



(10) **DE 10 2010 036 408 A1** 2012.01.19

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 036 408.8**

(22) Anmeldetag: **14.07.2010**

(43) Offenlegungstag: **19.01.2012**

(51) Int Cl.: **F15D 1/10** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 26129,
Oldenburg, DE**

(72) Erfinder:

**Neumeyer, Peter, Dipl.-Phys., 64354, Reinheim,
DE; Peinke, Joachim, Prof. Dr., 26125, Oldenburg,
DE**

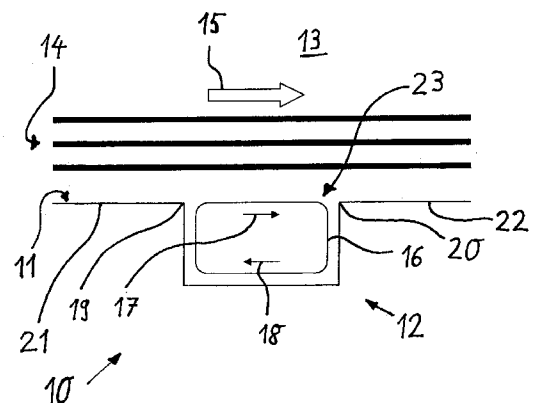
(74) Vertreter:

Zacco Dr. Peters und Partner, 28359, Bremen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Fläche zum Anordnen in einem strömenden Fluid, Verwendung einer solchen Fläche sowie ein Verfahren zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Fläche zum Anordnen in einem strömenden Fluid (13, 34, 45, 54) mit einer Oberflächenebene (11, 25, 37, 51), und mit Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes. Um eine in Strömungsrichtung des Fluids (13, 34, 45, 54) länger laminare Grenzschicht und einen verringerten Strömungswiderstand für die Fläche zu realisieren, ist die Fläche dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewegung eines rotierbaren Rotationsmittels (16, 29) in der Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) ausgebildet ist, und dass die Rotationsbewegung in einem der Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) zugeordneten Kontaktbereich (23, 32, 42, 43) eine in Strömungsrichtung des Fluids (13, 34, 45, 54) gerichtete Bewegungskomponente hat.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Fläche sowie die Verwendung einer solchen Fläche zum Anordnen in einem strömenden Fluid mit einer Oberflächenebene, und mit Vertiefungen zum Reduzieren des Strömungswiderstandes. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes einer Fläche mit einer Oberflächenebene bei dem Vertiefungen in die Fläche eingebracht werden.

[0002] Derartige Gegenstände sind aus der DE 198 40 303 A1 und EP 1 469 198 A1 bekannt. Hiernach werden in die Oberfläche eines Fahrzeuges oder eines Rotorblattes kreissegmentartige Vertiefungen ähnlich zu der Oberfläche eines Golfballes eingeprägt. Mittels dieser Einprägungen werden gezielt Mikroturbulenzen an der Oberfläche und in der hydrodynamischen Grenzschicht des entlang der Oberfläche strömenden Fluids erzeugt. Der Strömungswiderstand ist hierdurch geringer als bei einer Oberfläche ohne derartige Vertiefungen.

[0003] Nachteilig ist jedoch, dass sich an der Oberfläche keine laminare, sondern ausschließlich eine turbulente Grenzschicht ausbildet. Für einen möglichst geringen Strömungswiderstand sollte die Grenzschicht jedoch solange wie möglich in Strömungsrichtung des Fluids turbulenzfrei und laminar sein.

[0004] Bei einer laminaren Grenzschicht besteht jedoch die Gefahr, dass die Dicke der Grenzschicht in Strömungsrichtung des Fluids derart anwächst, dass die Grenzschicht turbulent wird. Hierbei kann die Strömungssituation so instabil werden, dass auch außerhalb der Grenzschicht turbulente Strömungen auftreten. Hierdurch entstehen in einem ausgedehnten Raumbereich an vielen Stellen fortwährend große Geschwindigkeitsgradienten. Es ergeben sich hohe viskose Reibungswerte, die zu einem insgesamt hohen Strömungswiderstand für den Gegenstand führen. Unter dem Einfluss eines dynamischen Auftriebs werden die Gefahren für eine turbulente Strömung und einen hohen Strömungswiderstand noch verstärkt. So erhöhen die für den Auftrieb erforderlichen räumlichen Druckverteilungen der Strömung zusätzlich die Neigung zur Instabilität und der damit verbundenen Turbulenzbildung.

[0005] Somit ist es die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe, eine Fläche der Eingangs genannten Art derart weiterzuentwickeln, dass die Grenzschicht in Strömungsrichtung des Fluids länger laminar ist und ein verringerter Strömungswiderstand realisierbar ist.

[0006] Zur Lösung ist die erfindungsgemäße Fläche dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige Vertiefung zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewe-

gung eines rotierbaren Rotationsmittels in der Vertiefung ausgebildet ist, und dass die Rotationsbewegung in einem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich eine in Strömungsrichtung des Fluids gerichtete Bewegungskomponente hat. Das Verfahren der Eingangs genannten Art ist dadurch gekennzeichnet, dass jeweils einer Vertiefung ein rotierbares Rotationsmittel zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewegung in der Vertiefung zugeordnet wird, und dass das Rotationsmittel in die Rotationsbewegung versetzt wird, wobei das Rotationsmittel in einem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich mindestens teilweise in Strömungsrichtung des Fluids bewegt wird.

[0007] Hierbei ist von Vorteil, dass der Geschwindigkeitsgradient in dem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich zwischen dem Rotationsmittel und dem über die Oberflächenebene strömenden Fluid geringer ist als der Geschwindigkeitsgradient zwischen dem strömenden Fluid und den starren Oberflächenanteilen ohne das sich in Strömungsrichtung bewegendes Rotationsmittel. Zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewegung kann die Vertiefung eine geeignete Aufnahme zum Aufnehmen des rotierbaren Rotationsmittels aufweisen.

[0008] Der Kontaktbereich ist der Bereich, in dem sich das Rotationsmittel und das über der Vertiefung entlang der Oberflächenebene strömende Fluid berühren. Demnach ist die Differenzgeschwindigkeit zwischen dem strömenden Fluid und dem Rotationsmittel in dem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich kleiner als die Differenzgeschwindigkeit des direkt über die starre Oberfläche strömenden Fluids. In dem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich wirkt auf die sich nach der Prandtl'schen Grenzschichttheorie ergebenden hydrodynamischen Grenzschicht eine verminderte Kraft im Vergleich zu den starren Oberflächenanteilen. Hierdurch wächst die Dicke der Grenzschicht in Strömungsrichtung des Fluids weniger stark an. Damit ist die Grenzschicht in Strömungsrichtung des Fluids länger laminar.

[0009] In der Summe erfährt die Grenzschicht des Fluids entlang der Oberflächenebene eine weniger bremsende Kraft. Hierdurch ist der Strömungswiderstand reduziert. Zudem bewirkt die verminderte bremsende Kraft eine geringere Zunahme der Dicke der Grenzschicht in Strömungsrichtung des Fluids. Hierdurch wird der Strömungswiderstand weiter reduziert. In Zusammenhang mit einem dynamischen Auftrieb, wie beispielsweise bei Flügelprofilen und/oder Turbinenschaufeln, sind die dynamischen Auftriebswerte verbessert.

[0010] Vorzugsweise weist die in Strömungsrichtung des Fluids gerichtete Bewegungskomponente der Rotationsbewegung in dem der Oberflächenebene

ne zugeordneten Kontaktbereich den größten Betrag von drei die Rotationsbewegung bestimmenden Bewegungskomponenten auf. Bei den drei Bewegungskomponenten handelt es sich um die erste Bewegungskomponente in Strömungsrichtung und parallel zur Oberflächenebene, die zweite Bewegungskomponente parallel zur Oberflächenebene und rechtwinklig zur ersten Bewegungskomponente in Strömungsrichtung, und die dritte Bewegungskomponente rechtwinklig zur Oberflächenebene.

[0011] Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist der Kontaktbereich in einer Ebene mit der Oberflächenebene angeordnet ist. Somit ist das Rotationsmittel ohne über die Oberflächenebene aus der Vertiefung heraus zu treten innerhalb der Vertiefung angeordnet. Das Rotationsmittel ragt nicht über die Oberflächenebene und in das entlang der Oberflächenebene strömende Fluid hinein. Die Gefahr der Entstehung von Turbulenzen in der Grenzschicht wird hierdurch verringert. Die Fläche weist Oberflächenabschnitte mit Vertiefungen und Oberflächenabschnitte ohne Vertiefungen auf. Hierbei kann sich in Strömungsrichtung des Fluids jeweils ein starrer Oberflächenabschnitt ohne Vertiefung mit einem Oberflächenabschnitt mit einer Vertiefung abwechseln. Nach einer Alternative tritt das Rotationsmittel über die Oberflächenebene aus der Vertiefung heraus. Dies erleichtert die Herstellung und Integration des Rotationsmittels in die Vertiefung. Hierbei tritt das Rotationsmittel jedoch nur soweit über die Oberflächenebene in Richtung des entlang der Oberflächenebene strömenden Fluids hinaus, dass hierdurch die laminare Strömung der Grenzschicht möglichst nicht gestört wird.

[0012] Gemäß einer Weiterbildung sind die Vertiefungen jeweils als ein Kanal ausgebildet. Solche Kanäle sind beispielsweise mittels einer Präparations-einrichtung in die Fläche einbringbar. Vorzugsweise ist die Fläche als eine Folie mit den Vertiefungen ausgebildet, die auf eine Außenfläche aufbringbar ist. Hierdurch wird eine besonders einfache Nachrüstung ermöglicht. Vorzugsweise ist ein Querschnitt des Kanals zum Ausbilden der Rotationsbewegung des Rotationsmittels um eine Längsachse des Kanals, insbesondere mittels eines Antriebes, ausgebildet. Somit rotiert das Rotationsmittel innerhalb des Kanals um eine Längsachse des Kanals, die zugleich die Rotationsachse für das rotierende Rotationsmittel ist. Das Rotationsmittel weist beispielsweise eine Zylinderform oder eine Rohrform auf. Vorzugsweise dient als ein Antrieb für die Rotation des Rotationsmittels das entlang der Oberflächenebene strömende Fluid.

[0013] Die Querschnitte der Vertiefungen können, insbesondere zum Erzeugen einer laminaren Rotationsströmung um die Längsachse der jeweiligen Vertiefung, eine kreissegmentförmige Kontur haben. Hierdurch werden die Anordnung eines Rotationsmit-

tels in den Vertiefungen und/oder die Ausbildung einer Rotationsbewegung vereinfacht. Zudem werden Reibungsverluste zwischen dem Rotationsmittel und einer dem Rotationsmittel zugewandten Innenwand der jeweiligen Vertiefung reduziert.

[0014] Die Durchmesser der Vertiefungen können in der Größenordnung der Dicke einer hydrodynamischen Grenzschicht liegen, insbesondere entsprechen die Durchmesser der Dicke der Grenzschicht am Ort der jeweiligen Vertiefung, vorzugsweise liegen die Durchmesser im Bereich von 1 mm bis 20 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 10 mm bis 20 mm, und am meisten bevorzugt in einem Bereich von 1 mm bis 2 mm. Hierdurch wird eine negative Beeinflussung des strömenden Fluids, insbesondere auch außerhalb der Grenzschicht des Fluids, vermieden. insbesondere werden die Durchmesser der Vertiefungen in Strömungsrichtung des Fluids größer. Hierdurch wird die in Strömungsrichtung des Fluids zunehmende Dicke der Grenzschicht berücksichtigt. Vorzugsweise sind die Durchmesser der Vertiefungen umso kleiner, je schneller die Strömung ist und/oder je niedriger die Viskosität des Fluids ist. Umgekehrt gilt demnach, dass die Durchmesser der Vertiefungen umso größer sind, je langsamer die Strömung ist und/oder je größer die Viskosität des Fluids ist. Das Fluid kann ein Gas und/oder eine Flüssigkeit sein. Bei einer Flüssigkeit, wie beispielsweise Wasser, können die Durchmesser der Vertiefungen in einem Bereich zwischen 1 cm und 2 cm liegen. Ist das Fluid ein Gas, wie beispielsweise Luft, können die Durchmesser der Vertiefungen in einem Bereich zwischen 1 mm und 2 mm liegen.

[0015] Vorzugsweise sind die Vertiefungen sowohl im Bereich einer laminaren Grenzschicht als auch im Bereich einer turbulenten Grenzschicht des Fluids angeordnet. Die Dicke der laminaren Grenzschicht nimmt in Strömungsrichtung immer mehr zu. Die Zuwachsrate der Dicke der Grenzschicht ist abhängig vom Geschwindigkeitsgradienten zwischen einer oberflächennahen Lage der Grenzschicht und der Oberfläche der Fläche. Die laminare Grenzschicht wird ab einer bestimmten Dicke der Grenzschicht instabil und turbulent. Um die Entstehung von turbulenten Strömungen außerhalb der turbulenten Grenzschicht zu vermindern, können erfindungsgemäße Vertiefungen auch im Bereich der turbulenten Grenzschicht in die Fläche eingebracht sein. Alternativ oder zusätzlich kann sich einem Flächenbereich mit erfindungsgemäßen Vertiefungen zum Erreichen einer längeren laminaren Grenzschicht ein Flächenbereich mit aus dem Stand der Technik bekannten Vertiefungen, insbesondere kreissegmentartigen Einprägungen, zur Reduzierung des Strömungswiderstandes in einer turbulenten Grenzschicht anschließen.

[0016] Entsprechend einer weiteren Ausführungsform ist eine Breite eines Vertiefungsspalt für je-

weils eine Vertiefung durch zwei einander zugewandte Flächenkanten, insbesondere in der Oberflächenebene, bestimmt und der Durchmesser der jeweiligen Vertiefung ist größer als die Breite des zugehörigen Vertiefungsspalt. Hierdurch wird die Anordnung eines Rotationsmittels und/oder die Entstehung einer Rotationsbewegung in der Vertiefung vereinfacht. Zudem lässt sich über eine geeignete Breite des Vertiefungsspalt auf einfache Weise die Position bzw. Lage des Rotationsmittels, insbesondere in Bezug auf die Oberflächenebene, bestimmen.

[0017] Vorzugsweise ist eine sich durch die Rotationsbewegung des jeweiligen Rotationsmittels ergebende Rotationsachse parallel zur Oberflächenebene angeordnet, und vorzugsweise ist die Rotationsachse rechtwinklig zur Strömungsrichtung des Fluids ausgerichtet. Hierdurch lässt sich die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen dem Rotationsmittel und dem über dem Rotationsmittel im Bereich der Oberflächenebene strömenden Fluid auf einfache Weise weiter vermindern, wodurch der Strömungswiderstand ebenfalls weiter reduziert wird.

[0018] Nach einer Weiterbildung ergibt sich in den Querschnitten der Vertiefungen ausgehend von einer Längsachse der jeweiligen Vertiefung und zwischen den beiden einander zugewandten und der Oberflächenebene zugeordneten Flächenkanten, ein Öffnungswinkel von weniger als 90° , insbesondere von weniger als 60° , besonders bevorzugt von weniger als 30° , und am meisten bevorzugt zwischen 25° und 30° . Hierdurch wird die Breite des Vertiefungsspalt bestimmt. Zudem ist mittels des Öffnungswinkels bestimmbar, wie weit das Rotationsmittel aus der Oberflächenebene aus der Vertiefung heraus tritt. Der Öffnungswinkel wird derart gewählt, dass eine Störung der laminaren Grenzschicht möglichst vermieden wird. Vorzugsweise ist der Öffnungswinkel bei größeren Reynoldszahlen kleiner als bei kleineren Reynoldszahlen.

[0019] Demnach ist der Öffnungswinkel bei kleineren Reynoldszahlen größer als bei größeren Reynoldszahlen. Insbesondere ist die Längsachse der jeweiligen Vertiefung die Rotationsachse des Rotationsmittels.

[0020] Vorzugsweise dient als Rotationsmittel das Fluid. Hierdurch lässt sich eine Reduzierung des Strömungswiderstandes besonders einfach realisieren. Das in den Vertiefungen sich befindende Fluid wird mittels dem über die Vertiefung entlang der Oberflächenebene strömenden Fluid in eine Rotationsbewegung, insbesondere um eine Längsachse der Vertiefung, versetzt. Das rotierende Fluid bildet einen rotierenden Fluidzylinder. Alternativ zum Fluid als Rotationsmittel dient ein, insbesondere im Vergleich zum Fluid, niederviskoses Strömungsmedium als Rotationsmittel. Hierdurch werden Energieverluste

te aufgrund von Reibungsverlusten zwischen dem Rotationsmittel und der Innenwand der Vertiefung reduziert. Dadurch ist in dem der Oberflächenebene zugeordneten Kontaktbereich eine geringere Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Rotationsmittel und dem darüber strömenden Fluid realisierbar. Somit wird der Strömungswiderstand der Fläche weiter reduziert. Das niederviskose Strömungsmedium kann mittels einer Einleiteinrichtung, insbesondere kontinuierlich, in die Vertiefungen eingeleitet werden. Als niederviskoses Strömungsmedium kann im Falle von Luft als Fluid beispielsweise Helium eingesetzt werden.

[0021] Des Weiteren kann eine Einrichtung zum Kühlen und/oder Erwärmen der Vertiefungen vorgesehen sein. Hierdurch ist die Reibung zwischen dem Rotationsmittel und der Innenwand einer Vertiefung weiter reduzierbar. Die Reibung und die damit einhergehenden Energieverluste sind beispielsweise von der Viskosität eines fluiden Rotationsmittels abhängig. Die Viskosität ist wiederum von der Temperatur abhängig. Somit wird die Reibung zwischen dem Rotationsmittel und der Innenwand einer Vertiefung mittels Kühlen mit der Einrichtung reduziert. Die Differenzgeschwindigkeit im Kontaktbereich zwischen dem Rotationsmittel und dem darüber strömenden Fluid wird weiter reduziert, was zu einem weiter verminderten Strömungswiderstand für die Fläche führt.

[0022] Entsprechend einer weiteren Ausführungsform weist jeweils eine Innenwand der Vertiefungen mindestens eine weitere Vertiefung auf. Mittels einer solchen weiteren Vertiefung sind die Reibungsverluste zwischen dem Rotationsmittel und der Innenwand der jeweiligen Vertiefung reduzierbar. Hierdurch sinkt im Kontaktbereich die Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Rotationsmittel und dem darüber entlang der Oberflächenebene strömenden Fluid, wodurch der Strömungswiderstand der Fläche weiter reduziert wird. Mindestens zwei Vertiefungen können mittels mindestens einer weiteren Vertiefung miteinander verbunden sein. Hierdurch sind die Reibungsverluste noch weiter reduzierbar. Vorzugsweise ist die weitere Vertiefung entsprechend der vorangegangenen Beschreibung für die Vertiefungen in der Fläche ausgebildet.

[0023] Nach einer Weiterbildung sind die Vertiefungen und/oder die weiteren Vertiefungen in einer selbstähnlichen Anordnung, insbesondere in einer fraktalen Anordnung, angeordnet und unter einander verbunden. Auch hierdurch werden die Reibungsverluste innerhalb der Vertiefungen reduziert, was zu einer verminderten Differenzgeschwindigkeit zwischen dem Rotationsmittel und dem darüber strömenden Fluid und somit zu einem reduzierten Strömungswiderstand der Fläche führt. Die selbstähnlichen oder fraktalen Anordnungen können mittels Nanotechno-

logie in die Fläche und/oder in die Innwände der Vertiefungen eingebracht werden.

[0024] Vorteilhafterweise wird die erfindungsgemäße Fläche als eine Verkleidungsfläche für ein Fortbewegungsmittel und/oder als eine Beschichtung für eine Vorrichtung, insbesondere im Bereich der Medizintechnik, des Fluggerätebaus, des Windenergieanlagenbaus und/oder des Triebwerkbaus verwendet. Hierbei wird eine Energieeinsparung durch die Minimierung von Strömungsverlusten, beispielsweise bei Flugzeugen, Schiffen und/oder Kraftfahrzeugen, ermöglicht. Die Energieeinsparung und damit eine Effizienzsteigerung wird durch die Reduktion des Strömungswiderstandes bei der Bewegung durch ein Fluid, wie beispielsweise Wasser und/oder Luft, erreicht. Zudem kann eine Energieeinsparung durch eine optimierte Strömung in Triebwerken, wie beispielsweise Turbinen und/oder Kolbenmotoren, erreicht werden. In der Medizintechnik, insbesondere bei einer Verwendung in künstlichen Herzen und/oder künstlichen Gefäßen, werden turbulente Anteile in einer Blutströmung vermindert. Hierdurch wird die Gefahr einer Beschädigung von Blutplättchen reduziert, wodurch die damit verbundene Gerinnungsneigung vermindert wird.

[0025] Nachfolgend wird die Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen:

[0026] Fig. 1 einen Ausschnitt aus einer ersten Fläche mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht,

[0027] Fig. 2 einen Ausschnitt aus einer zweiten Fläche mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht,

[0028] Fig. 3 einen Ausschnitt aus einer dritten Fläche mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht,

[0029] Fig. 4 einen Ausschnitt aus einer weiteren Fläche mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht,

[0030] Fig. 5 ein Flussdiagramm für ein Verfahren mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Ansicht, und

[0031] Fig. 6 einen Ausschnitt aus einem Flügelprofil mit einer laminaren Grenzschicht nach dem Stand der Technik in einer schematischen Seitenansicht.

[0032] Fig. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer ersten Fläche 10 mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht. Die Fläche 10 hat eine Oberflächenebene 11, in die eine Vertiefung 12 eingebracht ist. In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel ist die Vertiefung 12 als ein Kanal 12 mit einem

rechteckigen Querschnitt ausgebildet. Die Fläche 10 wird von einem Fluid 13 angeströmt. Das Fluid 13 weist eine laminare hydrodynamische Grenzschicht 14 auf, die hier schematisch als aus drei übereinander liegenden Lagen dargestellt ist. Die Strömungsrichtung des Fluids 13 bzw. der Grenzschicht 14 ist durch den Pfeil 15 angegeben.

[0033] In der Vertiefung 12 ist ein Rotationsmittel 16 angeordnet. Die Richtung der Rotationsbewegung des Rotationsmittels 16 ist durch die Pfeile 17, 18 angegeben. Das Rotationsmittel 16 ist innerhalb der Vertiefung 12 und zwischen zwei einander zugeordneten Flächenkanten 19, 20 der Vertiefung 12 positioniert. Die Flächenkanten 19, 20 befinden sich in der Oberflächenebene 11. Weiter weist die Fläche 10 starre Oberflächenanteile 21, 22 auf.

[0034] Im Kontaktbereich 23 berühren sich das Rotationsmittel 16 und das entlang der Oberflächenebene 11 strömende Fluid 13. Durch den Pfeil 17 für die Rotationsbewegung des Rotationsmittels 16 und den Pfeil 15 für das strömende Fluid 13 bzw. die laminar strömende Grenzschicht 14 wird deutlich, dass die Rotationsbewegung in dem der Oberflächenebene 11 zugeordneten Kontaktbereich 23 eine Bewegungskomponente in Strömungsrichtung des Fluids 13 hat.

[0035] In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel tritt das Rotationsmittel 16 im Kontaktbereich 23 nicht über die Oberflächenebene 11 aus der Vertiefung 12 heraus. In einer alternativ denkbaren Ausführungsform kann das Rotationsmittel 16 in dem der Oberflächenebene 11 zugeordneten Kontaktbereich 23 über die Oberflächenebene 11 aus der Vertiefung 12 heraus treten.

[0036] Fig. 2 ist ein Ausschnitt aus einer zweiten Fläche 24 mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht zu entnehmen. Die Fläche 24 weist eine Oberflächenebene 25 mit Vertiefungen 26, 27, 28 auf. In dem hier gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Vertiefungen 26, 27, 28 als Kanäle 26, 27, 28 mit jeweils einem kreissegmentförmigen Querschnitt ausgebildet. In den Kanälen 26, 27, 28 ist jeweils ein Rotationsmittel 29 angeordnet, wobei hier zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit nur ein Rotationsmittel 29 mit Bezugszeichen versehen ist.

[0037] Die Rotationsmittel 29 rotieren gemäß Pfeil 30 jeweils um eine Längsachse der Kanäle 26, 27, 28. Die Rotationsmittel 29 haben einen zylinderartigen Querschnitt mit einer Außenumfangsfläche 31 ist. Die Außenumfangsfläche 31 berührt in einem Kontaktbereich 32 eine laminare Grenzschicht 33 eines entlang der Oberfläche 25 strömenden Fluids 34. Hierbei ist die Grenzschicht 33 schematisch durch drei übereinander angeordnete Lagen dargestellt. Die Strö-

mungsrichtung des Fluids **34** bzw. der Grenzschicht **33** ist durch den Pfeil **35** angegeben.

[0038] Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus einer dritten Fläche **36** mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht. Die Fläche **36** hat eine Oberflächenebene **37** mit Vertiefungen **38, 39**, die hier als Kanäle **38, 39** mit einem kreissegmentförmigen Querschnitt ausgebildet sind. Innerhalb der Kanäle **38, 39** ist ein hier nicht näher dargestelltes Rotationsmittel angeordnet, dass gemäß der Pfeile **40, 41** um eine Längsachse der Kanäle **38, 39** rotiert. In einem Kontaktbereich **42, 43** berührt das Rotationsmittel eine laminare Grenzschicht **44** eines Fluids **45**, das gemäß Pfeil **46** entlang der Oberfläche **37** strömt. Die Grenzschicht **44** ist schematisch durch drei über einander angeordnete Lagen dargestellt.

[0039] Zwischen den Kanälen **38, 39** sind weitere Vertiefungen **47** angeordnet. Die weiteren Vertiefungen **47** sind ebenfalls als Kanäle **47** mit einem kreissegmentförmigen Querschnitt ausgebildet, wobei der Durchmesser der weiteren Kanäle **47** kleiner ist als der Durchmesser der Kanäle **38, 39**. Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit sind die Querschnitte der weiteren Kanäle **47** als vollständige Kreise ohne die offenen Bereiche dargestellt. Die weiteren Kanäle **47** sind teilweise in die Oberflächenebene **37** der Fläche **36** und teilweise in eine Innenwand **48, 49** der Kanäle **38, 39** eingebracht. Mittels der weiteren Kanäle **47** sind die Kanäle **38, 39** mit einander verbunden. Hierbei weisen die weiteren Kanäle **47** eine fraktal-ähnliche Anordnung auf. Innerhalb der weiteren Kanäle **47** rotieren hier nicht näher dargestellte Rotationsmittel. Zur Fixierung der weiteren Kanäle **47** sind in der Oberflächenebene **37** der Fläche **36** und/oder zwischen einzelnen Kanälen **38, 39, 47** hier nicht näher dargestellte Verstrebungsstrukturen vorhanden.

[0040] Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus einer weiteren Fläche **50** mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Seitenansicht, die eine Oberflächenebene **51** mit einer Vertiefung **52** aufweist. Auch hier ist die Vertiefung **52** als ein Kanal **52** mit einem kreissegmentförmigen Querschnitt ausgebildet, in dem ein hier nicht näher dargestelltes Rotationsmittel rotiert. Auf der Oberflächenebene **51** strömt eine laminare Grenzschicht **53** eines Fluids **54** in Richtung des Pfeils **55**. Die Grenzschicht **53** ist hier ebenfalls schematisch durch drei über einander angeordnete Lagen dargestellt.

[0041] Einer Innenwand **56** des Kanals **52** sind weitere Vertiefungen **57** zugeordnet, wobei zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit nur eine der weiteren Vertiefungen **57** mit einem Bezugszeichen versehen ist. Die weiteren Vertiefungen **57** sind nach einem fraktalen Anordnungsschema mit einer hohen Selbstähnlichkeit angeordnet. Die weiteren Vertiefungen **57** sind ebenfalls als Kanäle **57** mit einem kreis-

segmentförmigen Querschnitt ausgebildet, in denen ein nicht näher dargestelltes Rotationsmittel gemäß der jeweiligen Pfeile rotiert.

[0042] Fig. 5 ist ein Flussdiagramm für ein Verfahren mit den Merkmalen der Erfindung in einer schematischen Ansicht zu entnehmen. Nach einem Start des Verfahren zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes einer Fläche **10, 24, 36, 50** in einem Fluid **13, 34, 45, 54** gemäß Schritt S10, werden Vertiefungen **12, 26, 27, 28, 38, 39, 52** gemäß Schritt S11 in die Fläche **10, 24, 36, 50** eingebracht. Hiernach wird gemäß Schritt S12 den Vertiefungen **12, 26, 27, 28, 38, 39, 52** ein Rotationsmittel **16, 29** zugeordnet. Sodann wird das Rotationsmittel **16, 29** entsprechend Schritt S13 derart in Bewegung versetzt, dass das Rotationsmittel **16, 19** in einem der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** zugeordneten Kontaktbereich **23, 32, 42, 43** mindestens teilweise in Strömungsrichtung des Fluids **13, 34, 45, 54** bewegt wird. Schließlich wird das Verfahren gemäß Schritt S14 beendet.

[0043] Fig. 6 zeigt einen Ausschnitt aus einem Flügelprofil **58** mit einer laminaren Grenzschicht **61** nach dem Stand der Technik in einer schematischen Seitenansicht. Das Flügelprofil **58** hat eine Oberfläche **59** und eine Vorderkante **60**. Die Vorderkante **60** wird von einem Fluid **62** gemäß Pfeil **63** angeströmt. Hierbei bildet sich die laminare Grenzschicht **61**, deren Dicke in Richtung der Strömung des Fluids **62** gemäß Pfeil **63** immer mehr zunimmt. Die Zunahme der Dicke der Grenzschicht **61** ist hier schematisch mittels einer in Strömungsrichtung des Fluids **62** zunehmenden Anzahl von Lagen dargestellt. Weiter ist ein schematisches Geschwindigkeitsprofil **68** für die maximal vier übereinander angeordneten Lagen der Grenzschicht **61** gezeigt, wobei die Länge einer Linie des Geschwindigkeitsprofils **68** einen Betrag der Geschwindigkeit repräsentiert. Demnach ist die Geschwindigkeit in einer Grenzschicht **61** mit vier Lagen in der untersten Lage am geringsten und nimmt mit zunehmendem Abstand zur Oberfläche **59** immer weiter zu, bis die Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Fluids **62** außerhalb der Grenzschicht **61** erreicht ist.

[0044] Nachfolgend wird die Funktionsweise der Erfindung anhand der Fig. 1 bis Fig. 6 näher erläutert: Trifft eine laminare Grenzschicht **14, 33, 44, 53, 61** auf eine Fläche **10, 24, 36, 50, 59** so wird die Dicke der Grenzschicht **14, 33, 44, 53, 61** in Strömungsrichtung des Fluids **13, 34, 45, 54, 62** anwachsen. Zugunsten einer besseren Anschauung wird beispielhaft für die Grenzschichten **14, 33, 44, 53** die Grenzschicht **61** mit den übereinander liegenden Lagen betrachtet.

[0045] Beim erstmaligen Vorbeiströmen des Fluids **62** beispielsweise an der Vorderkante **60** des Flügelprofils **58** besteht nur zwischen der ersten untersten

Lage und der Oberfläche **59** eine Differenzgeschwindigkeit. Somit erfährt zunächst nur die erste Lage eine negative Beschleunigung. Die Grenzschicht **61** ist zunächst noch sehr dünn und der Geschwindigkeitsgradient ist sehr hoch. Weiter stromabwärts wächst mit der fortdauernden Verringerung der Geschwindigkeit der ersten Lage auch die Differenzgeschwindigkeit zwischen der ersten Lage und einer zweiten Lage, die über der ersten Lage und von der Oberfläche **59** abgewandt angeordnet ist. Dies führt zu einer negativen Beschleunigung der zweiten Lage und einem Anwachsen der Dicke der Grenzschicht **61**. Der Geschwindigkeitsgradient zwischen der ersten Lage und der Oberfläche **59** nimmt in Strömungsrichtung des Fluids **62** ab. Dies setzt sich in entsprechender Weise auch für weitere über der zweiten Lage angeordnete Lagen fort, wodurch die Dicke der Grenzschicht **61** immer weiter anwächst.

[0046] Zwar wird die Differenzgeschwindigkeit zwischen der ersten Lage und der Oberfläche **59** stromabwärts immer geringer. Jedoch wird die zunächst laminare Grenzschicht **61** ab einer bestimmten Dicke instabil und turbulent. Hierbei treten auch außerhalb der Grenzschicht **61** turbulente Strömungen auf. Diese führen zu hohen viskosen Reibungswerten und damit zu einem hohen Strömungswiderstand für das Flügelprofil **58**.

[0047] Soll nun der Strömungswiderstand reduziert werden, werden in die Fläche **10, 24, 36, 50** Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** mit einem kreissegmentförmigen Querschnitt mittels einer Präparationseinrichtung eingebracht. Hierbei werden die Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** derart in die Fläche **10, 24, 36, 50** eingebracht, dass die Längsachsen der Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** parallel zur Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** und rechtwinklig zur Strömungsrichtung des Fluids **13, 34, 45, 54** angeordnet sind. Alternativ kann auf die Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** der Fläche **10, 24, 36, 50** auch eine Folie mit den Kanälen **12, 26, 27, 38, 39, 52** aufgebracht werden.

[0048] Der Durchmesser der Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** entspricht der Größenordnung der erwarteten Dicke der Grenzschicht **14, 33, 44, 53** am Ort des jeweiligen Kanals **12, 26, 27, 38, 39, 52**. Hierdurch wird in Übereinstimmung mit der Prandtl'schen Grenzschichttheorie eine negative Beeinflussung der gesamten Strömung, insbesondere auch der Strömung außerhalb der Grenzschicht **14, 33, 44, 53**, vermieden.

[0049] Strömt nun das Fluid **13, 34, 45, 54** und dessen Grenzschicht **14, 33, 44, 53** über die Fläche **10, 24, 36, 50** wird das Fluid **13, 34, 45, 54** in den Kanälen **12, 26, 27, 38, 39, 52** als ein Rotationsmittel **16, 29** verwendet und in eine Rotationsbewegung versetzt. Demnach dient das entlang der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** strömende Fluid **13, 34, 45, 54** als ein

Antrieb für das Rotationsmittel **16, 29**. Die Antriebskraft für diese aufgrund der niedrigen Reynoldszahlen in den Kanälen **12, 26, 27, 38, 39, 52** laminaren Rotationsströmung ergibt sich aufgrund eines viskosen Reibungsflusses der über die Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** hinweg strömenden Grenzschicht **14, 33, 44, 53**. In den Kanälen **12, 26, 27, 38, 39, 52** entsteht ein um die Längsachse des jeweiligen Kanals **12, 26, 27, 38, 39, 52** rotierender Fluidzylinder mit einer Außenumfangsfläche **31**.

[0050] In dem der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** zugeordneten Kontaktbereich **23, 32, 42, 43** ist zwischen der Außenumfangsfläche **31** des rotierenden Rotationsmittels **16, 29** und dem entlang der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** strömenden Fluid **13, 34, 45, 54** bzw. der Grenzschicht **14, 33, 44, 53** der Geschwindigkeitsgradient verglichen mit dem Geschwindigkeitsgradienten der Grenzschicht **14, 33, 44, 53** entlang einer starren Oberfläche **21, 22** deutlich vermindert. Demnach ist die Differenzgeschwindigkeit zwischen dem entlang der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** strömenden Fluid **13, 34, 45, 54** und dem Rotationsmittel **16, 29** vermindert. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen dem Geschwindigkeitsgradienten in der Grenzschicht **14, 33, 44, 53** und der viskosen Reibungskraft, wirkt im Kontaktbereich **23, 32, 42, 43** eine auf die Grenzschicht **14, 33, 44, 53** verminderte Kraft als im Bereich von starren Oberflächenanteilen **21, 22** ohne die Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52**.

[0051] Somit erfährt die Grenzschicht **14, 33, 44, 53** entlang der Oberflächenebene **11, 25, 37, 51** in Strömungsrichtung des Fluids **13, 34, 45, 54** eine weniger bremsende Kraft. Dies führt zu einer Reduktion des gesamten Strömungswiderstandes für die Fläche **10, 24, 36, 50**. Zudem bewirkt die verminderte Bremskraft eine geringere Zunahme der Dicke der Grenzschicht **14, 33, 44, 53** in Strömungsrichtung. Hierdurch ist die Grenzschicht **14, 33, 44, 53** in Strömungsrichtung länger laminar und der Strömungswiderstand wird weiter reduziert.

[0052] Zwischen der Innenwand der Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** und dem Rotationsmittel **16, 29** findet aufgrund viskoser Reibung ebenfalls ein Energieverlust statt. Dieser Energieverlust lässt sich durch die weiteren Vertiefungen **47, 57** in der Innenwand **48, 49, 56** der Kanäle **38, 39, 52** reduzieren. Hierdurch wird der gesamte Strömungswiderstand der Fläche **10, 24, 36, 50** weiter vermindert. Alternativ oder zusätzlich kann das Rotationsmittel **16, 29** in den Kanälen **12, 26, 27, 38, 39, 52** mittels einer geeigneten Einrichtung gekühlt werden und/oder es kann ein niederviskoses Strömungsmedium als Rotationsmittel **16, 29** mittels einer Einleiteinrichtung in die Kanäle **12, 26, 27, 38, 39, 52** eingebracht werden. Hierdurch wird der gesamte Strömungswiderstand weiter reduziert.

[0053] Aufgrund der erfindungsgemäßen Fläche **10**, **24**, **36**, **50** bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß der Schritte S10 bis S14 ergibt sich ein reduzierter Strömungswiderstand, wodurch die Energieverluste bei einer von einem Fluid **13**, **34**, **45**, **54** angeströmten Fläche **10**, **24**, **36**, **50** vermindert werden.

61 Grenzschicht
62 Fluid
63 Pfeil
64 Geschwindigkeitsprofil

Bezugszeichenliste

10 Fläche
11 Oberflächenebene
12 Vertiefung
13 Fluid
14 Grenzschicht
15 Pfeil
16 Rotationsmittel
17 Pfeil
18 Pfeil
19 Flächenkante
20 Flächenkante
21 Starrer Oberflächenanteil
22 Starrer Oberflächenanteil
23 Kontaktbereich
24 Gegenstand
25 Oberfläche
26 Vertiefung
27 Vertiefung
28 Vertiefung
29 Rotationsmittel
30 Pfeil
31 Außenumfangsfläche
32 Kontaktbereich
33 Grenzschicht
34 Fluid
35 Pfeil
36 Fläche
37 Oberflächenebene
38 Vertiefung
39 Vertiefung
40 Pfeil
41 Pfeil
42 Kontaktbereich
43 Kontaktbereich
44 Grenzschicht
45 Fluid
46 Pfeil
47 Weitere Vertiefungen
48 Innenwand
49 Innenwand
50 Fläche
51 Oberflächenebene
52 Vertiefung
53 Grenzschicht
54 Fluid
55 Pfeil
56 Innenwand
57 weitere Vertiefungen
58 Flügelprofil
59 Oberfläche
60 Vorderkante

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 19840303 A1 [0002]
- EP 1469198 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Fläche zum Anordnen in einem strömenden Fluid (13, 34, 45, 54) mit einer Oberflächenebene (11, 25, 37, 51), und mit Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes, **dadurch gekennzeichnet**, dass die jeweilige Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewegung eines rotierbaren Rotationsmittels (16, 29) in der Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) ausgebildet ist, und dass die Rotationsbewegung in einem der Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) zugeordneten Kontaktbereich (23, 32, 42, 43) eine in Strömungsrichtung des Fluids (13, 34, 45, 54) gerichtete Bewegungskomponente hat.

2. Fläche nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Kontaktbereich in einer Ebene mit der Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) angeordnet ist.

3. Fläche nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) als ein Kanal ausgebildet ist, wobei vorzugsweise ein Querschnitt des Kanals zum Ausbilden der Rotationsbewegung des Rotationsmittels (16, 29) um eine Längsachse des Kanals, insbesondere mittels eines Antriebes, ausgebildet ist.

4. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Querschnitte der Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52), insbesondere zum Erzeugen einer laminaren Rotationsströmung um die Längsachse der jeweiligen Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52), eine kreissegmentförmige Kontur haben.

5. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Durchmesser der Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) in der Größenordnung der Dicke einer hydrodynamischen Grenzschicht (14, 33, 44, 53) liegen, insbesondere entsprechen die Durchmesser der Dicke der Grenzschicht (14, 33, 44, 53) am Ort der jeweiligen Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52), vorzugsweise liegen die Durchmesser im Bereich von 1 mm bis 20 mm, besonders bevorzugt im Bereich von 10 mm bis 20 mm, und am meisten bevorzugt in einem Bereich von 1 mm bis 2 mm.

6. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Breite eines Vertiefungsspalt für jeweils eine Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) durch zwei einander zugewandte Flächenkanten (19, 20), insbesondere in der Oberflächenebene (11, 25, 37, 51), bestimmt ist und der Durchmesser der jeweiligen Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) größer ist als die Breite des zugehörigen Vertiefungsspalt.

7. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine sich durch die Rotationsbewegung des jeweiligen Rotationsmittels (16, 29) ergebende Rotationsachse parallel zur Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) angeordnet ist, und vorzugsweise die Rotationsachse rechtwinklig zur Strömungsrichtung des Fluids (13, 34, 45, 54) ausgerichtet ist.

8. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sich in den Querschnitten der Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) ausgehend von einer Längsachse der jeweiligen Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) und zwischen den beiden einander zugewandten und der Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) zugeordneten Flächenkanten (19, 20), ein Öffnungswinkel von weniger als 90°, insbesondere von weniger als 60°, besonders bevorzugt von weniger als 30°, und am meisten bevorzugt zwischen 25° und 30°, ergibt.

9. Fläche nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Rotationsmittel (16, 29) das Fluid (13, 34, 45, 54) oder ein, insbesondere im Vergleich zum Fluid (13, 34, 45, 54), niederviskoses Strömungsmedium, vorzugsweise Helium, dient.

10. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung zum Kühlen und/oder Erwärmen der Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) vorgesehen ist.

11. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils eine Innenwand (48, 56) der Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) mindestens eine weitere Vertiefung (47, 57) aufweist und/oder mindestens zwei Vertiefungen (38, 39) mittels mindestens einer weiteren Vertiefung (47, 57) miteinander verbunden sind, wobei vorzugsweise die weitere Vertiefung (47, 57) als eine Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) gemäß einer der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet ist.

12. Fläche nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) und/oder die weiteren Vertiefungen (47, 57) in einer selbstähnlichen Anordnung, insbesondere in einer fraktalen Anordnung, angeordnet und unter einander verbunden sind.

13. Verfahren zum Reduzieren eines Strömungswiderstandes einer Fläche mit einer Oberflächenebene (11, 25, 37, 51) bei dem Vertiefungen (12, 26, 27, 38, 39, 52) in die Fläche eingebracht werden, dadurch gekennzeichnet, dass jeweils einer Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) ein rotierbares Rotationsmittel (16, 29) zum Ausbilden einer stabilen Rotationsbewegung in der Vertiefung (12, 26, 27, 38, 39, 52) zugeordnet wird, und dass das Rotationsmittel (16, 29) in die Rotationsbewegung versetzt wird, wobei das Ro-

tationsmittel (**16, 29**) in einem der Oberflächenebene (**11, 25, 37, 51**) zugeordneten Kontaktbereich (**23, 32, 42, 43**) mindestens teilweise in Strömungsrichtung des Fluids (**13, 34, 45, 54**) bewegt wird.

14. Verwendung einer Fläche nach einem der Ansprüche 1 bis 12 als eine Verkleidungsfläche für ein Fortbewegungsmittel und/oder als eine Beschichtung für eine Vorrichtung, insbesondere im Bereich der Medizintechnik, des Fluggerätebaus, des Windenergieanlagenbaus und/oder des Triebwerkbaus.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

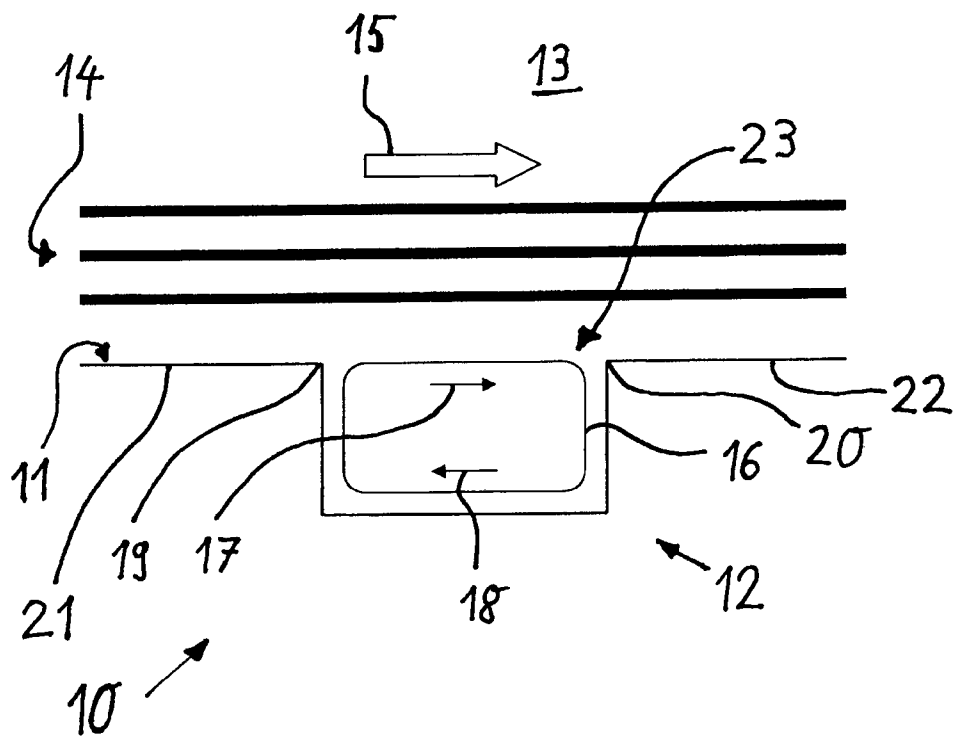


Fig. 1

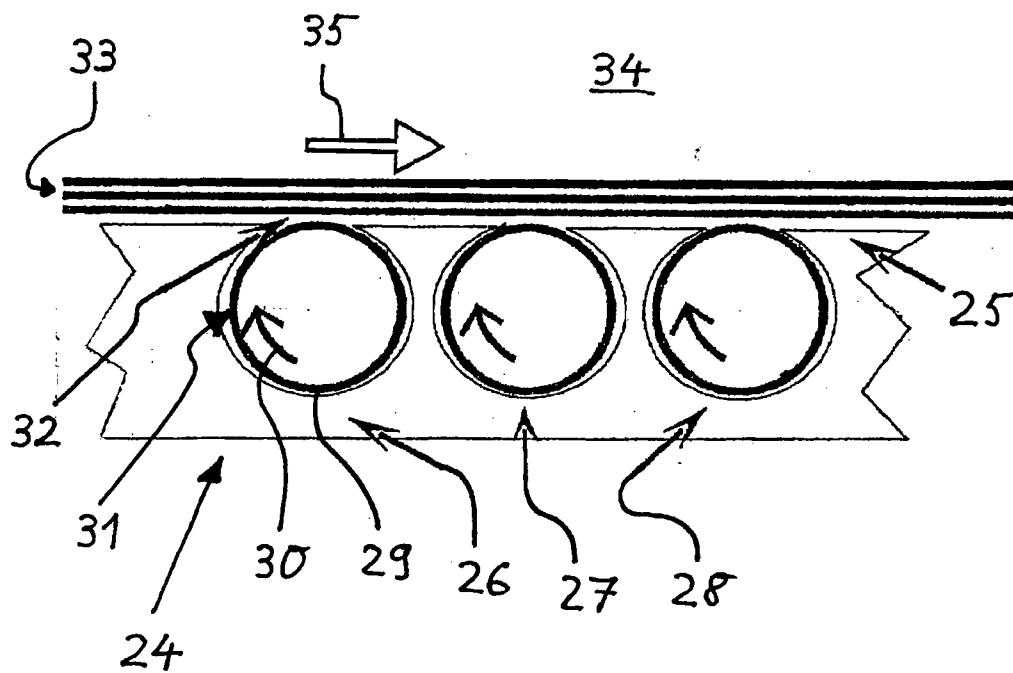


Fig. 2

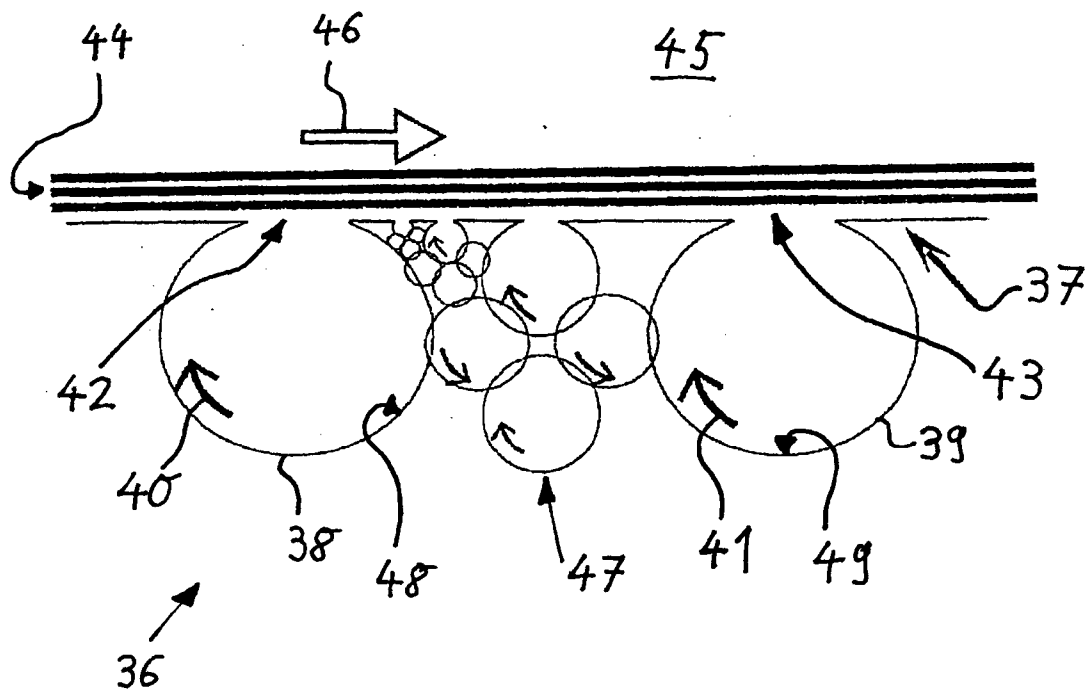


Fig. 3

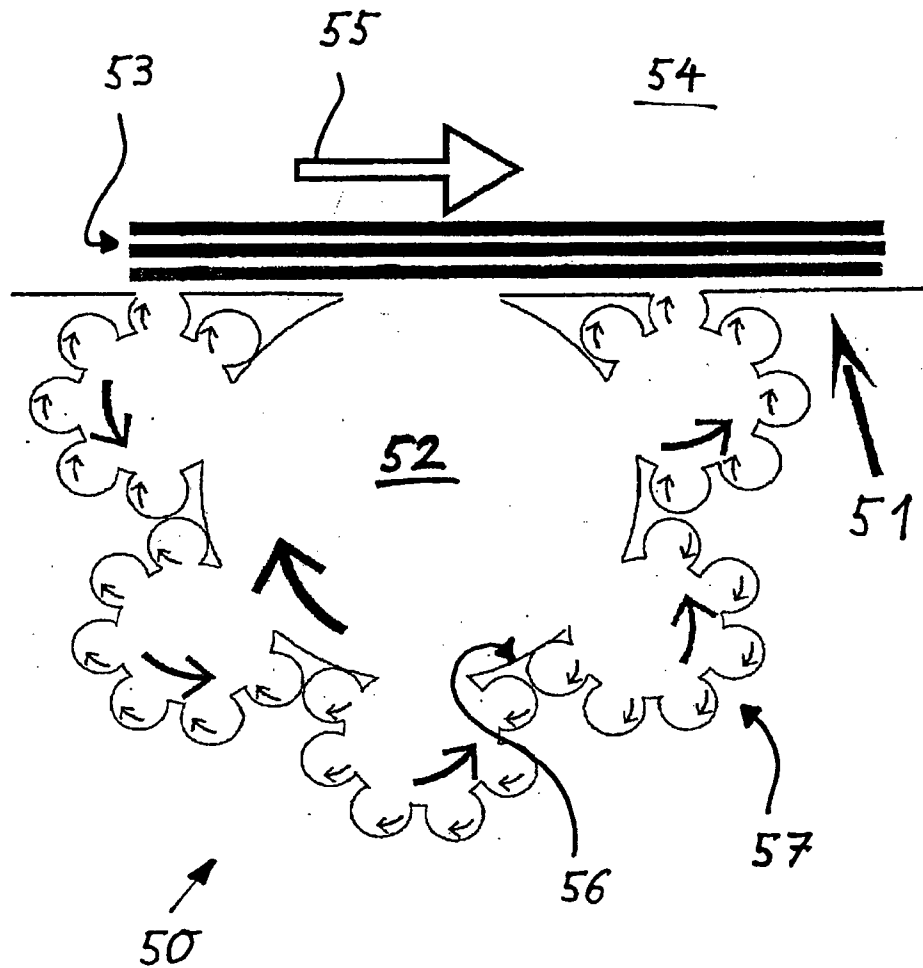


Fig. 4

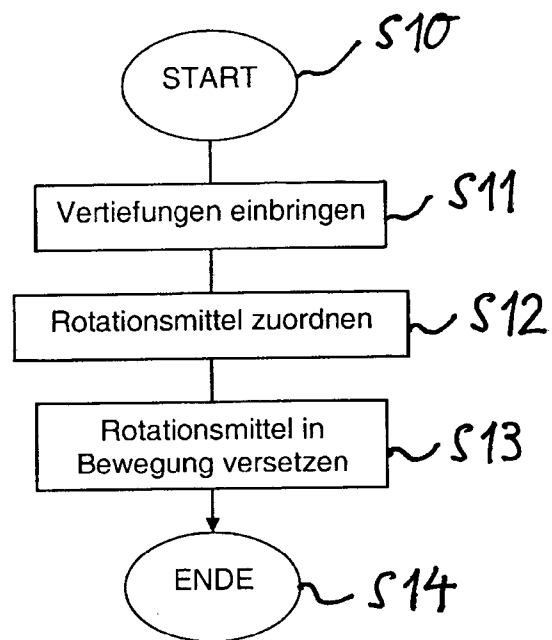


Fig. 5

Stand der Technik

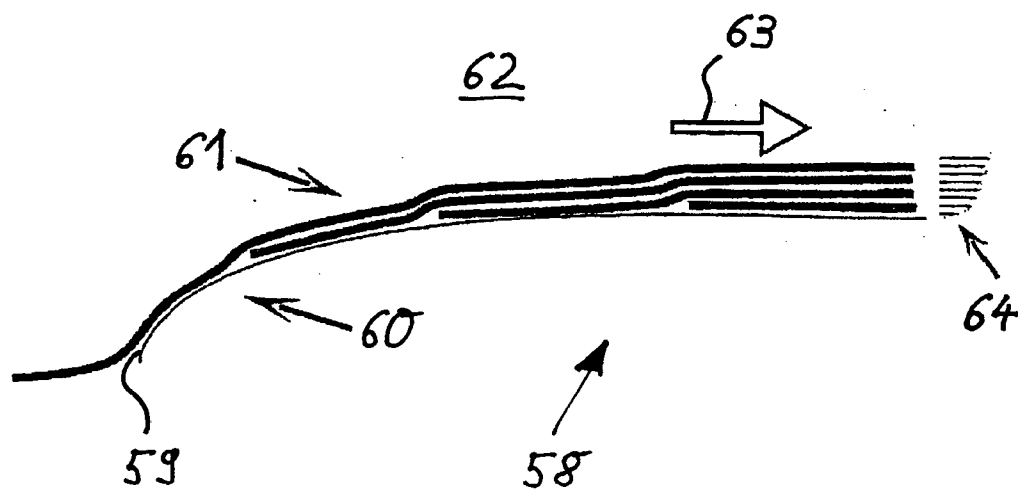


Fig. 6