



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43)

Veröffentlichungstag:
14.02.2024 Patentblatt 2024/07

(51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):
B04B 5/04 (2006.01)

(21)

Anmeldenummer: 22189563.4

(52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B04B 5/0442; B04B 2005/0492

(22)

Anmeldetag: 09.08.2022

(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
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72)

Erfinder: Sander, Michael
37520 Osterode (DE)

(74)

Vertreter: REHBERG HÜPPE + PARTNER
Patentanwälte PartG mbB
Robert-Gernhardt-Platz 1
37073 Göttingen (DE)

(71)

Anmelder: Sigma Laborzentrifugen GmbH
37520 Osterode/Harz (DE)

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2)
EPÜ.

(54)

DURCHFLUSSZENTRIFUGE UND AUSGLEICHSROTOR-FÜHRUNGSEINRICHTUNG

(57)

Die Erfindung betrifft eine Durchflusszentrifuge mit einem Rotor, der mindestens eine Zentrifugationskammer aufweist und mit einer Rotordrehzahl um eine Rotorachse (7) verdreht wird. Die Durchflusszentrifuge weist einen Verbindungsstrang (12) auf, durch den sich Anschlussleitungen (16, 17) erstrecken. Über die Anschlussleitungen (16, 17) kann im Betrieb der Durchflusszentrifuge mit rotierendem Rotor der Zentrifugationskammer ein Medium zugeführt werden und das Medium aus der Zentrifugationskammer abgeführt werden. Ein Endbereich (18) des Verbindungsstrangs (12) ist gehäusefest angeordnet, während der andere Endbereich (19) des Verbindungsstrangs (12) mit dem Rotor verdreht

wird. Zur Vermeidung einer Verdrehung des Verbindungsstrangs (12) ist der Verbindungsstrang (12) in einer Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) (insbesondere einem Führungsrohr (21)) geführt, die mit der halben Rotordrehzahl um die Rotorachse (7) verdreht wird. Erfindungsgemäss weist die Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) eine Führungskontur (27) auf, deren Krümmungsradius (32) in einem ersten Führungskonturabschnitt (28) größer ist als der Krümmungsradius (33) in einem zweiten Führungskonturabschnitt (29). Hierdurch kann die Lebensdauer des Verbindungsstrangs (12) erhöht werden.

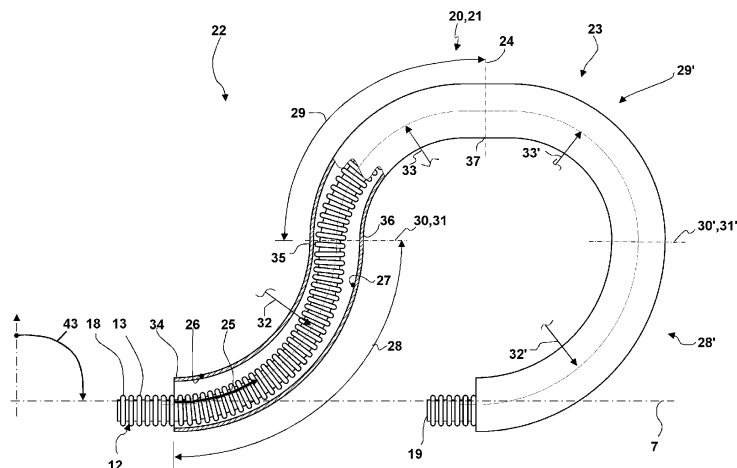


Fig. 2

Beschreibung**TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Durchflusszentrifuge, bei der zumindest temporär einer Zentrifugationskammer mindestens ein Medium (insbesondere ein Fluid, eine Flüssigkeit, eine Suspension u. ä.) zugeführt wird und/oder ein Medium aus der Zentrifugationskammer abgeführt wird, während die Zentrifugationskammer rotiert. Das Medium kann dabei in einem Behältnis in der Zentrifugationskammer angeordnet sein. Bei dem mindestens einen Medium handelt es sich insbesondere um das zu zentrifugierende Medium, eine Spülflüssigkeit, eine Wasch- oder Buffer-Lösung, ein aus dem zentrifugierten Medium extrahiertes, modifiziertes Medium und/oder ein Sediment in der Zentrifugationskammer.

[0002] Um lediglich einige die Erfindung nicht beschränkende Beispiele zu nennen, kann es sich bei der Durchflusszentrifuge um eine Blutzentrifuge handeln, bei der das zu zentrifugierende Medium Blut ist und das extrahierte modifizierte Medium oder das Sediment Blutkörper oder-partikel sind, oder um eine Durchflusszentrifuge handeln, mittels welcher aus einem Medium Zellen, Mikroträger oder anderweitige, in dem Medium enthaltene Partikel gewonnen werden sollen. Möglich ist auch, dass es sich bei dem zentrifugierten Medium nicht um eine reine Flüssigkeit handelt, sondern das Medium eine Lösung oder Suspension mit Partikeln wie Zellen, Zelltrümmern oder -teilen usw. ist.

[0003] Die Durchflusszentrifuge findet beispielsweise Einsatz für die Erzeugung biopharmazeutischer Produkte in biopharmazeutischen Unternehmen oder in bio-verarbeitenden Anwendungen. Die Durchflusszentrifuge kann dabei bspw. der Gewinnung und/oder Klärung der Zellen oder Mikroträger dienen, wobei die derart gewonnenen Zellen auch Einsatz finden können für die Zelltherapie. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Durchflusszentrifuge ist bspw. die Herstellung von Impfstoffen.

[0004] Die Erfindung betrifft auch eine Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung.

STAND DER TECHNIK

[0005] Gattungsgemäße Durchflusszentrifugen werden bspw. von dem Unternehmen Sartorius AG, Otto-Brenner-Straße 20, 37079 Göttingen, Deutschland, und verbundenen Unternehmen unter der Kennzeichnung "Ksep" (eingetragene Marke) vertrieben. Auf der diese Durchflusszentrifugen betreffenden Internet-Seite www.sartorius.com/en/products/process-filtration/cell-harvesting/ksep-systems (Datum der Einsichtnahme: 06.07.2022)

wird das Funktionsprinzip einer Durchflusszentrifuge, wie dieses auch für die vorliegende Erfindung Einsatz finden kann, auf Grundlage eines verlinkten Videos wie folgt beschrieben:

Ein Rotor der Durchflusszentrifuge weist eine beliebige Anzahl (bspw. zwei oder vier) von Zentrifugationskammern auf, die als an einem Rotorkörper gehaltene Blutbeutel ausgebildet sein können und gleichmäßig über den Umfang verteilt sind. Die Zentrifugationskammern sind mit gleichen radialen Abständen von der Rotationsachse des Rotors angeordnet. Eine erste Anschlussleitung mündet radial innenliegend in eine Zentrifugationskammer, während eine zweite Anschlussleitung radial außenliegend in die Zentrifugationskammer mündet. In einer ersten Betriebsphase wird ein beispielsweise als Blut ausgebildetes erstes Medium über die zweite Anschlussleitung der Zentrifugationskammer zugeführt, während die Zentrifugationskammer mit dem Rotor rotiert. In der Zentrifugationskammer lagern sich infolge der Zentrifugation in dem Blut enthaltene Partikel (bspw. Blutkörper) radial außenliegend ab, während aus der Zentrifugationskammer radial innenliegend über die erste Anschlussleitung das Restmedium (also das radial außenliegend zugeführte Medium vermindert um die radial nach außen gedrängten Partikel) abgeführt wird. In dieser ersten Betriebsphase ist somit die erste Anschlussleitung eine Abführleitung, während die zweite Anschlussleitung eine Zuführleitung ist. Mit Fortsetzung dieses Betriebs erhöht sich der Anteil der Partikel und deren Konzentration in der Zentrifugationskammer, bis diese weitestgehend und schließlich vollständig mit den Partikeln gefüllt ist. In einer folgenden optionalen zweiten Betriebsphase erfolgt ein Waschen der Partikel in der Zentrifugationskammer. Zu diesem Zweck wird eine Wasch- oder Bufferlösung über die zweite Anschlussleitung in die Zentrifugationskammer geleitet. Die Wasch- oder Bufferlösung durchspült die Zentrifugationskammer und wird radial innenliegend über die erste Anschlussleitung abgeführt. Auch in dieser Betriebsphase rotiert die Zentrifugationskammer mit dem Rotor, so dass infolge der wirkenden Zentrifugationskraft die Partikel daran gehindert sind, mit der Wasch- oder Bufferlösung über die erste Anschlussleitung aus der Zentrifugationskammer auszutreten. Auch während der zweiten Betriebsphase dient die erste Anschlussleitung als Abführleitung für die Wasch- oder Bufferlösung, während die zweite Anschlussleitung als Zuführleitung für die Wasch- oder Bufferlösung dient. In einer anschließenden dritten Betriebsphase erfolgt weiterhin die Verdrehung der Zentrifugationskammer mit dem Rotor. In der dritten Betriebsphase wird die Durchströmungsrichtung durch die Zentrifugationskammer umgekehrt und die Partikel werden über die zweite Anschlussleitung aus der Zentrifugationskammer entnommen, während über die erste Anschlussleitung Wasch- oder Bufferlösung in die Zentrifugationskammer nachgeführt werden kann. Die dritte Betriebsphase endet dann, wenn sämtliche Partikel aus der Zentrifugationskammer entnommen sind. Hieran können sukzessive weitere Zyklen mit den erläuterten drei Betriebsphasen anschließen.

[0006] EP 3 936 601 A1 ist die Gestaltung eines Medium-Netzwerks zu entnehmen, welches an die Anschlussleitungen angeschlossen ist und die unterschiedlichen Betriebsphasen gewährleistet. Hinsichtlich dieses Medium-Netzwerks, der enthaltenen Pumpenanordnung, der Prozess-Steuereinheit, einer zusätzlichen Filteranordnung, Aufnahmebehältern für die unterschiedlichen Medien und hinsichtlich des Prozessablaufs wird ergänzend auf EP 3 936 601 A1, EP 2 310 486 B1 und EP 2 485 846 B1 verwiesen.

[0007] EP 2 485 846 B1 beschreibt, dass in Durchflusszentrifugen fluidische Verbindungen zu mit dem Rotor rotierenden Anschlussleitungen mittels Drehdurchführungen problematisch sein können, da die Drehdurchführungen anfällig gegenüber Leckagen sind und die Gefahr mit sich bringen, dass eine unerwünschte Kontamination der Medien erfolgt. Andererseits wird erläutert, dass gemäß US 4,216,770, US 4,419,089, US 4,389,206 und US 5,665,048 Verbindungsstränge Einsatz finden, in die die Anschlussleitungen integriert sein können. Ein Endbereich des Verbindungsstrangs ist dabei gehäusefest angeordnet, während der andere Endbereich des Verbindungsstrangs an dem Rotor befestigt ist und mit dem Rotor verdreht wird. Um zu vermeiden, dass die Verdrehung des Verbindungsstrangs infolge der Verdrehung des Rotors und der relativen Verdrehung der Endbereiche des Verbindungsstrangs immer größer wird, ist der Verbindungsstrang zusätzlich in einer als Führungsrohr ausgebildeten Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung geführt. Das Führungsrohr verfügt über einen Teilabschnitt, der die Form eines abgerundeten U mit leicht auseinander gespreizten Seitenschenkeln unterschiedlicher Längen aufweist. Die Öffnung des U weist dabei in Richtung der Rotationsachse des Rotors. Der Verbindungsstrang tritt, ausgehend von dem gehäusefesten Endbereich unter Krümmung nach außen in einen Seitenschenkel des U ein. In dem U-förmigen Teilabschnitt wird der Verbindungsstrang durch das Führungsrohr um den Rotor herumgeführt. Der freie Endbereich des anderen Seitenschenkels des U des Führungsrohrs ist so zurück gekrümmt, dass dieser koaxial zur Drehachse des Rotors angeordnet ist und unmittelbar benachbart zu dem Eintritt des Verbindungsstrangs in den Rotor angeordnet ist. Das Führungsrohr wird dann mit der halben Drehzahl des Rotors angetrieben. EP 2 485 846 B1 verweist zur Erläuterung der Vermeidung der zunehmenden Verdrehung des Verbindungsstrangs durch Einsatz des rotierenden Führungsrohrs auf die Druckschrift US 3,586,413.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Durchflusszentrifuge sowie eine Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung für eine Durchflusszentrifuge vorzuschlagen, die hinsichtlich der Beanspruchungen und der Dauerfestigkeit verbessert ist.

LÖSUNG

[0009] Die Aufgabe der Erfindung wird erfindungsgemäß mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weitere bevorzugte erfindungsgemäße Ausgestaltungen sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0010] Die Erfindung betrifft eine Durchflusszentrifuge. Die Durchflusszentrifuge weist einen Rotor auf, der über (mindestens) eine Zentrifugationskammer verfügt. In der Zentrifugationskammer kann unmittelbar oder in einem geeigneten Behältnis das zu zentrifugierende Medium angeordnet werden und diese kann mit weiteren Medien wie einer Wasch- oder Bufferlösung durchspült werden. In der Durchflusszentrifuge wird der Rotor mit einer Rotordrehzahl um die Rotorachse verdreht. Die Durchflusszentrifuge verfügt über einen Verbindungsstrang. Der Verbindungsstrang weist eine Anschlussleitung auf, über die im Betrieb der Durchflusszentrifuge mit rotierendem Rotor der Zentrifugationskammer (insbesondere einem in der Zentrifugationskammer angeordneten Behältnis) ein Medium zuführbar ist. Des Weiteren weist der Verbindungsstrang eine Anschlussleitung auf, über die ein Medium von der Zentrifugationskammer (insbesondere einem in der Zentrifugationskammer angeordneten Behältnis) abführbar ist. Je nach vorliegender Betriebsphase können sich die Strömungsrichtungen durch die Anschlussleitungen umkehren. Ein Endbereich des Verbindungsstrangs ist gehäusefest angeordnet, während der andere Endbereich des Verbindungsstrangs mit dem Rotor verdreht wird. Um eine Verdrehung des Verbindungsstrangs zu vermeiden, wird der Verbindungsstrang mit einem Ausgleichsrotor verdreht, wobei der Verbindungsstrang in einer Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung des Ausgleichsrotors, insbesondere einem Führungsrohr, geführt wird. Der Ausgleichsrotor und die Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung werden mit der halben Rotordrehzahl um die Rotorachse verdreht. Insoweit kann die Durchflusszentrifuge beispielsweise so ausgebildet sein wie die eingangs angeführten Durchflusszentrifugen des Stands der Technik.

[0011] Bei herkömmlichen Durchflusszentrifugen besteht der Verbindungsstrang aus einem flexiblen Rohr oder Schlauch (vorzugsweise einem Wellrohr), durch welches oder welchen sich die Anschlussleitungen erstrecken. Durchaus möglich ist, dass die Kosten eines derartigen Verbindungsstrangs mit den Anschlussleitungen und den Schnittstellen einerseits zu dem Rotor und andererseits zu dem Medium-Netzwerk im Bereich von € 5.000 bis € 15.000 betragen. Infolge der hohen Beanspruchungen des Verbindungsstrangs während des Betriebs der Durchflusszentrifuge kann ein

Austausch des Verbindungsstrangs schon nach 5 bis 20 Betriebsstunden geboten seien, was einerseits zu hohen Umrüstzeiten und Ausfallzeiten der Durchflusszentrifuge führt und andererseits beträchtliche Kosten verursacht. Da in der Regel keine Verlängerung der Betriebsdauer des Verbindungsstrangs durch eine Reduzierung der Drehzahl des Rotors oder eine stärkere Dimensionierung des Verbindungsstrangs und/oder Wahl hochfester Materialien für den Verbindungsstrang möglich ist, werden gemäß dem Stand der Technik derart kurze Lebensdauern des Verbindungsstrangs hingenommen.

[0012] Die Erfindung basiert zunächst auf einer Untersuchung der an dem Verbindungsstrang im Betrieb der Durchflusszentrifuge wirkenden Beanspruchungen. Die der Erfindung zugrunde liegenden Untersuchungen haben dabei zu dem Ergebnis geführt, dass der Verbindungsstrang in der Durchflusszentrifuge komplex beansprucht ist:

a) Der Verbindungsstrang führt in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung eine relative Drehbewegung um die Längsachse aus. Diese relative Drehbewegung führt zu einer Reibung zwischen dem Verbindungsstrang und der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung. Diese Reibung führt zu einer über die Längserstreckung des Verbindungsstrangs variierenden Torsionsbeanspruchung des Verbindungsstrangs. Darüber hinaus führt die Reibung zwischen dem Verbindungsstrang und der Innenwandung der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung zu einem Wärmeeintrag in den Verbindungsstrang im Bereich der Kontakt- und Reibflächen und unter Umständen zu einem Verschleiß.

b) Der Verbindungsstrang ist in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung so geführt, dass der Verbindungsstrang, einem ersten Führungskonturabschnitt der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung folgend, von dem gehäusefesten Endbereich und der dortigen coaxialen Anordnung zu der Rotorachse nach außen gekrümmt ist. Ab einem Wendepunkt ist dann der Verbindungsstrang in einem zweiten Führungskonturabschnitt der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung in die entgegengesetzte Richtung gekrümmt, bis der Verbindungsstrang mit einem parallel zu der Rotorachse orientierten Abschnitt radial außenliegend an dem Rotor vorbeigeführt werden kann. Der Verbindungsstrang ist somit in den genannten Führungskonturabschnitten entsprechend einem langgestreckten S geführt, wobei die beiden Enden des S parallel zueinander orientiert sind und ein Ende coaxial zur Rotorachse angeordnet ist, während das andere Ende den maximalen Abstand des Verbindungsstrangs von der Rotorachse aufweist. Der Verbindungsstrang ist in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung entsprechend den Führungskonturen der genannten Führungskonturabschnitte gekrümmt und somit aus seiner langgestreckten Ausgangslage mit einer Biegung beaufschlagt.

Infolge der mechanischen Randbedingungen des Verbindungsstrangs, nämlich

- der Befestigung eines Endbereichs des Verbindungsstrangs an dem ruhenden Gehäuse,
- der Befestigung des anderen Endbereichs des Verbindungsstrangs an dem Rotor, der mit der Rotordrehzahl rotiert und
- der Führung des Verbindungsstrangs in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung, die mit der halben Rotordrehzahl verdreht wird,

ist die Biegung des Verbindungsstrangs nicht stationär, sondern diese stellt eine Umlaufbiegung dar. Abseits einer (imaginären) neutralen Faser ist infolge der Umlaufbiegung ein jeweils temporär radial außenliegender Materialbereich des Verbindungsstrangs, insbesondere des flexiblen Schlauchs oder des flexiblen (Well-)Rohrs, abwechselnd mit einem harmonischen Verlauf einer Wechsellastspannung, also abwechselnd einer Zug- und einer Druckspannung, ausgesetzt.

c) Verfügt der Verbindungsstrang über ein Wellrohr, kann die umlaufende Biegung des Wellrohrs dazu führen, dass Wellen oder Rippen des Wellrohrs auf der radial innenliegenden Seite der gekrümmten Führungskontur aneinander zur Anlage kommen, was zu einer Nichtlinearität in der Steifigkeit des Wellrohrs führen kann, die einen veränderten Beanspruchungsmechanismus des Wellrohrs zur Folge haben kann.

d) Der Erfindung zugrunde liegende Überlegungen haben zu dem Ergebnis geführt, dass auf Längsabschnitte des Verbindungsstrangs (insbesondere den Schlauch oder das (Well-) Rohr und die darin angeordneten Leitungen und auch auf das in den Leitungen angeordnete Medium) eine Zentrifugalkraft wirkt, deren Betrag von dem Abstand des jeweiligen Längsabschnittes von der Rotorachse abhängig ist. Hierbei weist die auf den jeweiligen Längsabschnitt wirkende Zentrifugalkraft

- eine erste Komponente auf, die in Richtung der Führungsfläche der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung wirkt und somit die Anpresskraft und Reibung zwischen dem Verbindungsstrang und der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung erhöht,

- und eine zweite Komponente auf, die in Längsrichtung des Verbindungsstrangs orientiert ist und zu einer Zug- oder Druckkraft in Längsrichtung des Verbindungsstrangs führt.

Die Aufteilung der Zentrifugalkraft auf die beiden Komponenten ergibt sich aus den trigonometrischen Funktionen in Abhängigkeit des Winkels, unter dem der Längsabschnitt gegenüber der Rotorachse geneigt ist. In dem ersten Führungskonturabschnitt führt die zweite Komponente zu einer Zugkraft, die eine Dehnung des Verbindungsstrangs zur Folge hat, während diese in dem zweiten Führungskonturabschnitt zu einer Druckkraft führt, die den Verbindungsstrang komprimiert. Hierbei ist eine Zugkraft infolge der Zentrifugalkraft in einem ersten Materialbereich des Verbindungsstrangs an einer ersten Längserstreckungskordinate des Verbindungsstrangs, der einen kleinen Abstand von der Rotorachse hat, u. U. größer als die Zugkraft infolge der Zentrifugalkraft in einem zweiten Materialbereich des Verbindungsstrangs an einer zweiten Längserstreckungskordinate des Verbindungsstrangs, der einen größeren Abstand von der Rotorachse hat. Der Grund hierfür ist, dass radial außenliegend von dem ersten Materialbereich des Verbindungsstrangs an der ersten Längserstreckungskordinate des Verbindungsstrangs ein längerer Abschnitt des Verbindungsstrangs angeordnet ist, der zu einer größeren Zugkraft infolge der Zentrifugalkraft führen kann.

e) Je nach den wirkenden Beanspruchungen kann es zu veränderten Randbedingungen in dem Verbindungsstrang kommen. So kann beispielsweise eine Dehnung einer Anschlussleitung in dem Schlauch oder (Well-)Rohr dazu führen, dass die Anschlussleitung nicht mehr an der Innenfläche des Schlauchs oder (Well-)Rohrs anliegt, womit keine innere Abstützung des Schlauchs oder (Well-)Rohrs mehr gegeben ist und sich eine innere Reibung des Verbindungsstrangs verändert. Möglich ist auch, dass sich hierdurch eine Längs- und/oder Biegesteifigkeit des Verbindungsstrangs verändert.

f) Eine weitere Bedeutung kann eine etwaige Elastizität des Mediums in den Leitungen des Verbindungsstrangs haben, da die Zentrifugalkraft infolge der Elastizität zu Druckänderungen im Inneren der Anschlussleitungen, zu einer damit verbundenen veränderten Masseverteilung und/oder zu einer Veränderung der Steifigkeit führen kann.

[0013] Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen, der Untersuchung der oben erläuterten Beanspruchungen des Verbindungsstrangs und der Erfindung zugrunde liegenden Versuchen schlägt die Erfindung vor, dass in einer Durchflusszentrifuge eine Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung Einsatz findet, die eine Führungskontur aufweist, deren Krümmungsradius für einen ersten Abstand von der Rotorachse größer ist als für einen zweiten Abstand von der Rotorachse, wobei der erste Abstand kleiner ist als der zweite Abstand.

[0014] Dies soll anhand des die Erfindung nicht beschränkenden vereinfachenden Beispiels erläutert werden, dass die Führungskontur entsprechend einem in horizontaler Richtung langgestreckten S ausgebildet ist mit einem unteren linken Endbereich, welcher coaxial zur Rotorachse orientiert ist und einem oberen, rechten Endbereich, der parallel zur Rotorachse orientiert ist. Zwischen diesen Endbereichen befindet sich mittig ein Wendepunkt, im Bereich dessen die Krümmung in mathematischem Sinne das Vorzeichen ändert. Für dieses vereinfachende Beispiel ist in dem ersten Führungskonturabschnitt zwischen dem unteren linken Endbereich und dem Wendepunkt der Krümmungsradius konstant entsprechend einem ersten Krümmungsradius, während in dem zweiten Führungskonturabschnitt zwischen dem Wendepunkt und dem oberen rechten Endbereich der Krümmungsradius konstant mit einem zweiten Krümmungsradius ist, wobei der zweite Krümmungsradius kleiner ist als der erste Krümmungsradius.

[0015] In dem ersten Führungskonturabschnitt werden die Querschnitte an den jeweiligen Längserstreckungskordinaten infolge der Umlaufbiegung mit einer Umlaufbiegespannung beaufschlagt, die über die Längserstreckung in dem ersten Führungskonturabschnitt vom Betrag konstant sein kann, aber entsprechend des Umlaufes mit einem harmonischen Verlauf ihr Vorzeichen wechselt. Überlagert ist dieser Umlaufbiegespannung die Zugspannung, die sich infolge der Masse des Verbindungsstrangs infolge der Zentrifugalkraft entsprechend dem Abstand von der Rotorachse ergibt und die quadratisch von der Drehzahl abhängig ist. An dem ersten Ende des ersten Führungskonturabschnitts, wo die Biegung ausgehend von der coaxialen Ausrichtung zu der Rotorachse beginnt, wirkt dabei die Zentrifugalkraft, die von dem gesamten Teilabschnitt des Verbindungsstrangs in dem ersten Führungskonturabschnitt und unter Umständen auch einem Teilabschnitt in dem zweiten Führungskonturabschnitt erzeugt wird. Für Längserstreckungskordinaten in dem ersten Führungskonturabschnitt mit größerem Abstand von der Rotorachse verringert sich die infolge der Zentrifugalkraft in dem Querschnitt an der Längserstreckungskordinate wirkende Zugkraft, so dass an dem ersten Ende die Zugkraft infolge der Zentrifugalkraft und die hierdurch bedingte Zugspannung maximal ist. In den Querschnitten an den jeweiligen Längserstreckungskordinaten kommen dann jeweils die Umlaufbiegespannung und die Zugspannung infolge der Zentrifugalkraft zur Überlagerung. Führt die Umlaufbiegung temporär zu einer Umlaufbiegedruckspannung, hat die Überlagerung mit der Zugspannung infolge der Zentrifugalkraft eine Reduzierung der resultierenden Spannung zur Folge, was für die Materialbeanspruchung vorteilhaft ist. Derselbe Querschnittsbereich ist dann aber kurze Zeit später für die weiter umlaufende Biegung auch mit einer Umlaufbiegezugschpannung beaufschlagt, für die die Überlagerung mit

der Zugspannung infolge der Zentrifugalkraft dann zu einer Addition der Beträge der Umlaufbiegezugspannung und der Zugspannung infolge der Zentrifugalkraft führt. Es ergibt sich somit ein erhöhtes Maximum der resultierenden Beanspruchung, welches für einen möglichen Erklärungsversuch für die Begrenzung der Lebensdauer des Verbindungsstrangs verantwortlich sein kann.

[0016] Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung kann das Maximum der resultierenden Beanspruchung reduziert werden, womit die Lebensdauer (u. U. signifikant) erhöht werden kann:

In dem Bereich der Rotorachse oder benachbart zu diesem wird erfindungsgemäß der Krümmungsradius größer gewählt. Durch die Vergrößerung des Krümmungsradius ist die Amplitude der Umlaufbiegespannung reduziert, was dann trotz der erläuterten Überlagerung mit der Zugspannung infolge der Zentrifugalkraft zu einer Reduzierung der maximalen resultierenden Spannung und damit zu einer Reduzierung der Beanspruchung führen kann.

[0017] Für einen Vorschlag der Erfindung weist die Führungskontur einen ersten Führungskonturabschnitt und einen zweiten Führungskonturabschnitt auf. Für das vorgenannte Beispiel können die Führungskonturabschnitte jeweils viertelkreisförmig ausgebildet sein mit Krümmungen in entgegengesetzte Richtungen, wobei dann die Führungskonturabschnitte unterschiedliche Radien aufweisen. Möglich ist aber durchaus auch, dass in mindestens einem Führungskonturabschnitt Führungskonturteilabschnitte mit unterschiedlichen Krümmungsradien vorhanden sind, wobei der Krümmungsradius in Stufen oder auch kontinuierlich variieren kann. Für diesen Vorschlag der Erfindung weist der Führungskonturabschnitt eine Krümmung in eine erste Richtung auf, während der zweite Führungskonturabschnitt eine Krümmung in eine zweite Richtung aufweist. Der erste Führungskonturabschnitt und der zweite Führungskonturabschnitt sind durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse orientierten Zwischenabschnitt miteinander verbunden. Für das eingangs erläuterte Beispiel mit den viertelkreisförmigen Führungskonturabschnitten kann der Zwischenabschnitt von der lokalen Verbindungsstelle der einander zugewandten Enden der Führungskonturabschnitte gebildet sein, wobei auch möglich ist, dass sich zwischen diesen Enden ein geradliniger, vorzugsweise radial orientierter Zwischenabschnitt erstreckt. Alternativ oder kumulativ möglich ist, dass der erste Führungskonturabschnitt und der zweite Führungskonturabschnitt über einen Wendabschnitt miteinander verbunden sind, in dem die Krümmung das Vorzeichen wechselt. Der erste Führungskonturabschnitt weist einen kleineren Abstand von der Rotorachse auf als der zweite Führungskonturabschnitt. In dem ersten Führungskonturabschnitt ist der Krümmungsradius größer als der Krümmungsradius in dem zweiten Führungskonturabschnitt. Um lediglich einige die Erfindung nicht beschränkende Beispiele zu nennen, kann der Krümmungsradius in dem ersten Führungskonturabschnitt um mindestens 5 %, mindestens 10 %, mindestens 15 %, mindestens 20 %, mindestens 25 %, mindestens 30 %, mindestens 40 % oder sogar mindestens 50 % größer sein als der Krümmungsradius in dem zweiten Führungskonturabschnitt. Dies kann bspw.

- lediglich für einen diskreten Krümmungsradius an einer spezifischen Längserstreckungskordinate der Führungskonturabschnitte gelten,
- für einen Teilabschnitt der Führungskonturabschnitte gelten, in dem der Krümmungsradius konstant ist,
- für gemittelte Krümmungsradien in den Führungskonturteilabschnitten gelten oder
- für sämtliche Krümmungsradien bei einem sich kontinuierlich verändernden Krümmungsradius in den Führungskonturabschnitten gelten.

[0018] Alternativ oder kumulativ möglich ist, dass der Krümmungsradius in dem ersten Führungskonturabschnitt in Richtung der Längserstreckung und mit zunehmendem Abstand von der Rotorachse kontinuierlich oder in Stufen kleiner wird.

[0019] Grundsätzlich kann im Rahmen der Erfindung der Verbindungsstrang beliebig aufgebaut sein. Vorzugsweise weist der Verbindungsstrang ein Wellrohr auf, durch welches sich die unterschiedlichen Leitungen, insbesondere Anschlussleitungen, des Verbindungsstrangs erstrecken können. Das Wellrohr dient dabei bspw. der Bündelung der Leitungen, dem Schutz der Leitungen und der Führung sowie Kapselung der Leitungen.

[0020] Für einen besonderen Vorschlag der Erfindung wird der Krümmungsradius in dem ersten Führungskonturabschnitt mit zunehmenden Abstand von der Rotorachse kontinuierlich kleiner. Möglich ist, dass dies nur für den ersten Führungskonturabschnitt gilt. Vorzugsweise wird auch der Krümmungsradius in dem zweiten Führungskonturabschnitt mit zunehmenden Abstand von der Rotorachse kontinuierlich kleiner.

[0021] Wie zuvor erläutert wurde sind die Beanspruchungen des Verbindungsstrangs in der Führungseinrichtung durchaus komplex, was auch die Anforderungen an die Gestaltung der Geometrie der Führungskonturabschnitte komplex machen kann. Für eine Ausgestaltung der Durchflusszentrifuge ist in dem ersten Führungskonturabschnitt und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt ein Krümmungsradius an den unterschiedlichen Längserstreckungskordinaten derart dimensioniert, dass eine Beanspruchung des in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung geführten Verbindungsstrangs an diesen oder sämtlichen Längserstreckungskordinaten konstant ist oder lediglich maximal $\pm 20\%$, maximal $\pm 15\%$, maximal $\pm 10\%$ oder maximal $\pm 5\%$ variiert. Hierbei wird die Beanspruchung, die konstant bleiben soll oder lediglich um den angegebenen Prozentsatz variieren soll, ermittelt aus einer Überlagerung zweier unterschiedlicher Teilbeanspruchungen:

- einer Zugbeanspruchung des Verbindungsstrangs an den Längserstreckungskoodinaten, die sich infolge der Zentrifugalkraft infolge des Abschnitts des Verbindungsstrangs, der radial außenliegend von der Längserstreckungskoodinate angeordnet ist, ergibt;
- einer Umlaufbiegebeanspruchung des Verbindungsstrangs an den Längserstreckungskoodinaten, die sich infolge der umlaufenden Biegung des Verbindungsstrangs entsprechend der Krümmung desselben ergibt.

[0022] Diese Auslegung basiert einerseits auf der Annahme, dass die beiden genannten Teilbeanspruchungen maßgeblich für die Festigkeit des Verbindungsstrangs sind, wobei über die angegebenen prozentuale Variationsbreiten einerseits eine Sicherheit berücksichtigt werden kann und andererseits weiteren auftretenden Beanspruchungen (Reibung, Erwärmung, Verschleiß, ...) Rechnung getragen werden kann.

[0023] Für ein alternatives oder kumulatives Auslegungskriterium erfolgt eine Dimensionierung des Krümmungsradius derart, dass die Beanspruchung infolge der vorgenannten beiden Teilbeanspruchungen über die Längserstreckung des Verbindungsstrangs in dem ersten Führungskonturabschnitt und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt mindestens um einen vorgegebenen Prozentsatz kleiner ist als eine zulässige Beanspruchung des Verbindungsstrangs. So kann beispielsweise für den Einsatz eines Wellrohrs in dem Verbindungsstrang eine maximale statische Biegebeanspannung herstellerseitig vorgegeben sein, so dass in diesem Fall die aus den beiden Teilbeanspruchungen ermittelte resultierende Spannung um einen fest vorgegebenen Prozentsatz kleiner ist als diese herstellerseitig angegebene Biegebeanspannung. Eine weitere zulässige Beanspruchung, auf die die mit den Teilbeanspruchungen ermittelte Beanspruchung prozentual bezogen ist, kann eine maximale dynamische Zug- und/oder Biegespannung oder eine vorgegebene Zugfestigkeit oder Dauerfestigkeit eines Bestandteils des Verbindungsstrangs oder des gesamten Verbindungsstrangs sein.

[0024] Eine weitere Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe stellt eine Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung dar, die bestimmt ist für eine Durchflusszentrifuge, wie diese zuvor erläutert worden ist. Die Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung weist ein Führungsrohr auf oder besteht in einem Führungsrohr, wobei das Führungsrohr eine Führungskontur aufweist mit einem ersten Führungskonturabschnitt und einem zweiten Führungskonturabschnitt. Der erste Führungskonturabschnitt weist eine Krümmung in eine erste Richtung auf, während der zweite Führungskonturabschnitt eine Krümmung in eine zweite Richtung, die entgegengesetzt zu der ersten Richtung orientiert ist, aufweist. Der erste Führungskonturabschnitt und der zweite Führungskonturabschnitt sind durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse orientierten Zwischenabschnitt oder einen Wendeabschnitt miteinander verbunden. Der erste Führungskonturabschnitt weist einen kleineren Abstand von der Rotorachse auf als der zweite Führungskonturabschnitt. Der Krümmungsradius in dem ersten Führungskonturabschnitt ist kleiner als der Krümmungsradius in dem zweiten Führungskonturabschnitt. Alternativ oder kumulativ wird in dem Führungsrohr der Krümmungsradius in dem ersten Führungskonturabschnitt in Richtung des Endbereichs, der dem zweiten Führungskonturabschnitt zugewandt ist, kleiner, was in Stufen oder kontinuierlich erfolgen kann.

[0025] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

[0026] Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen.

[0027] Hinsichtlich des Offenbarungsgehalts - nicht des Schutzbereichs - der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents gilt Folgendes: Weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen, was aber nicht für die unabhängigen Patentansprüche des erteilten Patents gilt.

[0028] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs "mindestens" bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Element die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Element, zwei Elemente oder mehr Elemente vorhanden sind. Die in den Patentansprüchen angeführten Merkmale können durch weitere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, die der Gegenstand des jeweiligen Patentanspruchs aufweist.

[0029] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter

verständlich zu machen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

5 **[0030]** Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt in einem räumlichen Halblängsschnitt stark schematisiert eine Durchflusszentrifuge mit einem Ver-
bindungsstrang (ohne Darstellung der Führungseinrichtung).

10 **Fig. 2** zeigt einen Verbindungsstrang in einer Führungseinrichtung, wie diese Einsatz finden können in einer Durchflusszentrifuge gemäß Fig. 1.

Fig. 3 bis 5 zeigen Tabellen für die Dimensionierung der Krümmungsradien eines Führungsrohrs einer Ausgleichs-
rotor-Führungseinrichtung.

Fig. 6 zeigt einen beispielhaften Verlauf eines Krümmungsradius eines Führungsrohrs einer Ausgleichsrotor-
Führungseinrichtung sowie einer sich infolge der Zentrifugalkraft ergebenden Zugkraft in Abhängigkeit
von dem Abstand von einer Rotorachse.

20 **Fig. 7** zeigt eine schematische Darstellung für eine Hilfsüberlegung zur Ermittlung einer an einer an einem
Längsabschnitt an einer Längserstreckungskordinate und in einem Abstand von einer Rotorachse auf
ein Rohr oder einen Schlauch des Verbindungsstrangs wirkenden Zugkraft infolge einer Zentrifugalkraft.

FIGURENBESCHREIBUNG

25 **[0031]** In den Figuren werden Bauelemente oder Merkmale, welche sich entsprechen oder ähneln, teilweise mit den-
selben Bezugszeichen gekennzeichnet, wobei diese Bauelemente oder Merkmale dann durch den zusätzlichen Buch-
staben a, b, ... voneinander unterschieden sein können. In diesem Fall kann mit oder ohne den ergänzenden Buchstaben
30 auf diese Bauteile oder Merkmale Bezug genommen werden, womit dann eines der Bauteile oder Merkmale, mehrere
oder sämtliche Bauteile oder Merkmale angesprochen sein können.

[0032] **Fig. 1** zeigt stark schematisiert eine Durchflusszentrifuge 1 in einer räumlichen Darstellung in einem Halblängs-
schnitt. Die Durchflusszentrifuge 1 verfügt über ein Gehäuse 2 und insbesondere einen Kessel 3 mit einer Wandung 4.
Die Wandung 4 des Kessels 3 begrenzt eine Rotorkammer 5, in der ein Rotor 6 mit einer Rotordrehzahl um eine
35 Rotorachse 7 verdreht wird. Von dem Rotor 6 sind in der schematischen Darstellung gemäß Fig. 1 lediglich in der
Zentrifugationskammer des Rotors 6 angeordnete Behältnisse 8a, 8b (hier zwei Behältnisse 8a, 8b, wobei auch eine
beliebige andere Anzahl von Behältnissen 8 vorhanden sein kann) dargestellt, bei denen es sich beispielsweise um
Blutbeutel 9 oder beliebige andere Behältnisse handeln kann. Die Behältnisse 8 sind dabei gleichmäßig in Umfangs-
richtung um die Rotorachse 7 verteilt angeordnet und verfügen über denselben Abstand von der Rotorachse 7.

40 **[0033]** Die Durchflusszentrifuge 1 verfügt über einen Rotorkammer-Temperierkreislauf 10, von dem in Fig. 1 lediglich
eine Rotorkammer-Temperierschleife 11 dargestellt ist. Die Rotorkammer-Temperierschleife 11 ist in die Wandung 4
des Kessels 3 integriert und windet sich mit mehreren Windungen um die Rotorachse 7 und die Rotorkammer 5.

[0034] In Fig. 1 ist des Weiteren ein Verbindungsstrang 12 zu erkennen. Der Verbindungsstrang 12 weist einen flexiblen
Schlauch oder ein flexibles Rohr 13, bei dem es sich insbesondere um ein Wellrohr handelt, auf. Durch den Schlauch
45 oder das Rohr 13 erstrecken sich optional eine Temperier-Zuführleitung 14 und eine Temperier-Abführleitung 15, die
der Temperierung und Kühlung des Verbindungsstrangs dienen können. Durch den Schlauch oder das Rohr 13 erstre-
cken sich zwei Anschlussleitungen 16, 17, die in den unterschiedlichen Betriebsphasen des Zentrifugationsprozesses
in unterschiedliche Richtungen von den Medien durchströmt werden. In einem Endbereich 18 ist der Verbindungsstrang
12 an dem Gehäuse 2 oder einer Wandung 4 des Kessels 3 befestigt, während der Verbindungsstrang 12 in einem
50 anderen Endbereich 19 an dem Rotor 6 befestigt ist und mit diesem verdreht wird.

[0035] Um die Rotorachse 7 rotiert auch ein Ausgleichsrotor, wobei die Drehzahl des Ausgleichsrotors halb so groß
ist wie die Drehzahl des Rotors 6. Der Ausgleichsrotor weist eine Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung 20 auf, die in
Fig. 2 dargestellt ist und hier als Führungsrohr 21 ausgebildet ist. Das Führungsrohr 21 weist zwei Führungsrohrhälften
22, 23 auf, die durch die strichpunktierte imaginäre Trennlinie 24 voneinander getrennt sind. Das Führungsrohr 21 weist
55 entlang einer Längserstreckungskordinate 25 einen konstanten kreisringförmigen Querschnitt auf, wobei die Längser-
streckungskordinate 25 in unterschiedliche Richtungen gekrümmt ist, wie im Folgenden noch näher erläutert wird.
Durch das Führungsrohr 21 erstreckt sich der Verbindungsstrang 12, der hier als Wellrohr ausgebildet ist. In beiden
Endbereichen des Führungsrohrs 21 erstreckt sich der Verbindungsstrang 12 aus dem Führungsrohr 21 heraus, um

dessen Befestigung an dem Gehäuse 2 bzw. dem Rotor 6 zu ermöglichen. Zwischen einer Innenfläche 26 des Führungsrohrs 21 und der Mantelfläche des Verbindungsstrangs 12 ergibt sich ein radiales Spiel, wobei sich je nach Krümmung des Verbindungsstrangs 12 und den zuvor erläuterten Beanspruchungen desselben der Verbindungsstrang 12 auf einer Seite an die Innenfläche 26 des Führungsrohrs 21 anlegen kann.

[0036] In der Führungsrohrhälfte 22 verfügt das Führungsrohr 21 über eine Führungskontur 27, die von der Innenfläche 26 ausgebildet wird. Die Führungskontur 27 weist einen ersten Führungskonturabschnitt 28 sowie einen zweiten Führungskonturabschnitt 29 auf, die über einen Wendeabschnitt 30 unmittelbar miteinander verbunden sind. Der Wendeabschnitt 30 bildet für dieses Ausführungsbeispiel gleichzeitig einen Zwischenabschnitt 31, im Bereich dessen das Führungsrohr 21 radial zu der Rotorachse 7 orientiert ist. In dem ersten Führungskonturabschnitt 28 verfügt die Führungskontur 27, insbesondere die Längserstreckungskordinate 25 des Führungsrohrs 21, über einen ersten Krümmungsradius 32, während die Führungskontur 27 in dem zweiten Führungskonturabschnitt 29 über einen zweiten Krümmungsradius 33 verfügt. Für das Ausführungsbeispiel in Fig. 2 ist der erste Krümmungsradius 32 in dem ersten Führungsabschnitt 28 konstant und auch der zweite Krümmungsradius 33 in dem zweiten Führungsabschnitt 29 ist konstant, wobei der zweite Krümmungsradius 33 kleiner ist als der erste Krümmungsradius 32. In dem ersten Führungskonturabschnitt 28 erfolgt die Krümmung der Längserstreckungskordinate 25 entgegen dem Uhrzeigersinn, während sich diese in dem Wendeabschnitt 30 umkehrt, so dass in dem zweiten Führungskonturabschnitt 29 die Krümmung der Längserstreckungskordinate 25 im Uhrzeigersinn verläuft. Die Führungskonturabschnitte 28, 29 erstrecken sich jeweils über einen Umfangswinkel von 90°. Möglich sind aber auch kleinere Umfangswinkel, womit dann das Führungsrohr 21 in dem Wendeabschnitt 30 nicht radial zu der Rotorachse 7 orientiert ist.

[0037] Wie in Fig. 2 zu erkennen ist, ist ein Endbereich 34 des ersten Führungskonturabschnitts 28 (ungefähr) koaxial zur Rotorachse 7 orientiert, während der andere Endbereich 35 des ersten Führungskonturabschnitts 28 radial zur Rotorachse 7 orientiert ist. Bündig schließt in dem Wendeabschnitt 30 und Zwischenabschnitt 31 an den Endbereich 35 der zugewandte Endbereich 36 des zweiten Führungskonturabschnitts 29 an, der ebenfalls radial zu der Rotorachse 7 orientiert ist. Hingegen ist der andere Endbereich 37 des zweiten Führungskonturabschnitts 29 parallel zur Rotorachse 7 orientiert, wobei in diesem Bereich das Führungsrohr 21 den maximalen Abstand von der Rotorachse 7 hat. Grundsätzlich kann die zweite Führungsrohrhälfte 23 spiegelsymmetrisch zu der Trennlinie 24 der ersten Führungsrohrhälfte 22 ausgebildet sein. Für das dargestellte Ausführungsbeispiel gilt diese Spiegelsymmetrie lediglich für den zweiten Führungskonturabschnitt 29', während der erste Führungskonturabschnitt 28' in der zweiten Führungsrohrhälfte 23 ohne Spiegelung an die zweite Führungskonturhälfte 29' angesetzt ist, so dass in Richtung der Längserstreckungskordinate 25 beide Führungskonturabschnitte 28', 29' in Uhrzeigerrichtung gekrümmt sind und zusammen einen Halbring bilden mit sich im Bereich des Wendeabschnitts 30' und Zwischenabschnitts 31' in Richtung der Längserstreckungskordinate 25 vergrößerndem Krümmungsradius 32'.

[0038] Für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 kann das Führungsrohr 21 somit aus zwei zusammengesetzten Führungskonturteilen, die identisch sind und jeweils die Führungskonturabschnitte 29, 29' bilden, sowie zwei Führungsrohrteilen, die die Führungskonturabschnitte 28, 28' bilden, bestehen, womit unter Umständen der Gleichanteil für die Herstellung des Führungsrohrs 21 erhöht werden kann. Es versteht sich, dass aber auch eine Fertigung des Führungsrohrs 21 aus einem Stück je nach eingesetzten Herstellungsverfahren möglich ist.

[0039] Die in der Fig. 2 dargestellten Führungskonturabschnitte 28, 29 sind lediglich beispielhaft dargestellt und erläutert, ohne dass hierdurch die Erfindung beschränkt sein soll.

[0040] Für einen ersten Vorschlag ist abweichend zu Fig. 2 der Krümmungsradius 32 in dem Führungskonturabschnitt 28 nicht konstant. Vielmehr verringert sich dieser in Stufen oder stufenlos entlang der Längserstreckungskordinate 25.

[0041] Möglich ist auch, dass sich zunächst der Krümmungsradius 32 kontinuierlich verringert (beispielsweise lediglich benachbart dem Ende 34), während dieser dann in dem Führungskonturabschnitt 28 konstant bleibt oder sich in Stufen weiter verringert.

[0042] Für sämtliche Ausführungsformen kann dann in dem zweiten Führungskonturabschnitt 29 entsprechend ein konstanter Krümmungsradius 33, ein sich in Stufen verringernder Krümmungsradius 33 oder auch ein sich in einem Teilabschnitt kontinuierlich verringernder und in einem anderen Teilabschnitt konstanter oder in Stufen verändernder Krümmungsradius 33 zum Einsatz kommen.

[0043] Im Folgenden wird eine beispielhafte Möglichkeit für eine Ermittlung eines Verlaufs des Krümmungsradius 32, 33 des Führungsrohrs 21 der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung 20 erläutert, wobei hier eine vereinfachende Berechnung mit vereinfachenden Annahmen erläutert wird und keine Einschränkung der Erfindung auf die derart ermittelten Krümmungsradien erfolgen soll. Für die folgende beispielhafte Berechnung wird die Annahme getroffen, dass der Schlauch oder das (Well-)Rohr 13 dem Verlauf der Führungskontur 27 des Führungsrohrs 21 folgt. Wie auch in Fig. 2 zu erkennen ist, ist dies tatsächlich nicht der Fall, so dass für eine Berechnung mit einer erhöhten Genauigkeit eine Ermittlung des Verlaufs des Schlauchs oder (Well-)Rohrs 13 in dem Führungsrohr 21 und dann eine entsprechende Berechnung der Krümmungsradien für diesen Verlauf erfolgen muss.

[0044] Für die beispielhafte Berechnung wird ein Schlauch oder (Well-) Rohr 13 zugrunde gelegt, der einen Durchmesser D von 0,013 m hat und dessen Federkonstante bei der Beaufschlagung mit einer in Längsrichtung wirkenden

Zugkraft $c = 5.000$ [Zugkraft in N / Dehnung] beträgt. Diese Federkonstante c kann herstellerseitig angegeben sein oder über einen einfachen Zugversuch ermittelt werden.

[0045] In der Tabelle in **Fig. 3** ist für unterschiedliche, auf den Schlauch oder das (Well-)Rohr 13 wirkende Zugkräfte F_{Zug} im Bereich von 0 N bis 330 N die sich aus der Federkonstante c ergebende Dehnung D_{Zugkraft} des Schlauchs oder (Well-)Rohrs 13

$$D_{\text{Zugkraft}} = F_{\text{Zug}} / c$$

berechnet worden (vgl. erste und zweite Spalte).

[0046] Wird der Schlauch oder das Rohr mit einem Krümmungsradius R gebogen, erfolgt die Beaufschlagung des hinsichtlich der Krümmung außenliegenden Materialbereichs mit einer Dehnung, während der innenliegende Materialbereich komprimiert wird. Die Dehnung D_{Biegung} infolge der Biegung im radial außenliegenden Bereich kann ermittelt werden über

$$D_{\text{Biegung}} = 0,5 D / (R + 0,5 D).$$

[0047] In der Tabelle in **Fig. 3** ist in der vierten Zeile für die in der zweiten Zeile angegebenen Krümmungsradien R im Bereich von 0,45 m bis 0,175 m jeweils die sich infolge dieser Biegung ergebende Dehnung D_{Biegung} angegeben.

[0048] Erfolgt im Betrieb in dem infolge der Biegung maximal gedehnten Materialbereich eine Überlagerung der Dehnung infolge der Biegung D_{Biegung} und der Dehnung infolge der Zugkraft D_{Zugkraft} , so sind in der Tabelle gemäß **Fig. 3** die Dehnung infolge der Zugkraft D_{Zugkraft} einerseits und die Dehnung für eine reine Biegung D_{Biegung} zu addieren, woraus sich die angegebenen resultierenden Dehnungen $D_{\text{resultierend}}$ ergeben.

[0049] Soll eine Auslegung des Krümmungsradius R derart erfolgen, dass die sich aus der Überlagerung ergebende resultierende Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ immer kleiner als 12 % ist, kommen nur die Krümmungsradien R in Betracht, bei denen in der Tabelle gemäß **Fig. 3** die resultierenden Dehnungen $D_{\text{resultierend}}$ in Fettschrift hervorgehoben sind. Hieraus resultiert, dass für eine resultierende Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ kleiner 12 %

- für Zugkräfte von 0 N bis 60 N (also bei einer weit von der Rotorachse 7 entfernten Längserstreckungskordinate 25, bei der vorzugsweise das Führungsrohr 21 parallel zur Rotorachse 7 orientiert ist und somit keine Zentrifugalkraft wirkt) der Krümmungsradius R 0,055 m betragen kann,
- für Zugkräfte von 90 N bis 120 N der Krümmungsradius R 0,065 m betragen kann,
- für eine Zugkraft von 150 N bis 180 N der Krümmungsradius R 0,075 m betragen kann,
- für Zugkräfte von 210 N bis 240 N der Krümmungsradius R 0,085 m betragen kann,
- für eine Zugkraft von 270 N der Krümmungsradius R 0,095 m betragen kann,
- für eine Zugkraft von 300 N der Krümmungsradius R 0,105 m betragen kann,
- für eine Zugkraft von 330 N (die sich beispielsweise an einer Längserstreckungskordinate 25 des Führungsrohrs 21 in dem Führungskonturabschnitt 8 in dem Endbereich 34 ergibt) der Krümmungsradius R 0,115 m betragen kann.

[0050] (Es kann auch eine entsprechende Berechnung mit kleineren Stufen der Zugkraft oder mit einer kontinuierlichen Veränderung der Zugkraft erfolgen.)

[0051] In der Tabelle gemäß **Fig. 4** ist in der ersten Spalte eine Länge entlang der Längserstreckungskordinate 25 des Führungsrohrs 21 von der Rotorachse 7 im Bereich von 0 m bis 0,21 m angegeben, was der Länge bis zu der Trennlinie 24 entspricht. In der zweiten Spalte ist ein Winkel 43 eines an der Längserstreckungskordinate 25 angeordneten Längsabschnitts des Verbindungsstrangs 12 gegenüber einer Orientierung radial zu der Rotorachse 7 im Bogenmaß angegeben. Bei der Längserstreckungskordinate 0,00m, also bei dem Eintritt in das Führungsrohr 21, beträgt der Winkel 43 $\pi/2$, während der Winkel 43 an dem Wendepunkt 30 Null ist und an dem Endbereich 37 $-\pi/2$ beträgt.

[0052] Trifft man die vereinfachende Annahme, dass die beiden Führungskonturabschnitte 28, 29 mit denselben Krümmungsradien R viertelkreisförmig gekrümmt sind, kann für die jeweilige Längserstreckungskordinate 25 zwischen diesen charakteristischen Winkeln 43 der Winkel 43 über

$$\text{Winkel } 43 = \pi/2 - (\pi/2 \times \text{Längserstreckungskordinate } 25/R),$$

wobei hier ein konstanter Krümmungsradius R von 0,105 m angenommen worden ist.

[0053] Der Abstand A eines Längsabschnitts an der Längserstreckungskordinate 25 ergibt sich dann über

$$A = R (1 - \sin(\text{Winkel } 43)),$$

wobei der Abstand A in Fig.4 in der dritten Spalte dargestellt ist.

[0054] Wird beispielsweise davon ausgegangen, dass die relative Masse m_r des Verbindungsstrangs 12 pro Länge $m_r=0,3705 \text{ kg/m}$ beträgt, kann die relative Zentripetalbeschleunigung an der jeweiligen Längserstreckungskordinate 25, die sich aus dem Quotienten der absoluten Zentripetalbeschleunigung a_z und der Erdbeschleunigung g ergibt, berechnet werden über

$$a_z/g = (2 \pi n)^2 A / g,$$

wobei n die Drehzahl der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung 20 ist und für die beispielhafte Berechnung $36,67 \text{ U/sec}$ (2200 U/min) beträgt und wobei $g = 9,813 \text{ m/s}^2$ gilt.

[0055] Erfolgt eine Multiplikation der relativen Zentripetalbeschleunigung a_z/g mit der relativen Masse m_r und der Länge ΔL eines Längsabschnitts, wobei $\Delta L = 0,01 \text{ m}$ ist, ergeben sich die Werte, die in Spalte 5 von Fig. 4 angegeben sind. In dieser Spalte ist somit die, bezogen auf die Länge ΔL eines Längsabschnitts auf den Längsabschnitt wirkende Zentrifugalkraft angegeben.

[0056] Soll hieraus die in der letzten Spalte der Tabelle in Fig. 4 angegebene, an einer Längserstreckungskordinate 25 wirkende Zugkraft berechnet werden, muss (beginnend mit dem radial am Weitesten außenliegenden Längsabschnitt an der Längserstreckungskordinate 25 von $0,21 \text{ m}$) die jeweils an dem Längsabschnitt 25 wirkende Zentrifugalkraft berechnet werden, die sich aus dem Produkt des zugeordneten Wertes in der fünften Spalte mit g ergibt, und das Ergebnis muss mit dem Kosinus des Winkels 43 gemäß der zweiten Spalte der Tabelle in Fig. 4 multipliziert werden, da nur die Komponente gemäß dem Kosinus des Winkels 43 einen Beitrag zu der in Richtung der Längserstreckungskordinate 25 wirkenden Zugkraft liefert. Mit dem Übergang zu dem nächsten, radial innenliegend benachbarten Längsabschnitt 25 ist die zuvor ermittelte Zugkraft zu addieren zu der für den veränderten Winkel und die veränderte Längserstreckungskordinate 25 berechnete Zugkraft für diesen weiteren Längsabschnitt 25. In der letzten Spalte sind in Richtung der Längserstreckungskordinaten 25 immer mehr Zugkraftkomponenten der einzelnen radial außenliegend angeordneten Längsabschnitte aufsummiert.

[0057] Die in der letzten Spalte von Fig. 4 ermittelte Zugkraft an der jeweiligen Längserstreckungskordinate 25 ist auch in Spalte 2 von Fig. 5 eingetragen. In der dritten Spalte ist dann die Dehnung in Folge der Zugkraft D_{Zugkraft} berechnet worden. Entsprechend Fig. 3 sind dann in den folgenden Spalten die sich ergebenden resultierenden Dehnungen $D_{\text{resultierend}}$ für eine Überlagerung der Dehnung in Folge der Biegung D_{Biegung} für unterschiedliche Krümmungsradien R und der Dehnung infolge der Zugkraft D_{Zugkraft} berechnet worden.

[0058] Erfolgt auch hier eine Auslegung derart, dass die resultierende Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ kleiner als 12 % bleiben soll, muss der Krümmungsradius R so gewählt, dass sich die in Fig. 5 fett formatierten resultierenden Dehnungen $D_{\text{resultierend}}$ ergeben. Dies bedeutet, dass für

- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,0 \text{ m}$ bis $0,05 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,115 \text{ m}$ betragen kann,
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,06 \text{ m}$ bis $0,09 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,105 \text{ m}$ betragen kann,
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,10 \text{ m}$ bis $0,11 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,095 \text{ m}$ betragen kann.
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,12 \text{ m}$ bis $0,14 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,085 \text{ m}$ betragen kann,
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,15 \text{ m}$ bis $0,16 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,075 \text{ m}$ betragen kann,
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,17 \text{ m}$ bis $0,18 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,065 \text{ m}$ betragen und
- eine Längserstreckungskordinate 25 im Bereich von $0,19 \text{ m}$ bis $0,21 \text{ m}$ der Krümmungsradius R $0,55 \text{ m}$ betragen kann.

[0059] Es kann auch eine Berechnung mit einer feineren Untergliederung der Längserstreckungskordinaten 25 oder auch eine kontinuierliche Berechnung erfolgen. Eine Vermeidung zu großer Dehnungen kann auch erfolgen, wenn jeweils größere Krümmungsradien als die in der vorstehenden Liste angegebenen Krümmungsradien für die jeweiligen Längserstreckungskordinaten 25 verwendet werden.

[0060] In Fig. 6 ist in Abhängigkeit von der Koordinate 38 der Längserstreckungskordinate 25 des Führungsrohrs

21 bzw. des Schlauchs oder (Well-)Rohrs 13 einerseits die sich infolge der Zentrifugalkraft ergebende wirkende Zugkraft 39 (vgl. durchgezogene Linie, die über eine Spline-Approximation der einzelnen ermittelten Zugkräfte ermittelt worden ist) dargestellt. Andererseits ist hier der Krümmungsradius R 40 dargestellt (s. gestrichelte Linie, die ebenfalls über eine Spline-Approximation ermittelt worden ist), wenn die resultierende Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ maximal 12 % betragen darf.

5 **[0061]** Wie zuvor erläutert wurde, sind das Berechnungsverfahren und der Kurvenverlauf gemäß Fig. 6 lediglich exemplarisch dargestellt und hierbei sind vereinfachende und u. U. verfälschende Annahmen getroffen worden. Wie ebenfalls zuvor erwähnt wurde, kann der tatsächlich eingesetzte Krümmungsradius R abweichend zu den Tabellen oder Fig. 6 in Teilabschnitten, insbesondere in dem Führungskonturabschnitt 28 einerseits und dem Führungskonturabschnitt 29 andererseits, konstant sein, sofern der Krümmungsradius R in einem Teilabschnitt benachbart der Rotorachse 7 größer ist als in einem weiter von der Rotorachse 7 beabstandeten Teilabschnitt. Es können auch dem Kurvenverlauf gemäß Fig. 6 stückweise folgende, stufenförmig oder beliebig anders angepasste Verläufe des Krümmungsradius R Einsatz finden.

10 **[0062]** In Fig. 7 ist eine stark vereinfachende (beispielsweise die Reibung zwischen dem Verbindungsstrang 12 und dem Schlauch oder Rohr 13 sowie die Abstützung des Schlauchs oder Rohrs 13 radial nach außen vernachlässigende) schematische Darstellung für eine Hilfsüberlegung gezeigt. In diesem Fall wird der Verbindungsstrang 12 (insbesondere der Schlauch oder das Rohr 13 und/oder die Leitungen 14, 15, 16, 17) in gleich große Längsabschnitte 41 unterteilt, die durch den Zusatz "-1", "-2" voneinander unterschieden sind. Diese Längsabschnitte 41, die infolge der gleichen Größen dieselben Massen Δm aufweisen, haben jeweils unterschiedliche Abstände A_1, A_2, \dots von der Rotorachse 7, welche in Fig. 7 mit dem Bezugszeichen 42 gekennzeichnet sind und ebenfalls mit dem Zusatz "-1", "-2", ... voneinander unterschieden sind. Auf jeden Längsabschnitt 41 wirkt die Zentrifugalbeschleunigung a_z , für die gilt

$$a_z = (2\pi n)^2 A$$

25 wobei A der jeweilige Abstand 42 der Längsabschnitte 41 von der Rotorachse 7 ist und n die Drehzahl der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung 20 in $[s^{-1}]$ ist. Die auf die Längsabschnitte 41 wirkende Zentrifugalkraft F_z ergibt sich dann über

$$F_z = \Delta m a_z.$$

30 **[0063]** Für jeden Längsabschnitt 41 führt die Zentrifugalkraft F_z nur mit einer Kraftkomponente, die von dem Winkel 43 für die jeweilige Längserstreckungskordinate abhängig ist, zu einer in Richtung der Längserstreckungskordinate wirkenden Zugkraft.

35 **[0064]** Für den ersten Längsabschnitt 41-1, der coaxial zu der Rotorachse 7 angeordnet ist, ergibt sich bei der hier gewählten vereinfachten Betrachtung die Zugkraft $F_{\text{Zug}, 1}$, die auf den Längsabschnitt 41-1 wirkt, aus der Summe der Fliehkräfte, die von dem Längsabschnitt 41-1 gehalten werden müssen, also aus der Summe der in Richtung der Längserstreckungskordinate 25 wirkenden Kraftkomponenten der Fliehkräfte, die auf die Längsabschnitte 41-2, 41-3, ... wirken. Somit gilt für die Zugkraft $F_{\text{Zug}, 1}$, die auf den Längsabschnitt 41-1 wirkt,

$$F_{\text{Zug}, 1} = \Delta m 4\pi^2 n^2 (C_2 A_2 + C_3 A_3 + C_4 A_4 + \dots),$$

während sich für den nächsten Längsabschnitt 41-2 dann entsprechend die Zugkraft $F_{\text{Zug}, 2}$ wie folgt ermitteln lässt:

$$F_{\text{Zug}, 2} = \Delta m 4\pi^2 n^2 (C_3 A_3 + C_4 A_4 + \dots)$$

usw.

50 **[0065]** Hierbei beschreibt C einerseits die Umrechnung der auf den Längsabschnitt 41 wirkenden Zentrifugalkraft in die Kraftkomponente, welche in Richtung der Längserstreckungskordinate 25 wirkt. Des Weiteren kann in C auch ein anderweitiger Korrekturfaktor, beispielsweise infolge der Berücksichtigung der Reibung, berücksichtigt werden. Aus obiger vereinfachender Betrachtung ergibt sich, dass die wirkende Zugkraft F_{Zug} an dem Längsabschnitt 41-1 am Größten ist und mit zunehmenden Abstand der Längsabschnitte 41 von der Rotorachse 7 die wirkende Zugkraft und damit die Beanspruchung kleiner wird.

55 **[0066]** Unter Umständen kann eine exaktere Modellierung der wirkenden Beanspruchungen erfolgen, wobei sich an der qualitativen Aussage, dass durch Erhöhung des Krümmungsradius für Längsabschnitte 41 benachbart der Rotorachse 7 eine Erhöhung der Dauerfestigkeit erreicht werden kann, nichts ändert.

BEZUGSZEICHENLISTE**[0067]**

5	1	Durchflusszentrifuge
	2	Gehäuse
	3	Kessel
	4	Wandung
	5	Rotorkammer
10	6	Rotor
	7	Rotorachse
	8	Behältnis
	9	Blutbeutel
	10	Rotorkammer-Temperierkreislauf
15	11	Rotorkammer-Temperierschleife
	12	Verbindungsstrang
	13	Schlauch, Rohr
	14	Temperier-Zuführleitung
	15	Temperier-Abführleitung
20	16	Anschlussleitung
	17	Anschlussleitung
	18	Endbereich
	19	Endbereich
	20	Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung
25	21	Führungsrohr
	22	Führungsrohrhälfte
	23	Führungsrohrhälfte
	24	Trennlinie
	25	Längserstreckungskordinate
30	26	Innenfläche
	27	Führungskontur
	28	erster Führungskonturabschnitt
	29	zweiter Führungskonturabschnitt
	30	Wendeabschnitt
35	31	Zwischenabschnitt
	32	erster Krümmungsradius
	33	zweiter Krümmungsradius
	34	Endbereich
	35	Endbereich
40	36	Endbereich
	37	Endbereich
	38	Abstand
	39	Zugkraft
	40	Krümmungsradius
45	41	Längsabschnitt
	42	Abstand
	43	Winkel

50 Patentansprüche**1. Durchflusszentrifuge (1) mit**

- 55 a) einem Rotor (6) mit einer Zentrifugationskammer, wobei der Rotor (6) mit einer Rotordrehzahl um eine Rotorachse (7) verdreht werden kann, und
- b) einem Verbindungsstrang (12) mit einer Anschlussleitung (16; 17), über welche im Betrieb der Durchflusszentrifuge (1) mit rotierendem Rotor (6) der Zentrifugationskammer ein Medium zuführbar ist, und mit einer Anschlussleitung (17; 16), über welche ein Medium von der Zentrifugationskammer abführbar ist,

c) wobei ein Endbereich (18) des Verbindungsstrangs (12) gehäusefest angeordnet ist und der andere Endbereich (19) des Verbindungsstrangs (12) mit dem Rotor (6) verdreht wird und

d) zur Vermeidung einer Verdrillung des Verbindungsstrangs (12) der Verbindungsstrang (12) in einer Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführt ist, die mit der halben Rotordrehzahl um die Rotorachse (7) verdreht wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

e) die Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) eine Führungskontur (27) aufweist, deren Krümmungsradius (32) für einen ersten Abstand von der Rotorachse (7) größer ist als der Krümmungsradius (33) für einen zweiten Abstand von der Rotorachse (7), wobei der erste Abstand kleiner ist als der zweite Abstand.

2. Durchflusszentrifuge (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Führungskontur (27) einen ersten Führungskonturabschnitt (28) und einen zweiten Führungskonturabschnitt (29) aufweist, wobei

a) der erste Führungskonturabschnitt (28) eine Krümmung in eine erste Richtung aufweist und der zweite Führungskonturabschnitt (29) eine Krümmung in eine zweite Richtung aufweist,

b) der erste Führungskonturabschnitt (28) und der zweite Führungskonturabschnitt (29) durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse (7) orientierten Zwischenabschnitt (31) und/oder Wendeabschnitt (30) miteinander verbunden sind,

c) der erste Führungskonturabschnitt (28) einen kleineren Abstand von der Rotorachse (7) aufweist als der zweite Führungskonturabschnitt (29) und

d) ein Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) größer ist als ein Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) und/oder der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) in Richtung einer Längserstreckungskordinate (25) und mit zunehmendem Abstand von der Rotorachse (7) kleiner wird.

3. Durchflusszentrifuge (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verbindungsstrang (12) ein Wellrohr aufweist.

4. Durchflusszentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder der Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) mit zunehmendem Abstand von der Rotorachse (7) kontinuierlich kleiner wird.

5. Durchflusszentrifuge nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) ein Krümmungsradius (32; 33) an unterschiedlichen oder sämtlichen Längserstreckungskordinaten (25) derart dimensioniert ist, dass eine Beanspruchung des in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführten Verbindungsstrangs (12) an den Längserstreckungskordinaten (25) infolge einer Überlagerung

a) einer Zugbeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskordinaten (25), die sich infolge der Zentrifugalkraft ergibt, die durch einen Längsabschnitt des Verbindungsstrangs (12), der radial außenliegend von der jeweiligen Längserstreckungskordinate (25) angeordnet ist, verursacht wird, und

b) einer Umlaufbiegebeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskordinate (25), die sich infolge der umlaufenden Biegung des Verbindungsstrangs (12) entsprechend dem Krümmungsradius (32; 33) ergibt,

über die Längserstreckung konstant ist oder um lediglich maximal $\pm 20\%$, maximal $\pm 15\%$, maximal $\pm 10\%$ oder maximal $\pm 5\%$ variiert.

6. Durchflusszentrifuge (1) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) ein Krümmungsradius (32; 33) an unterschiedlichen oder sämtlichen Längserstreckungskordinate (25) derart dimensioniert ist, dass eine Beanspruchung des in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführten Verbindungsstrangs (12) an den Längserstreckungskordinaten (25) infolge einer Überlagerung

a) einer Zugbeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskordinate (25), die sich infolge der Zentrifugalkraft ergibt, die durch einen Längsabschnitt des Verbindungsstrangs (12), der radial außenliegend von der jeweiligen Längserstreckungskordinate (25) angeordnet ist, verursacht wird, und

b) einer Umlaufbiegebeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskordinate, die sich infolge der umlaufenden Biegung des Verbindungsstrangs (12) entsprechend dem Krümmungsradius (32; 33) ergibt,

mindestens um einen vorgegebenen Prozentsatz kleiner ist als eine zulässige Beanspruchung des Verbindungsstrangs (12).

7. Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) für eine Durchflusszentrifuge (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mit einem Führungsrohr (21), wobei das Führungsrohr (21) eine Führungskontur (27) aufweist, welche einen ersten Führungskonturabschnitt (28) und einen zweiten Führungskonturabschnitt (29) aufweist, wobei

a) der erste Führungskonturabschnitt (28) eine Krümmung in eine erste Richtung aufweist und der zweite Führungskonturabschnitt (29) eine Krümmung in eine zweite Richtung aufweist,

b) der erste Führungskonturabschnitt (28) und der zweite Führungskonturabschnitt (29) durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse (7) orientierten Zwischenabschnitt (32) und/oder einen Wendabschnitt (30) miteinander verbunden sind,

c) der erste Führungskonturabschnitt (28) einen kleineren Abstand von der Rotorachse (7) aufweist als der zweite Führungskonturabschnitt (29) und

d) ein Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) kleiner ist als ein Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) und/oder der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) in Richtung des Endbereiches (35), der dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) zugewandt ist, kleiner wird.

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Durchflusszentrifuge (1) mit

a) einem Rotor (6) mit einer Zentrifugationskammer, wobei der Rotor (6) mit einer Rotordrehzahl um eine Rotorachse (7) verdreht werden kann, und

b) einem Verbindungsstrang (12) mit einer Anschlussleitung (16; 17), über welche im Betrieb der Durchflusszentrifuge (1) mit rotierendem Rotor (6) der Zentrifugationskammer ein Medium zuführbar ist, und mit einer Anschlussleitung (17; 16), über welche ein Medium von der Zentrifugationskammer abführbar ist,

c) wobei ein Endbereich (18) des Verbindungsstrangs (12) gehäusefest angeordnet ist und der andere Endbereich (19) des Verbindungsstrangs (12) mit dem Rotor (6) verdreht wird und

d) zur Vermeidung einer Verdrillung des Verbindungsstrangs (12) der Verbindungsstrang (12) in einer Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführt ist, die mit der halben Rotordrehzahl um die Rotorachse (7) verdreht wird,

e) wobei die Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) eine Führungskontur (27) aufweist, deren Krümmungsradius (32) für einen ersten Abstand von der Rotorachse (7) größer ist als der Krümmungsradius (33) für einen zweiten Abstand von der Rotorachse (7), wobei der erste Abstand kleiner ist als der zweite Abstand,

f) die Führungskontur (27) einen ersten Führungskonturabschnitt (28) und einen zweiten Führungskonturabschnitt (29) aufweist,

g) der erste Führungskonturabschnitt (28) eine Krümmung in eine erste Richtung aufweist und der zweite Führungskonturabschnitt (29) eine Krümmung in eine zweite Richtung aufweist,

h) der erste Führungskonturabschnitt (28) und der zweite Führungskonturabschnitt (29) durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse (7) orientierten Zwischenabschnitt (31) oder Wendabschnitt (30) miteinander verbunden sind,

i) der erste Führungskonturabschnitt (28) einen kleineren Abstand von der Rotorachse (7) aufweist als der zweite Führungskonturabschnitt (29),

dadurch gekennzeichnet, dass

j) ein Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) größer ist als ein Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29), wobei vorzugsweise der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) in Richtung einer Längserstreckungskordinate (25) und mit zunehmendem Abstand von der Rotorachse (7) kleiner wird.

2. Durchflusszentrifuge (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Verbindungsstrang (12) ein Wellrohr aufweist.

3. Durchflusszentrifuge (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder der Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) mit zunehmendem Abstand von der Rotorachse (7) kontinuierlich kleiner wird.

5 4. Durchflusszentrifuge nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) ein Krümmungsradius (32; 33) an unterschiedlichen oder sämtlichen Längserstreckungskoodinaten (25) derart dimensioniert ist, dass eine Beanspruchung des in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführten Verbindungsstrangs (12) an den Längserstreckungskoodina-

10 a) einer Zugbeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskoodinaten (25), die sich infolge der Zentrifugalkraft ergibt, die durch einen Längsabschnitt des Verbindungsstrangs (12), der radial außenliegend von der jeweiligen Längserstreckungskoodinate (25) angeordnet ist, verursacht wird, und

15 b) einer Umlaufbiegebeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskoodinate (25), die sich infolge der umlaufenden Biegung des Verbindungsstrangs (12) entsprechend dem Krümmungsradius (32; 33) ergibt,

20 über die Längserstreckung konstant ist oder um lediglich maximal $\pm 20\%$, maximal $\pm 15\%$, maximal $\pm 10\%$ oder maximal $\pm 5\%$ variiert.

25 5. Durchflusszentrifuge (1) nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) und/oder in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) ein Krümmungsradius (32; 33) an unterschiedlichen oder sämtlichen Längserstreckungskoodinate (25) derart dimensioniert ist, dass eine Beanspruchung des in der Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) geführten Verbindungsstrangs (12) an den Längserstreckungskoodinaten (25) infolge einer Überlagerung

30 a) einer Zugbeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskoodinate (25), die sich infolge der Zentrifugalkraft ergibt, die durch einen Längsabschnitt des Verbindungsstrangs (12), der radial außenliegend von der jeweiligen Längserstreckungskoodinate (25) angeordnet ist, verursacht wird, und

b) einer Umlaufbiegebeanspruchung des Verbindungsstrangs (12) an der jeweiligen Längserstreckungskoodinate, die sich infolge der umlaufenden Biegung des Verbindungsstrangs (12) entsprechend dem Krümmungsradius (32; 33) ergibt,

35 mindestens um einen vorgegebenen Prozentsatz kleiner ist als eine zulässige Beanspruchung des Verbindungsstrangs (12).

40 6. Ausgleichsrotor-Führungseinrichtung (20) für eine Durchflusszentrifuge (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 mit einem Führungsrohr (21), wobei das Führungsrohr (21) eine Führungskontur (27) aufweist, welche einen ersten Führungskonturabschnitt (28) und einen zweiten Führungskonturabschnitt (29) aufweist, wobei

a) der erste Führungskonturabschnitt (28) eine Krümmung in eine erste Richtung aufweist und der zweite Führungskonturabschnitt (29) eine Krümmung in eine zweite Richtung aufweist,

45 b) der erste Führungskonturabschnitt (28) und der zweite Führungskonturabschnitt (29) durch einen vorzugsweise radial zu der Rotorachse (7) orientierten Zwischenabschnitt (32) oder einen Wendabschnitt (30) miteinander verbunden sind,

c) der erste Führungskonturabschnitt (28) einen kleineren Abstand von der Rotorachse (7) aufweist als der zweite Führungskonturabschnitt (29) und

50 d) ein Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) größer ist als ein Krümmungsradius (33) in dem zweiten Führungskonturabschnitt (29), wobei vorzugsweise der Krümmungsradius (32) in dem ersten Führungskonturabschnitt (28) in Richtung des Endbereiches (35), der dem zweiten Führungskonturabschnitt (29) zugewandt ist, kleiner wird.

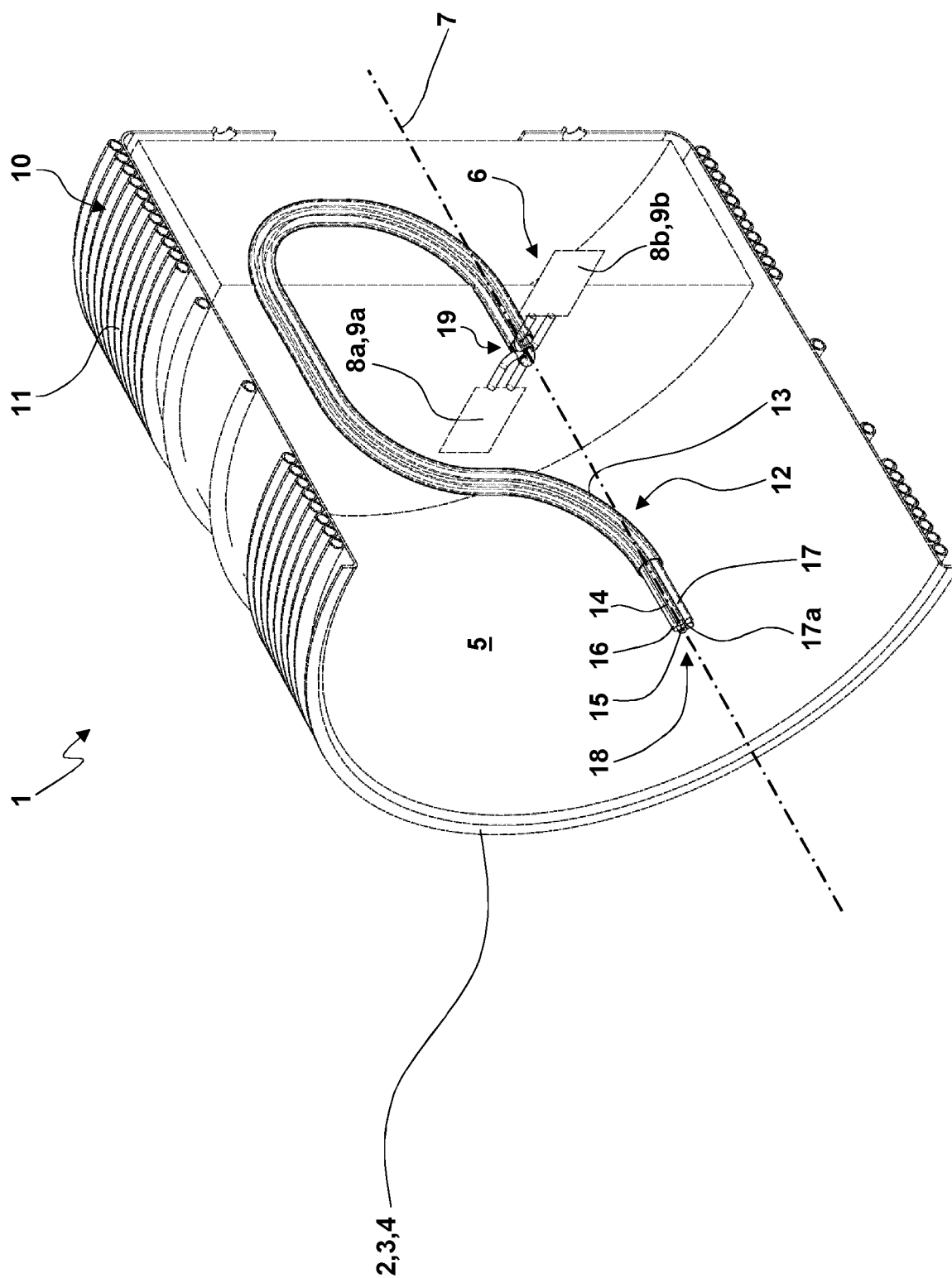


Fig. 1

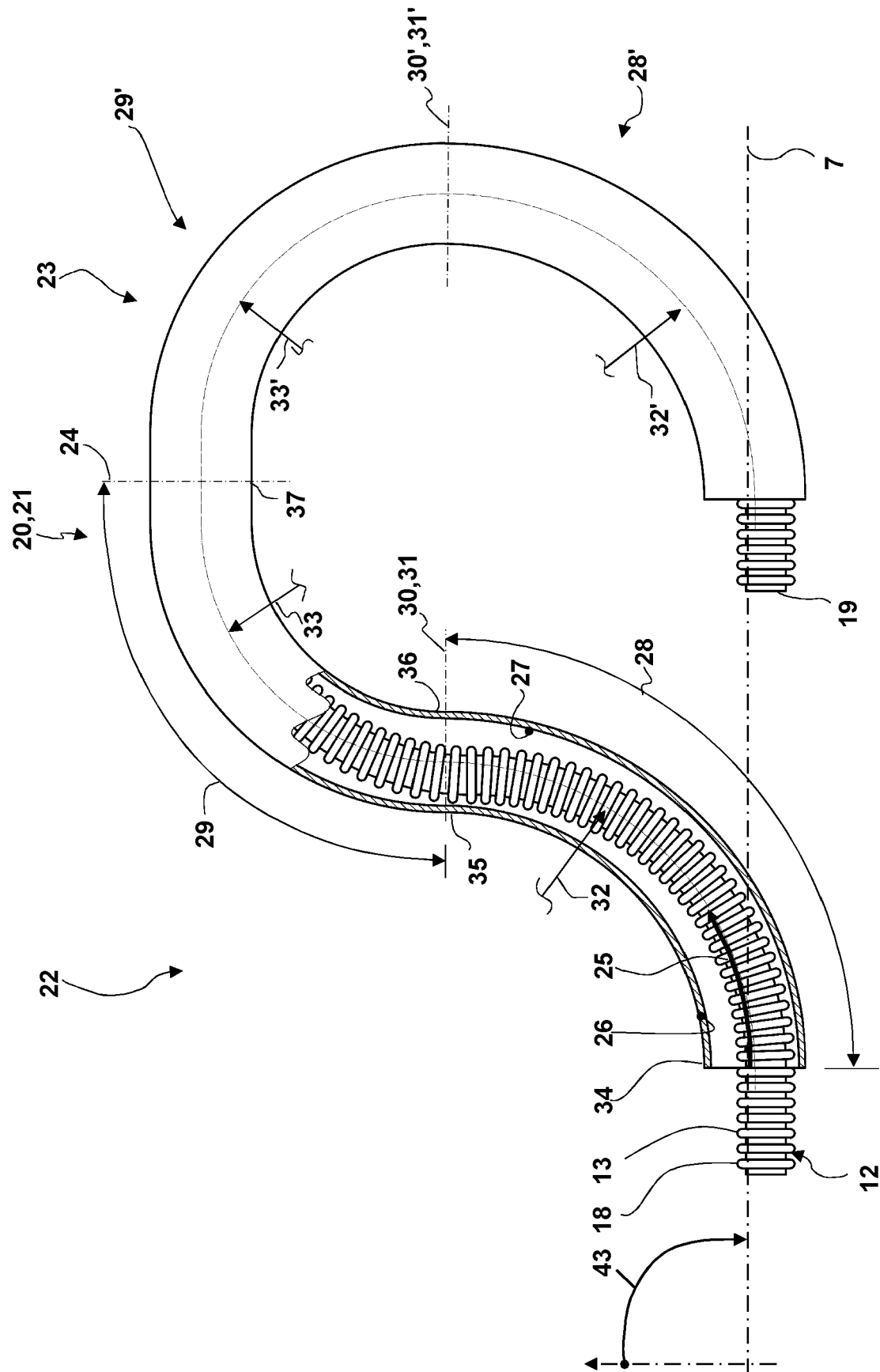


Fig. 2

Krümmungsradius R [m]															
	0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175	
	Dehnung für eine reine Biegung D_{Biegung}														
	12,6%	10,6%	9,1%	8,0%	7,1%	6,4%	5,8%	5,3%	4,9%	4,6%	4,3%	4,0%	3,8%	3,6%	
	Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ für eine Überlagerung der Dehnung infolge der Biegung D_{Biegung} und der Zugkraft D_{Zugkraft}														
Zugkraft F_{Zug} [N]	Dehnung infolge der Zugkraft D_{Zugkraft}														
0	0	12,6%	10,6%	9,1%	8,0%	7,1%	6,4%	5,8%	5,3%	4,9%	4,6%	4,3%	4,0%	3,8%	3,6%
30	0,006	13,2%	11,2%	9,7%	8,6%	7,7%	7,0%	6,4%	5,9%	5,5%	5,2%	4,9%	4,6%	4,4%	4,2%
60	0,012	13,8%	11,8%	10,3%	9,2%	8,3%	7,6%	7,0%	6,5%	6,1%	5,8%	5,5%	5,2%	5,0%	4,8%
90	0,018	14,4%	12,4%	10,9%	9,8%	8,9%	8,2%	7,6%	7,1%	6,7%	6,4%	6,1%	5,8%	5,6%	5,4%
120	0,024	15,0%	13,0%	11,5%	10,4%	9,5%	8,8%	8,2%	7,7%	7,3%	7,0%	6,7%	6,4%	6,2%	6,0%
150	0,03	15,6%	13,6%	12,1%	11,0%	10,1%	9,4%	8,8%	8,3%	7,9%	7,6%	7,3%	7,0%	6,8%	6,6%
180	0,036	16,2%	14,2%	12,7%	11,6%	10,7%	10,0%	9,4%	8,9%	8,5%	8,2%	7,9%	7,6%	7,4%	7,2%
210	0,042	16,8%	14,8%	13,3%	12,2%	11,3%	10,6%	10,0%	9,5%	9,1%	8,8%	8,5%	8,2%	8,0%	7,8%
240	0,048	17,4%	15,4%	13,9%	12,8%	11,9%	11,2%	10,6%	10,1%	9,7%	9,4%	9,1%	8,8%	8,6%	8,4%
270	0,054	18,0%	16,0%	14,5%	13,4%	12,5%	11,8%	11,2%	10,7%	10,3%	10,0%	9,7%	9,4%	9,2%	9,0%
300	0,06	18,6%	16,6%	15,1%	14,0%	13,1%	12,4%	11,8%	11,3%	10,9%	10,6%	10,3%	10,0%	9,8%	9,6%
330	0,066	19,2%	17,2%	15,7%	14,6%	13,7%	13,0%	12,4%	11,9%	11,5%	11,2%	10,9%	10,6%	10,4%	10,2%

Fig. 3

Längs- erstreckungs- koordinate 25 [m]	Winkel 43 [rad]	Abstand A [m]	Relative Zentripetal- beschleunigung a_z/g	ΔL m_r a_z/g	Zugkraft F_{Zug}
0,00	1,5708	0,0000	0,0000	9,7062E-12	317
0,01	1,4137	0,0009	4,7808	0,01771274	316
0,02	1,2566	0,0035	19,0061	0,07041648	316
0,03	1,0996	0,0078	42,3255	0,15681347	315
0,04	0,9425	0,0137	74,1648	0,27477632	313
0,05	0,7854	0,0210	113,7401	0,42140037	310
0,06	0,6283	0,0296	160,0768	0,59307524	306
0,07	0,4712	0,0392	212,0340	0,78557371	300
0,08	0,3142	0,0496	268,3324	0,99415579	293
0,09	0,1571	0,0605	327,5856	1,21368549	283
0,10	0,0000	0,0718	388,3347	1,43875723	271
0,11	0,0000	0,0718	388,3347	1,43875723	257
0,12	-0,1571	0,0830	449,0837	1,66382898	242
0,13	-0,3142	0,0939	508,3370	1,88335868	225
0,14	-0,4712	0,1043	564,6353	2,09194076	205
0,15	-0,6283	0,1139	616,5925	2,28443923	182
0,16	-0,7854	0,1225	662,9293	2,4561141	156
0,17	-0,9425	0,1298	702,5045	2,60273815	128
0,18	-1,0996	0,1357	734,3439	2,720701	98
0,19	-1,2566	0,1400	757,6633	2,80709798	66
0,20	-1,4137	0,1426	771,8885	2,85980172	33
0,21	-1,5708	0,1435	776,6694	2,87751447	0

Fig. 4

Krümmungsradius R [m]																		
		0,045	0,055	0,065	0,075	0,085	0,095	0,105	0,115	0,125	0,135	0,145	0,155	0,165	0,175			
		Dehnung für eine reine Biegung D_{Biegung}																
		12,6%	10,6%	9,1%	8,0%	7,1%	6,4%	5,8%	5,3%	4,9%	4,6%	4,3%	4,0%	3,8%	3,6%			
Längs- erstreckungs- koordinate 25 [m]	Zugkraft F_{Zug} [N]	Dehnung $D_{\text{resultierend}}$ für eine Überlagerung einer Dehnung infolge der Biegung D_{Biegung} und der Zugkraft D_{Zugkraft}																
		D_{Zugkraft}																
		0,00	317	0,06330532	19,0%	16,9%	15,4%	14,3%	13,4%	12,7%	12,2%	11,7%	11,3%	10,9%	10,6%	10,4%	10,1%	9,9%
		0,01	316	0,06327543	18,9%	16,9%	15,4%	14,3%	13,4%	12,7%	12,2%	11,7%	11,3%	10,9%	10,6%	10,4%	10,1%	9,9%
		0,02	316	0,06317258	18,9%	16,9%	15,4%	14,3%	13,4%	12,7%	12,1%	11,7%	11,3%	10,9%	10,6%	10,3%	10,1%	9,9%
		0,03	315	0,06295782	18,9%	16,9%	15,4%	14,3%	13,4%	12,7%	12,1%	11,6%	11,2%	10,9%	10,6%	10,3%	10,1%	9,9%
		0,04	313	0,0625889	18,9%	16,8%	15,3%	14,2%	13,4%	12,7%	12,1%	11,6%	11,2%	10,9%	10,5%	10,3%	10,0%	9,8%
		0,05	310	0,06201903	18,8%	16,8%	15,3%	14,2%	13,3%	12,6%	12,0%	11,6%	11,1%	10,8%	10,5%	10,2%	10,0%	9,8%
		0,06	306	0,06119654	18,7%	16,7%	15,2%	14,1%	13,2%	12,5%	11,9%	11,5%	11,1%	10,7%	10,4%	10,1%	9,9%	9,7%
		0,07	300	0,06006568	18,6%	16,6%	15,1%	14,0%	13,1%	12,4%	11,8%	11,4%	10,9%	10,6%	10,3%	10,0%	9,8%	9,6%
		0,08	293	0,05856847	18,5%	16,4%	14,9%	13,8%	13,0%	12,3%	11,7%	11,2%	10,8%	10,5%	10,1%	9,9%	9,6%	9,4%
		0,09	283	0,05664758	18,3%	16,2%	14,8%	13,6%	12,8%	12,1%	11,5%	11,0%	10,6%	10,3%	10,0%	9,7%	9,5%	9,2%
		0,10	271	0,0542501	18,0%	16,0%	14,5%	13,4%	12,5%	11,8%	11,3%	10,8%	10,4%	10,0%	9,7%	9,4%	9,2%	9,0%
		0,11	257	0,05137258	17,8%	15,7%	14,2%	13,1%	12,2%	11,5%	11,0%	10,5%	10,1%	9,7%	9,4%	9,2%	8,9%	8,7%
		0,12	242	0,0484541	17,5%	15,4%	13,9%	12,8%	11,9%	11,2%	10,7%	10,2%	9,8%	9,4%	9,1%	8,9%	8,6%	8,4%
		0,13	225	0,04498306	17,1%	15,1%	13,6%	12,5%	11,6%	10,9%	10,3%	9,8%	9,4%	9,1%	8,8%	8,5%	8,3%	8,1%
		0,14	205	0,04094468	16,7%	14,7%	13,2%	12,1%	11,2%	10,5%	9,9%	9,4%	9,0%	8,7%	8,4%	8,1%	7,9%	7,7%
		0,15	182	0,03634423	16,3%	14,2%	12,7%	11,6%	10,7%	10,0%	9,5%	9,0%	8,6%	8,2%	7,9%	7,7%	7,4%	7,2%
		0,16	156	0,03120917	15,7%	13,7%	12,2%	11,1%	10,2%	9,5%	9,0%	8,5%	8,1%	7,7%	7,4%	7,1%	6,9%	6,7%
		0,17	128	0,02558992	15,2%	13,1%	11,6%	10,5%	9,7%	9,0%	8,4%	7,9%	7,5%	7,2%	6,8%	6,6%	6,3%	6,1%
		0,18	98	0,01955916	14,6%	12,5%	11,0%	9,9%	9,1%	8,4%	7,8%	7,3%	6,9%	6,5%	6,2%	6,0%	5,7%	5,5%
		0,19	66	0,0132095	13,9%	11,9%	10,4%	9,3%	8,4%	7,7%	7,2%	6,7%	6,3%	5,9%	5,6%	5,3%	5,1%	4,9%
		0,20	33	0,00664975	13,3%	11,2%	9,8%	8,6%	7,8%	7,1%	6,5%	6,0%	5,6%	5,3%	5,0%	4,7%	4,5%	4,2%
		0,21	0	0	12,6%	10,6%	9,1%	8,0%	7,1%	6,4%	5,8%	5,3%	4,9%	4,6%	4,3%	4,0%	3,8%	3,6%

Fig. 5

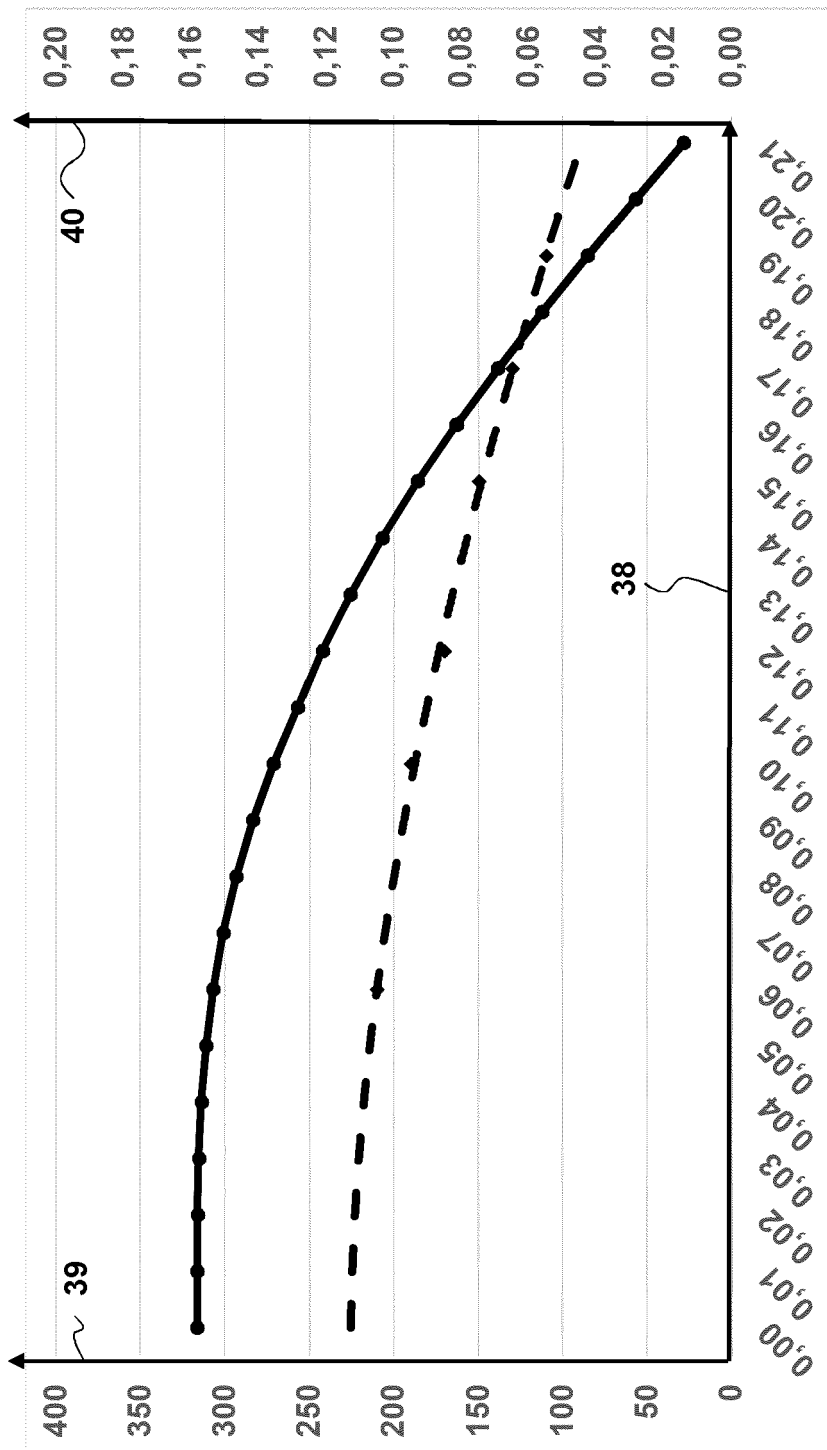


Fig. 6

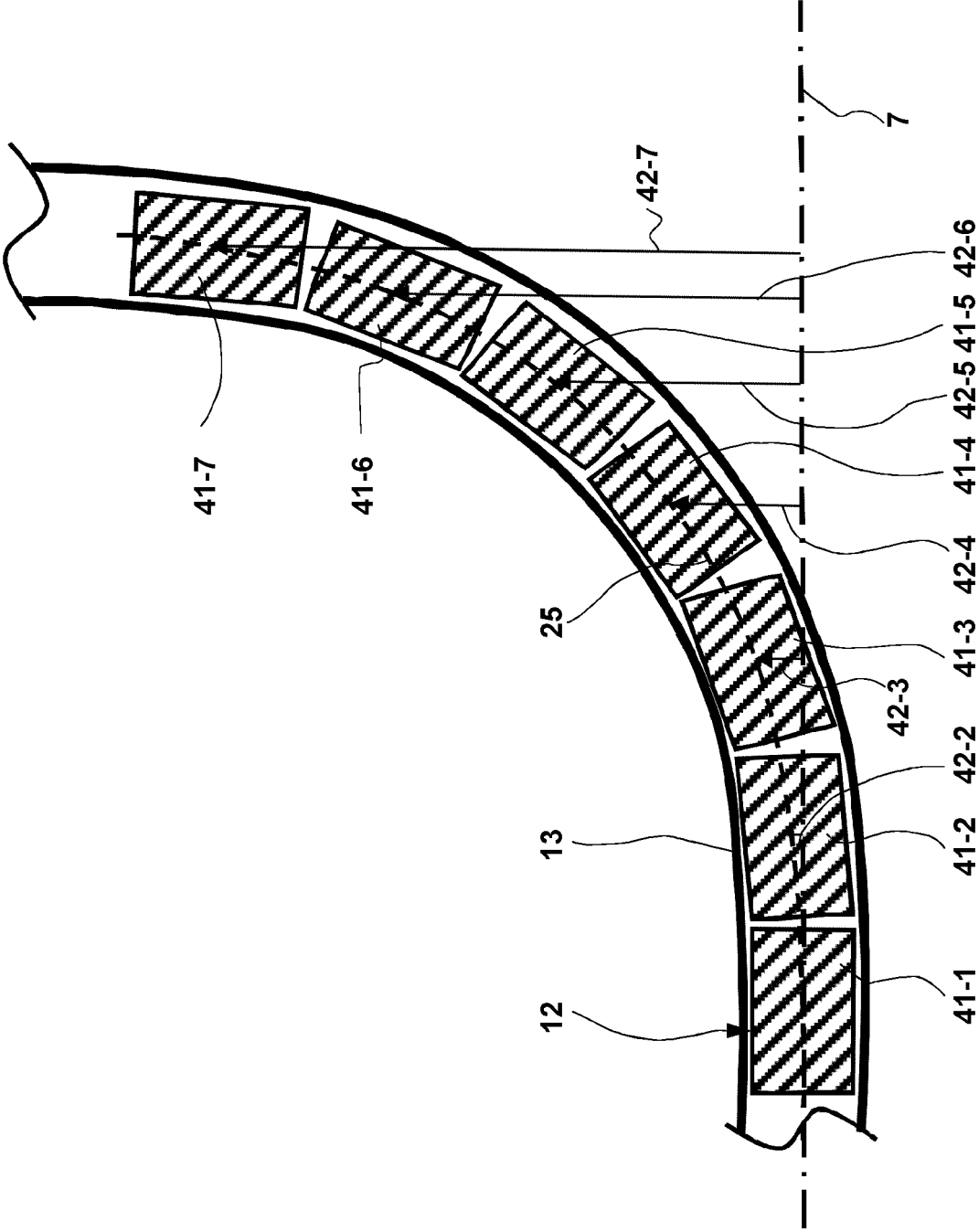


Fig. 7



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 18 9563

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 1 295 642 A1 (FRESENIUS HEMOCARE GMBH [DE]) 26. März 2003 (2003-03-26)	1-3, 7	INV. B04B5/04
A	* Spalte 2, Zeile 1 - Zeile 29; Abbildung 1 *	4-6	

X, D	US 4 216 770 A (CULLIS HERBERT M [US] ET AL) 12. August 1980 (1980-08-12)	1-3, 7	
A	* Abbildung 2 *	4-6	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B04B
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München		24. Januar 2023	Leitner, Josef
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
A : technologischer Hintergrund		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
O : mündliche Offenbarung		L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument	
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

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

EP 22 18 9563

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

24-01-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
	EP 1295642	A1	26-03-2003	AT	302650 T	15-09-2005
				DE	10142744 C1	22-05-2003
15				EP	1295642 A1	26-03-2003
				ES	2244702 T3	16-12-2005
				JP	4255667 B2	15-04-2009
				JP	2003159324 A	03-06-2003
				US	2003045419 A1	06-03-2003
20	-----					
	US 4216770	A	12-08-1980	KEINE		

25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						

EPO FORM P0461

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 Patentdokumente

- EP 3936601 A1 [0006]
- EP 2310486 B1 [0006]
- EP 2485846 B1 [0006] [0007]
- US 4216770 A [0007]
- US 4419089 A [0007]
- US 4389206 A [0007]
- US 5665048 A [0007]
- US 3586413 A [0007]