

(19)



(11)

EP 2 705 903 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
12.03.2014 Patentblatt 2014/11

(51) Int Cl.:
B04B 5/04 (2006.01) **B04B 7/02 (2006.01)**
B04B 7/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **12006283.1**

(22) Anmeldetag: **06.09.2012**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(74) Vertreter: **Ricker, Mathias et al**
Wallinger Ricker Schlotter Tostmann
Patent- und Rechtsanwälte
Zweibrückenstrasse 5-7
80331 München (DE)

(71) Anmelder: **Eppendorf AG**
22339 Hamburg (DE)

Bemerkungen:
Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

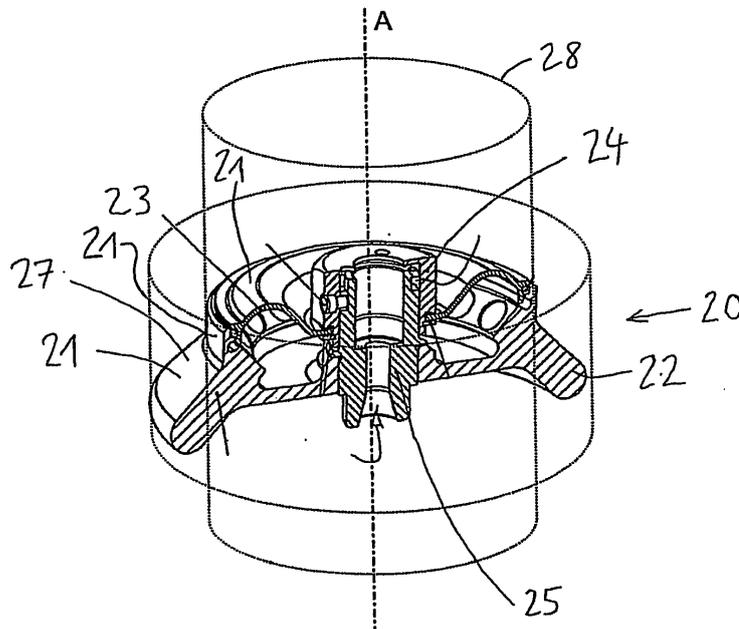
(72) Erfinder: **Lurz, Werner, Dr.**
24568 Kaltenkirchen (DE)

(54) Rotoreinrichtung, Zentrifugenkessel und Zentrifuge, und deren Herstellungsverfahren

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Rotoreinrichtung einer Zentrifuge, insbesondere Laborzentrifuge, ausgebildet zur Rotation um eine Rotationsachse A in einem Fluid, aufweisend einen Innenbereich zur Aufnahme einer zu zentrifugierenden Probe, eine Außenwand mit einer Außenfläche, die bei Rotation der Rotoreinrichtung von dem Fluid umströmt wird, wobei zumindest ein

Flächenabschnitt der Außenfläche eine Mikrorillenstruktur aufweist, deren Rillen in einem Abstand d benachbarter Rillen mit insbesondere $d < 2$ mm verlaufen. Die Erfindung bezieht sich auch auf einen Zentrifugenkessel zur Aufnahme einer Rotoreinrichtung, mit Mikrorillenstruktur, und ein Verfahren zur Herstellung der Rotoreinrichtung und des Zentrifugenkessels.

Fig. 2



EP 2 705 903 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Rotoreinrichtung, einen die Rotoreinrichtung aufnehmenden Zentrifugenkessel und eine Zentrifuge, welche diese Rotoreinrichtung und/oder den Zentrifugenkessel aufweist, sowie das Herstellungsverfahren dieser Teile.

[0002] Zentrifugen werden insbesondere als Laborzentrifugen dazu benutzt, um Proben mit Bestandteilen unterschiedlicher Dichte aufzutrennen, z.B. um in Fluiden enthaltene Teilchen vom Fluid zu trennen oder um Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte voneinander zu trennen. Man nutzt dabei die Massenträgheit der Teilchen aus, die im Vergleich zu dem sie umgebenden Fluid eine größere Dichte (Masse pro Volumen) aufweisen. Durch die Rotation der Probe um eine Rotationsachse der Zentrifuge wird eine Zentrifugalkraft erzeugt, durch die die dichteren Bestandteile innerhalb der Probe radial, d.h. senkrecht zur Rotationsachse nach außen getrieben werden. In biochemischen und biomedizinischen Laboratorien werden auf diese Weise insbesondere Makromoleküle, lebende Zellen oder Zellfragmente von Flüssigkeiten getrennt, oder Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte voneinander getrennt. Die Probe kann zum Beispiel eine Lösung von DNA in wässriger Lösung sein. Zur Durchführung einer Zentrifugation wird der Probenbehälter mit der Probe im inneren des Zentrifugenrotors vorgesehenen Bereich zur Aufnahme der zu zentrifugierenden Probe platziert. Dann wird die Probe je nach Erfordernis mit zum Beispiel bis zu 14000 Umdrehungen pro Minute rotiert. Bei solchen Umdrehungszahlen lässt sich zum Beispiel bei einer Probe bestehend aus einer wässrigen DNA-Lösung die DNA von der wässrigen Phase abtrennen. Zentrifugieren mit bis zu 500000 Umdrehungen pro Minute wird als Ultrazentrifugation bezeichnet. Damit lassen sich z.B. Lipoproteine aus einer wässrigen Lösung isolieren.

[0003] Wegen dieser hohen Umdrehungszahlen müssen Zentrifugenrotoren aus einem Material gefertigt werden, das eine ausreichende Stabilität gegenüber den auftretenden Zentrifugalkräften bietet. Meist bestehen die Rotoren aus Aluminium, manchmal auch aus Kunststoff, und weisen eine der erforderlichen Festigkeit entsprechende hohe Masse auf. Aufgrund ihrer großen Oberfläche und der hohen Drehzahl erfahren die Rotoren eine hohe Luftreibung, die sich zum einen in einer unerwünscht hohen Erwärmung des Rotors und damit der rotierten Proben und zum anderen in einem erhöhten Leistungsverbrauch der Zentrifuge bemerkbar macht. Es ist deshalb wünschenswert, die durch Luftreibung bewirkte, auf eine vorbestimmte Umdrehungszahl bezogene Verlustleistung der Zentrifugen zu reduzieren.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Rotoreinrichtung für eine Zentrifuge, einen Zentrifugenkessel und eine Zentrifuge mit wenigstens einem dieser Teile und eine Verfahren zu deren Herstellung bereitzustellen, wobei sich bei Verwendung der Zentrifuge oder wenigstens eines der Teile eine geringere, auf eine vorbestimmte Umdrehungszahl bezogene Verlustleistung der Zentrifuge ergibt.

[0005] Die Erfindung löst diese Aufgabe insbesondere durch den Zentrifugenrotor gemäß Anspruch 1, den Zentrifugenkessel zur Aufnahme des Zentrifugenrotors nach Anspruch 13, und das Verfahren zur Herstellung zumindest eines dieser Bestandteile nach Anspruch 15. Bevorzugte Ausgestaltungen sind insbesondere Gegenstände der Unteransprüche.

[0006] Der Erfindung liegen Messungen und Computersimulationen zugrunde, in denen überraschend festgestellt wurde, dass bei großen Festwinkelrotoren eine Verlustleistung von mehr als 500 Watt nur durch Luftreibung produziert wird. Dabei stellte sich heraus, dass fast der gesamte Luftwiderstand durch Luftreibung am Rotor und an den Kesselwänden erzeugt wird. Es ist diese Luftreibung, durch die sich der Rotor bei hohen Umdrehungszahlen stark aufheizt und dann aufwändig über die Kesselwand gegengekühlt werden muss. Durch die Gegenkühlung wächst die Luftdichte im Kessel und damit wiederum die Luftreibung.

[0007] Erfindungsgemäß ist die der Fluidströmung ausgesetzte Kontaktfläche der Zentrifuge, insbesondere die Außenfläche der Rotoreinrichtung und/oder die Innenfläche des Zentrifugenkessels, zumindest abschnittsweise mit einer Mikrorillenstruktur versehen. Durch die Lokalisierung der turbulenten Strömungsanteile innerhalb der Rillen wird der Energieaustausch zwischen den turbulenten Strömungsbereichen und der freien Strömung in einem Abstand von der Außenfläche vermindert, so dass die Fluidreibung bzw. die Verlustleistung der Zentrifuge bis zu ca. 10% verringert werden kann. Die Optimierung der Mikrorillenstruktur kann, vorzugsweise in Abhängigkeit von den Erfordernissen des Einsatzzwecks und der Umdrehungszahlen der Zentrifuge, durch Einstellung verschiedener geometrischer Parameter erfolgen, was nachfolgend beschrieben wird. Die Anordnung von Rillenstrukturen an Oberflächen zur Reibungsreduktion sind nach Analysen der Haut von Haifischen in anderen Bereichen der Technik vorgeschlagen worden (Bechert, DW. et al.; Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry; J. Fluid Mech. 338 (1997), S. 59-87).

[0008] Als Rillenstruktur, insbesondere gleichbedeutend auch als Mikrorillenstruktur, wird im Rahmen dieser Erfindung eine Vielzahl vorzugsweise im wesentlichen parallel verlaufender Rillen der Außenfläche bezeichnet, die insbesondere in einem Abstand d benachbarter Rillen kleiner als 2 mm verlaufen. Dieser Abstand d kann konstant sein, er kann sich aber insbesondere auch entlang des Längsverlaufs benachbarter Rillen ändern, insbesondere kontinuierlich ändern. Zwei im wesentlichen parallel verlaufende Rillen sind benachbart, wenn zwischen ihnen keine dritte Rille verläuft oder wenn die beiden Rillen durch eine einzige Trennwand, bezeichnet als Rippe, getrennt sind. Die Seitenwände einer Rippe bilden also die Seitenwände benachbarter Rillen. Die Breite B einer Rippe kann insbesondere dem Abstand d entspre-

chen.

[0009] Als laminare Strömung und als turbulente Strömung werden in der Strömungsmechanik zwei grundsätzlich unterschiedliche Strömungsformen eines Fluids beschrieben. Die meisten Strömungen, die bei technischen Anwendungen auftreten, sind turbulent. Turbulente Strömungen weisen in der Regel höhere Reibungsverluste auf als laminare. Die erhöhte Reibung in der turbulenten Strömung entsteht durch Impulstransport quer zur Hauptströmungsrichtung in der Grenzschicht. Die Strömung unmittelbar an der überströmten Oberfläche wird durch Wirbelstrukturen dominiert, die energiereiches Fluid an die Wandoberfläche transportieren. Dieser - im Vergleich zur laminaren Strömung - zusätzliche Austausch von Impuls ist der Grund für die in der turbulenten Grenzschicht erhöhten Wandreibung. Die umströmte Oberfläche ist vorliegend insbesondere ein Abschnitt der Außenfläche einer Rotoreinheit oder der Innenfläche eines Zentrifugenkessels.

[0010] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so angepasst, dass ungefähr oder genau die lokale Reynoldszahl $Re^+ = 17$. Dabei ist

$$Re^+ = \frac{u_\tau \cdot s}{\nu}$$

[0011] Die einzelnen Formelzeichen stehen für folgende Größen:

ν - charakteristische kinematische Viskosität des Fluids ($m^2 s^{-1}$). Die kinematische Viskosität von Luft ist temperaturabhängig, und beträgt bei Raumtemperatur etwa $\nu = 15 m^2 s^{-1}$;

u_τ - charakteristische lokale Schubspannungsgeschwindigkeit des Fluids gegenüber dem Körper ($m s^{-1}$) wobei

$$u_\tau = \sqrt{\frac{T_w}{\rho}},$$

mit T_w der lokalen Wandschubspannung und ρ der Dichte des Fluids.

s - Rillenbreite.

[0012] Die relative Widerstandsreduktion RR ist definiert als $RR = (FR_1 - FR_2) / FR_2$, wobei FR_1 der Reibungswiderstand einer Oberfläche mit der Mikrorillenstruktur und FR_2 der Reibungswiderstand einer Oberfläche ohne die Mikrorillenstruktur ist. Der erzielte Wert für RR hängt von der Reynoldszahl Re^+ ab. RR als Funktion der Reynoldszahl hat ein Minimum bei etwa $Re^+ = 17$, d.h. die größte Widerstandsreduktion wird bei einer lokalen Reynoldszahl von 17 erreicht.

[0013] Eine Widerstandsreduktion ist insbesondere in solchen Abschnitten einer umströmten Oberfläche von Bedeutung, in der die größten Reibungsverluste auftreten.

[0014] Generell kann man die Wandschubspannung, d.h. die Reibungskraft, die eine Strömung eines normalviskosen Fluids (Newton'sches Fluid) auf eine Fläche ausübt, charakterisieren durch:

$$T_w = \mu \cdot \delta u / \delta y,$$

wobei die Wandschubspannung tangential zur Kontaktfläche wirkt. Dabei ist μ die dynamische Viskosität, u ist die Strömungsgeschwindigkeit mit Bezug auf die angeströmte Kontaktfläche, die mit zunehmendem Abstand von der Kontaktfläche in Richtung y senkrecht von der Kontaktfläche weg größer wird.

[0015] Oberhalb einer viskosen Unterschicht $y^+ = u_\tau \cdot y / \nu$ gilt die universelle turbulente Geschwindigkeitsverteilung:

$$u^+ = 1/k \cdot \ln y^+ + 5,$$

EP 2 705 903 A1

wobei $k = 0,41$ und $u^+ = U_0 / u_t$. Hierbei bedeuten U_0 die Geschwindigkeit der freien Anströmung und u_t die Schubspannungsgeschwindigkeit, die definiert ist als:

5

$$u_t = \sqrt{T_w / \rho}$$

10 wobei ρ die Dichte des Fluids ist, und $\nu = \mu / \rho$.

[0016] An der Oberseite eines eine Rille füllenden Wirbels mit dem Durchmesser $D_w = 2h = s$ gilt bei optimaler Widerstandsreduktion

15

$$y^+ = u_t * s / \nu = 17,$$

20 s und h , wie nachfolgend noch definiert.

[0017] Durch Experiment und Simulation von typischen Laborzentrifugen, deren Rotoren und Zentrifugenkesseln wurde eine mögliche Näherungsformel zur Berechnung von u_t entwickelt zur Bestimmung von u_t in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit u_0 der freien Strömung

25

$$u_t \approx u_0 / 11,9.$$

30

[0018] Die Schubspannungsgeschwindigkeit u_t ist ein Maß für die auftretende Reibungskraft. Sie lässt sich z.B. mittels einer Finite-Elemente-Simulation und - Modellierung der kompletten Strömung um die infragekommene umströmte Oberfläche ermitteln. Somit lassen sich die Abschnitte erhöhter Luftreibung anhand der Schubspannungsgeschwindigkeit ermitteln.

35

[0019] Vorzugsweise weist die Rotoreinrichtung einen unteren Rotorabschnitt auf und vorzugsweise einen oberen Rotorabschnitt, welcher entlang der Rotationsachse oberhalb des unteren Rotorabschnitts angeordnet ist. Bei bestimmungsgemäßer Verwendung der Rotoreinrichtung ist der untere Rotorabschnitt mit Bezug auf die Richtung der Gravitation unterhalb des oberen Rotorabschnitts angeordnet. Der untere und der obere Rotorabschnitt können separate Teile sein, können insbesondere verbunden oder verbindbar ausgebildet sein, oder können einstückig ausgebildet sein. Der untere Rotorabschnitt und der obere Rotorabschnitt sind vorzugsweise durch einen mittleren Rotorabschnitt verbunden, wobei der maximale Durchmesser des mittleren Rotorabschnitts vorzugsweise dem maximalen Durchmesser der Rotoreinrichtung D_{max} entspricht und vorzugsweise der maximale Durchmesser des mittleren Rotorabschnitts vorzugsweise größer ist als der maximale Durchmesser des oberen Rotorabschnitts und vorzugsweise größer ist als der maximale Durchmesser des unteren Rotorabschnitts, wobei jeweils der Durchmesser in einer Rotationsebene der Rotoreinrichtung gemeint ist.

40

45

[0020] Vorzugsweise weist die Rotoreinrichtung einen radial innen gelegenen Bereich und einen radial außen gelegenen Bereich auf. Der radial innen gelegene Bereich umfasst die Abschnitte der Rotoreinrichtung, die innerhalb des gedachten, konzentrisch zur Rotationsachse gelegenen Zylinders mit dem Außendurchmesser $D_A = c * D_{max}$ liegen, wobei D_{max} der maximale Durchmesser der Rotoreinrichtung in einer Rotationsebene senkrecht zur Rotationsachse ist, und wobei vorzugsweise c eine Zahl mit $0,1 \leq c \leq 0,9$ ist, vorzugsweise $0,4 \leq c \leq 0,9$, vorzugsweise $0,5 \leq c \leq 0,9$, vorzugsweise etwa $c = 0,5$. Der radial außen gelegene Bereich umfasst die Abschnitte der Rotoreinrichtung, die außerhalb des radial innen gelegenen Bereichs liegen.

50

[0021] Der maximale Durchmesser der Rotoreinrichtung D_{max} liegt vorzugsweise zwischen $D1_{max} \leq D_{max} \leq D2_{max}$, wobei vorzugsweise die untere Grenze $D1_{max}$ aus der Gruppe von bevorzugten Werten {10 cm; 20 cm; 30 cm; 50 cm; 100 cm} entnommen ist und wobei vorzugsweise die obere Grenze $D2_{max}$ aus der Gruppe von bevorzugten Werten {20 cm; 30 cm; 50 cm; 100 cm; 300 cm} entnommen ist.

55

[0022] Vorzugsweise ist der mindestens eine Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, im oberen Rotorabschnitt angeordnet. Hier treten bei Rotoreinrichtungen von Zentrifugen besonders große Schubspannungsgeschwindigkeiten auf, wie sich in Finite-Elemente-Simulationen herausgestellt hat. Dabei ist es möglich und bevorzugt, dass der mindestens eine Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, im unteren Rotorabschnitt angeordnet ist, alternativ oder zusätzlich.

Vorzugsweise ist der mindestens eine Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, im radial außen gelegenen Bereich der Rotoreinrichtung angeordnet, da auch hier bei den berechneten Rotorformen die größeren Schubspannungsgeschwindigkeiten auftreten; dies ist unmittelbar verständlich, denn im äußeren Bereich sind Bahnumlaufgeschwindigkeiten bei gleicher Winkelgeschwindigkeit höher. Alternativ oder zusätzlich ist es aber auch möglich und bevorzugt, dass der

mindestens eine Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, im radial innen gelegenen Bereich der Rotoreinrichtung angeordnet ist. Indem die Mikrorillenstruktur nur abschnittsweise auf der vom Fluid zu umströmenden Oberfläche angeordnet wird, wird insbesondere eine effiziente Abwägung aus Herstellungsaufwand und Reibungsverminderung getroffen. Das gilt auch für die bevorzugt erfindungsgemäß mit Mikrorillen versehene Innenfläche des Zentrifugenkessels.

[0023] Vorzugsweise ist der mindestens eine Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, in dem Bereich der vom Fluid zu umströmenden Oberfläche, insbesondere Außenfläche der Rotoreinrichtung oder Innenfläche des Zentrifugenkessels, angeordnet, in dem bezogen auf diese Oberfläche A ein Anteil A_F mit $40\% \leq A_F/A \leq 60\%$ der größten Schubspannungsgeschwindigkeiten auftreten. Vorzugsweise $5\% \leq A_F/A \leq 95\%$, vorzugsweise $40\% \leq A_F/A \leq 60\%$ und besonders bevorzugt $40\% \leq A_F/A \leq 60\%$. Dadurch wird der Aufwand bei der Bereitstellung der Mikrorillenstruktur reduziert, während die durch die Mikrorillenstruktur bewirkte Verminderung der Luftreibung in ausreichendem Maße erreicht wird.

[0024] Vorzugsweise ist im Wesentlichen die gesamte Außenfläche der Rotoreinrichtung mit der Mikrorillenstruktur versehen. Dadurch kann die Fluidreibung besonders stark reduziert werden.

[0025] Vorzugsweise sind die Rillen als Vertiefungen in der Oberfläche ausgebildet. Dies kann durch eine Bearbeitung der Außenfläche der Rotoreinrichtung oder der Innenfläche des Zentrifugenkessels erreicht werden, z.B. mittels Abtragungstechniken, z.B. mittels Spanen, mittels Laserablation, mittels Naß- oder Trockenätzen, insbesondere unter zu Hilfenahme von photolithographischen Verfahren. Es ist auch möglich und bevorzugt, dass die Rillen durch Rippenelemente auf der Außenwand gebildet werden, zwischen denen die Rillen ausgebildet sind. Solche Rippen können z.B. als zusätzliches Material mit der zu strukturierenden Oberfläche in einem Auftragsverfahren verbunden werden, z.B. durch Aufdampfen von Material auf die Oberfläche, insbesondere unter zu Hilfenahme von photolithographischen Verfahren, insbesondere mittels Aufspütern oder CVD (chemical vapor deposition). Ferner ist bevorzugt, dass die Mikrorillenstruktur durch Aufdrucken eines Materials, insbesondere eines Lacks, auf die Außenfläche der Rotoreinrichtung bzw. Innenfläche des Zentrifugenkessels erzeugt wird. Die beiden geometrischen Strukturen, die durch ein Abtragsverfahren und ein Auftragsverfahren erzeugt werden, können ununterscheidbar sein. Die Mikrorillenstruktur der Oberfläche kann auch durch Befestigen einer mit einer Mikrorillenstruktur versehenen Folie auf der Oberfläche und/oder Innenfläche hergestellt werden.

[0026] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass benachbarte Rillenwände in einem Abstand S_R voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand S_R in der maximalen Höhe h - oder alternativ der halben Höhe h, z.B. falls eine Messung in maximaler Höhe nicht sinnvoll ist - benachbarter Rillenwände und parallel zum Flächenabschnitt mit dieser Rille bzw. zur Außenfläche oder Innenfläche gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg, oder der Innenfläche des Zentrifugenkessels weg, gemessen wird, wobei vorzugsweise

$$s1 \leq s_R \leq s2,$$

wobei $s1 = (1-f) * s$ und $s2 = (1+f) * s$, f ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen {0,01; 0,02; 0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,98; 0,99}, und vorzugsweise

$$s = Re^+ * \nu / u_\tau,$$

insbesondere

$$s = Re^+ * \nu / (u_0 / 11,9),$$

wobei Re^+ die lokale Reynoldszahl für die rotierende Rille ist, ν die kinematische Viskosität des Fluids und u_0 eine durchschnittliche Anströmgeschwindigkeit des Fluids gegenüber der Rille, wobei insbesondere die Reynoldszahl Re^+

= 17 ist und wobei insbesondere bei Raumtemperatur 21°C die Viskosität von Luft $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ ist.

[0027] Die Rillenbreite s wird demnach vorzugsweise in Abhängigkeit von der Schubspannungsgeschwindigkeit ausgewählt, die in dem die Mikrorillenstruktur aufweisenden Abschnitt zu erwarten ist. Die Schubspannungsgeschwindigkeit hängt insbesondere auch von der Umdrehungsgeschwindigkeit eines Punktes der Außenfläche $v = r \cdot \omega$ ab, ω die Winkelgeschwindigkeit der Rotation und r der Abstand des Punktes von der Rotationsachse. Die Geschwindigkeit u_0 der freien Strömung kann angenommen werden zu $u_0 = v$ oder $u_0 = 0,5 \cdot v$. Insbesondere wird die Rillenbreite s demnach vorzugsweise in Abhängigkeit von einer vorbestimmten Schubspannungsgeschwindigkeit und/oder vorbestimmten Umdrehungszahl ausgewählt.

[0028] Die vorbestimmte Schubspannungsgeschwindigkeit kann jene sein, die durchschnittlich in Bezug auf die typischen Umdrehungszahlen zu erwarten ist, oder die in Bezug auf den Durchschnitt der höheren Umdrehungszahlen der Zentrifuge zu erwarten ist, wobei als höhere Umdrehungszahlen jene im Bereich der 0,5-fachen oder 0,75-fachen maximalen Umdrehungszahl bis zur maximalen Umdrehungszahl der Zentrifuge und/oder der Rotoreinrichtung gelten, oder die in Bezug auf den Durchschnitt der maximal auftretenden Schubspannungsgeschwindigkeit bei maximaler Umdrehungszahl zu erwarten ist, oder die in Bezug auf den Durchschnitt der für den Betrieb der Rotoreinrichtung und/oder des Zentrifugenkessels und/oder der Zentrifuge am häufigsten erwarteten Umdrehungszahlen verwendet wird. Die vorbestimmte Schubspannungsgeschwindigkeit kann auch so bestimmt werden, dass der im praktischen Betrieb einer so ausgestalteten Zentrifuge eine maximale Reibungsreduktion erzielt wird. Das kann z.B. experimentell oder durch numerische Simulation ermittelt werden. Vorzugsweise wird mindestens einer - oder jeder - der hier beschriebenen Rillenparameter $\{s; h; T; B; \alpha; \beta\}$ in Abhängigkeit von der vorbestimmten Schubspannungsgeschwindigkeit ausgewählt.

[0029] Die lokale Wandschubspannung und damit die Schubspannungsgeschwindigkeit ändern sich bezüglich ihrer Richtung und ihres Betrags in Abhängigkeit von der Position auf der Außenfläche der Rotoreinrichtung oder der Innenfläche des Zentrifugenkessels. Die Richtungen der Wandschubspannung, der Schubspannungsgeschwindigkeit und der oberflächennahen Strömung des Fluids sind gleich. Eine optimale Widerstandsreduktion wird erreicht, wenn die Rillenbreite s in jedem Punkt entlang der Längsrichtung der Rille gemäß der Gleichung $s = \text{Re}^+ \cdot \nu / u_\tau$ bestimmt wird. Ein ausreichendes Maß der Widerstandsreduktion wird aber auch schon erreicht, wenn die Rillenbreite dem Optimalfall angenähert wird. Die Rillenbreite s kann z.B. über den Längsverlauf einer Rille konstant sein, ist aber vorzugsweise über den Längsverlauf einer Rille veränderlich. Insbesondere ist die Rillenbreite vorzugsweise mit steigender Schubspannungsgeschwindigkeit kleiner gewählt. Insbesondere wird die Rillenbreite vorzugsweise mit steigender Schubspannungsgeschwindigkeit kleiner gewählt.

[0030] Vorzugsweise ist die Rillenbreite s_j zumindest in einem ersten Abschnitt der Außenfläche der Rotoreinrichtung kleiner als die Rillenbreite s_i in einem zweiten Abschnitt der Außenfläche der Rotoreinrichtung, wobei der erste Abschnitt mit Bezug auf die Rotationsachse radial weiter außen liegt als der zweite Abschnitt. Da radial weiter außen in der Regel größere Schubspannungsgeschwindigkeiten auftreten, kann so die Widerstandsreduktion weiter optimiert werden.

[0031] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass benachbarte Rillenwände in einem Abstand s voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand s in der maximalen Höhe h benachbarter Rillenwände, oder in der mittleren Höhe, senkrecht zur Längsrichtung der Rille und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei s aus einem Bereich für s mit einem unteren Limit s_1 und einem oberen Limit s_2 gewählt ist, so dass $s_1 \leq s \leq s_2$, wobei s_1 ausgewählt ist aus den Werten $\{1,0 \mu\text{m}; 5,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}; 20,0 \mu\text{m}; 30,0 \mu\text{m}; 40,0 \mu\text{m}\}$ und s_2 ausgewählt ist aus den Werten $\{40,0 \mu\text{m}; 50,0 \mu\text{m}; 60,0 \mu\text{m}; 70,0 \mu\text{m}; 80,0 \mu\text{m}; 100,0 \mu\text{m}; 200,0 \mu\text{m}; 500,0 \mu\text{m}\}$.

[0032] Besonders bevorzugt ist in dem radial innen gelegenen Bereich der Rotoreinrichtung ein erster Abstand benachbarter Rillenwände s_{innen} vorgesehen, und im radial außen gelegenen Bereich der Rotoreinrichtung ein zweiter Abstand $s_{\text{außen}}$ vorgesehen, wobei vorzugsweise s_{innen} ungleich $s_{\text{außen}}$, und besonders bevorzugt $s_{\text{innen}} > s_{\text{außen}}$, was sich aus der genannten Abhängigkeit von $s(u_\tau)$ ergibt. In einem besonders bevorzugten Fall, der bei einer Simulation einer typischen Laborzentrifuge modelliert wurde, ist $60 \mu\text{m} \leq s_{\text{innen}} \leq 85 \mu\text{m}$ und/oder $40 \mu\text{m} \leq s_{\text{außen}} < 60 \mu\text{m}$. Dadurch ergeben sich optimale Effekte der Reibungsverminderung. Vorzugsweise liegt der mittlere Abstand s_{mittel} der Rillen auf einer Rotoreinrichtung bei $40 \mu\text{m} \leq s_{\text{mittel}} \leq 80 \mu\text{m}$, vorzugsweise $50 \mu\text{m} \leq s_{\text{mittel}} < 70 \mu\text{m}$, und besonders bevorzugt $55 \mu\text{m} \leq s_{\text{mittel}} < 65 \mu\text{m}$, vorzugsweise $s_{\text{mittel}} \approx 60 \mu\text{m}$.

[0033] Die Tiefe T einer Rille entspricht ihrer Höhe h . Die Höhe h einer Rippe entspricht einer Höhe der benachbarten Rille. Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass die Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h_1 und einem oberen Limit h_2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei $h_1 = (1-f_2) \cdot s$ und $h_2 = (1+f_2) \cdot s$, f_2 ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen $\{0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$, vorzugsweise $h = 0,5 \cdot s$, s wie oben definiert.

[0034] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h_1 und einem oberen Limit h_2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei h_1 ausgewählt ist aus den Werten $\{2,0 \mu\text{m}; 5,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}; 20,0 \mu\text{m}; 30,0 \mu\text{m}; 40,0 \mu\text{m}\}$ und h_2 ausgewählt ist aus den Werten $\{40,0 \mu\text{m}; 50,0 \mu\text{m}; 60,0 \mu\text{m}; 70,0 \mu\text{m}; 80,0 \mu\text{m}; 100,0 \mu\text{m}; 200,0 \mu\text{m}; 300,0 \mu\text{m}\}$.

[0035] Vorzugsweise ist $B = 0,02 \cdot s$, wobei s der Abstand benachbarter Rillenwände ist, wie oben definiert. Dadurch ergeben sich optimale Effekte der Reibungsverminderung. In einem besonders bevorzugten Fall, der bei einer Simulation einer typischen Laborzentrifuge modelliert wurde, ist $60 \mu\text{m} \leq s_{\text{innen}} \leq 85 \mu\text{m}$ und/oder $40 \mu\text{m} \leq s_{\text{au\ss en}} < 60 \mu\text{m}$.

[0036] Vorzugsweise ist $h = 0,5 \cdot s$, wobei s der Abstand benachbarter Rillenwände ist, wie oben definiert. Dadurch ergeben sich optimale Effekte der Reibungsverminderung. In einem besonders bevorzugten Fall, der bei einer Simulation einer typischen Laborzentrifuge modelliert wurde, ist $30 \mu\text{m} \leq h \leq 42 \mu\text{m}$ und/oder $20 \mu\text{m} \leq h < 30 \mu\text{m}$. Vorzugsweise ist die durchschnittliche Tiefe T_{mittel} , gleich der die durchschnittlichen Höhe h_{mittel} , aller Rillen der Rotoreinrichtung $T_{\text{mittel}} \approx 30 \mu\text{m}$.

[0037] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt und somit die Trennwand bildet, eine Breite B aufweist, die vorzugsweise dem Abstand d entspricht, wobei die Breite B in der maximalen Höhe h - oder alternativ in der halben Höhe h - der Trennwand, senkrecht zur Längsrichtung der Rille oder Rippe und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung bzw. Innenfläche des Zentrifugenkessels gemessen wird, wobei B aus einem Bereich für B mit einem unteren Limit $B1$ und einem oberen Limit $B2$ gewählt ist, so dass $B1 \leq B \leq B2$, wobei $B1$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,05 \mu\text{m}; 0,1 \mu\text{m}; 0,5 \mu\text{m}; 1,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}\}$ und $B2$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,5 \mu\text{m}; 1,0 \mu\text{m}; 1,5 \mu\text{m}; 3,0 \mu\text{m}; 5,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}; 50,0 \mu\text{m}; 100,0 \mu\text{m}\}$, wobei vorzugsweise $B = 0,02 \cdot s$, wobei s der Abstand benachbarter Rillenwände ist, wie oben definiert. In einem besonders bevorzugten Fall, der bei einer Simulation einer typischen Laborzentrifuge modelliert wurde, ist $0,5 \mu\text{m} \leq B \leq 4 \mu\text{m}$ und/oder $1 \mu\text{m} \leq B < 2 \mu\text{m}$. Die Breite B ist insbesondere gleich dem Abstand d benachbarter Rillen.

[0038] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, mindestens eine Seitenfläche aufweist, die mit einer Normalen des Flächenabschnitts der Außenfläche einen spitzen Winkel α einschließt, wobei vorzugsweise α aus einem Bereich für α mit einem unteren Limit $\alpha1$ und einem oberen Limit $\alpha2$ gewählt ist, so dass $\alpha1 \leq \alpha \leq \alpha2$, wobei $\alpha1$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,0^\circ; 5,0^\circ; 10,0^\circ; 20,0^\circ\}$ und $\alpha2$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,0^\circ; 5,0^\circ; 10,0^\circ; 20,0^\circ; 45,0^\circ\}$, vorzugsweise $\alpha = 0^\circ$. Dadurch ergeben sich optimale Effekte der Reibungsverminderung. Mindestens eine Seitenfläche der Rippe, / oder beide Seitenflächen, verläuft / verlaufen vorzugsweise nicht parallel zu einer Rotationsebene, die senkrecht zur Rotationsachse A verläuft. Es ist aber auch möglich und bevorzugt, dass eine oder beide Seitenflächen parallel zu einer Rotationsebene verlaufen.

[0039] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, in einem senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt eine im wesentlichen rechteckförmige Kontur aufweist. Dadurch ergibt sich der größte Effekt der Reibungsverminderung, die 90° zwischen Rillenboden und Rillenseitenwand, entsprechend dem Winkel $\alpha = 0^\circ$ entsprechen dem bevorzugtesten Fall.

[0040] Es ist aber auch möglich und bevorzugt, dass die Kontur der Rippe und/oder der Rippen und/oder der Rillenstruktur, in einem senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt, mindestens eines der folgenden Merkmale aufweist: eine Kante am Übergang zwischen Rillenboden und Rillenseitenwand; eine Rundung am Übergang zwischen Rillenboden und Rillenseitenwand; eine Kante am Übergang zwischen Rillenseitenwand und Rippenaußenwand; eine Rundung am Übergang zwischen Rillenseitenwand und Rippenaußenwand; einen geraden oder gerundeten Rillenboden; eine gerade oder gerundete Rippenaußenwand. Die Kontur der Rippe(n) und/oder der Rille(n) in diesem Querschnitt kann dreieckig sein, insbesondere betreffend ein Dreieck mit gleichen Seiten. Die Kontur der Rillenstruktur kann gezackt sein, gewellt, mit periodischem oder nicht-periodischem Verlauf entlang der Außenfläche, senkrecht zur Längsrichtung der Rille. Mögliche Profile der Rillenstruktur sind beispielhaft in den Figuren 7a bis 7h gezeigt.

[0041] Vorzugsweise ist die Längsrichtung der Rille oder der Rillen, und/oder deren Umlaufbahn, zu der die Rillen der Mikrorillenstruktur des Flächenabschnitts parallel ausgerichtet sind, so ausgebildet, dass sie in jedem Punkt ihres Längsverlaufs einen Winkel β zur Fläche einer Rotationsebene aufweist, die senkrecht zur Rotationsachse verläuft. Vorzugsweise ist β ungleich Null. Es ist aber auch möglich und bevorzugt, dass $\beta = 0$ zumindest abschnittsweise oder im ganzen Bereich des Flächenabschnitts, der die Mikrorillenstruktur aufweist, oder insbesondere der ganzen Oberfläche, die die Mikrorillenstruktur aufweist.

[0042] Vorzugsweise ist β über den ganzen Abschnitt, der die Mikrorillenstruktur aufweist, im Wesentlichen konstant. Unabhängig davon ist vorzugsweise β aus einem Bereich für β mit einem unteren Limit $\beta1$ und einem oberen Limit $\beta2$ gewählt, so dass $\beta1 \leq \beta \leq \beta2$, wobei $\beta1$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,0^\circ; 5,0^\circ; 10,0^\circ; 20,0^\circ\}$ und $\beta2$ ausgewählt ist aus den Werten $\{0,0^\circ; 5,0^\circ; 10,0^\circ; 20,0^\circ; 45,0^\circ; 60^\circ\}$. Dadurch ergeben sich optimale Effekte der Reibungsverminderung.

[0043] Für Laborzentrifugen ergeben sich, ermittelt durch eine Finite-Elemente-Simulation, die Bereiche von vorzugsweise $5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$, $7^\circ \leq \beta \leq 15^\circ$, und besonders bevorzugt $7^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$, besonders bevorzugt $\beta \approx 9^\circ$. Neben einer Berechnung durch Simulation, insbesondere einer Finite-Elemente-Simulation, lässt sich der Winkel β auch experimentell bestimmen, z. B. durch das China-Clay Verfahren, das ein Kaolin-Aufsprühverfahren ist, oder durch Rauch-Visualisierungen. Die Richtung der Schubspannungsgeschwindigkeit entspricht insbesondere der Richtung der oberflächennahen Fluidströmung.

[0044] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass mindestens zwei benachbarte Rillen sich in mindestens einem Parameter zur Bestimmung der Rillengeometrie unterscheiden, wobei dieser Parameter aus der Gruppe

von Parametern $\{s; h; T; B; \alpha; \beta\}$ ausgewählt ist. Mindestens einer dieser Parameter, oder alle diese Parameter, können sich entlang des Längsverlaufs einer Rille oder Rippe ändern, oder können konstant sein.

[0045] Vorzugsweise ist die Mikrorillenstruktur so ausgebildet, dass die vorbestimmte Längsrichtung der Rillen der Richtung der an diesem Flächenabschnitt vorbeiströmenden Fluidströmung angepasst ist, insbesondere der lokal anliegenden Richtung der Wandschubspannung oder der Schubspannungsgeschwindigkeit entspricht, und insbesondere von der konzentrischen Umlaufrichtung abweicht, mit der jeder Punkt der Außenfläche in einer zur Rotationsachse senkrechten Rotationsebene rotiert.

[0046] Der Innenbereich der Rotoreinrichtung kann eine Halteeinrichtung zur Halterung von Laborprobengefäßen, insbesondere verschließbaren Probenröhrchen aufweisen. Die Halteeinrichtung kann gegenüber der Rotationsachse A der Rotoreinrichtung einen während der Rotation festen Winkel aufweisen, wobei die Halteeinrichtung in diesem Fall aber zur Verstellung dieses Winkels durch den Benutzer ausgebildet sein kann. Eine solche Rotoreinrichtung bezeichnet man als Festwinkelrotor. Die Halteeinrichtung kann aber auch gegenüber der Rotationsachse A der Rotoreinrichtung einen während der Rotation veränderlichen Winkel aufweisen, indem die Halteeinrichtung dazu ausgebildet ist, die Probengefäße radial auswärts um eine Schwenkachse senkrecht zur Rotationsachse A ausschwenken zu lassen, der Zentrifugalkraft und/oder der Gravitation folgend. Eine solche Rotoreinrichtung bezeichnet man als Ausschwingrotor.

[0047] Besonders bevorzugt ist die Rotoreinrichtung ein Festwinkelrotor. Es ist aber auch möglich und bevorzugt, dass die Rotoreinrichtung ein Ausschwingrotor ist, der eine mindestens eine, vorzugsweise drei, vier oder mehrere Becherelemente aufweisende Halteeinrichtung aufweist, wobei ein Becherelement rotierbar um eine Schwenkachse am Basisteil der Rotoreinrichtung gelagert sind. Das Basisteil ist vorzugsweise zentral entlang der Rotationsachse A der Rotoreinrichtung angeordnet, vorzugsweise rotationssymmetrisch zur Rotationsachse A ausgebildet. Ein Becherelement ist zur Aufnahme mindestens einer zu zentrifugierenden Probe ausgebildet. Das mindestens eine Becherelement weist eine Außenfläche mit mindestens einem Flächenabschnitt auf, der die Mikrorillenstruktur aufweist. Es ist auch möglich und bevorzugt, dass der Ausschwingrotor ein Hülleneinrichtung aufweist, die die Halteeinrichtung für die Proben teilweise oder vollständig umhüllt, einerseits in Umfangsrichtung um die Rotationsachse teilweise oder vollständig umhüllt und/oder nach oben und/oder nach unten teilweise oder vollständig umhüllt. Der Flächenabschnitt mit der Mikrorillenstruktur kann in diesem Fall auf der Außenseite der Hülleneinrichtung angeordnet sein.

[0048] Vorzugsweise weist die Rotoreinrichtung oder die Hülleneinrichtung einen Außenwandabschnitt auf, der zylinderartig geformt ist, und der insbesondere diesen Flächenabschnitt mit Mikrorillenstruktur trägt. Eine zylinderartige Form lässt sich besonders einfach mit einer Mikrorillenstruktur versehen, deren Rillen in einem Abstand d benachbarter Rillen insbesondere kleiner als 2 mm verlaufen.

[0049] Die Rotoreinrichtung kann eine Deckeleinrichtung aufweisen, mit dem der Innenbereich der Rotoreinrichtung bedeckbar und/oder verschliessbar ist. Die Deckeleinrichtung kann ein Verschlusselement aufweisen, mit dem der Deckel an der Rotoreinrichtung befestigbar ist. Die Deckeleinrichtung und/oder das Verschlusselement kann eine Außenfläche mit mindestens einem Flächenabschnitt aufweisen, der eine Mikrorillenstruktur aufweist, deren Rillen in einem Abstand d benachbarter Rillen kleiner als 2 mm verlaufen.

[0050] Der Flächenabschnitt, der eine Mikrorillenstruktur aufweist, insbesondere der Flächenabschnitt der Außenfläche der Rotoreinrichtung und/oder der Flächenabschnitt der Innenfläche des Zentrifugenkessels, läuft vorzugsweise teilweise oder vollständig um die Rotationsachse um. Eine Rille weist somit insbesondere die Form vorzugsweise einer offenen oder vorzugsweise einer geschlossenen Schleife auf. Die Mikrorillenstruktur weist vorzugsweise die Form einer Schale auf, die jeweils vorzugsweise rotationssymmetrisch zur Rotationsachse A ausgebildet ist oder, alternativ, vorzugsweise nicht rotationssymmetrisch zur Rotationsachse A ausgebildet ist.

[0051] Die Erfindung betrifft ferner den Zentrifugenkessel zur Aufnahme einer Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, aufweisend eine Innenwand mit einer Innenfläche, die bei Rotation der Rotoreinrichtung von dem Fluid umströmt wird, wobei die Innenfläche zumindest abschnittsweise eine Mikrorillenstruktur aufweist, deren Rillen - insbesondere im wesentlichen parallel zueinander - in einem Abstand d benachbarter Rillen kleiner als 2 mm verlaufen. Die Innenfläche des Zentrifugenkessels, und/oder der Zentrifugenkessel selbst, ist vorzugsweise aus einem Metall, insbesondere einem Stahl, oder aus Kunststoff, oder aus Keramik gefertigt, oder weist ein solches Material auf. Der Zentrifugenkessel kann ein aus einem oder mehreren Bestandteilen zusammengesetztes Bauteil sein, dass das Innenvolumen, welches das Fluid enthält, in dem sich die Rotoreinrichtung dreht, teilweise oder vollständig umhüllt. Vorzugsweise ist zumindest ein Abschnitt einer Seitenwand des Zentrifugenkessels dazu ausgebildet, die Rotationsachse A konzentrisch und hohlzylinderförmig zu umgeben. Vorzugsweise ist die Seitenwand des Zentrifugenkessels dazu ausgebildet, die Rotationsachse A konzentrisch und hohlzylinderförmig zu umgeben. Dieser hohlzylinderförmige Bereich weist vorzugsweise eine Innenfläche mit einer Mikrorillenstruktur auf, die die Rotationsachse vorzugsweise teilweise oder vollständig umläuft. Der Zentrifugenkessel kann eine Bodenwand aufweisen, die eine Öffnung aufweisen kann, durch die die Antriebswelle der Rotoreinrichtung in das Innenvolumen des Zentrifugenkessels geführt sein kann. Der Zentrifugenkessel kann eine Deckenwand aufweisen.

[0052] Die Erfindung betrifft ferner die Zentrifuge, aufweisend eine erfindungsgemäße Rotoreinrichtung und/oder den erfindungsgemäßen Zentrifugenkessel. Die Zentrifuge ist vorzugsweise eine Laborzentrifuge, insbesondere zur Zentri-

fugation von chemischen, biochemischen, biologischen und/oder medizinischen Proben. Die Zentrifuge ist vorzugsweise ein Tischgerät mit einem Gesamtvolumen von weniger als $0,5 \text{ m}^3$, wobei das Gesamtvolumen als das Volumen des kleinsten Quaders aufgefasst wird, der die Laborzentrifuge vollständig aufnehmen kann.

[0053] Die Zentrifuge weist vorzugsweise eine Lagereinrichtung zur drehbeweglichen Lagerung der erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung innerhalb des erfindungsgemäßen Zentrifugenkessels auf. Die Lagereinrichtung kann eine Kugellager, Wälzlager, oder Gleitlager umfassen. Sie kann ferner eine Drehwelle aufweisen, die mit der (gedachten) Rotationsachse zusammenfällt.

[0054] Die Zentrifuge kann ferner eine elektrische Steuereinrichtung, insbesondere programmgesteuerte Steuereinrichtung aufweisen, durch der Betrieb der Zentrifuge gesteuert wird. Die Zentrifuge kann eine Datenspeichereinrichtung aufweisen und/oder eine Recheneinheit, z.B. CPU oder einen Mikroprozessor zum Verarbeiten/Speichern digitaler Daten. Vorzugsweise ist in der Datenspeichereinrichtung ein angepasster Satz von Steuerungsdaten gespeichert oder nachträglich speicherbar. Dieser Datensatz ist vorzugsweise so angepasst, dass die Temperatur im Inneren der Zentrifuge, und/oder die Geschwindigkeit der Zentrifuge auf zuvor bestimmte Werte eingestellt werden, die dann vom Benutzer der Zentrifuge oder dem Steuerungsprogramm der Zentrifuge automatisch ausgewählt werden, und insbesondere in Abhängigkeit von der Wahl des Benutzers, optimal ausgewählt werden. Der Datensatz enthält Steuerungsdaten, bei denen, angepasst an die vorliegende Mikrorillenstruktur der Rotoreinrichtung und/oder des Zentrifugenkessels, eine minimale Luftreibung zwischen Fluid im Inneren der Zentrifuge und der Oberfläche der Rotoreinrichtung und/oder des Zentrifugenkessels auftritt. Diese Werte können durch Berechnung, insbesondere eine Finite-Elemente-Simulation, und/oder durch Experimente ermittelt werden, wobei die Luftreibung z.B. über die auftretende Abwärme gemessen werden kann.

[0055] Vorzugsweise weist die Zentrifuge eine Gehäuseeinrichtung auf, die ihre Komponenten, insbesondere den Zentrifugenkessel, teilweise oder vollständig zur Umgebung hin abschirmt. Vorzugsweise weist die Gehäuseeinrichtung eine Deckeinrichtung auf, durch die der Innenraum der Zentrifuge geöffnet und sicher geschlossen werden kann. Vorzugsweise weist die Zentrifuge ein Mittel zum Kühlen des Zentrifugenkessels und damit indirekt zum Kühlen der Rotoreinrichtung auf. Es kann sich um ein Wärmetauschmittel handeln, z.B. eine Kühlfluid, dass die zu kühlenden Teile umströmt und die Wärme, insbesondere die auftretende Fluidreibungswärme abtransportiert, die zwischen Fluid in der Zentrifuge und der Außenfläche der Rotoreinrichtung und/oder der Innenfläche des Zentrifugenkessels auftritt.

[0056] Die Zentrifuge kann ferner eine Benutzerschnittstelle aufweisen, z.B. ein Display, Touchscreen, sonstige Eingabe oder Ausgabeelemente, über die der Benutzer die wichtigsten Betriebsparameter einstellen kann, insbesondere die Umdrehungszahl(en), die Zentrifugierzeit(en) und/oder Zentrifugiersequenzen einstellen kann, die durch eine bestimmte Umdrehungszahl und/oder Zentrifugierzeit gekennzeichnet ist, oder über die der Benutzer ein Zentrifugierprogramm auswählen kann oder die Parameter eines Zentrifugierprogramms festlegen kann, wobei ein Zentrifugierprogramm die Umdrehungszahl(en), die Zentrifugierzeit(en) und/oder Zentrifugiersequenzen enthalten kann, sowie Pausenzeiten, die absolute Start-und/oder Endzeit, die zeitlich konstante oder variable Kühl- und/oder Temperiereinstellung des Innenbereichs der Rotoreinrichtung zur Aufnahme der Proben, und dergleichen.

[0057] Die Zentrifuge kann eine Sensoreinrichtung zur Erfassung der tatsächlichen Umdrehungsgeschwindigkeit und/oder von Vibrationen aufweisen. Sie kann eine elektrische Regeleinrichtung zum Regeln der Umdrehungszahl in Abhängigkeit von der gemessenen Wertes aufweisen. Möglicherweise gemessene, einen Toleranzwert überschreitende Umdrehungszahlen und/oder Beschleunigungen/Vibrationen können z.B. das sofortige Abbremsen der Rotation auf eine tolerierbare Umdrehungszahl oder auf Null bewirken.

[0058] Vorzugsweise ist die Zentrifuge eine Laborzentrifuge, die maximale Umdrehungszahlen bis zu 25000 U/min erreicht. Vorzugsweise ist die Zentrifuge eine Hochgeschwindigkeitszentrifuge, die maximale Umdrehungszahlen bis zu 50000 U/min erreicht. Vorzugsweise ist die Zentrifuge eine Ultrazentrifuge, die maximale Umdrehungszahlen bis zu 500000 U/min erreicht, insbesondere wenn deren Rotoreinrichtung in einem Vakuum rotiert. Auch im letztgenannten Fall kann die erfindungsgemäße Ausgestaltung mit Mikrorillenstruktur die Verlustleistung der Zentrifuge verringern.

[0059] Die Erfindung betrifft ferner das Verfahren zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung oder des erfindungsgemäßen Zentrifugenkessels, wobei die Mikrorillenstruktur durch eine Oberflächenbearbeitung, insbesondere durch ein Abtragsverfahren oder eine Auftragsverfahren, wie oben erläutert, oder durch ein Gussverfahren erzeugt wird.

[0060] Bevorzugte Merkmale des erfindungsgemäßen Zentrifugenkessels und der erfindungsgemäßen Zentrifuge können, wo sinnvoll, der Beschreibung der bevorzugten Merkmale der erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung abgeleitet werden, insbesondere betreffend die Gestaltung der Mikrorillenstruktur.

[0061] Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung, des erfindungsgemäßen Zentrifugenkessels und des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele in Zusammenhang mit den Figuren und deren Beschreibung. Gleiche Bauteile der Ausführungsbeispiele werden im Wesentlichen durch gleiche Bezugszeichen gekennzeichnet, falls dies nicht anders beschrieben wird oder sich nicht anders aus dem Kontext ergibt. Es zeigen:

Fig. 1 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Zentrifuge, die eine Rotoreinrichtung und einen Zentrifugenkessel gemäß erfindungsgemäßer bevorzugter Ausgestaltungen aufweist.

Fig. 2 ist die perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung, die in dieser Ansicht entlang einer Ebene abgeschnitten ist, welche die Rotationsachse A enthält.

Fig. 3 zeigt einen senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung.

Fig. 4 zeigt einen senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung, in einem senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt.

Fig. 5 zeigt perspektivisch eine Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm, das die Lage des Winkels β beschreibt, den eine Rille einer Mikrorillenstruktur, gemäß erfindungsgemäßer Ausgestaltung, in einem Punkt ihres Längsverlaufs mit einer Rotationsebene $Re+$ einschließt, die zur Rotationsachse senkrecht steht.

Fig. 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g und 7h zeigen jeweils einen Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur gemäß einer jeweils bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung, wobei der Querschnitt senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachtet wird.

Fig. 8 zeigt eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel, bei der die Schubspannungsgeschwindigkeiten durch eine Finite-Elemente-Simulation ermittelt wurden, wobei die Richtungen dieser lokalen Schubspannungsgeschwindigkeiten als Pfeile eingezeichnet sind.

[0062] Fig. 1 zeigt eine Laborzentrifuge 1, vorliegend ein Tischgerät zur Anordnung auf einer Arbeitsplatte, die eine Rotoreinrichtung 10 und einen Zentrifugenkessel 100 aufweist. Die Rotoreinrichtung weist eine Außenfläche 11 auf, der Zentrifugenkessel weist eine Innenfläche 101 auf. Die Rotoreinrichtung ist über eine Welle 15 mit einer Antriebseinrichtung 16 verbunden, die einen Elektromotor aufweisen kann. Die Zentrifuge weist ferner eine Kühleinrichtung 17 auf, mit der der Zentrifugenkessel 100 im Betrieb geregelt gekühlt wird. Durch die Kühlung des Zentrifugenkessels wird das Fluid, hier Luft, im Innenvolumen des Zentrifugenkessels gekühlt, und über das Fluid auch die Rotoreinrichtung, die im Innenvolumen des Zentrifugenkessels rotiert und über die Luftreibung das Fluid und sich selbst erwärmt. Die Zentrifuge weist ferner eine elektrische Steuereinrichtung 18 auf. Die Steuereinrichtung regelt die Antriebseinrichtung, um die Umdrehungsgeschwindigkeit der Rotoreinrichtung mit der vorbestimmten Beschleunigung auf die vom Benutzer gewünschte Umdrehungszahl zu bringen, und nach Ablauf der vorbestimmten Zentrifugierzeit auch wieder herunterzufahren. Die Eingaben nimmt der Benutzer über eine Benutzerschnittstelle 19 der Zentrifuge vor.

[0063] Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung 20, die in dieser Ansicht entlang einer Ebene geschnitten ist, welche die Rotationsachse A enthält. Die Rotoreinrichtung 20 verläuft konzentrisch zur Rotationsachse A und im wesentlichen mit rotationssymmetrisch, wodurch eine Unwucht vermieden wird. Die Rotoreinrichtung 20 weist einen Basiskörper 22 z.B. aus Aluminium auf, einen Deckelabschnitt 23, der den Innenbereich der Rotoreinrichtung bedeckt und verschließt, und ein Verschlusselement 24, mit dem der in der Verschlussposition angeordnete Deckelabschnitt 23 sicher an der Antriebswelle 25 befestigt wird, an der auch der Basiskörper 22 sicher befestigt ist.

[0064] Die Rotoreinrichtung 20 ist als Festwinkelrotor ausgebildet. Die Rotoreinrichtung 20 weist eine Halteeinrichtung zum Halten von rohrförmigen Probengefäßen auf, deren Rohrbehälter durch die Öffnungen des Halterahmens der Halteeinrichtung gesteckt werden, und deren Gefäßkappen sich am Halterahmen abstützen, so dass die Probengefäße unter der Wirkung der Gravitation und Zentrifugalkraft sicher von der Halteeinrichtung gehalten werden.

[0065] Die Außenfläche 21 der Rotoreinrichtung 20 weist einen Flächenabschnitt 27 auf. Dieser weist eine Mikrorillenstruktur zur Verminderung der Luftreibung auf, wie sie z.B. in den nachfolgenden Figuren beschrieben ist. Der Flächenabschnitt mit der Mikrorillenstruktur ist in einem radial außen gelegenen Bereich angeordnet, der außerhalb des gedachten, konzentrisch zur Rotationsachse gelegenen Zylinders 28 mit dem Außendurchmesser $D_A = 0,75 \cdot D_{max}$ liegt und innerhalb des konzentrisch zur Rotationsachse gelegenen Zylinders 29 mit dem Durchmesser D_{max} , wobei D_{max} der maximale Durchmesser der Rotoreinrichtung in einer Rotationsebene senkrecht zur Rotationsachse ist. Vorzugsweise weisen auch die anderen Bereiche der Außenfläche 21 der Rotoreinrichtung eine Mikrorillenstruktur auf.

[0066] Fig. 3 zeigt einen senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche 31 einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung. Die Rillen der Mikrorillenstruktur sind in gleichen Abständen $d=s$ voneinander entfernt und verlaufen zueinander parallel. Die Rillen sind als Vertiefungen der Außenfläche 31 ausgebildet.

[0067] Die optimalen Werte für den Rillenabstand s lassen sich über die Gleichung

$$s = Re^+ \cdot v / u_\tau, \text{ und } Re^+ = 17$$

bestimmen, und die Schubspannungsgeschwindigkeit u_τ , vorzugsweise auch deren Winkel β , wird durch eine Finite-Elemente-Simulation bestimmt. Das Ergebnis einer solchen Simulation ist in Bezug auf eine erfindungsgemäß gestaltete Rotoreinrichtung 200 gemäß einem Ausführungsbeispiel in Fig. 8 gezeigt. Diese Rotoreinrichtung weist einen maximalen Außendurchmesser D_{max} von 24,5 cm auf. Die vorbestimmte Umdrehungszahl war 15000 U/min. Auf diese Weise konnten für die vorbestimmte Umdrehungszahl der Rotoreinrichtung, z.B. diese maximale Umdrehungszahl, die - insbesondere maximalen- Schubspannungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Position an der Außenfläche der Rotoreinrichtung ermittelt werden - also die lokalen Schubspannungsgeschwindigkeiten, insbesondere deren Beträge und Richtungen.

[0068] In der Simulation in Fig. 8 wurde insbesondere der Winkel β angegeben, den die oberflächennahe Strömung, und damit die Schubspannungsgeschwindigkeit, und somit die Schubspannung an jedem Oberflächenpunkt der Oberfläche der Rotoreinrichtung aufweist. Über große Teile der Oberfläche, in konzentrisch um die Rotationsachse gelegenen Bereichen der Oberfläche, insbesondere im radial zwischen der Rotationsachse und der äußersten Wand gelegenen Bereichen, die in einem Winkel ungleich Null zur Rotationsachse verlaufen, beträgt dieser Winkel β zwischen $7,6^\circ$ und $10,3^\circ$, und liegt damit in guter Näherung bei 9° . In den Oberflächenbereichen weiter innen und außen, die mit der Rotationsachse insbesondere Winkel von etwa Null einschließen, also im Wesentlichen parallel zur Rotationsachse verlaufen, kann der Winkel β z.B. zwischen $7,6^\circ$ und $-14,1^\circ$ oder -hier im innersten Bereich- auch teilweise zwischen $10,3^\circ$ und 13° liegen.

[0069] Die Berechnung in der Simulation gemäß Fig. 8 erfolgt z.B. unter Berücksichtigung eines hinreichend kleinen Abstands d_a , z.B. $d_a = 1 \mu\text{m}$, gemessen senkrecht zur äußeren Oberfläche der Rotoreinrichtung, aus folgendem Grund: Die Grenzschichttheorie sagt aus, dass bei einer Körperströmung die Strömungsgeschwindigkeit direkt auf der Körperoberfläche gleich Null sein muss, sonst gäbe es auch keine Reibung. Würde daher in dem Rechenprogramm bei der Ermittlung der Geschwindigkeitsvektoren der Abstand zur Oberfläche gleich Null gesetzt werden, würden alle Geschwindigkeiten zu Null resultieren. Um ein Geschwindigkeitsfeld zu visualisieren, muss man also eine hinreichend kleine Distanz zwischen Oberfläche und Rechenebene lassen, um überhaupt endliche Werte für die Geschwindigkeitsvektoren zu erhalten. Vergrößert man diesen Abstand, so verändert sich entsprechend dem Grenzschichtprofil im Wesentlichen nur der absolute Geschwindigkeitsbetrag. Anders verhält es sich mit der Schubspannung. Sie ist ein Maß für die Reibung und eben direkt auf der Oberfläche am größten, wobei ihre Richtung mit der der Geschwindigkeitsvektoren übereinstimmt.

[0070] Im Beispiel der Fig. 3 ergibt sich im radial außen gelegenen Bereich der Rotoreinrichtung 20 ein Wert $u_\tau = 5,0$ m/s und im radial innen gelegenen Bereich ein Wert $u_\tau = 3,5$ m/s. Deshalb ist der optimale Wert für den Rillenabstand s im radial außen gelegenen Bereich $s_{au\ddot{a}u\text{en}} = 51 \mu\text{m}$ und im radial innen gelegenen Bereich $s_{in\text{nen}} = 73 \mu\text{m}$. Die optimale Rillentiefe $h=T$ wird zu $T = 0,5 \cdot s$ angesetzt, also $T_{au\ddot{a}u\text{en}} = 26 \mu\text{m}$ und $T_{in\text{nen}} = 36 \mu\text{m}$. Der optimale Abstand zwischen den Rillen $d=B$, und damit die Breite B der Rippen, welche benachbarte Rillen trennen, ergibt sich zu $B=0,02 \cdot s$, und damit zu $B = 1,0 - 1,5 \mu\text{m}$. Der Winkel zwischen einer Rillenwand 32 und einer Normalen zur Außenfläche 31 schließt hier einen Winkel $\alpha = 0^\circ$ ein. Dies entspricht einer bevorzugten Ausführungsform für α .

[0071] Fig. 4 zeigt einen Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche 41 einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung. Die Rillenwände schließen hier mit der Normalen zur Außenfläche 41 einen Winkel $\alpha > 0^\circ$ ein, nämlich insbesondere einen spitzen Winkel, also $\alpha < 90^\circ$, und vorliegend etwa $\alpha = 7^\circ$. Auch dies entspricht einer bevorzugten Ausführungsform für α , denn solche Rillen lassen sich einfacher fertigen, z.B. mittels Laserablation, als solche mit senkrechten Wänden ($\alpha = 0^\circ$).

[0072] Fig. 5 zeigt perspektivisch eine Mikrorillenstruktur eines Flächenabschnitts der Außenfläche einer erfindungsgemäßen Rotoreinrichtung gemäß einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung. Die Mikrorillenstruktur 64 weist Rillen 65 auf, die parallel einer Umlaufbahn um die Rotationsachse und parallel zueinander in einem Abstand d benachbarter Rillen kleiner als 1 mm verlaufen. Eine Umlaufbahn kann generell vollständig oder teilweise um die Rotationsachse umlaufen. Eine Tangente C an die Umlaufbahn ist auch eine Tangente C an die Rille in Längsrichtung. Fig. 6 zeigt ein Diagramm, das die Lage des Winkels β beschreibt, den eine Rille einer Mikrorillenstruktur, gemäß erfindungsgemäßer Ausgestaltung, in einem Punkt ihres Längsverlaufs, und damit bezüglich dieser Tangente C , mit einer Rotationsebene Re^+ einschließt, die zur Rotationsachse senkrecht steht. Der optimale Wert für β , bei dem die Luftreibung der Außenfläche der Rotoreinrichtung 21 optimal ist, wurde mittels einer Finite-Elemente-Simulation errechnet zu $\beta = 9^\circ$. Der Winkel β

variiert vorzugsweise entlang der Längsrichtung einer Rille. Vorzugsweise variiert auch mindestens einer der Parameter s, B, T entlang der Längsrichtung einer Rille.

[0073] Der Effekt des Winkels α einer Seitenwand der Rippe mit der Normalen zur Außenfläche auf die Luftreibung kann abgeschätzt werden mittels der Näherungsgleichung

$$\Delta = - 0,00003 * \Phi^2 - 0,0583 * \Phi + 10,$$

wobei $\Phi = 90^\circ - \alpha$. Δ ist die relative Widerstandsreduktion in %, als Funktion des Flankenwinkels Φ bzw. α , der Trennwand. Entsprechend sind die Rillen in dem betreffenden Flächenabschnitt auf der Außenfläche der Rotoreinrichtung angeordnet.

[0074] Fig. 7a, 7b, 7c, 7d, 7e, 7f, 7g und 7h zeigen jeweils einen Querschnitt durch die Mikrorillenstruktur gemäß einer jeweils bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung, wobei der Querschnitt senkrecht zur Längsrichtung der Rippe / Rille betrachtet wird. Die Kontur einer Rippe bzw. einer Rille in diesem Querschnitt bzw. das Profil ist vorzugsweise rechteckig (Fig. 7a und Fig. 3), weist abgewinkelte Seitenflächen auf (Fig. 7b und Fig. 4), ist dreieckig, bzw. das Profil teilweise zackenförmig (Fig. 7c) oder ganz zackenförmig bzw. aus aneinander gereihten gleichschenkligen Dreiecken (Fig. 7h), weist abgerundete Kanten zwischen Seitenflächen der Rille und dem Rillenboden auf (Fig. 7d) und/oder weist insbesondere zusätzlich dazu abgerundete Kanten zwischen Außenwand der Rippe und Seitenwänden der Rippe auf (Fig. 7e), weist einen gerundeten Rillenboden auf, insbesondere mit einer kreisförmigen Kontur (Fig. 7f) und/oder weist insbesondere zusätzlich dazu eine gerundete Außenwand der Rippe auf, insbesondere mit einer kreisförmigen Kontur (Fig. 7g), wobei das Profil wellenförmig sein kann. Die Merkmale dieser Profile können auch kombiniert werden.

Patentansprüche

1. Rotoreinrichtung (10; 20; 200) einer Zentrifuge (1), insbesondere Laborzentrifuge, ausgebildet zur Rotation um eine Rotationsachse A in einem Fluid, aufweisend einen Innenbereich zur Aufnahme einer zu zentrifugierenden Probe, eine Außenwand mit einer Außenfläche (21; 31; 41), die bei Rotation der Rotoreinrichtung von dem Fluid umströmt wird, wobei zumindest ein Flächenabschnitt der Außenfläche eine Mikrorillenstruktur (34; 44; 64) aufweist, deren Rillen (35; 45; 65) insbesondere in einem Abstand d benachbarter Rillen verlaufen, insbesondere mit $d < 2$ mm.
2. Rotoreinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen als Vertiefungen in der Außenwand der Rotoreinrichtung ausgebildet sind und/oder durch Rippenelemente auf der Außenwand, zwischen denen die Rillen ausgebildet sind.
3. Rotoreinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen so angeordnet sind, dass sie jeweils im wesentlichen in Längsrichtung parallel der Richtung der Wandschubspannung verlaufen, die sich aus der Reibung des Fluids an der Außenwand ergibt, wenn das Fluid bei einer vorbestimmten Umdrehungszahl der rotierenden Rotoreinrichtung an der Außenfläche entlang strömt.
4. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Rille jeweils zwei benachbarte Rillenwände aufweist, die in einem Abstand s voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand in der maximalen Höhe h benachbarter Rillenwände, senkrecht zur Längsrichtung der Rille und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei s aus einem Bereich für s mit einem unteren Limit s_1 und einem oberen Limit s_2 gewählt ist, so dass $s_1 \leq s \leq s_2$, wobei s_1 ausgewählt ist aus den Werten {1,0 μm ; 5,0 μm ; 10,0 μm ; 20,0 μm ; 30,0 μm ; 40,0 μm } und s_2 ausgewählt ist aus den Werten {40,0 μm ; 50,0 μm ; 60,0 μm ; 70,0 μm ; 80,0 μm ; 100,0 μm ; 200,0 μm ; 500,0 μm }.
5. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** benachbarte Rillenwände in einem Abstand s_R voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand in der maximalen Höhe h benachbarter Rillenwände, senkrecht zur Längsrichtung der Rille und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei

$$s_1 \leq s_R \leq s_2,$$

- 5 wobei $s_1 = (1-f) \cdot s$ und $s_2 = (1+f) \cdot s$, f ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen {0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9}, und $s = \text{Re}^+ \cdot \nu / (u^+)$, wobei Re^+ die lokale Reynoldszahl für die rotierende Rille ist, ν die kinematische Viskosität des Fluids und u^+ die Schubspannungsgeschwindigkeit bei einer vorbestimmten Umdrehungszahl am Ort der Abstandsbestimmung ist, wobei insbesondere die Reynoldszahl $\text{Re}^+ = 17$ ist und wobei insbesondere $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ ist.
- 10 **6.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h_1 und einem oberen Limit h_2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei h_1 ausgewählt ist aus den Werten {2,0 μm ; 5,0 μm ; 10,0 μm ; 20,0 μm ; 30,0 μm ; 40,0 μm } und h_2 ausgewählt ist aus den Werten {40,0 μm ; 50,0 μm ; 60,0 μm ; 70,0 μm ; 80,0 μm ; 100,0 μm ; 200,0 μm ; 300,0 μm }.
- 15 **7.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche und Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h_1 und einem oberen Limit h_2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei $h_1 = (1-f_2) \cdot s$ und $h_2 = (1+f_2) \cdot s$, f_2 ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen {0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9}, vorzugsweise $T = 0,5 \cdot s$.
- 20 **8.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, eine Breite B aufweist, die dem Abstand d entspricht, wobei die Breite B in der maximalen Höhe h der Trennwand, senkrecht zur Längsachse der Rippe und parallel zur Außenfläche gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei B aus einem Bereich für B mit einem unteren Limit B_1 und einem oberen Limit B_2 gewählt ist, so dass $B_1 \leq B \leq B_2$, wobei B_1 ausgewählt ist aus den Werten {0,01; 0,02; 0,05 μm ; 0,1 μm ; 0,5 μm ; 1,0 μm ; 10,0 μm } und B_2 ausgewählt ist aus den Werten {0,5 μm ; 1,0 μm ; 1,5 μm ; 3,0 μm ; 5,0 μm ; 10,0 μm ; 50,0 μm ; 100,0 μm }.
- 25 **9.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, mindestens eine Seitenfläche aufweist, die mit einer Normalen des Flächenabschnitts der Außenfläche einen spitzen Winkel α einschließt, wobei vorzugsweise α aus einem Bereich für α mit einem unteren Limit α_1 und einem oberen Limit α_2 gewählt ist, so dass $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$, wobei α_1 ausgewählt ist aus den Werten {0,0°; 5,0°; 10,0°; 20,0°} und α_2 ausgewählt ist aus den Werten {0,0°; 5,0°; 10,0°; 20,0°; 45,0°}, vorzugsweise $\alpha = 0^\circ$.
- 30 **10.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, in einem senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt eine im wesentlichen rechteckförmige Kontur aufweist.
- 35 **11.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei benachbarte Rillen sich in mindestens einem Parameter zur Bestimmung der Rillengeometrie unterscheiden, wobei dieser Parameter aus der Gruppe von Parametern { s ; h ; T ; B ; α ; β } ausgewählt ist.
- 40 **12.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen so angeordnet sind, dass ihre Längsrichtung von der konzentrischen Umlaufrichtung abweicht, mit der jeder Punkt der Außenfläche in einer zur Rotationsachse senkrechten Rotationsebene rotiert.
- 45 **13.** Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen zylinderförmigen Außenwandabschnitt aufweist, der diesen Flächenabschnitt mit der Mikrorillenstruktur trägt.
- 50 **14.** Zentrifugenkessel (100) zur Aufnahme einer Rotoreinrichtung (10; 20) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, aufweisend eine Innenwand mit einer Innenfläche (101), die bei Rotation der Rotoreinrichtung (10; 20) von dem Fluid umströmt wird, wobei zumindest ein Flächenabschnitt der Innenfläche eine Mikrorillenstruktur (34; 44; 64) aufweist, deren Rillen (35; 45; 65) in einem Abstand d benachbarter Rillen verlaufen, insbesondere mit $d < 2 \text{ mm}$.
- 55

EP 2 705 903 A1

15. Zentrifuge (1), aufweisend eine Rotoreinrichtung (10; 20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 und/oder den Zentrifugenkessel (100) nach Anspruch 14.

16. Verfahren zur Herstellung einer Rotoreinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 oder des Zentrifugenkessel nach Anspruch 14, wobei die Rillenstruktur durch eine Oberflächenbearbeitung oder durch ein Gussverfahren erzeugt wird, insbesondere durch Aufdrucken der Mikrorillenstruktur auf die Außenfläche bzw. Innenfläche, oder durch Aufbringen einer Folie mit dieser Mikrorillenstruktur.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Rotoreinrichtung (10; 20; 200) einer Zentrifuge (1), insbesondere Laborzentrifuge, ausgebildet zur Rotation um eine Rotationsachse A in einem Fluid, aufweisend einen Innenbereich zur Aufnahme einer zu zentrifugierenden Probe, eine Außenwand mit einer Außenfläche (21; 31; 41), die bei Rotation der Rotoreinrichtung von dem Fluid umströmt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

zumindest ein Flächenabschnitt der Außenfläche eine Mikrorillenstruktur (34; 44; 64) aufweist, deren Rillen (35; 45; 65) insbesondere in einem Abstand d benachbarter Rillen verlaufen, insbesondere mit $d < 2$ mm.

2. Rotoreinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen als Vertiefungen in der Außenwand der Rotoreinrichtung ausgebildet sind und/oder durch Rippelemente auf der Außenwand, zwischen denen die Rillen ausgebildet sind.

3. Rotoreinrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen so angeordnet sind, dass sie jeweils im wesentlichen in Längsrichtung parallel der Richtung der Wandschubspannung verlaufen, die sich aus der Reibung des Fluids an der Außenwand ergibt, wenn das Fluid bei einer vorbestimmten Umdrehungszahl der rotierenden Rotoreinrichtung an der Außenfläche entlang strömt.

4. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Rille jeweils zwei benachbarte Rillenwände aufweist, die in einem Abstand s voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand in der maximalen Höhe h benachbarter Rillenwände, senkrecht zur Längsrichtung der Rille und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei s aus einem Bereich für s mit einem unteren Limit s_1 und einem oberen Limit s_2 gewählt ist, so dass $s_1 \leq s \leq s_2$, wobei s_1 ausgewählt ist aus den Werten $\{1,0 \mu\text{m}; 5,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}; 20,0 \mu\text{m}; 30,0 \mu\text{m}; 40,0 \mu\text{m}\}$ und s_2 ausgewählt ist aus den Werten $\{40,0 \mu\text{m}; 50,0 \mu\text{m}; 60,0 \mu\text{m}; 70,0 \mu\text{m}; 80,0 \mu\text{m}; 100,0 \mu\text{m}; 200,0 \mu\text{m}; 500,0 \mu\text{m}\}$.

5. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** benachbarte Rillenwände in einem Abstand s_R voneinander angeordnet sind, wobei der Abstand in der maximalen Höhe h benachbarter Rillenwände, senkrecht zur Längsrichtung der Rille und parallel zur Außenfläche der Rotoreinrichtung gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei

$$s_1 \leq s_R \leq s_2,$$

wobei $s_1 = (1-f) \cdot s$ und $s_2 = (1+f) \cdot s$, f ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen $\{0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$, und $s = \text{Re}^+ \cdot \nu / (u^+)$, wobei Re^+ die lokale Reynoldszahl für die rotierende Rille ist, ν die kinematische Viskosität des Fluids und u^+ die Schubspannungsgeschwindigkeit bei einer vorbestimmten Umdrehungszahl am Ort der Abstandsbestimmung ist, wobei insbesondere die Reynoldszahl $\text{Re}^+ = 17$ ist und wobei insbesondere $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{s}$ ist.

6. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h_1 und einem oberen Limit h_2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei h_1 ausgewählt ist aus den Werten $\{2,0 \mu\text{m}; 5,0 \mu\text{m}; 10,0 \mu\text{m}; 20,0 \mu\text{m}; 30,0 \mu\text{m}; 40,0 \mu\text{m}\}$ und h_2

ausgewählt ist aus den Werten {40,0 μm; 50,0 μm; 60,0 μm; 70,0 μm; 80,0 μm; 100,0 μm; 200,0 μm; 300,0 μm}.

7. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche und Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Höhe h einer Rille aus einem Bereich für h mit einem unteren Limit h1 und einem oberen Limit h2 gewählt ist, so dass $h_1 \leq h \leq h_2$, wobei $h_1 = (1-f_2) \cdot s$ und $h_2 = (1+f_2) \cdot s$, f2 ausgewählt aus der Gruppe von Zahlen {0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9}, vorzugsweise $T = 0,5 \cdot s$.

8. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, eine Breite B aufweist, die dem Abstand d entspricht, wobei die Breite B in der maximalen Höhe h der Trennwand, senkrecht zur Längsachse der Rippe und parallel zur Außenfläche gemessen wird, wobei die Höhe h ausgehend von dem Punkt geringster Höhe der Rille in Richtung senkrecht zur Längsrichtung der Rille und senkrecht von der Außenfläche der Rotoreinrichtung weg gemessen wird, wobei B aus einem Bereich für B mit einem unteren Limit B1 und einem oberen Limit B2 gewählt ist, so dass $B_1 \leq B \leq B_2$, wobei B1 ausgewählt ist aus den Werten {0,01; 0,02; 0,05 μm; 0,1 μm; 0,5 μm; 1,0 μm; 10,0 μm} und B2 ausgewählt ist aus den Werten {0,5 μm; 1,0 μm; 1,5 μm; 3,0 μm; 5,0 μm; 10,0 μm; 50,0 μm; 100,0 μm }.

9. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, mindestens eine Seitenfläche aufweist, die mit einer Normalen des Flächenabschnitts der Außenfläche einen spitzen Winkel α einschließt, wobei vorzugsweise α aus einem Bereich für α mit einem unteren Limit α1 und einem oberen Limit α2 gewählt ist, so dass $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$, wobei α1 ausgewählt ist aus den Werten {0,0°; 5,0°; 10,0°; 20,0°} und α2 ausgewählt ist aus den Werten {0,0°; 5,0°; 10,0°; 20,0°; 45,0°}, vorzugsweise $\alpha = 0^\circ$.

10. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippe, die zwei benachbarte Rillen trennt, in einem senkrecht zur Längsrichtung der Rippe betrachteten Querschnitt eine im wesentlichen rechteckförmige Kontur aufweist.

11. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens zwei benachbarte Rillen sich in mindestens einem Parameter zur Bestimmung der Rillengeometrie unterscheiden, wobei dieser Parameter aus der Gruppe von Parametern {s; h; T; B; α; β} ausgewählt ist.

12. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rillen so angeordnet sind, dass ihre Längsrichtung von der konzentrischen Umlaufrichtung abweicht, mit der jeder Punkt der Außenfläche in einer zur Rotationsachse senkrechten Rotationsebene rotiert.

13. Rotoreinrichtung gemäß einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen zylinderförmigen Außenwandabschnitt aufweist, der diesen Flächenabschnitt mit der Mikrorillenstruktur trägt.

14. Zentrifugenkessel (100) zur Aufnahme einer Rotoreinrichtung (10; 20) gemäß einem der vorherigen Ansprüche, aufweisend eine Innenwand mit einer Innenfläche (101), die bei Rotation der Rotoreinrichtung (10; 20) von dem Fluid umströmt wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

zumindest ein Flächenabschnitt der Innenfläche eine Mikrorillenstruktur (34; 44; 64) aufweist, deren Rillen (35; 45; 65) in einem Abstand d benachbarter Rillen verlaufen, insbesondere mit $d < 2 \text{ mm}$.

15. Zentrifuge (1), aufweisend eine Rotoreinrichtung (10; 20) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 und/oder den Zentrifugenkessel (100) nach Anspruch 14.

16. Verfahren zur Herstellung einer Rotoreinrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 oder des Zentrifugenkessel nach Anspruch 14, wobei die Rillenstruktur durch eine Oberflächenbearbeitung oder durch ein Gussverfahren erzeugt wird, insbesondere durch Aufdrucken der Mikrorillenstruktur auf die Außenfläche bzw. Innenfläche, oder durch Aufbringen einer Folie mit dieser Mikrorillenstruktur.

Fig. 1

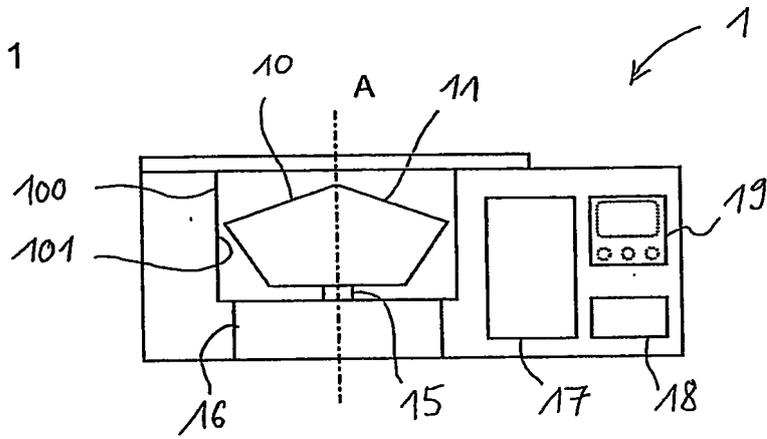


Fig. 2

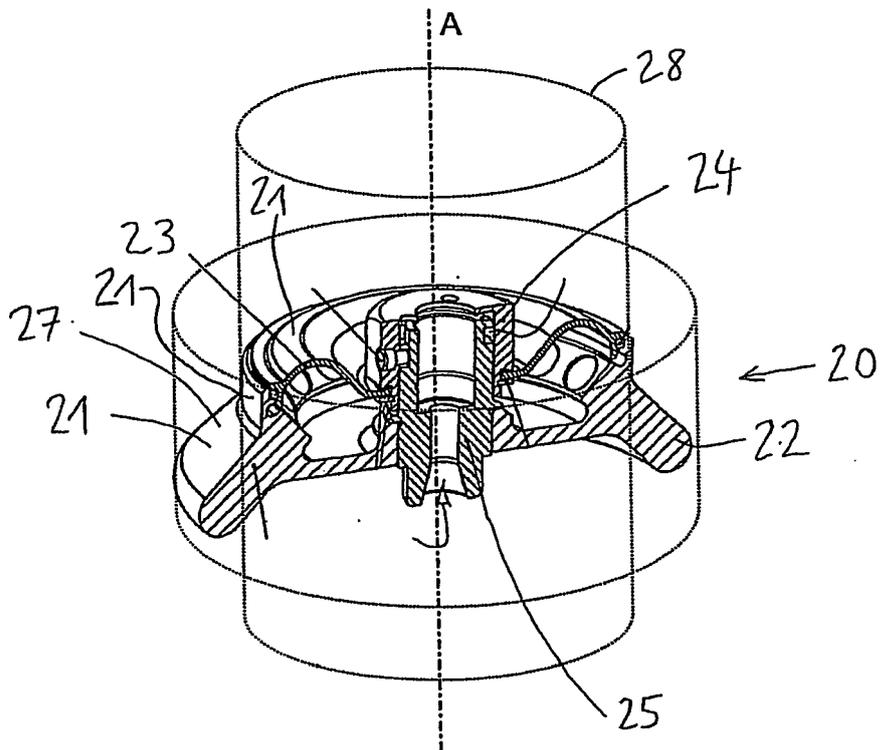


Fig. 3

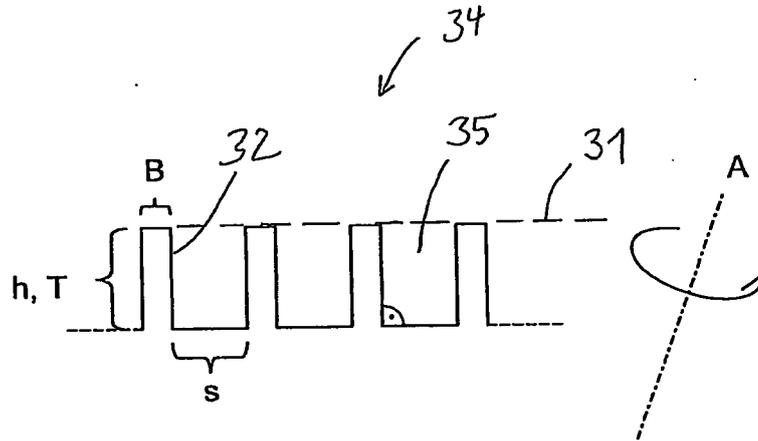


Fig. 4

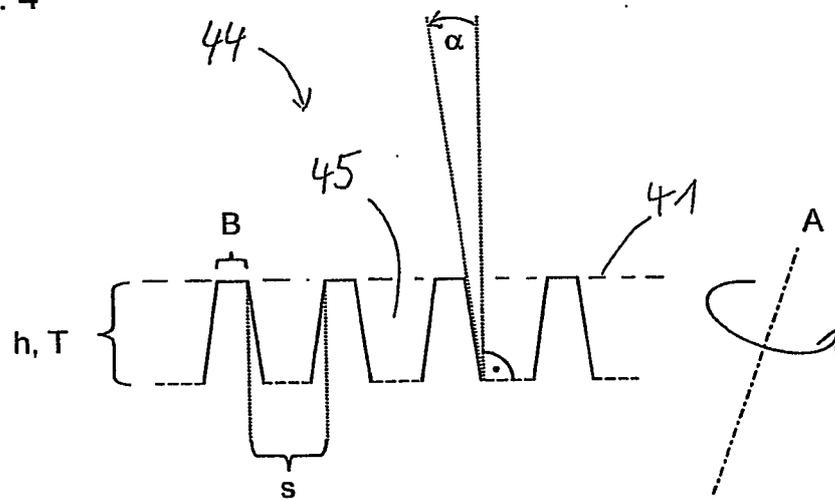


Fig. 5

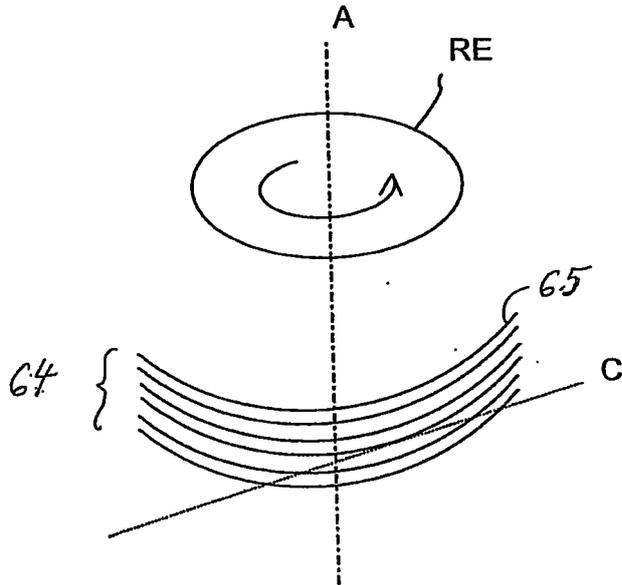


Fig. 6

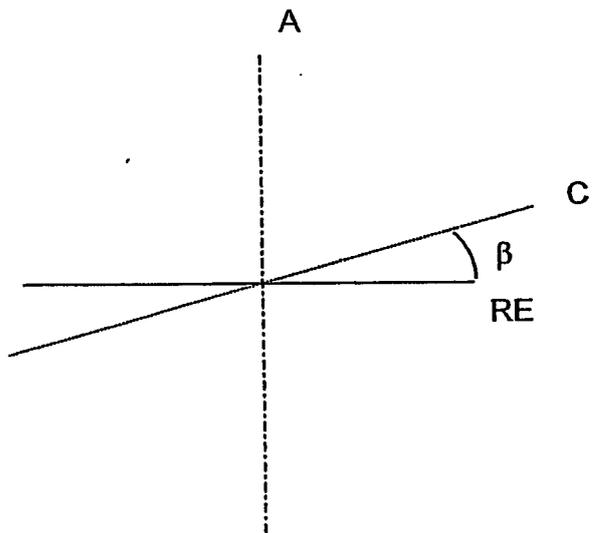


Fig. 7a

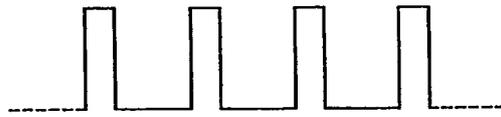


Fig. 7b

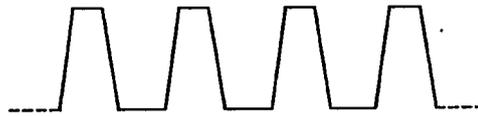


Fig. 7c



Fig. 7d

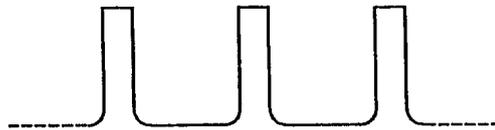


Fig. 7e

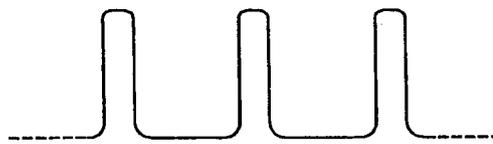


Fig. 7f

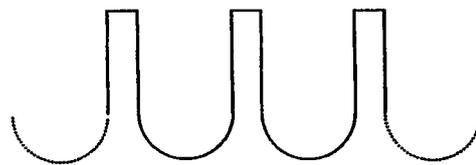


Fig. 7g

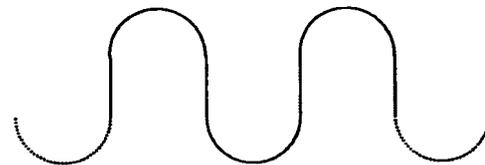
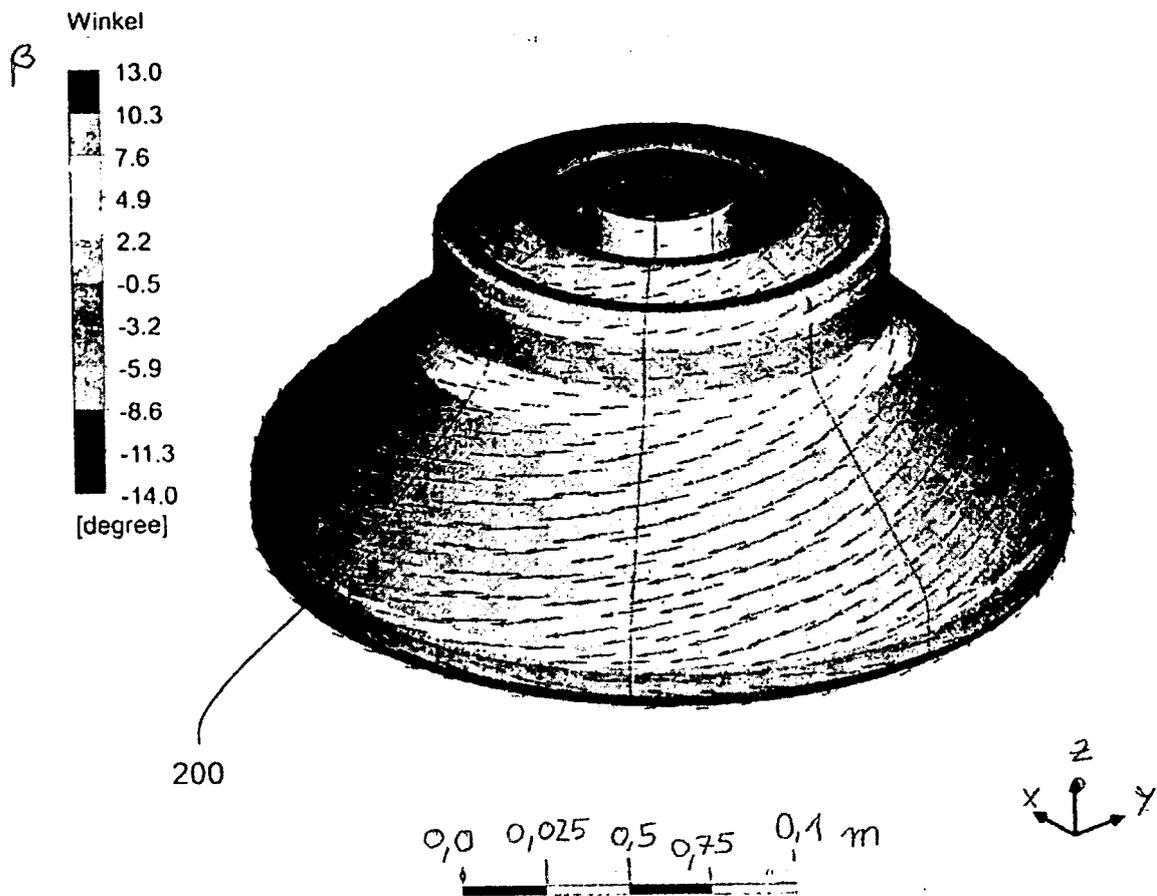


Fig. 7h



Fig. 8





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 12 00 6283

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	US 2007/037684 A1 (MOSCONE KENNETH J SR [US] ET AL MOSCONE KENNETH J [US] ET AL) 15. Februar 2007 (2007-02-15) * Absatz [0024] * * Absatz [0038] - Absatz [0039]; Abbildungen * -----	1,14-16	INV. B04B5/04 B04B7/02 B04B7/08
A	DE 10 33 446 B (MARTIN CHRIST FA) 3. Juli 1958 (1958-07-03) * das ganze Dokument * -----	1,14-16	
A	DE 103 55 179 A1 (KENDRO LAB PROD GMBH [DE] THERMO ELECTRON LED GMBH [DE]) 30. Juni 2005 (2005-06-30) * Absatz [0024]; Abbildungen * -----	1,14-16	
			RECHERCHIERTES SACHGEBIETE (IPC)
			B04B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 24. Januar 2013	Prüfer Leitner, Josef
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 00 6283

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24-01-2013

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007037684 A1	15-02-2007	KEINE	
DE 1033446 B	03-07-1958	KEINE	
DE 10355179 A1	30-06-2005	KEINE	

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 Nicht-Patentliteratur

- **BECHERT, DW. et al.** Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry. *J. Fluid Mech.*, 1997, vol. 338, 59-87 **[0007]**