sein. Auf diese Weise kann die Flüssigkeit einige Millimeter von der Schneide entfernt in einen Zufuhrbereich eingebracht werden. Hierdurch kann die Menge an Flüssigkeit reduziert werden. Des Weiteren kann die Energie zur Zuführung der Flüssigkeit verringert werden.

[0048] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch eine Werkzeugform sein. Beim Umformen oder Urformen, insbesondere im Bereich des Aluminiumdruckgusses ist das fehlerfreie Entformen eines Bauteils aus einer Form ein entscheidender Prozessschritt. Hierfür wird oftmals eine große Menge an Trennmittel eingesetzt, um eine unzureichende Benetzung der Werkzeugform zu vermeiden. Der Ressourceneinsatz kann bei einem Versehen der Werkzeugform mit Kapillaren zur Benetzung deutlich reduziert werden. Zudem kann auch die Effektivität und Wirksamkeit der Benetzung erhöht werden.

[0049] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann vorteilhaft auch ein Mittel zur dosierten Flüssigkeitszufuhr in weiteren Anwendungsfällen sein, insbesondere zum Transport von Lotmaterial beim Löten von Elektronikkomponenten. Die Lotmenge kann anwendungsgerecht dosiert werden, um ein optimales Ergebnis beim Kontaktieren der Leiterbahnen zu erreichen. Hierfür werden die Grundplatinen vor dem Kontaktieren mit Kapillaren strukturiert.

[0050] Des Weiteren kann die erfindungsgemäße Vorrichtung ein Sensor sein. Durch den möglichen gerichteten Transport können Flüssigkeiten einer Sensorik zugeführt werden. Dabei ist es möglich, Flüssigkeiten durch den definierten Aufbau der Kapillaren aufzuspalten und in einzelne Bestandteile zu zerlegen. Beim Blut kann dies z. B. die Trennung von Blutplasma und Blutzellen sein. Während der Fließbewegung kann die Mikrostrukturierung der Kapillaren aufgrund der gegebenen Geometrie die Bestandteile entweder in unterschiedliche Kanäle führen oder als eine Art

Teilchenfalle dienen, in der sich die Teilchen, z. B. die Blutzellen, verfangen, die restliche Flüssigkeit jedoch weiterströmt. Die Kapillaren würden hier somit als Filter fungieren. Es ist dabei denkbar, mehrere solcher Strukturfelder, z. B. kaskadenartig, aneinanderzureihen, um Filterstufen zu erzeugen. Ein Fluid könnte somit nicht nur in zwei Bestandteile aufgespalten werden (z. B. in flüssigen und in festen Teil), sondern gegebenenfalls wäre es auch möglich, unterschiedliche Flüssigkeiten und gleichzeitig verschiedene Feststoffe voneinander zu trennen und sogar in unterschiedliche Bauteilregionen abzuleiten.

[0051] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch als Feuchtigkeitssensor dienen. In diversen Bereichen der Technik sind Feuchtigkeitsniederschläge und manchmal auch damit einhergehende Eisbildung, z. B. im Bereich der Luftfahrt, ein kritischer Punkt. So kann eine erfindungsgemäße Vorrichtung so ausgebildet sein, dass die kapillaren Mikrostrukturen auf den Sensor Feuchtigkeit aus der Umgebung, z. B. der Luft kondensieren lassen und gezielt zu einem Bereich auf den Sensor führen, um dort den Grad der Luftfeuchte zu analysieren oder durch Bestimmung der Flussmenge eine einsetzende Eisbildung zu detektieren. Eine weitere Nutzung des Kondensationseffekts wäre die Entfeuchtung von Innenräumen, insbesondere auch von Innenräumen technischer Anlagen, z. B. von Kühlschränken, um das zu schnelle Verderben von Lebensmitteln aufgrund eines zu hohen Luftfeuchtegrades zu verhindern oder aber von elektronischen Schaltschränken, bei denen eine hohe Luftfeuchte zu Kurzschlüssen und Beschädigungen führen kann. Die kapillaren Oberflächenstrukturen könnten eine Kondensation auslösen und das Kondensat gezielt in einen Vorratsbehälter abführen.

[0052] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem fluiden Stoff verwendet werden. Insbesondere kann sie auch zur Öl-/Wasserabscheidung genutzt werden. Dies kann vorteilhaft bei Bremssystemen und Lagern oder bei verfahrenstechnischen Anlagen angewendet werden, z. B. um Bremsflüssigkeiten und Hydrauliköle aufzubereiten oder Vorratsbehälter bei Verschmutzungen zu reinigen.

[0053] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann auch eine Struktur sein, die zum Wärmeaustausch oder zur Wärmeabfuhr eingesetzt wird. So bestehen z. B. Destiller, die in verfahrenstechnischen Anlagen dazu verbaut werden, oftmals aus Kupfer. Die Oberflächen lassen sich leicht in der geeigneten Weise mit den kapillaren Strukturen versehen. Hierdurch wird die Oberfläche zum einen quantitativ vergrößert und zum anderen kann durch die geeigneten kapillaren Strukturen der Flüssigkeitstransport gezielt beeinflusst werden, um die Kühlleistung oder den Wärmeaustausch zu erhöhen.

[0054] Die Kapillarstrukturen der erfindungsgemäßen Vorrichtung können durch unterschiedliche reduktive oder generative Verfahren hergestellt werden, beispielsweise mechanisch, z. B. durch spanendes Fräsen, insbesondere durch Mikrofräsen, thermisch, z. B. durch abtragende Laserbearbeitung, chemisch, z. B. durch Ätzen, elektrisch, z. B. durch Erodieren oder durch eine Kombination dieser Mechanismen, z. B. elektrisch elektro-chemische Vorgänge, wie beim ECM-Prozess.

[0055] Weitere Verfahren zur Herstellung der Kapillarstrukturen sind umformende Verfahren, wie z. B. das Prägen, bei denen die Kapillarstrukturen durch Materialverdrängung bzw. Materialverlagerung erzeugt werden, oder urformende Verfahren, z. B. das Spritzgießen oder der Druckguss, bei denen die Kapillarstrukturen durch Form gebende Konturen in Formen replikativ oder direkt durch generative Verfahren aufbauend erzeugt werden.

[0056] Des Weiteren können Kapillarstrukturen durch die Verarbeitung von Materialfasern, z. B. Vollmaterialfasern, Hybridmaterialfasern oder eine Kombination mit zusätzlichen, ummantelnden Hohlfasern sowie durch die Herstellung von z.B. Fasergeflechten, Fasergeweben, Fasergelegen, Fasergestricken oder Fasergewirken erzeugt werden.

[0057] Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen können aus unterschiedlichen Materialien bestehen oder aus unterschiedlichen Materialien zusammengesetzt sein, bevorzugt sind diese Materialien Metalle, Metalllegierungen, Hartmetalle oder Karbide, polymer- oder mineralienbasierte Materialien, Glas, Kompositmaterialien oder Keramiken.

[0058] Die Herstellung der Kapillarstrukturen kann mit der Herstellung der Vorrichtung an sich gekoppelt werden, so dass kein gesonderter Herstellungsschritt notwendig ist. Dies bietet sich insbesondere im Zusammenhang mit aus Fasern oder faserähnlichen Materialien hergestellten Vorrichtungen mit Kapillarstruktur an. So kann die Kapillarstruktur eingebracht werden bei der Herstellung von Fasern, eines mit der Faser funktionell gekoppelten Teils, eines Textils oder eines polymerbasierten, geschäumten oder porösen Materials. Dabei kann jede einzelne Faser selbst eine Kapillarstruktur aufweisen oder z.B. der Faserverbund insgesamt die Kapillarstruktur bilden.

[0059] Zur Herstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann in besonders vorteilhafter Weise Laserstrahlung eingesetzt werden. Hierdurch lassen sich auf effektive Weise feinste kapillare Strukturen auf Oberflächen einbringen, wobei es sich in der Regel um teiloffene Kapillaren handeln wird.

[0060] Eine Herstellung der kapillaren Strukturen mittels Laserstrahlung kann allerdings je nach Anwendung eine zu aufwendige und kostenträchtige Maßnahme darstellen. Alternativ ist es denkbar, teiloffene Oberflächenkapillare mit Hilfe eines Formprozesses herzustellen, wobei die Negativstrukturen der Kapillaren stegartig Teil der abbildenden Form sind. Im Falle von Hartmetallschneidplatten, insbesondere Wendeschneidplatten, die in einem Sinterprozess hergestellt werden, können die Negativstrukturen in die Siriterform eingearbeitet werden. Dies wiederum kann bevorzugt mit Hilfe von Laserstrahlung erfolgen, da die Sinterform vielfach eingesetzt werden kann.

[0061] Im Folgenden werden bevorzugte Strukturen für erfindungemäße Vorrichtungen anhand von Figuren erläutert.

[0062] Es zeigt jeweils schematisch

Fig. 1: ausschnittsweise eine erfindungsgemäße Kapillarstruktur,
Fig. 2: die Kapillarstruktur von Fig. 1 mit weiter fortgeschrittenen Menisken,
Fig. 3: die Kapillarstruktur der Figuren 1 und 2 mit weiter fortgeschrittenen Menisken,
Fig. 4: eine aus dem Stand der Technik bekannte Sägezahnstruktur innerhalb einer Kapillare,
Fig. 5: die Kapillarstruktur der Figuren 1 bis 3 in gespiegelter Darstellung zur Verdeutlichung des gehinderten Rückwärtstransportes der Flüssigkeit,
Fig. 6: im Querschnitt eine aus Fasern generierte Kapillarstruktur,
Fig. 7: die Kapillarstruktur gemäß Fig. 6 in drei verschiedenen Schnitten,
Fig. 8: eine weitere Kapillarstruktur aus Fasern,
Fig. 9: die Kapillarstruktur gemäß Fig. 8 in drei verschiedenen Schnitten,
Fig. 10: eine Kapillarstruktur aus einer inneren Faser und einer umhüllenden Faser.
Fig. 11: eine Kapillarstruktur ähnlich Fig. 1 in einem ersten Stadium des Flüssigkeitsfortschritts,
Fig. 12: die Kapillarstruktur gemäß Fig. 1 in einem zweiten Stadium des Flüssigkeitsfortschritts,
Fig. 13: die Kapillarstruktur gemäß Fig. 1 in einem dritten Stadium des Flüssigkeitsfortschritts und
Fig. 14: die Kapillarstruktur gemäß Fig. 1 in einem vierten Stadium des Flüssigkeitsfortschritts.

[0063] Fig. 4 zeigt eine grundsätzlich aus dem Stand der Technik bekannte asymmetrische, hier halbseitig sägezahnförmige Oberflächenstruktur einer Kapillare 1 mit einer glatten Seitenwand 2 und einer sägezahnförmigen Seitenwand 3, zwischen denen sich ein Flüssigkeitstropfen 4 befindet. Die Kapillargeometrie bedingt unterschiedliche Krümmungen einer vorderen Flüssigkeitsoberfläche 5 und einer hinteren Flüssigkeitsoberfläche 6. An der vorderen Flüssigkeitsoberfläche 5 ist ein Druckunterschied gegeben, wobei der in das Tropfeninnere gerichtete Druck $P_{K,i}$ kleiner als der nach außen gerichtete Druck $P_{K,a}$ ist. In die andere Richtung hingegen ist die Krümmung entgegengesetzt gerichtet und der nach außen gerichtete Druck $P_{K,a}$ ist kleiner als der in das Tropfeninnere gerichtete Druck $P_{K,i}$. Sind äußere Kräfte nicht vorhanden, resultiert aus den Druckverhältnissen, dass die Flüssigkeit kapillar in Transportrichtung (Pfeil 7) transportiert wird, wobei der Transport so lange läuft, bis sich eine stabile Position des Tropfens 4 gefunden hat.

[0064] Die Figuren 1 bis 3 zeigen schematisch im Querschnitt eine Ausführungsform einer Kapillarstruktur, wie sie an einer erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen werden kann.

[0065] Fig. 1 zeigt zwei Kapillaren, die im Folgenden als obere Kapillare 8 und untere Kapillare 9 bezeichnet werden. Die Eigenschaften "oben" und "unten" beziehen sich lediglich auf die bildliche Darstellung und nicht auf eine mögliche Orientierung der Kapillare im Raum. Es kann sich hierbei um eine teiloffene Kapillarstruktur handeln mit oberer Seitenwand 10 und unterer Seitenwand 11 zwischen denen eine Mittelstruktur 12 angeordnet ist. Die Kapillarstruktur ist senkrecht zur Zeichnungsebene nach unten durch einen hier nicht gesondert dargestellten Boden begrenzt. Auf der dem Boden gegenüberliegenden Seite ist die Kapillarstruktur offen.

[0066] Im Folgenden ist beschrieben, wie sich innerhalb der Kapillarstruktur eine Flüssigkeitsmasse 13 von links nach rechts in Transportrichtung 14 fortbewegt.

[0067] In der unteren Kapillare 9 läuft der gerichtete Transport der Flüssigkeitsmasse 13 zunächst bis zum Eckpunkt 15 der Mittelstruktur 12. Eckpunkt 15 definiert wie auch jeder weiter unten erwähnte Eckpunkt, jeweils eine Stopp-Stelle für den Flüssigkeitstransport in der betroffenen Kapillare.

[0068] In entsprechender Weise läuft die Flüssigkeitsmasse in der oberen Kapillare 8 bedingt durch das Zusammenspiel von Geometrie und Kontaktwinkel 16 bis zum Eckpunkt 25. Für die jeweiligen Endpositionen sind für obere Kapillare 8 der obere Meniskus 18 und für die untere Kapillare 9 der untere Meniskus 19 eingezeichnet. Für die obere Kapillare 8 ist zusätzlich noch die Position 18a des Meniskus 18 in einem früheren Stadium eingezeichnet.

[0069] Die Flüssigkeitsmasse 13 in der oberen Kapillare 8 hat in der mit Meniskus 18 eingezeichneten Endposition bereits den Eingang eines Durchtrittskanals 20 überschritten, der die obere Kapillare 8 mit der unteren Kapillare 9 verbindet. Der Durchtrittskanal 20 ist selbst wiederum eine Kapillare, weshalb sich Flüssigkeit aus der Flüssigkeitsmasse 13 aus der oberen Kapillare aufgrund der Kapillarkräfte durch den Durchtrittskanal 20 hindurch zur unteren Kapillare 9 bewegt und dort einen weiteren Meniskus 21 ausbildet, der bis zum Eckpunkt 15 läuft. An dieser Stelle verbinden sich die beiden Menisken 19 und 21 und vereinigen sich zu einem gemeinsamen neuen Meniskus 22, wie er in Fig. 2 in einer Zwischenposition 22a und einer vorläufigen Endposition 22 eingezeichnet ist. Auf dem Weg zur vorläufigen Endposition 22 hat die Flüssigkeitsmasse 13 einen zweiten Durchtrittskanal 23 überlaufen, der wiederum die untere Kapillare 9 mit der oberen Kapillare 8 verbindet. Durch den Durchtrittskanal 23 hindurch läuft die Flüssigkeit aus der unteren Flüssigkeitsmasse 13 aufgrund der Kapillarkräfte in die obere Kapillare 8 hinein und bildet dort den weiteren Meniskus 24 aus, der sich am Eckpunkt 25 mit dem weiteren Meniskus 18 zu einem neuen gemeinsamen Meniskus 26 vereinigt, der in Fig. 3 auf seinem Weg zum Eckpunkt 27 dargestellt ist. Das beschriebene Verhalten der Flüssigkeitsmasse 13 setzt sich durch die weiteren Durchtrittskanäle 28 und 29 fort, so dass ein weiterer Transport der Flüssigkeitsmasse 13 in Transportrichtung 14 erfolgt.

[0070] Diese Verhaltensweise wird z. B. erreicht, indem ein Flüssigkeitstropfen auf die offene Seite der Kapillarstruktur gegeben wird. Fig. 5 zeigt die Kapillarstruktur aus den Figuren 1 bis 3 gespiegelt, so dass die in den Figuren 1 bis 3

gegebene Transportrichtung 14 hier von rechts nach links laufend dargestellt werden muss. Entgegen der Transportrichtung 14 ist das Fortschreiten der Flüssigkeitsmasse 13 verringert oder gehindert, da sich die Kapillare im Bereich der eingezeichneten Menisken 30 und 31 derart aufweiten, dass die Menisken eine deutlich geringere Krümmung aufweisen oder eine gerade oder konvexe Form erhalten. Somit erreicht ohne Zufuhr äußerer Kräfte die Flüssigkeitsmasse 13 in dieser Richtung die Durchtrittskanäle 40 oder 41 nicht oder zumindest verzögert, wodurch im Ergebnis somit mittels der Kapillaren 8 und 9 ein gerichteter Flüssigkeitstransport erreicht wird. Ein auf eine solche Struktur oder eine Mehrzahl von solchen Kapillarstrukturen aufgebrachter Flüssigkeitstropfen verteilt sich somit allein oder zumindest überwiegend in die Transportrichtung 14.

[0071] Die zeichnerische Darstellung in den Fig. 1 bis 3 dient zur schematischen Verdeutlichung des Prinzips. In den Fig. 11 bis 14 ist eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Kapillarstruktur dargestellt, welche in der Praxis erfolgreich getestet wurde. Hier sind anders als in den Fig. 1 bis 3 äußere Seitenwände 50 und 51 mit asymmetrischen Abfolgen von Querschnittsänderungen versehen. Der Transport einer Flüssigkeitsmasse 52 läuft in Richtung des Pfeils 53. Die Flüssigkeitsmasse 52 bewegt sich in einer oberen Kapillare 54 in Transportrichtung 53 bis zu einer ersten Stopp-Stelle 56. Ein Flüssigkeitsmeniskus 57 nimmt eine weitgehend ungekrümmte Form an.

[0072] In einer unteren Kapillare 55 bildet ein unterer Zweig der Flüssigkeitsmasse 52 einen weiteren Meniskus 58 aus, der noch stark konkav (zum Flüssigkeitsinneren gekrümmt) ausgebildet ist und in der unteren Kapillare 55 in Transportrichtung 53 fortschreitet.

[0073] In Fig. 12 ist der untere Zweig der Flüssigkeitsmasse 52 mit seinem Meniskus 58 aufgrund der Kapillarkräfte weiter fortgeschritten und hat den Eingang eines Durchtrittkanals 59 passiert, der ebenfalls kapillar ist. Im Durchtrittskanal 59 wird ein weiterer Meniskus 60 gebildet, der im Durchtrittskanal 59 fortschreitet, bis er sich mit dem Meniskus 52 an der Stoppstelle 56 vereinigt und den neuen Meniskus 61 ausbildet (Fig. 13). Derweil ist Meniskus 58 in der unteren Kapillare 55 an der weiteren Stopp-Stelle 62 angelangt. Der aufgrund der Kapillarkräfte fortschreitende Meniskus 61 passiert den Eingang zum weiteren Durchtrittskanal 63, wodurch sich dort ein weiterer Meniskus 64 bildet (Fig. 14), der sich mit Meniskus 58 der unteren Kapillare 55 an der Stopp-Stelle 62 vereinigen wird. Durch Fortschreiten des beschriebenen Mechanismus erfolgt ein gerichteter Transport in Transportrichtung 53.

[0074] Eine alternative Kapillarstruktur zeigen die Figuren 6 und 7, wobei die Kapillarstruktur durch Fasern 32 gebildet wird. Die Fasern weisen bezogen auf eine zu ihrer Längsrichtung senkrechten Ebene eine asymmetrische Struktur auf, wodurch sich ein gerichteter Transport durch die zwischen den Fasern 32 gebildeten Kapillaren 33 ergibt. In den Schnittzeichnungen "A", "B" und "C" der Fig. 7 wird die Anordnung der Fasern 32 in einer dichten Packung deutlich. Zudem sind in den Schnittzeichnungen "B" und "C" Durchtrittskanäle 34 dargestellt.

[0075] Auch hier sorgt das Zusammenspiel zwischen den Kapillaren 33 und den Durchtrittskanälen 34 für ein ständiges Fortschreiten der hier nicht dargestellten Flüssigkeitsmasse in eine bevorzugte Richtung, nämlich in Fig. 6 nach oben.

[0076] Die Kapillarstruktur der Figuren 6 und 7 kann von Seitenwänden, die hier nicht dargestellt sind, begrenzt sein. Die Kapillarstruktur kann teiloffen oder geschlossen sein.

[0077] In den Figuren 8 und 9 ist in entsprechender Darstellung zu den Figuren 6 und 7 eine alternative Anordnung der Fasern 32 mit dichterer Packung dargestellt. Hiernach sind die Fasern 32 derart zueinander versetzt, dass die Asymmetrie der kapillaren Hohlräume erhöht wird. Die dichtere Packung kann ein leichteres Überwinden von Stopp-Stellen durch Vereinigung von Menisken bewirken.

[0078] Fig. 10 zeigt eine äußere Hohlfaser 36, welche eine innere Faser 35 umhüllt und an ihrem Umfang zahlreiche Öffnungen 37 aufweist. Hiermit kann eine weitere Variante einer Kapillarstruktur gebildet werden, indem eine Mehrzahl derartiger Kombinationen von umhüllender Hohlfaser 36 und innerer Faser 35 in ein Bündel gepackt werden. Die Öffnungen 37 bilden dabei die Durchtrittskanäle zwischen benachbarten Kapillaren. Die Anzahl der Öffnungen 37 kann auch deutlich geringer gewählt werden, als in Fig. 10 dargestellt. Entscheidend ist, dass die Funktion von Durchtrittskanälen gemäß der Erfindung erfüllt wird. Jede innere Faser 35 kann eine Vollfaser, wie in Fig. 10 dargestellt, oder eine Hohlfaser sein. In der Hohlfaser 36 kann auch eine Mehrzahl von inneren Fasern 35 vorgesehen werden.

Bezugszeichenliste

1	Kapillare	30	Meniskus
2	Seitenwand	31	Meniskus
3	Seitenwand	32	Faser
4	Flüssigkeitstropfen	33	Kapillare
5	vordere Flüssigkeitsoberfläche	34	Durchtrittskanal
6	hintere Flüssigkeitsoberfläche	35	innere Faser
7	Transportrichtung	36	Hohlfaser
8	obere Kapillare	37	Öffnung
9	untere Kapillare	40	Durchtrittskanal

(fortgesetzt)

10	Seitenwand	41	Durchtrittskanal
11	Seitenwand	50	Seitenwand
12	Mittelstruktur	51	Seitenwand
13	Flüssigkeitsmasse	52	Flüssigkeitsmasse
14	Transportrichtung	53	Transportrichtung
15	Eckpunkt	54	obere Kapillare
16	Kontaktwinkel	55	untere Kapillare
18	oberer Meniskus	56	Stopp-Stelle
18a	Meniskus	57	Meniskus
19	unterer Meniskus	58	Meniskus
20	Durchtrittskanal	59	Durchtrittskanal
21	Meniskus	60	Meniskus
22	Meniskus in Endposition	61	Meniskus
22a	Meniskus in Zwischenposition	62	Stopp-Stelle
23	Durchtrittskanal	63	Durchtrittskanal
24	Meniskus	64	Meniskus
25	Eckpunkt		
26	Meniskus		
27	Eckpunkt		
28	Durchtrittskanal		
29	Durchtrittskanal		

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum gerichteten kapillaren Transport von Flüssigkeiten, umfassend mindestens zwei Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55), wobei die mindestens zwei Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) derart gestaltet sind, dass zumindest abschnittsweise ein passiver gerichteter kapillarer Transport der Flüssigkeit erfolgt,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens zwei der Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) in Transportrichtung der Flüssigkeit über mindestens einen kapillaren Durchtrittskanal (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63) miteinander verbunden sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

   a) die mindestens zwei Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) jeweils mehrere in Transportrichtung gesehen aufeinander folgende, für den passiven gerichteten kapillaren Transport eingerichtete Transportabschnitte aufweisen,
   b) die Transportabschnitte jeweils in einer für die Unterbrechung des ungestörten passiven gerichteten Flüssigkeitstransport geeigneten Stop-Stelle (15, 25, 27, 56, 62) enden,und
   c) mindestens einer der Durchtrittskanäle (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63) jeweils einen Kanalaustritt nahe der Stopp-Stelle (15, 25, 27, 56, 62), insbesondere in Transportrichtung hinter der Stopp-Stelle (15, 25, 27, 56, 62) und an der Stopp-Stelle (15, 25, 27, 56, 62) angrenzend, aufweisen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einer der Transportabschnitte einen sich in Transportrichtung verringernden Querschnitt der Kapillare (8, 9, 33, 54, 55) aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens der gerichtete Transport durch das Material der Oberfläche mindestens einer Kapillarseitenwand bewirkt ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der Stopp-Stellen (15, 25, 27, 56, 62) durch eine Querschnittsaufweitung gebildet ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine der Stopp-Stellen (15, 25, 27, 56, 62) durch eine Änderung im Material der Oberfläche zumindest in einem Teilbereich der Kapillarwandung gebildet ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) zumindest in einer Teilanzahl eine schwammartige Struktur erzeugen.

8. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) zumindest auch durch Fasermaterial gebildet sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** zumindest eine Hohlfaser (36).

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlfaser (36) eine innere Kapillarstruktur (35) umgibt.

11. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) teiloffen ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der teiloffenen Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) Teil einer Oberfläche ist.

13. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein zerspanendes Werkzeug ist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein Textil ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein Sensor ist,

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung eine Werkzeugform ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein Mittel zur dosierten Flüssigkeitszufuhr ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung eine Wärmetauscherfunktion aufweist.

19. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12 zur Abtrennung von Bestandteilen aus einem fluiden Stoff.

20. Verwendung nach Anspruch 19 zur Öl-Wasserabscheidung.

21. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung zum gerichteten kapillaren Transport von Flüssigkeiten, bei dem mindestens zwei Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) erzeugt werden, welche derart gestaltet sind, dass zumindest abschnittsweise ein passiver gerichteter kapillarer Transport der Flüssigkeit erfolgt und mindestens zwei der Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) in Transportrichtung der Flüssigkeit über mindestens einen kapillaren Durchtrittskanal (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63) miteinander verbunden sind.

22. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil der Kapillarstruktur mittels Laserstrahlung erzeugt wird.

23. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Teilanzahl der teiloffenen, auf einer Oberfläche der Vorrichtung angeordneten Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) mittels eines Formwerkzeuges, insbesondere einer Sinterform, erzeugt wird.

24. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Teilanzahl der teiloffenen, auf einer Oberfläche der Vorrichtung angeordneten Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) mittels eines Fräsverfahrens, insbesondere mittels eines Mikrofräsverfahrens, erzeugt wird.

25. Verfahren nach Anspruch 21, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Teilanzahl der teiloffenen, auf einer Oberfläche der Vorrichtung angeordneten Kapillaren (8, 9, 33, 54, 55) mittels EDM (Electrical Discharge Machining, elektroerosives Abtragungsverfahren) erzeugt wird.

Claims

1. A device for the directed capillary transport of liquids, including at least two capillaries (8, 9, 33, 54, 55), wherein the at least two capillaries (8, 9, 33, 54, 55) are formed such that a passive directed capillary transport of the liquid is performed at least in certain regions,
characterized in that
at least two of the capillaries (8, 9, 33, 54, 55) are connected to one another in the direction of transport of the liquid by way of at least one capillary passage channel (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63).

2. The device as claimed in claim 1, **characterized in that**

   a) the at least two capillaries (8, 9, 33, 54, 55) each have a plurality of transport sections which, as seen in the direction of transport, succeed one another and are set up for passive directed capillary transport,
   b) the transport sections each end in a stop point (15, 25, 27, 56, 62) which is suitable for interrupting the unimpeded passive directed transport of liquid, and
   c) at least one of the passage channels (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63) respectively has a channel outlet close to the stop point (15, 25, 27, 56, 62), in particular downstream of the stop point (15, 25, 27, 56, 62) as seen in the direction of transport, and adjoining the stop point (15, 25, 27, 56, 62).

3. The device as claimed in claim 2, **characterized in that** at least one of the transport sections has a cross section of the capillary (8, 9, 33, 54, 55) which is reduced in the direction of transport.

4. The device as claimed in claim 2 or 3, **characterized in that** at least the directed transport is brought about by the material of the surface of at least one capillary side wall.

5. The device as claimed in one of claims 2 to 4, **characterized in that** at least one of the stop points (15, 25, 27, 56, 62) is formed by a cross section widening.

6. The device as claimed in one of claims 2 to 5, **characterized in that** at least one of the stop points (15, 25, 27, 56, 62) is formed by a change in the material of the surface, at least in one part region of the capillary wall.

7. The device as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** the capillaries (8, 9, 33, 54, 55) produce a sponge-like structure, at least in some of their number.

8. The device as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** at least one of the capillaries (8, 9, 33, 54, 55) is at least also formed by fiber material.

9. The device as claimed in claim 8, **characterized by** at least one hollow fiber (36).

10. The device as claimed in claim 9, **characterized in that** the hollow fiber (36) surrounds an inner capillary structure (35).

11. The device as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** at least one of the capillaries (8, 9, 33, 54, 55) is partially open.

12. The device as claimed in claim 11, **characterized in that** at least one of the partially open capillaries (8, 9, 33, 54, 55) is part of a surface.

13. The device as claimed in one of the preceding claims, **characterized in that** the device is a machine tool.

14. The device as claimed in one of claims 1 to 12, **characterized in that** the device is a textile.

15. The device as claimed in one of claims 1 to 12, **characterized in that** the device is a sensor.

16. The device as claimed in one of claims 1 to 12, **characterized in that** the device is a mold.

17. The device as claimed in one of claims 1 to 12, **characterized in that** the device is a means for the metered supply of liquid.

18. The device as claimed in one of claims 1 to 12, **characterized in that** the device has a heat exchanger function.

19. Use of a device as claimed in one of claims 1 to 12 for separating components from a fluid substance.

20. The use as claimed in claim 19 for separating oil and water.

21. A method for producing a device for the directed capillary transport of liquids, in which at least two capillaries (8, 9, 33, 54, 55) are produced which are formed such that a passive directed capillary transport of the liquid is performed at least in certain regions and at least two of the capillaries (8, 9, 33, 54, 55) are connected to one another in the direction of transport of the liquid by way of at least one capillary passage channel (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63).

22. A method according to claim 21, **characterized in that** at least part of the capillary structure is produced by laser radiation.

23. A method according to claim 21, **characterized in that** at least some of the number of partially open capillaries (8, 9, 33, 54, 55) that are arranged on a surface of the device are produced by means of a mold, in particular a sintering mold.

24. A method according to claim 21, **characterized in that** at least some of the number of partially open capillaries (8, 9, 33, 54, 55) that are arranged on a surface of the device are produced by means of a milling method, in particular by means of a micro-milling method.

25. A method according to claim 21, **characterized in that** at least some of the number of partially open capillaries (8, 9, 33, 54, 55) that are arranged on a surface of the device are produced by means of EDM (electrical discharge machining).

Revendications

1. Dispositif de transport capillaire dirigé de liquides, comprenant au moins deux capillaires (8, 9, 33, 54, 55), les au moins deux capillaires (8, 9, 33, 54, 55) étant configurés de telle sorte qu'un transport capillaire dirigé passif du liquide s'effectue au moins dans certaines portions, **caractérisé en ce qu'**au moins deux des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) sont reliés l'un à l'autre dans le sens du transport du liquide par le biais d'au moins un canal de passage capillaire (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63).

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce que**

   a) les au moins deux capillaires (8, 9, 33, 54, 55) possèdent respectivement plusieurs portions de transport disposées successivement dans le sens du transport et conçues pour le transport capillaire dirigé passif,
   b) les portions de transport se terminent respectivement en un point d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62) adapté à l'interruption du transport de liquide dirigé passif non perturbé, et
   c) au moins l'un des canaux de passage (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63) possède respectivement une sortie de canal proche du point d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62), notamment derrière le point d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62) dans le sens du transport, et juxtaposée au point d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62).

3. Dispositif selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'**au moins l'une des portions de transport possède une section transversale des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) qui se rétrécit dans le sens du transport.

4. Dispositif selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'**au moins le transport dirigé est produit par le matériau de la surface d'au moins une paroi latérale de capillaire.

5. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des points d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62) est formé par un élargissement de la section transversale.

6. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des points d'arrêt (15, 25, 27, 56, 62) est formé par une modification dans le matériau de la surface d'au moins une zone partielle de la paroi de capillaire.

7. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les capillaires (8, 9, 33, 54, 55) produisent, au moins dans une quantité partielle, une structure spongieuse.

8. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) est au moins également formé par du matériau fibreux.

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé par** au moins une fibre creuse (36).

10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** la fibre creuse (36) entoure une structure capillaire interne (35).

11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) est en partie ouvert.

12. Dispositif selon la revendication 11, **caractérisé en ce qu'**au moins l'un des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) partiellement ouverts fait partie d'une surface.

13. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le dispositif est un outil d'enlèvement de copeaux.

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif est un textile.

15. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif est un capteur.

16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif est un moule à outil.

17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif est un moyen destiné à un acheminement dosé d'un liquide.

18. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** le dispositif possède une fonction d'échangeur de chaleur.

19. Utilisation d'un dispositif selon l'une des revendications 1 à 12 pour la séparation d'éléments constitutifs d'une substance fluide.

20. Utilisation selon la revendication 19 pour la séparation huile-eau.

21. Procédé de fabrication d'un dispositif de transport capillaire dirigé de liquides, avec lequel au moins deux capillaires (8, 9, 33, 54, 55) sont produits, lesquels sont configurés de telle sorte qu'un transport capillaire dirigé passif du liquide s'effectue au moins dans certaines portions et au moins deux des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) sont reliés l'un à l'autre dans le sens du transport du liquide par le biais d'au moins un canal de passage capillaire (20, 23, 28, 29, 34, 40, 41, 59, 63).

22. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie de la structure capillaire est produite au moyen d'un rayonnement laser.

23. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce qu'**au moins une quantité partielle des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) partiellement ouverts, disposés sur une surface du dispositif, est produite au moyen d'un outil de moulage, notamment un moule de frittage.

24. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce qu'**au moins une quantité partielle des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) partiellement ouverts, disposés sur une surface du dispositif, est produite au moyen d'un procédé de fraisage, notamment au moyen d'un procédé de microfraisage.

25. Procédé selon la revendication 21, **caractérisé en ce qu'**au moins une quantité partielle des capillaires (8, 9, 33, 54, 55) partiellement ouverts, disposés sur une surface du dispositif, est produite au moyen d'un procédé EDM (Electrical Discharge Machining - usinage par électroérosion).

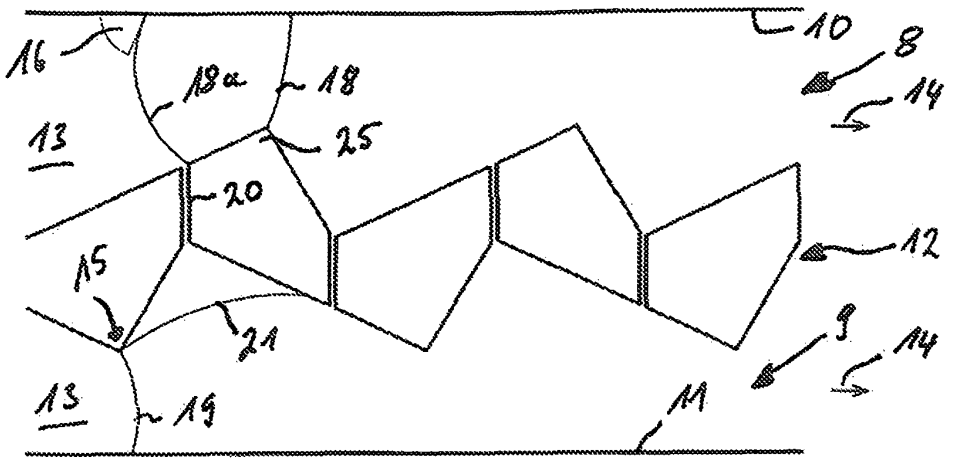


Fig. 1

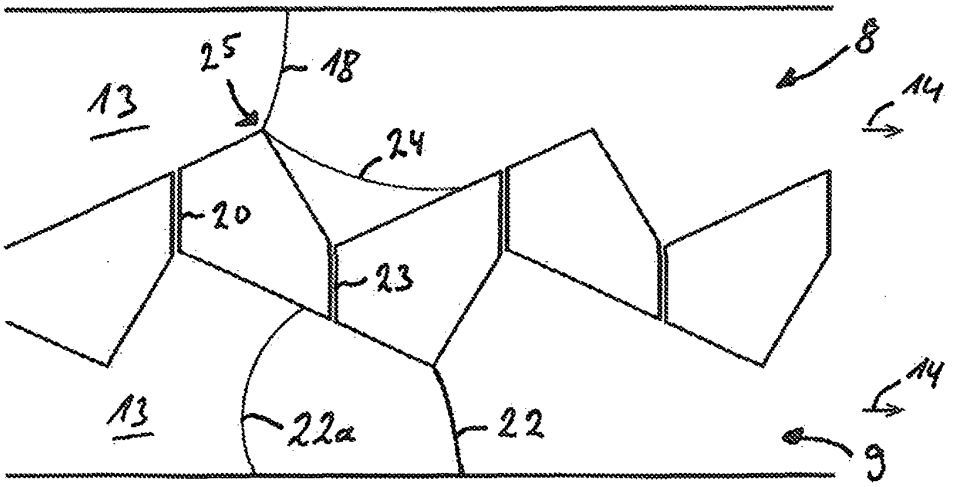


Fig. 2

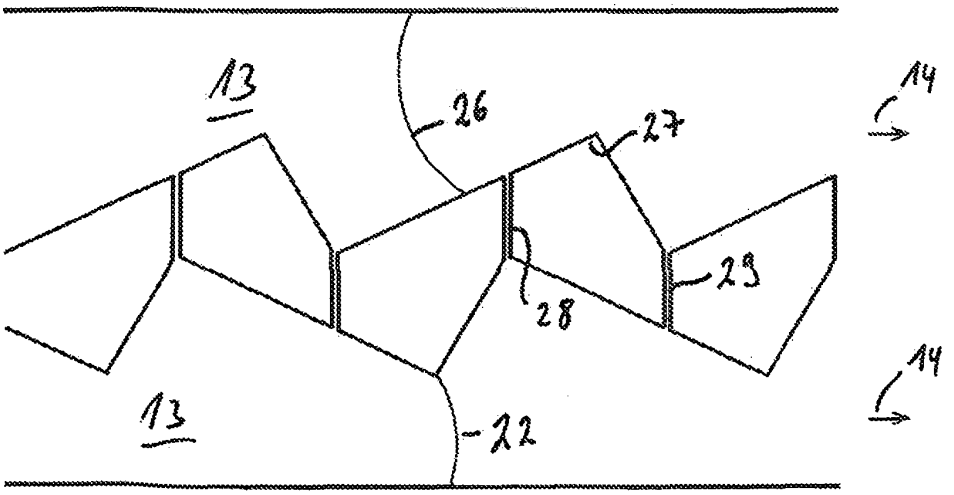


Fig. 3

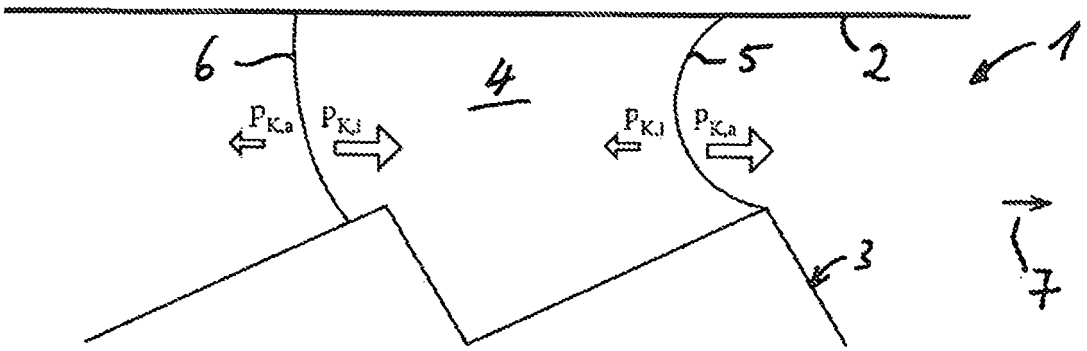


Fig. 4 (Stand der Technik)

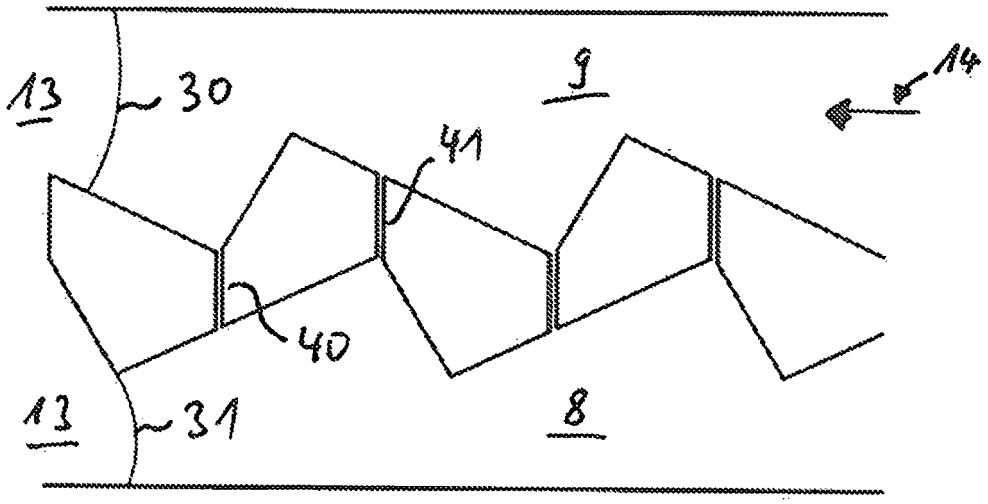


Fig. 5

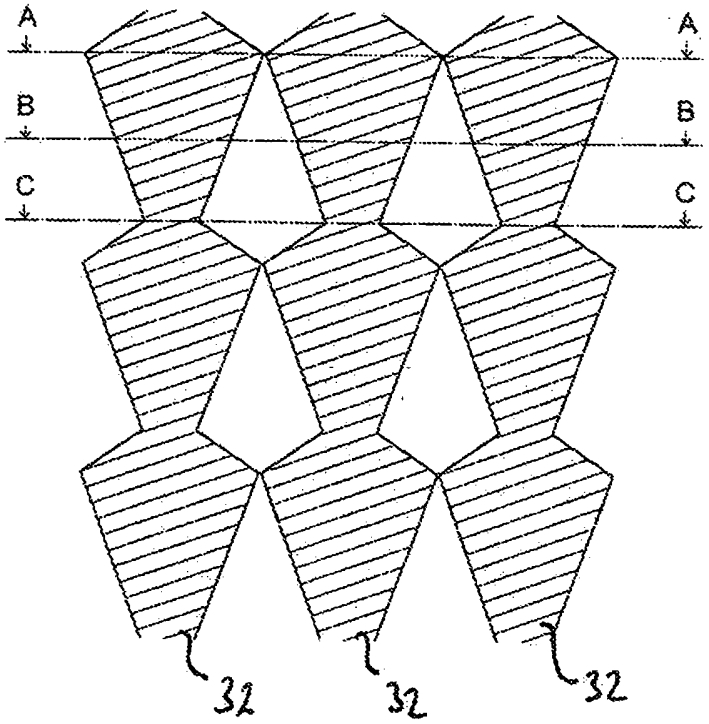


Fig. 6

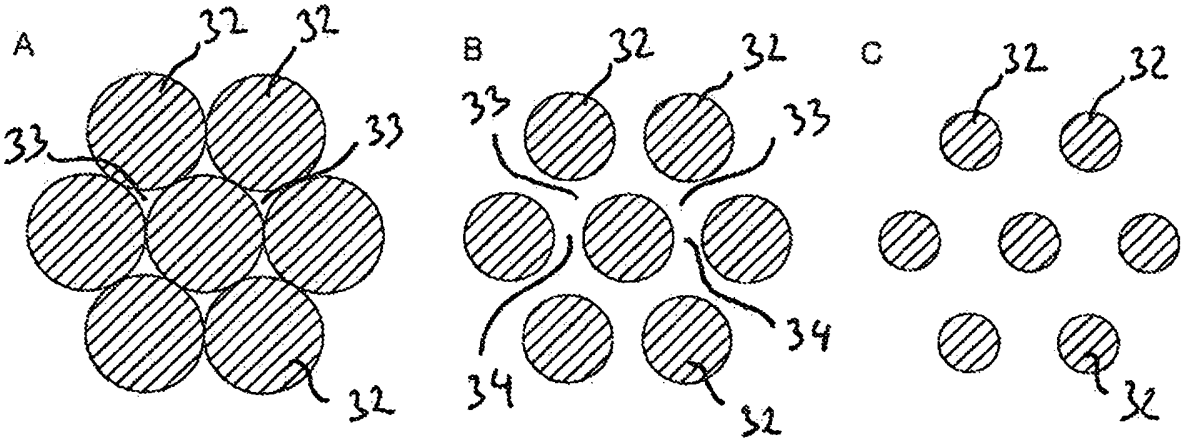


Fig. 7

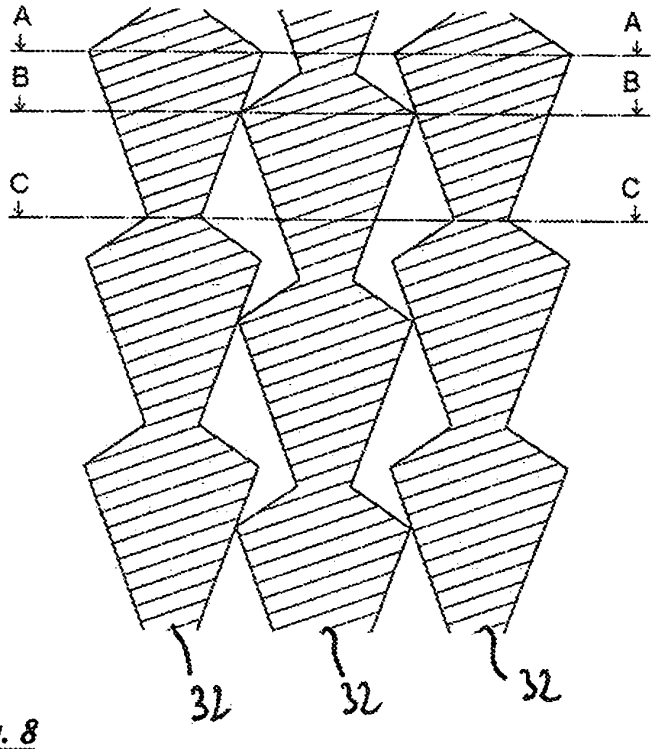


Fig. 8

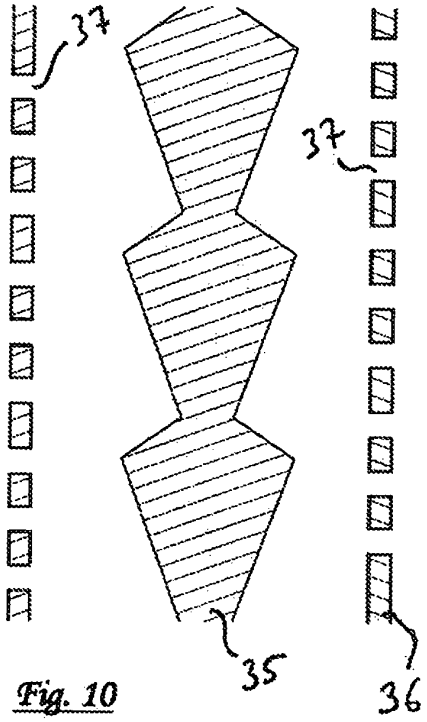


Fig. 10

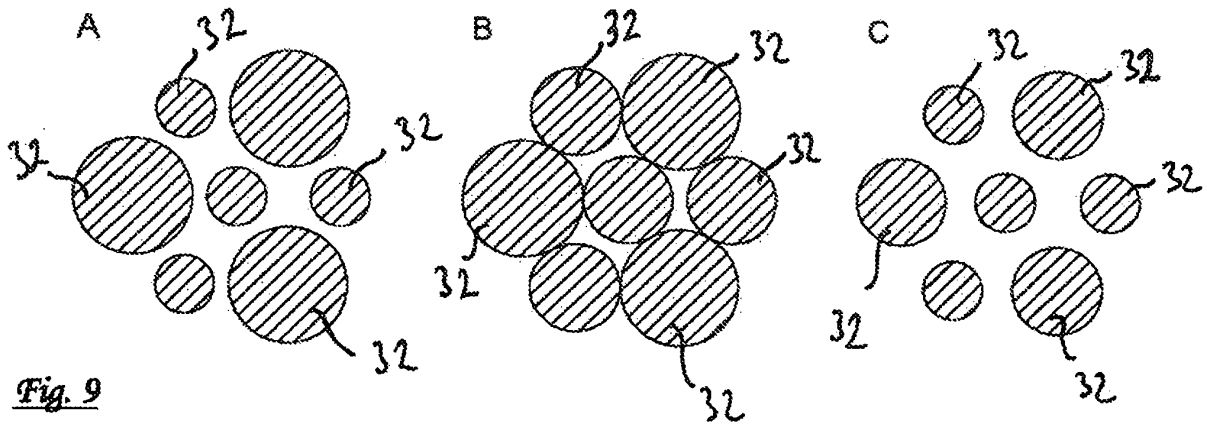


Fig. 9

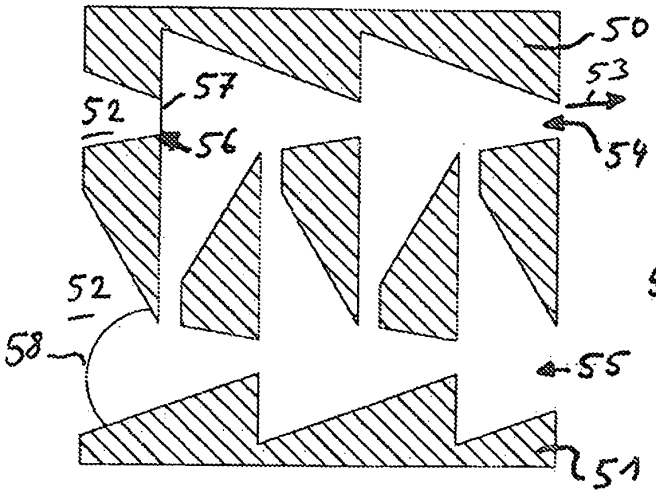


Fig. 11

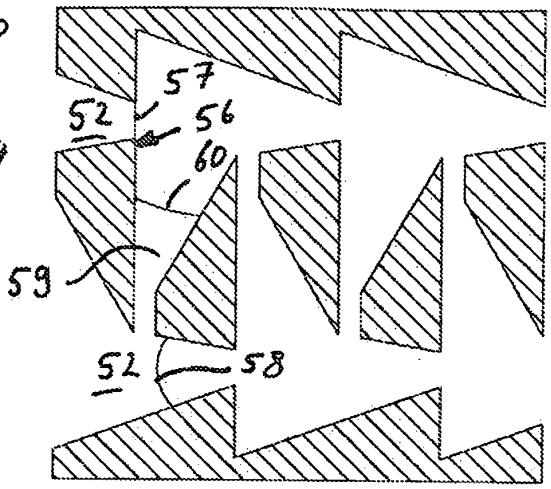


Fig. 12

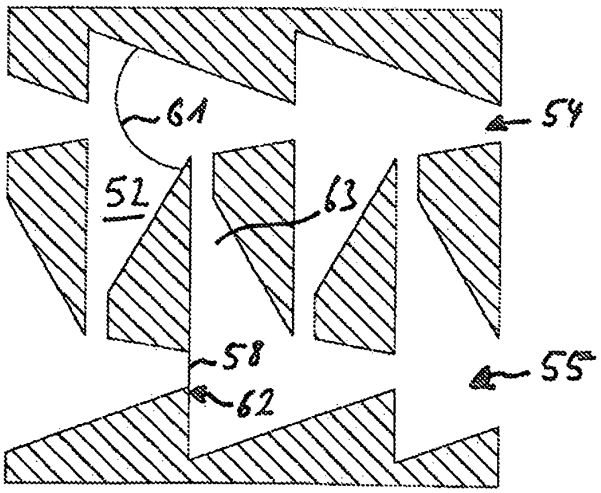


Fig. 13

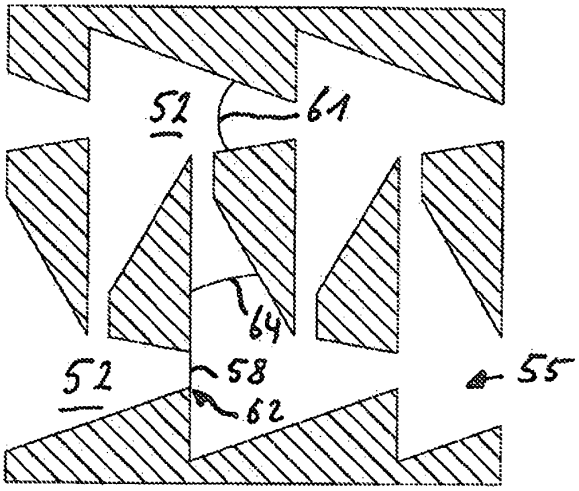


Fig. 14

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 2339184 A2 **[0005]**
- WO 2006121534 A1 **[0006]**
- WO 2007035511 A2 **[0008] [0010]**
- WO 2008114063 A1 **[0009]**
- EP 1201304 B1 **[0010]**
- DE 10309695 A1 **[0014]**
- DE 102009038019 A1 **[0015]**
- EP 0058019 A2 **[0016]**
- WO 2005094982 A2 **[0017]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **M. ZIMMERMANN et al.** Capillary pumps for autonomous capillary systems. *Lab Chip,* 2007, vol. 7, 119-125 **[0002]**
- *Appl. Phys. A,* vol. 75, 207-212 **[0007]**
- **C. W. EXTRAND.** Retention Forces of a Liquid Slug in a Rough Capillary Tube with Symmetrie or Asymmetric Features. *Langmuir,* 2007, vol. 23, 1867-1871 **[0011]**
- **COMANNS et al.** Moisture harvesting and water transport through specialized micro-structures on the integument of lizards. *Beilstein J. Nanotechnol.,* vol. 2, 204-214, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3148043 **[0013]**