

(19)



(11)

EP 3 571 411 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

10.05.2023 Patentblatt 2023/19

(21) Anmeldenummer: **18730640.2**

(22) Anmeldetag: **25.05.2018**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

F04D 7/04 ^(2006.01) **F04D 29/02** ^(2006.01)
F04D 29/22 ^(2006.01) **F04D 29/66** ^(2006.01)
G01M 1/30 ^(2006.01) **F16F 15/32** ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

F04D 29/026; F04D 7/04; F04D 29/225; F04D 29/669; F05D 2230/31

(86) Internationale Anmeldenummer:

PCT/EP2018/000273

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:

WO 2018/219496 (06.12.2018 Gazette 2018/49)

(54) **PUMPENLAUFRAD**

PUMP IMPELLER

ROTOR DE POMPE

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(30) Priorität: **02.06.2017 DE 102017005283**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

27.11.2019 Patentblatt 2019/48

(73) Patentinhaber: **WILO SE**

44263 Dortmund (DE)

(72) Erfinder:

- **GEIER, Wolfgang**
44263 Dortmund (DE)
- **OTTO, Alfred J.**
44263 Dortmund (DE)
- **NETSCH, Volker**
44263 Dortmund (DE)
- **BERGER, Christian**
44263 Dortmund (DE)

- **KOHLER, Henry**
44263 Dortmund (DE)
- **KRETSCHMER, Bernd**
44263 Dortmund (DE)
- **KEIL, Thomas**
44263 Dortmund (DE)
- **REUSCHEL, Johannes**
44263 Dortmund (DE)

(74) Vertreter: **Cohausz Hannig Borkowski Wißgott**

Patentanwaltskanzlei GbR
Schumannstraße 97-99
40237 Düsseldorf (DE)

(56) Entgegenhaltungen:

WO-A1-2015/181080 **WO-A1-2016/127225**
DE-A1-102015 117 463 **GB-A- 182 632**
GB-A- 687 514 **JP-A- 2013 064 398**
US-A1- 2005 013 688 **US-B1- 9 217 331**

EP 3 571 411 B1

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

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein asymmetrisches Pumpenlaufrad für ein Pumpenaggregat zur Förderung einer insbesondere feststoffbeladenen Flüssigkeit, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Pumpenlaufrads.

[0002] Asymmetrische Pumpenlaufräder besitzen eine Geometrie, die bezogen auf die Rotationsachse des Pumpenlaufrades nicht rotationssymmetrisch bzw. nicht zyklisch rotationssymmetrisch ist. Derartige Pumpenlaufräder sind beispielsweise halboffene Laufräder mit einer einzigen Schaufel, wie sie bei Abwasserpumpen oder Tauchpumpen zum fördern feststoffhaltiger Flüssigkeiten eingesetzt werden.

[0003] Asymmetrische Pumpenlaufräder sind nur durch eine volle 360° Drehung in sich selbst überführbar. Da sich die Geometrie des Pumpenlaufrades in erster Linie nach hydraulischen Aspekten richtet, wird sie in der Regel ohne Rücksicht auf mögliche geometriebedingte Unwuchten entworfen. Ein solches Laufrad besitzt eine originäre asymmetrische Gewichtsverteilung, mithin einen außermittigen Masseschwerpunkt. Die Hauptträgheitsachse liegt somit nicht auf der Rotationsachse des Laufrades, wodurch eine statische Unwucht erzeugt wird. Zudem führen Deviationsmomente in der Trägheit des Pumpenlaufrades bei Rotation zu einer Schräglage der Hauptträgheitsachse gegenüber zur Rotationsachse, so dass auch eine dynamische Unwucht vorliegt. Statische und dynamische Unwuchten können auch herstellungsbedingt sein, da je nach Herstellungsverfahren Toleranzen, d.h. Maßabweichungen vom entworfenen Design des Pumpenlaufrades vorliegen.

[0004] Die Unwuchten werden nach der Herstellung des Laufrades im Rahmen eines manuellen Wuchtprozesses entfernt. Dies erfolgt durch partielle Materialabtragung, d.h. partielle Einsparungen von Material (negatives Auswuchten) oder durch partielle Materialhinzufügung durch die Montage eines Wuchtgewichtes (positives Auswuchten), welches das Gewicht des Laufrades am Ort seiner Anordnung erhöht.

[0005] Ein Abwasserpumpenlaufrad mit einem Wuchtgewicht ist beispielsweise aus dem japanischen Patent JP 5133026 B2 bekannt, wobei hier das Wuchtgewicht einstückig mit der Tragscheibe ausgebildet ist. Ein anderes asymmetrisches Abwasserpumpenlaufrad mit einem Wuchtgewicht ist beispielsweise aus der US-Patentanmeldung US 2011/182734 A1 und der britischen Patentanmeldung GB 687,514 bekannt. Die britische Patentanmeldung GB 182,632 offenbart je eine Kammer in den beiden Schaufeln des Laufrades, welches aufgrund der Verwendung von zwei Schaufeln und entsprechend zwei Strömungskanälen ausgewuchtet sein soll.

[0006] Pumpenlaufräder für Abwasserpumpen werden in der Regel gegossen wie z.B. in der japanischen Patentanmeldung JP 2013-64398 A, insbesondere aus Metall. Abgesehen von den enormen Toleranzen, die dieses Herstellungsverfahren bedingt, sind der Geome-

trie des Laufrades Grenzen gesetzt, so dass Unwuchten nicht oder nur sehr eingeschränkt in der Wahl der Geometrie selbst berücksichtigt werden können, und somit stets ein manuelles Nachwuchten eines gegossenen Laufrades erforderlich ist.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein asymmetrisches Pumpenlaufrad bereitzustellen, das Unwuchten bereits in seiner Geometrie berücksichtigt, ohne dabei einen hydraulischen Wirkungsgradeinbruch zu erfahren, und das bereits durch das Verfahren seiner Herstellung ausgewuchtet ist. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Pumpenlaufrades bereit zu stellen.

[0008] Diese Aufgaben werden durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 16 gelöst.

[0009] Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben und werden nachfolgend erläutert.

[0010] Erfindungsgemäß wird ein asymmetrisches Pumpenlaufrad für ein Pumpenaggregat zur Förderung einer insbesondere feststoffbeladenen Flüssigkeit vorgeschlagen, das zumindest zum Teil schichtweise durch ein additives Herstellungsverfahren gebildet ist und zumindest einen Hohlraum in seinem Materialinneren aufweist, der bei der schichtweisen Herstellung ausgebildet wird und nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung zum Entfernen unverfestigten Materials aus dem Hohlraum geschlossen ist, wobei der Hohlraum derart positioniert und ausgebildet ist, dass eine Trägheitsachse des Pumpenlaufrads zur Rotationsachse des Pumpenlaufrads hin verschoben ist. Ferner wird erfindungsgemäß ein Verfahren zur Herstellung eines Pumpenlaufrads der genannten Art aus einzelnen Schichten eines Materials durch Anwendung eines additiven Herstellungsverfahrens vorgeschlagen, bei dem in zumindest einem Teil aufeinander folgender Schichten ein Raumbereich im Materialinneren des Pumpenlaufrads zur Ausbildung zumindest eines nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung zum Entfernen unverfestigten Materials aus dem Hohlraum geschlossen ist, wobei der Hohlraum derart positioniert und ausgebildet ist, dass eine Trägheitsachse zur Rotationsachse des Pumpenlaufrads hin verschoben ist.

[0011] Kerngedanke der Erfindung ist es somit, den Vorgang des Auswuchtens eines asymmetrischen Pumpenlaufrades in die Entwurfsphase zu verlegen und das Pumpenlaufrad so zu entwerfen und herzustellen, dass es nahezu unwuchtfrei ist. Hierzu sieht die Erfindung die Verwendung von Hohlräumen in asymmetrischen Pumpenlaufrädern vor, die durch ein additives Herstellungsverfahren erhalten werden. Der oder die Hohlräume ermöglichen eine freiere Ausgestaltung der Schaufelgeometrie, weil das Auswuchten anderenfalls über die Schaufelgeometrie erfolgen müsste.

[0012] Dabei ist es Ziel, einen oder mehrere geschlossene oder im Wesentlichen geschlossene Hohlräume im Materialinneren des Laufrades zu verwenden, um eine lokale Gewichtseinsparung zu erreichen, die einen Bei-

trag dazu leistet oder es sogar ganz bewirkt, dass das gesamte Pumpenlaufrad eine symmetrische Gewichtsverteilung erhält, mithin zumindest statisch ausgewuchtet ist, wobei der Hohlraum durch Anwendung eines additiven Herstellungsverfahrens ausgebildet wird. Unabhängigkeit von dem Aspekt der lokalen Materialeinsparung und damit Gewichtseinsparung umfasst die Erfindung auch den Aspekt der lokalen Gewichtshinzufügung zum Zwecke des Auswuchtens, wie nachstehend noch erläutert wird.

[0013] Ein additives Herstellungsverfahren, auch generatives Herstellungsverfahren genannt, ermöglicht es, nahezu beliebig positionierte und nahezu beliebig komplex in ihrer Geometrie ausgebildete Hohlräume herzustellen, die nicht in gleicher Weise durch alternative Verfahren, beispielsweise mit verlorenen Kernen oder geteilten/bewegten Kernen oder Schiebern hergestellt werden können.

[0014] Durch den zumindest einen Hohlraum wird zudem das Gewicht des Laufrads insgesamt reduziert, was auch die Handhabung bei der Herstellung und dem Transport vereinfacht und das Gesamtgewicht des Pumpenaggregats reduziert. Zudem führt die Materialeinsparung durch den zumindest einen Hohlraum zu einem Kostenvorteil, der sich umso stärker ausprägt, je hochwertiger das zur Herstellung des Pumpenlaufrads verwendete Material ist. Ein weiterer Vorteil der schichtweisen additiven Herstellung ist die kostengünstige Einzelanfertigung kundenspezifischer Pumpenlaufräder, bzw. der wirtschaftlichen Herstellung kleinerer Mengen von Pumpenlaufrädern. Denn das additive Herstellen aus Schichten benötigt keine Gießform, mithin keine speziell geformten Kerne. Außerdem entfallen durch die additive Fertigung Arbeitsschritte, die bei konventioneller Fertigung notwendig sind, z.B. Überdrehen des Außendurchmessers, saugseitiges Überdrehen, Auswuchten des Laufrades.

[0015] Bei dem additiven Herstellungsverfahren können beispielsweise einzelne Schichten eines geschmolzenen Materials aus einer Düse nacheinander aufeinander aufgetragen werden und auf diese Weise Schicht für Schicht das Laufrad bzw. seine mechanische Tragstruktur bilden, wie dies an sich als sogenanntes "3D Drucken" bekannt ist. Dort, wo der zumindest eine Hohlraum auszubilden ist, fehlt es entsprechend an einem Materialauftrag. Auf diese Weise kann der zumindest eine Hohlraum nach außen vollständig geschlossen im Materialinneren des Laufrades ausgebildet werden. Als Materialien eignen sich hier vor allem Polymere und faserverstärkte Polymere, die eine vergleichsweise (gegenüber Metall) niedrige Schmelztemperatur aufweisen und im plastifizierten Zustand nicht zu flüssig sind

[0016] Eine alternative und erfindungsgemäß bevorzugte Variante ist die Herstellung der einzelnen Schichten aus einem Pulver. Dieses kann lokal aufgeschmolzen werden, beispielsweise mittels eines hochenergetischen Strahls wie einem Laserstrahl oder Elektronenstrahl, wobei es sich anschließend wieder verfestigt. Auf die ver-

festigte Schicht wird dann eine weitere Pulverschicht aufgetragen und diese anschließend wieder lokal mit dem Strahl aufgeschmolzen. Im Bereich eines auszubildenden Hohlräume erfolgt kein Aufschmelzen des Pulvers. Besonders geeignet zur lokalen Aufschmelzung sind das sogenannte selektive Lasersintern (SLS), das Laserschmelzen oder das Elektronenstrahlschmelzen, die an sich bekannt sind. Sie ermöglichen die Herstellung hochpräziser Bauteile. Als Alternative zum Aufschmelzen des Pulvers kann dieses durch ein Bindemittel lokal verklebt werden, um das Pulver zu verfestigen und das Laufrad auf diese Weise schichtenweise zu erzeugen. Ein solches generatives Herstellungsverfahren ist unter der Bezeichnung "Binder Jetting" bekannt, und kann ebenfalls erfindungsgemäß verwendet werden.

[0017] Als Material kann neben einem Polymer- oder Keramikpulver bevorzugt ein Metallpulver verwendet werden, so dass besonders stabile Pumpenlaufräder aus Metall insbesondere für Abwasserpumpen hergestellt werden können.

[0018] Um das unverfestigte Material, d.h. das Pulver, aus dem zumindest einen Hohlraum zu entfernen, muss der Hohlraum eine Öffnung nach außen aufweisen. Diese kann jedoch im Hinblick auf die Korngröße des Pulvers vergleichsweise klein sein, beispielsweise zwischen 0,5mm und 2mm betragen, so dass das Pulver von selbst herausrieseln oder herausgeblasen werden kann.

[0019] Vorzugsweise umfasst das Laufrad nur eine Schaufel auf, die sich spiralförmig um die Rotationsachse erstreckt. Der Abstand der Schaufel zur Mitte des Laufrades bzw. zur Rotationsachse wird somit mit zunehmendem Umschlingungswinkel, d.h. von innen nach außen größer. Das Laufrad ist demgemäß ein Kreiselpumpenlaufrad oder Zentrifugallaufrad, das die Flüssigkeit zentral ansaugt und radial herausfördert. Geeigneterweise ist das Laufrad ohne Deckscheibe, d.h. halboffen ausgeführt, d.h. zur Saugöffnung der Pumpe hin offen ist. Ein solches Laufrad ist besonders für Abwasserpumpen und Tauchpumpen, d.h. zur Förderung feststoffbeladener Abwässer geeignet, da es im Vergleich zu zwei- oder mehrschaufeligen Laufrädern und gedeckten Laufrädern weniger anfällig gegen Verstopfung ist. Das Pumpenaggregat kann somit bevorzugt eine Abwasser- oder Tauchpumpe sein.

[0020] Alternativ zum beschaukelten Laufrad kann es sich bei dem erfindungsgemäßen Pumpenlaufrad um ein Schneckenlaufrad handeln. Ein solches Schneckenlaufrad wird beispielsweise bei Exzentrerschneckenpumpen eingesetzt und dort auch als Rotor bezeichnet. In asymmetrischer Bauweise besitzt es ein eingängiges Gewinde großer Steigung, großer Gangtiefe und kleinem Kerndurchmesser. Gegebenenfalls windet sich das Gewinde nicht ein ganzzahliges Vielfaches um die Rotorachse. Beides verursacht Unwuchten, die durch das erfindungsgemäße Laufrad vermieden werden können.

[0021] Um der Schaufel eine höhere Stabilität zu verleihen, kann das Laufrad eine Tragscheibe aufweisen, auf der die Schaufel befestigt ist, bzw. von der sie sich

erhebt. Gemäß einer Ausführungsvariante kann die Tragscheibe separat hergestellt werden. Diese Herstellung kann in herkömmlicher Art beispielsweise mittels Gießen erfolgen. Anschließend kann sie mit der schichtweise hergestellten Schaufel mechanisch fest verbunden werden. Dies kann beispielsweise mittels Schweißen oder Verschrauben erfolgen. Es ist jedoch von Vorteil, wenn die Tragscheibe sogleich bei der schichtweisen Herstellung einstückig mit der Schaufel ausgebildet wird. Auf einen nachfolgenden Schweiß- oder Montageschritt kann dadurch verzichtet werden.

[0022] Der zumindest eine Hohlraum kann gemäß einer Ausführungsvariante teilweise innerhalb des die Schaufel bildenden Materials liegen. Je nach Schaufelgeometrie kann er aber auch vollständig innerhalb der Schaufel ausgebildet sein. Zusätzlich oder alternativ kann der zumindest eine Hohlraum teilweise innerhalb des die Tragscheibe bildenden Materials liegen. Er kann aber auch vollständig innerhalb der Tragscheibe ausgebildet sein. Gemäß einer wiederum anderen Ausführungsvariante kann der Hohlraum zu einem Teil innerhalb der Schaufel und zu einem anderen Teil innerhalb der Tragscheibe liegen.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante kann das Laufrad innerhalb eines von der Schaufel eingefassten Zentralbereichs eine von der geförderten Flüssigkeit überströmbare Materialmenge aufweisen, in der der zumindest eine Hohlraum ganz oder teilweise ausgebildet sein kann. Der Zentralbereich entspricht dabei dem von der einzigen Schaufel begrenzten Strömungskanal (Schaufelkanal) des Laufrades, der in axialer Richtung, im Falle der Existenz einer Tragscheibe zu dieser hin, durch die Materialmenge zumindest zum Teil begrenzt ist. In anderer Axialrichtung bildet der Zentralbereich den Saugmund, d.h. die Saugseite des Laufrades. Geeigneterweise ist die Materialmenge stofflich integral mit der Schaufel ausgebildet und kann somit als Teil der Schaufel betrachtet werden. Die Materialmenge besitzt idealerweise eine Oberfläche in Form einer Rampe, welche sich in axialer Richtung mit zunehmend kleiner werdendem Abstand der Schaufel zur Rotationsachse, d.h. mit kleiner werdendem Umschlingungswinkel der Schaufel erhebt.

[0024] Wie bereits ausgeführt, kann der zumindest eine Hohlraum vollständig in der Materialmenge ausgebildet sein. Wird die Materialmenge als Teil der Schaufel betrachtet, so ist der zumindest eine Hohlraum dann vollständig in der Schaufel ausgebildet. Wird die Materialmenge als ein von der Schaufel unabhängiger Teilbereich des Pumpenlaufrades betrachtet, so kann der zumindest eine Hohlraum teilweise in der Materialmenge liegen und sich zu einem anderen Teil in einen anderen Teilbereich des Pumpenlaufrades erstrecken. Gemäß einer Ausführungsvariante kann er zum Teil in der Materialmenge einliegen, zu einem anderen Teil in der Schaufel oder in der Tragscheibe einliegen. Gemäß wieder einer anderen Ausführungsvarianten kann der Hohlraum zum Teil innerhalb der Materialmenge, zum Teil inner-

halb der Schaufel und zum Teil innerhalb der Tragscheibe einliegen.

[0025] Damit das unverfestigte Material aus dem Hohlraum entfernbar ist, kann sich an die Öffnung ein Kanal anschließen, der vom Hohlraum nach außen führt. Über diesen Kanal kann die Entleerung des Hohlraums nach der Herstellung des Laufrades erfolgen, beispielsweise indem das unverfestigte Pulver aus dem freigelassenen Raumbereich durch den Kanal herausgeblasen wird. Hierzu kann beispielsweise eine Hohlzahn in den Kanal eingeführt und durch diese Druckluft in den Hohlraum geblasen werden. Alternativ kann das unverfestigte Pulver auch herausgesaugt werden.

[0026] Gemäß einer Ausführungsvariante kann der Kanal offen, bzw. dauerhaft offen ausgebildet sein. Dies bedeutet, dass im Betrieb des Pumpenaggregats Förderflüssigkeit in den Hohlraum eintreten kann. Dies birgt jedoch die Gefahr, dass sich innerhalb des Hohlraums Ablagerungen bilden können, welche wiederum die Gewichtverteilung beeinflussen können, und ferner schwer im Vorhinein bei der Bestimmung des Schwerpunkts je Materialschicht berücksichtigbar sind, so dass der nach außen offene Hohlraum stets unwuchtanfällig ist.

[0027] Um dies zu vermeiden, kann der Kanal nachträglich, d.h. nach dem Entfernen des unverfestigten Materials, insbesondere des Pulvers, geschlossen werden. Somit ist der zumindest eine Hohlraum des betriebsfertigen Pumpenlaufrades wieder nach außen vollständig geschlossen. Der Kanal kann beispielsweise zugeschweißt, insbesondere mit einer Schweißperle verschlossen werden. Alternativ kann er auch mit Hilfe eines Klebers zugeklebt, mittels einer Schraube wie einer Madenschraube zugeschraubt (setzt Innengewinde im Kanal voraus) oder über einer Presspassung mit einem Stopfen verschlossen werden.

[0028] Um zu vermeiden, dass Materialreste, insbesondere Pulverreste in dem zumindest einen Hohlraum verbleiben, kann der Hohlraum frei von recht- und/ oder spitzwinkligen Innenkanten und/ oder Innenecken sein. Erfahrungen haben gezeigt, dass gerade bei derartigen Innenkanten Pulverreste kleben bleiben. Ein mechanischer Schlag oder Rütteln ist dann erforderlich, um diese Reste zu lösen. Vorzugsweise kann vorgesehen sein, dass zwei winklig zueinander liegende Begrenzungswände des zumindest einen Hohlraums unter Ausbildung einer Hohlkehle ineinander übergehen. Der Übergang dieser beiden Begrenzungswände ist somit durch eine konkave Ausrundung der Innenkante gebildet. Dies reduziert das Risiko eines Anhaftens von Pulverresten im Übergang der Begrenzungswände.

[0029] Von besonderem Vorteil ist es, wenn der zumindest eine Hohlraum in eine Richtung im Querschnitt betrachtet satteldachförmig oder trichterförmig geschlossen ist. Die Öffnung liegt dabei sinnvollerweise in der Spitze des Satteldachs oder Trichters. Diese Geometrie bildet quasi einen Entleerungstrichter und vereinfacht die Entfernung des unverfestigten Materials und begünstigt eine vollständige Restentleerung.

[0030] Eine satteldachförmige Dach-Geometrie ist für eine rechteckige Querschnittsfläche oder Grundfläche des Hohlraums besonders geeignet und besitzt zwei zueinander winklig liegende Begrenzungswände, die sich in einer Linie, dem First, schneiden, und auf denen das unverfestigte Material herabgleiten kann. Die satteldachförmige Dach-Geometrie muss dabei aber nicht zwingend symmetrisch sein. Ferner müssen die Begrenzungswände keine Ebenen, der First keine Gerade sein. Sie können auch beliebig gebogene Flächen, die Linie eine entsprechend beliebig gebogene Kurve sein, in der sich die beiden Flächen schneiden. Die Öffnung liegt sinnvollerweise mittig in Erstreckungsrichtung auf der Linie, damit das unverfestigte Pulver von allen Seiten gleichmäßig zur Öffnung rieseln kann. Entsprechend ist es von Vorteil, wenn der Kanal in Umfangsrichtung mittig zum Hohlraum in diesen mündet

[0031] Eine trichterförmige Dach-Geometrie eignet sich besonders für eine quadratische oder runde Querschnittsfläche oder Grundfläche des Hohlraums. Das Dach des Hohlraums kann somit einer vierseitigen Pyramide, einer Kuppel (Halbkugel) oder einem Kegel entsprechen, die bzw. der auf dem Kopf stehend einen Trichter bildet, so dass das unverfestigte Material zum Zentrum des Trichters herabgleiten kann. Die Öffnung liegt dabei sinnvollerweise im Zentrum des Trichters. Entsprechend ist es von Vorteil, wenn der Kanal aus Sicht der Rotationsachse des Laufrades in radialer Richtung mittig zum Hohlraum in diesen mündet. Dies gilt auch für die satteldachförmige Geometrie. Auch bei der trichterförmigen Dach-Geometrie sei angemerkt, dass diese nicht unbedingt symmetrisch sein muss sondern auch unsymmetrische trichterförmige Dach-Geometrien möglich sind.

[0032] Somit kann die Form des Hohlraums im Querschnitt beliebig sein, beispielsweise rechteckig, quadratisch, rund oder oval. Um der gewundenen Form der Schaufelgeometrie gerecht zu werden, kann die Geometrie des Hohlraums im Querschnitt an diese Schaufelgeometrie angepasst sein, beispielsweise dahingehend, dass eine rechteckige Grundform in Richtung ihrer Längserstreckung gebogen ist. Somit besitzt auch das Satteldach eine gebogene Kontur, und der First entspricht einer gebogenen Linie. Die Geometrie kann im Querschnitt z.B. einem Segment einer Lochscheibe, beispielsweise einem Viertelkreissegment entsprechen, wie nachfolgend anhand des Ausführungsbeispiels noch deutlich wird.

[0033] Idealerweise erfolgt die satteldachförmige oder trichterförmige Ausbildung des Hohlraums in Richtung des additiven Schichtaufbaus. Dies macht sich den Nachteil zunutze, dass je nach verwendetem Verfahren keine Schwebdachkonstruktion (freitragende Decke) ausgebildet werden kann, mithin nur Schrägen größer 45° oder größer 50° schichtweise hergestellt werden können, weil aufgeschmolzenes Pulvermaterial wie Wasser nach unten fließen und unverfestigtes Pulvermaterial verdrängen würde.

[0034] In einer Ausführungsvariante kann der Hohlraum im inneren eine Stützstruktur aufweisen. Eine Stützstruktur kann beispielsweise erforderlich sein, um eine bestimmte Geometrien des Hohlraums herzustellen, die mit dem additiven Herstellungsverfahren anderenfalls nicht realisiert werden kann. Eine Stützstruktur kann aber auch aus anderen Gründen vorgesehen werden, beispielsweise um Kräfte zu übertragen oder zum Zwecke des Auswuchtens wiederum Material innerhalb des Hohlraums vorzusehen.

[0035] Die Stützstruktur kann sich beispielsweise zwischen zwei oder mehr Begrenzungswänden des Hohlraums erstrecken. Idealerweise wird sie beim schichtweisen Aufbau des Pumpenlaufrades mit erzeugt.

[0036] Die Stützstruktur kann in einer Ausführungsvariante skelettartig ausgebildet sein, so dass sie nur ein Minimum an Material erfordert. Eine skelettartige Stützstruktur trennt den zumindest einen Hohlraum in Teilhohlräume, die über Öffnungen in der Stützstruktur miteinander verbunden sind.

[0037] Vorzugsweise kann die Stützstruktur an wenigstens einer Stelle eine dem Auswuchten dienende Materialverdickung aufweisen. Alternativ oder zusätzlich kann eine den Hohlraum begrenzende Außenwand an wenigstens einer Stelle eine dem Auswuchten dienende Materialverdickung aufweisen. Dies erhöht den Freiheitsgrad bei der Gestaltung und Anordnung des Hohlraums oder der Hohlräume im Pumpenlaufrad. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass eine Materialverdickung letztendlich bedeutet, dass das Hohlraumvolumen gegenüber einer Variante ohne Materialverdickung verringert ist. Dies zeigt, dass auch eine Zunahme von Material im oder am Hohlraum gleichzeitig eine Anpassung des Hohlraums selbst darstellt. Somit ist auch bei einer Materialverdickung im oder am Hohlraum der zumindest einen Hohlraum derart ausgebildet, dass eine Trägheitsachse des Pumpenlaufrads zur Rotationsachse des Pumpenlaufrads hin verschoben ist.

[0038] Alternativ zu einer skelettartigen Struktur kann die Stützstruktur auch durch eine insbesondere massive Stützwand gebildet sein. Eine solche Stützwand trennt den zumindest einen Hohlraum in zwei Hohlräume, die jeweils nach außen geschlossen oder bis auf eine Öffnung zur Entleerung unverfestigten Pulvers geschlossen sind. Das erfindungsgemäße Pumpenlaufrad weist somit in dieser Ausführungsvariante zwei Hohlräume auf, die dem Auswuchten dienen.

[0039] Die Stützwand kann in einer Ausführungsvariante dem bereits vorerwähnten Umstand Rechnung tragen, dass die Dachgeometrie eines Hohlraums nur mit einer Schräge größer 45° oder größer 50° ausgebildet werden kann und somit durch die Dachhöhe auch die maximale Breite des Hohlraums festgelegt ist. Muss der Hohlraum aufgrund der notwendigen Verschiebung der Trägheitsachse zur Rotationsachse aber breiter ausgebildet werden, als es die Dachhöhe zulässt, weil sich der Hohlraum anderenfalls nach außen öffnen würde, so können zwei Hohlräume nebeneinander ausgebildet

werden, vorzugsweise mit im Querschnitt symmetrischer Geometrie. Beispielsweise können die Hohlräume bezogen auf die Laufradachse in radialer Richtung hintereinanderliegen. Die Stützwand erstreckt sich dann in Umfangsrichtung und trennt die beiden Hohlräume radial voneinander.

[0040] Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Hohlräume durch einen Verbindungskanal miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht es, zur Entleerung der Hohlräume durch den einen Kanal in den ersten Hohlraum hinein Druckluft zu blasen, um das unverfestigte Material durch den anderen Kanal des zweiten Hohlraums herauszublasen. Alternativ kann auch gesaugt werden. Dies kann wechselseitig erfolgen, um beide Hohlräume restlos zu entleeren. Dieses Verfahren kann auch bei drei oder mehr Hohlräumen angewendet werden, insbesondere auch dann, wenn die Hohlräume nicht unmittelbar benachbart liegen. Es können alle oder Gruppen der Hohlräume miteinander durch entsprechende Verbindungskanäle verbunden sein, damit die Druckluft in alle Hohlräume oder in die Hohlräume einer Gruppe hineingelangen kann. Bei voneinander fluidisch getrennten, d.h. nicht verbundenen Gruppen ist das Verfahren entsprechend pro Gruppe zu wiederholen.

[0041] In einer bevorzugten Ausführungsvariante, weist das Pumpenlaufrad zusätzlich zu dem einen inneren Hohlraum eine nach außen offene Ausnehmung oder einen weiteren nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung zum Entfernen unverfestigten Materials geschlossenen Hohlraum auf, wobei die Ausnehmung oder der weitere Hohlraum axial zum einen Hohlraum versetzt ist. Die Ausnehmung und der weitere Hohlraum ermöglichen das Auswuchten des Pumpenlaufrades in einer zweiten Radialebene. Der bezogen auf die Rotationsachse axiale Versatz bewirkt, dass der Schwerpunkt des einen inneren Hohlräume und der Schwerpunkt der Ausnehmung bzw. des weiteren inneren Hohlräume in jeweils einer eigenen Radialebene liegt und die beiden Radialebene axial zueinander beabstandet sind. Sie ermöglichen, das Pumpenlaufrad dynamisch auszuwuchten.

[0042] Es ist sinnvoll, wenn die Ausnehmung oder der weitere Hohlraum in der Tragscheibe ausgebildet ist. In Kombination mit dem in der Schaufel oder im Materialbereich ausgebildeten einen Hohlraum wird durch die Ausnehmung oder den weiteren Hohlraum in der Tragscheibe ein besonders großer Abstand zwischen den beiden Radialebenen erreicht. Dies wiederum hat den Vorteil, dass eine geringere Ausgleichsmasse bzw. ein geringeres Hohlvolumen zur Beseitigung der dynamischen Unwucht erforderlich ist.

[0043] Um den Abstand zu maximieren, kann die Ausnehmung auf der der Schaufel abgewandten Rückseite der Tragscheibe ausgebildet ist. Diese Ausführung hat zudem den Vorteil, dass die Ausnehmung den hydraulischen Wirkungsgrad nicht beeinflusst, da sie von der Saug- und Druckseite des Pumpenlaufrades abgewandt ist.

[0044] Vorzugsweise erfolgt der Aufbau der einzelnen

Schichten in axialer Richtung des Pumpenlaufrades, d. h. quer zur Laufradachse oder leicht geneigt dazu, so dass die Richtung des Schichtaufbaus im Wesentlichen parallel zur Laufradachse liegt. Dies hat den Vorteil, dass so wenig Stützstrukturen wie möglich benötigt und folglich so wenig Material wie möglich aufgeschmolzen werden muss. Dies reduziert zudem den Aufwand bei der Nachbearbeitung, da weniger Stützstrukturen entfernt werden müssen.

[0045] Von Vorteil ist es zudem, wenn bei der Herstellung zunächst die Tragscheibe des Pumpenlaufrades und darauf anschließend die eine Schaufel schichtweise ausgebildet wird. Hierdurch werden Stützstrukturen vermieden, die aufgrund der in radialer Richtung über die Schaufel hinaus vorstehenden Tragscheibe erforderlich wären, wenn die Tragscheibe zuletzt ausgebildet werden würde. Diese Stützstrukturen müssten nachträglich wieder entfernt werden, was den Herstellungsprozess verlängert und verkompliziert.

[0046] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und der beigefügten Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1: eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Pumpenlaufrads

Fig. 2: eine perspektivische Ansicht des axial geschnittenen Laufrads aus Fig. 1

Fig. 3: eine perspektivische Ansicht des radial geschnittenen Laufrads aus Fig. 1

Fig. 4: Position der zwei Wuchtebenen für das Pumpenlaufrad nach Fig. 1

Fig. 5: Schnitt durch Ebene II gemäß Fig. 4

[0047] Die Figuren 1 bis 3 zeigen ein einschauliges Pumpenlaufrad 1 für ein Abwasserpumpenaggregat zur Förderung feststoffbeladener Abwässer gemäß der Erfindung. Es umfasst eine Tragscheibe 2 und eine damit einstückig ausgebildete, sich spiralförmig um die Laufradachse 15 erstreckende Schaufel 3, die sich von der Tragscheibe 2 in axialer Richtung erhebt. Eine Deckscheibe ist nicht vorhanden, so dass das Pumpenlaufrad 1 ein halboffenes Pumpenlaufrad bildet. Hinsichtlich seiner Geometrie ist das Laufrad 1 bezogen auf die Laufradachse 15 asymmetrisch.

[0048] Wie insbesondere anhand von Fig. 2 zu erkennen ist, weist das Pumpenlaufrad 1 ferner einen von der Schaufel 3 eingefassten Zentralbereich 16 auf, der den Strömungskanal (Schaufelkanal) des Laufrads 1 bildet. Innerhalb dieses Zentralbereichs 16 ist der Strömungskanal zur Tragscheibe 2 hin durch eine Materialmenge 18 (Vollmaterial) begrenzt, die wiederum zum Strömungskanal hin eine rampenförmige Oberfläche, d.h. eine Rampe 17 aufweist, die von der geförderten Flüssigkeit im Betrieb des Pumpenaggregats überströmt wird. Die Rampe 17 erhebt sich mit zunehmender radialer Annäherung der Schaufel 3 an die Laufradachse 15 zunehmend von der Tragscheibe 2.

[0049] In der Materialmenge 18 sind zwei in radialer

Richtung hintereinanderliegende Hohlräume 5, 6 ausgebildet, die bis auf einen Kanal 9, 10 nach außen hin geschlossen sind. Die Hohlräume 5, 6 sind bis auf eine Öffnung 7, 8, die in den jeweiligen Kanal 9, 10 hineinführt, allseitig geschlossen, d.h. weder halboffen noch lediglich

eine Ausnehmung aus dem Material des Laufrades. Somit befinden sich die Hohlräume im Materialinneren des Laufrades 1. Die beiden Kanäle 9, 10 erstrecken sich in axialer Richtung annähernd parallel zur Laufradachse 15 und münden jeweils in einer eigenen Öffnung 11, 12 an der Oberfläche der Rampe 17, die hier jeweils offen ist.

[0050] In der hier dargestellten Ausführungsvariante ist ein radial äußerer Teilbereich des radial äußeren Hohlraums 5 teilweise in der Schaufel 3 ausgebildet, da die Wandstärke der Schaufel 3 im Bereich dieses äußeren Hohlraums 5 dünner ist, als im übrigen Bereich der Schaufel 3. Somit liegt der äußere Hohlraum 5 teilweise innerhalb der Materialmenge 18, teilweise innerhalb der Schaufel 3. Der Hohlraum 5 erstreckt sich jedoch nicht bis in die Tragscheibe 2 hinein.

[0051] Die beiden Hohlräume 5, 6 sind hier gemeinsam derart positioniert und hinsichtlich ihrer Größe und Geometrie derart ausgebildet ist, dass eine Trägheitsachse des Pumpenlaufrads 1 zur Rotationsachse 15 hin verschoben ist. Denn durch die Hohlräume 5, 6 wird eine lokale Gewichtseinsparung erreicht, die einer radialen Verlagerung der Schwerpunktsachse infolge der Masse der Materialmenge 18 statisch entgegenwirkt und damit zumindest einen Teil der Unwucht beseitigt.

[0052] Im axialen Querschnitt betrachtet, sind die beiden Hohlräume 5, 6 jeweils durch die Kontur eines Hauses mit einem Satteldach 24 gebildet. Radial nach außen sind die beiden Hohlräume 5, 6 durch eine schaufelseitige Begrenzungswand 20, radial nach innen durch eine nabenseitige Begrenzungswand 21 und in axialer Richtung durch eine tragscheibenseitige Begrenzungswand 22 begrenzt. Die Hohlräume 5, 6 sind voneinander durch eine Stützwand 23 getrennt, auf der sich der Bereich der Materialmenge 18 zwischen den beiden Satteldächern 24 abstützt. Die Stützwand 23 bildet für den radial außen liegenden Hohlraum 5 die nabenseitige Begrenzungswand 21 und für den radial innen liegenden Hohlraum 6 die schaufelseitige Begrenzungswand 20. Es sei an dieser Stelle jedoch angemerkt, dass die beiden Hohlräume auch durch einen einzigen Hohlraum gebildet sein können. Die Stützwand 23 ist somit nicht zwingend. Ferner müssen die Satteldächer 24 nicht wie in dem Ausführungsbeispiel symmetrisch sein.

[0053] An das jeweilige Satteldach 24 schließt sich einer der beiden Kanäle 9, 10 in Gestalt je eines "Kamins" an, der am First des Satteldachs beginnt, wo auch die beiden Öffnungen 7, 8 liegen. Die Kanäle 9, 10 sind also bezogen auf die radiale Breite der Hohlräume 5, 6 jeweils mittig angeordnet. Wie insbesondere anhand von Fig. 3 zu erkennen ist, erstrecken sich die beiden Hohlräume 5, 6 in ihrer Länge bogenförmig in Umfangsrichtung jeweils entlang eines Viertelkreises, wobei ihre Längsenden jeweils miteinander fluchten. Somit besitzt der radial

innere Hohlraum 6 eine geringere Längserstreckung als der radial außenliegende Hohlraum 5. Die Kanäle 5, 6 sind bezogen auf die Längserstreckung der Hohlräume 5, 6 jeweils mittig angeordnet, so dass sie auf einem Radius zur Rotationsachse 15 liegen.

[0054] Zusätzlich zu den im wesentlichen geschlossenen Hohlräumen 5, 6 ist auf der der Schaufel 3 abgewandten Rückseite der Tragscheibe 2 eine Ausnehmung 14 (Tragscheibentasche) vorhanden, die ebenfalls eine lokale Gewichtsreduzierung bewirkt und der Verschiebung der Trägheitsachse zur Rotationsachse hin dient. Durch die Kombination der beiden Hohlräume 5, 6 und der Ausnehmung 14 wird die Trägheitsachse auf die Rotationsachse 15 verschoben, so dass das Laufrad 1 insgesamt ausgewuchtet ist.

[0055] An die Tragscheibe 2 ist ferner eine Nabe 13 mit einer konischen Wellenaufnahme 19 (Wellenanschluss) einstückig angeformt, in die eine Antriebswelle des Pumpenaggregats zum Antreiben des Laufrads 1 eingesetzt und schraubbefestigt werden kann.

[0056] Die Herstellung des erfindungsgemäßen Pumpenlaufrads 1 erfolgt durch aufeinanderfolgendes Verfestigen einzelner Schichten eines Metallpulvers durch Anwendung eines additiven Herstellungsverfahrens, bei dem das Pulver der jeweiligen Schicht durch eine Strahlung, insbesondere einen Laserstrahl dort aufgeschmolzen wird, wo das Laufrad 1 massiv werden soll, und bei dem in zumindest einem Teil der aufeinander folgenden Schichten jeweils ein Bereich zur Ausbildung der Hohlräume 5, 6 im Materialinneren des Pumpenlaufrads 1 von der Laserbestrahlung freigelassen wird.

[0057] Nach der derartigen Herstellung des Pumpenlaufrades 1 sind die beiden Hohlräume 5, 6 mit unverfestigtem Metallpulver gefüllt, das durch die Öffnungen 7, 8 bzw. durch die Kanäle 9, 10 aus den Hohlräumen 5, 6 entfernt werden kann. Dies kann dadurch erfolgen dadurch, dass in die Kanäle Druckluft geblasen wird, beispielsweise mittels einer in den jeweiligen Kanal 9, 10 eingeführten Hohlzylinder. Das Pulver wird dadurch herausgeblasen. Zusätzlich kann das Laufrad gleichzeitig gerüttelt werden, um anhaftendes Pulver im Hohlraum 5, 6 zu lösen. Die Kanäle 9, 10 werden nach dem Entfernen des unverfestigten Pulvers geschlossen, damit keine geförderte Flüssigkeit in die Hohlräume 5, 6 hineingelangt. Somit bleiben die Hohlräume 5, 6 im bestimmungsgemäßen Betrieb hohl.

[0058] Das additive Herstellungsverfahren ist hier ein selektives Lasersintern, Laserschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen, wie es im Stand der Technik an sich bekannt ist. Als Metallpulver kann beispielsweise reines Titan (99,9%), eine Legierung aus Aluminium-Silizium-Magnesium (AlSi₁₀Mg) oder eine Legierung aus Kobalt-Chrom-Molybdän (CoCrMo) verwendet werden. Die Schichten werden erfindungsgemäß in axialer Richtung des Pumpenlaufrades 1 aufgebaut, etwa parallel zur Rotationsachse, so dass sich die einzelnen Schichten etwa quer zur Laufradachse erstrecken. Dabei wird zunächst die Nabe, anschließend die Tragscheibe und dann die

Schaufel jeweils schichtweise gebildet.

[0059] Die schichtweise Bildung eines Pumpenlaufrades in der umgangssprachlichen Art eines "3D-Druckens" kann aufgrund eines 3-dimensionalen Computermodells des Pumpenlaufrades 1 erfolgen, das gerade so berechnet ist, dass das hergestellte Pumpenlaufrad nahezu unwuchtfrei ist. Das prinzipielle Vorgehen für den Entwurf eines erfindungsgemäßen Pumpenlaufrades respektive die Erzeugung dessen 3-dimensionalen Computermodells wird nachfolgend erläutert.

[0060] Die hohe Fertigungsgenauigkeit additiver Fertigungstechnologien ermöglicht ein theoretisches Auswuchten von Laufrädern im CAD-Modell und die Übertragung auf das reale Bauteil. Das dynamische Auswuchten (theoretisch) des halboffenen Pumpenlaufrades 1 erfolgt dabei in zwei Ebenen I und II (Wuchtebenen). Kleine Abweichungen der Unwucht im gefertigten Laufrad brauchen unter Umständen nur noch statisch korrigiert zu werden, so dass eine kleine dynamische Restunwucht akzeptiert werden kann.

[0061] Aufgrund der fehlenden Deckscheibe bei halboffenen Laufrädern steht nur ein kleiner axiale Abstand L der beiden Wuchtebenen innerhalb der Tragscheibe für den Auswuchtvorgang zur Verfügung. Dies bedingt eine sehr hohe Tragscheibe als auch große Hohlräume! Ausnehmung, was wiederum die Strömung nachteilig beeinflusst. Je kleiner der Ebenenabstand L, umso größer ist die benötigte Ausgleichsunwucht.

[0062] Das Problem kann zum Teil umgangen werden, indem eine der Wuchtebenen (Ebene I in Fig. 4) die Schaufel 3 selbst darstellt, während die andere Ebene (Ebene II in Fig. 4) in der Tragscheibe 2 liegt verbleibt. Der Ebenenabstand L wird dadurch möglichst groß, das Volumen der Ausnehmung 14 kann geringer ausfallen und es kann eine deutlich kleinere Tragscheibe 2 gewählt werden, wodurch sich der Materialeinsatz reduziert, was vor allem beim Einsatz additiver Fertigungsverfahren Zeit und Kosten einspart.

[0063] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Pumpenlaufrad bereitgestellt, bei dem Material aus dem Schaufelkörper 3, 18 entfernt ist, so dass Hohlräume 5, 6 entstehen. Das hydraulisch optimierte Laufrad 1 besitzt vor dem theoretischen Auswuchten einen außermittigen Masseschwerpunkt ($m_s \cdot r_s$) sowie Deviationsmomente (J_{zy}, J_{zx}) in seiner Trägheit. Während das erstere die statische Unwucht definiert, ist das Deviationsmoment für die dynamische Unwucht zuständig und damit auch für die Schräglage der Hauptträgheitsachse zur Rotationsachse 15.

[0064] Die Position und die Unwucht (Produkt aus Masse und Schwerpunktradius) der Hohlräume 5, 6 werden von der Gestaltung des Laufrades 1 definiert. Der Schaufelverlauf ist derart anzupassen, dass die Hohlräume 5, 6 innerhalb des Schaufelkörpers 3, 18 liegen und nicht die Schaufeloberfläche bzw. die Rampe 17 durchdringen. Anschließend sind die Hohlräume 5, 6 zu berechnen, so dass sie der zuvor ermittelten Unwucht entsprechen. Durch ein iteratives Anpassen der Hohl-

raumabmaße ergibt sich ein sehr freies Hohlraumdesign. So können z.B. problemlos abgerundete Kanten, Stützstrukturen eingebunden, oder auch die Anzahl der Hohlräume geändert werden.

5 **[0065]** Der Schutzzumfang wird nur durch die beigefügten Ansprüche definiert und die Erfindung ist daher auch nicht auf die beschriebene konkrete Ausführungsvariante beschränkt. Dem Fachmann ist vielmehr klar, dass das erfindungsgemäße Pumpenlaufrad und sein Herstellungsverfahren auf vielfache, naheliegende Weise abgewandelt werden kann, ohne vom Grundgedanken der Erfindung abzugehen. So kann beispielsweise die Geometrie, Größe, Position und Anzahl der Hohlräume 5, 6 von der in den Figuren gezeigten Variante abweichen, sofern
10 dadurch ein insgesamt statisch unwuchtfreies Laufrad erhalten wird. Beispielsweise kann auch nur ein Hohlraum vorhanden sein, und/ oder ein oder mehrere Hohlräume mit einer im radialen Querschnitt betrachtet runden Grundform. Zudem kann die Dachgeometrie trichterförmig sein. Alternativ zur Herstellung aus einem Metallpulver kann auch ein Kunststoff- oder Keramikpulver verwendet werden. Ferner kann anstelle der Herstellung durch selektives Lasersintern, Laserschmelzen oder Elektronenstrahlschmelzen eine Polymerfaser geschmolzen werden (Fused Filament Fabrication), um die
15 einzelnen Schichten auszubilden, so dass nach außen vollständig geschlossene Hohlräume herstellbar sind. Ferner kann das Laufrad 1 in einer anderen Schichtrichtung aufgebaut werden, beispielsweise radial zur Laufradachse 15. Ferner kann der oder können die Hohlräume auch zunächst mit Wasser geflutet und anschließend der Kanal bzw. die Kanäle 9, 10 geschlossen werden. Die Masse des Wassers ist dabei für die Positionierung, Dimensionierung und Form des oder der Hohlräume zu berücksichtigen. Schließlich kann die Herstellung der Tragscheibe 2 und/ oder der Nabe 13 unabhängig von der Schaufel 2 erfolgen, insbesondere separat durch Gießen und anschließender Montage durch Schweißen oder Schraubbefestigung.
20
25
30
35

Bezugszeichenliste

[0066]

45	1	Pumpenlaufrad
	2	Tragscheibe
	3	Schaufel
	5	Äußerer Hohlraum
	6	Innerer Hohlraum
50	7	Öffnung des äußeren Hohlraums
	8	Öffnung des inneren Hohlraums
	9	Kanal
	10	Kanal
	11	Mündungsöffnung
55	12	Mündungsöffnung
	13	Laufradnabe
	14	Ausnehmung, Tragscheibentasche
	15	Laufradachse

- 16 Zentralbereich, Strömungskanal, Schaufelkanal
- 17 Rampe
- 18 Materialmenge, Vollmaterial
- 19 Wellenaufnahme, Wellenanschluss
- 20 Schaufelseitige Begrenzungswand
- 21 Nabenseitige Begrenzungswand
- 22 Tragscheibenseitige Begrenzungswand
- 23 Stützstruktur, Stützwand
- 24 Satteldach/ Entleerungstrichter

Patentansprüche

1. Asymmetrisches Pumpenlaufrad (1) für ein Pumpenaggregat zur Förderung einer insbesondere feststoffbeladenen Flüssigkeit, das zumindest einen Hohlraum (5, 6) in seinem Materialinneren aufweist, der nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung (7, 8) zum Entfernen unverfestigten Materials aus dem Hohlraum (5, 6) geschlossen ist, wobei der Hohlraum (5, 6) derart positioniert und ausgebildet ist, dass eine Trägheitsachse des Pumpenlaufrads (1) zur Rotationsachse (15) des Pumpenlaufrads (1) hin verschoben ist, sodass das Pumpenlaufrad nahezu unwuchtfrei ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumpenlaufrad (1) zumindest zum Teil schichtweise durch ein additives Herstellungsverfahren gebildet ist und der Hohlraum (5, 6) bei der schichtweisen Herstellung ausgebildet wird.
2. Pumpenlaufrad (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** es nur eine Schaufel (3) aufweist, die sich spiralförmig um die Rotationsachse (15) erstreckt.
3. Pumpenlaufrad (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine Tragscheibe (2) aufweist, die bei der schichtweisen Herstellung einstückig mit der Schaufel (3) ausgebildet wird.
4. Pumpenlaufrad (1) zumindest nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Hohlraum (5, 6) zumindest teilweise innerhalb des die Schaufel (3) oder die Tragscheibe (2) bildenden Materials liegt.
5. Pumpenlaufrad (1) zumindest nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es innerhalb eines von der Schaufel (3) eingefassten Zentralbereichs (16) eine von der geförderten Flüssigkeit überströmbare Materialmenge (18) aufweist, in der der zumindest eine Hohlraum (5, 6) ganz oder zumindest teilweise ausgebildet ist.
6. Pumpenlaufrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich an die Öffnung (7, 8) ein offener oder nachträglich ge-

schlossener Kanal (9, 10) anschließt, der vom Hohlraum (5, 6) nach außen führt.

7. Pumpenlaufrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlraum (5, 6) frei von recht- und/ oder spitzwinkligen Innenkanten und/ oder Innenecken ist, insbesondere zwei winklig zueinander liegende Begrenzungswände (20, 21, 22) des zumindest einen Hohlraums (5, 6) unter Ausbildung einer Hohlkehle ineinander übergehen.
8. Pumpenlaufrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zumindest eine Hohlraum (5, 6) in eine Richtung (S), insbesondere in Richtung (S) des additiven Schichtaufbaus, im Querschnitt betrachtet satteldachförmig oder trichterförmig geschlossen ist.
9. Pumpenlaufrad (1) zumindest nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (9, 10) in radialer Richtung und/ oder in Umfangsrichtung mittig zum Hohlraum (5, 6) in diesen mündet.
10. Pumpenlaufrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlraum (5, 6) im Inneren eine insbesondere skelettartige Stützstruktur (23) aufweist.
11. Pumpenlaufrad (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stützstruktur (23) an wenigstens einer Stelle eine dem Auswuchten dienende Materialverdickung aufweist.
12. Pumpenlaufrad (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zwei oder mehr voneinander durch eine Stützwand (23) getrennte Hohlräume (5, 6) aufweist.
13. Pumpenlaufrad (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Hohlräume (5, 6) bezogen auf die Laufradachse (4) in radialer Richtung hintereinanderliegen.
14. Pumpenlaufrad (1) zumindest nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es eine nach außen offene Ausnehmung (14) oder einen weiteren nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung zum Entfernen unverfestigten Materials geschlossenen Hohlraum aufweist, wobei die Ausnehmung (14) oder der weitere Hohlraum axial zum einen Hohlraum (5, 6) versetzt ist.
15. Pumpenlaufrad (1) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausnehmung (14) oder der weitere Hohlraum in der Tragscheibe (2), und insbesondere die Ausnehmung auf der der Schaufel (3) abgewandten Rückseite der Tragscheibe (2) ausge-

bildet ist.

16. Verfahren zur Herstellung eines Pumpenlaufrads (1) nach einem der vorherigen Ansprüche, mit zumindest einem Hohlraum (5, 6) im Materialinneren des Pumpenlaufrads (1), der nach außen vollständig oder bis auf eine Öffnung (7, 8) zum Entfernen unverfestigten Materials aus dem Hohlraum (5, 6) geschlossen ist, wobei der Hohlraum (5, 6) derart positioniert und ausgebildet ist, dass eine Trägheitsachse zur Rotationsachse (15) des Pumpenlaufrads (1) hin verschoben ist, sodass das Pumpenlaufrad nahezu unwuchtfrei ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Pumpenlaufrad (1) aus einzelnen Schichten eines Materials durch Anwendung eines additiven Herstellungsverfahrens hergestellt wird, bei dem in zumindest einem Teil aufeinander folgender Schichten ein Raumbereich zur Ausbildung des Hohlraums (5, 6) freigelassen wird.
17. Verfahren zumindest nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Material ein Pulver, insbesondere ein Metallpulver ist und unverfestigtes Pulver aus dem freigelassenen Raumbereich durch einen Kanal (9, 10) entfernt, insbesondere herausgeblasen wird.
18. Verfahren zumindest nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal nach dem Entfernen des unverfestigten Pulvers geschlossen wird.

Claims

1. Asymmetric pump impeller (1) for a pump unit for conveying a liquid which in particular contains solids, having at least one cavity (5, 6) in the interior of the material of the impeller, said cavity being closed completely towards the outside or except for an opening (7, 8) for the removal of unhardened material from the cavity (5, 6), in which the cavity (5, 6) is positioned and formed in such a way that an inertia axis of the pump impeller (1) is displaced with respect to the axis of rotation (15) of the pump impeller (1) so that the pump impeller is largely free of unbalances, **characterised by** the pump impeller (1) being formed at least to some extent in layers by an additive production method and the cavity (5, 6) being formed during the production in layers.
2. Pump impeller (1) according to claim 1, **characterised by** having only one blade (3) that extends in a spiral around the axis of rotation (15).
3. Pump impeller (1) according to claim 2, **characterised by** having a support plate (2), which is formed integrally with the blade (3) during layered production.

4. Pump impeller (1) according to at least one of the claims 2 or 3, **characterised by** at least one cavity (5, 6) lying at least partially within the material forming the blade (3) or the support plate (2).
5. Pump impeller (1) according to at least one of the claims 2 or 3, **characterised by** having, within a central region (16) surrounded by the blade (3), a quantity of material (18) that can be overflowed by the conveyed liquid, in which the at least one cavity (5, 6) is wholly or at least partially formed.
6. Pump impeller (1) according to one of the preceding claims, **characterised by** an open or subsequently closed channel (9, 10) that leads from the cavity (5, 6) to the outside adjoining the opening (7, 8).
7. Pump impeller (1) according to one of the preceding claims, **characterised by** the cavity (5, 6) being free from right-angled and/or acute-angled inner edges and/or inner corners, in particular having two boundary walls (20, 21, 22) lying at an angle to each other of the at least one cavity (5, 6) that merge into each other, forming fillet.
8. Pump impeller (1) according to one of the preceding claims, **characterised by** the at least one cavity (5, 6) in a direction (S), in particular in the direction (S) of the additive layer structure, being closed in the form of a gable roof or in a funnel shape when viewed in cross-section.
9. Pump impeller (1) at least according to claim 6, **characterised by** the channel (9, 10) opening in the radial direction and/or in the circumferential direction centrally into the cavity (5, 6).
10. Pump impeller (1) according to one of the preceding claims, **characterised by** the cavity (5, 6) having an internal supporting structure (23), in particular formed like a skeleton.
11. Pump impeller (1) according to claim 10, **characterised by** the supporting structure (23) having thicker material in at least one location for the purpose of balancing.
12. Pump impeller (1) according to one of the preceding claims, **characterised by** having two or more cavities (5, 6) separated from one another by a support wall (23).
13. Pump impeller (1) according to claim 12, **characterised by** the cavities (5, 6) lying behind one another in the radial direction with respect to the impeller axis (4).
14. Pump impeller (1) at least according to claim 3, **char-**

- acterised by** having an outwardly open recess (14) or an additional cavity, closed to the outside completely or except for an opening for removing unhardened material, in which the recess (14) or the additional cavity is offset axially relative to a cavity (5, 6).
15. Pump impeller (1) according to claim 14, **characterised by** the recess (14) or the additional cavity in the support plate (2), and in particular the recess, being formed on the reverse side of the support plate (2) facing away from the blade (3).
16. Method for the production of a pump impeller (1) according to one of the preceding claims, having at least one cavity (5, 6) in the interior of the material of the impeller, said cavity being closed completely towards the outside or except for an opening (7, 8) for the removal of unhardened material from the cavity (5, 6), in which the cavity (5, 6) is positioned and designed in such a way that an inertia axis of the pump impeller (1) is displaced with respect to the axis of rotation (15) of the pump impeller (1) so that the pump impeller is largely free of unbalances, **characterised by** the pump impeller (1) being formed of individual layers of a material by an additive production method in which a space for the formation of the cavity (5, 6) is left in at least some of the sequential layers.
17. Method according to claim 16, **characterised by** the material being a powder, notably a metal powder, and unhardened powder being removed from the cavity through a channel (9, 10), in particular being blown out.
18. Method according to claim 17, **characterised by** the channel being closed after removing the unhardened powder.
2. Rotor de pompe (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** ne présente qu'une seule pale (3) s'étendant en spirale autour de l'axe de rotation (15).
3. Rotor de pompe (1) selon la revendication 2, **caractérisé en ce qu'il** présente un disque porteur (2) formé d'un seul tenant avec la pale (3) lors de la fabrication par couches.
4. Rotor de pompe (1) selon au moins l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'il** présente au moins une cavité (5, 6) placée au moins partiellement à l'intérieur du matériau formant la pale (3) ou le disque porteur (2).
5. Rotor de pompe (1) selon au moins l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'il** présente, à l'intérieur d'une zone centrale (16) entourée par la pale (3), une quantité de matériau (18) pouvant être débordée par le liquide pompé, dans laquelle au moins une cavité (5, 6) est entièrement ou au moins partiellement formée.
6. Rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'ouverture (7, 8) est suivie d'un canal (9, 10), ouvert ou fermé ultérieurement, menant de la cavité (5, 6) vers l'extérieur.
7. Rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la cavité (5, 6) est exempte d'arêtes intérieures à angle droit et/ou à angle aigu et/ou d'angles intérieurs, en particulier deux parois de délimitation (20, 21, 22) d'au moins une cavité (5, 6), situées en angle l'une par rapport à l'autre, se fondent l'une dans l'autre en formant une gorge creuse.
8. Rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'au** moins une cavité (5, 6), vue en coupe transversale dans une direction (S), en particulier dans la direction (S) de la structure en couches additive, est fermée en forme d'entonnoir ou de toit à deux versants.
9. Rotor de pompe (1) selon au moins la revendication 6, **caractérisé en ce que** le canal (9, 10) débouche dans la cavité (5, 6) dans la direction radiale et/ou dans la direction circonférentielle au centre de celle-ci.
10. Rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la cavité (5, 6) présente en son intérieur une structure de support (23), plus particulièrement en forme de squelette.
11. Rotor de pompe (1) selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** la structure de support (23) pré-

Revendications

1. Rotor de pompe asymétrique (1) pour une unité de pompage pour le transport d'un liquide en particulier chargé de matières solides, présentant au moins dans l'intérieur de son matériau une cavité (5, 6) complètement fermée vers l'extérieur ou à l'exception d'une ouverture (7, 8) pour évacuer hors de la cavité (5, 6) du matériau non solidifié, sachant que la cavité (5, 6) est positionnée et formée de telle manière qu'un axe d'inertie du rotor de pompe (1) est décalé vers l'axe de rotation (15) du rotor de pompe (1), de sorte que le rotor de pompe est pratiquement sans déséquilibre, **caractérisé en ce que** le rotor de pompe (1) est, au moins en partie, composé de couches formées par un procédé de fabrication additif et que la cavité (5, 6) est formée lors de la formation des couches.

sente au moins à un endroit un épaississement du matériau servant à l'équilibrage.

12. Rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** présente au moins deux cavités (5, 6) séparées par une paroi de soutien (23). 5
13. Rotor de pompe (1) selon la revendication 12, **caractérisé en ce que** les cavités (5, 6) sont situées les unes derrière les autres dans la direction radiale par rapport à l'axe du rotor (4). 10
14. Rotor de pompe (1) selon au moins la revendication 3, **caractérisé en ce qu'il** présente un évidement (14) ouvert vers l'extérieur ou une autre cavité complètement fermée vers l'extérieur ou à l'exception d'une ouverture pour évacuer du matériau non solidifié, l'évidement (14) ou l'autre cavité étant décalé(e) axialement par rapport à une cavité (5, 6). 15
20
15. Rotor de pompe (1) selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** l'évidement (14) ou l'autre cavité est formé(e) dans le disque porteur (2), et en particulier l'évidement est formé sur la face arrière du disque porteur (2) opposée à la pale (3). 25
16. Procédé de fabrication d'un rotor de pompe (1) selon l'une des revendications précédentes, présentant au moins dans l'intérieur de son matériau une cavité (5, 6) complètement fermée vers l'extérieur ou à l'exception d'une ouverture (7, 8) pour évacuer hors de la cavité (5, 6) du matériau non solidifié, sachant que la cavité (5, 6) est positionnée et formée de telle manière qu'un axe d'inertie est décalé vers l'axe de rotation (15) du rotor de pompe (1), de sorte que le rotor de pompe est pratiquement sans déséquilibre, **caractérisé en ce que** le rotor de pompe (1) est formé de couches individuelles d'un matériau appliquées par un procédé de fabrication additive, dans lequel une zone d'espace est laissée libre dans au moins une partie de couches successives pour former la cavité (5, 6). 30
35
40
17. Procédé selon au moins la revendication 16, **caractérisé en ce que** le matériau est une poudre, en particulier une poudre métallique et que la poudre non solidifiée est évacuée, en particulier soufflée, de la zone d'espace laissée libre par un canal (9, 10). 45
50
18. Procédé selon au moins la revendication 17, **caractérisé en ce que** le canal est refermé après l'évacuation de la poudre non solidifiée. 55

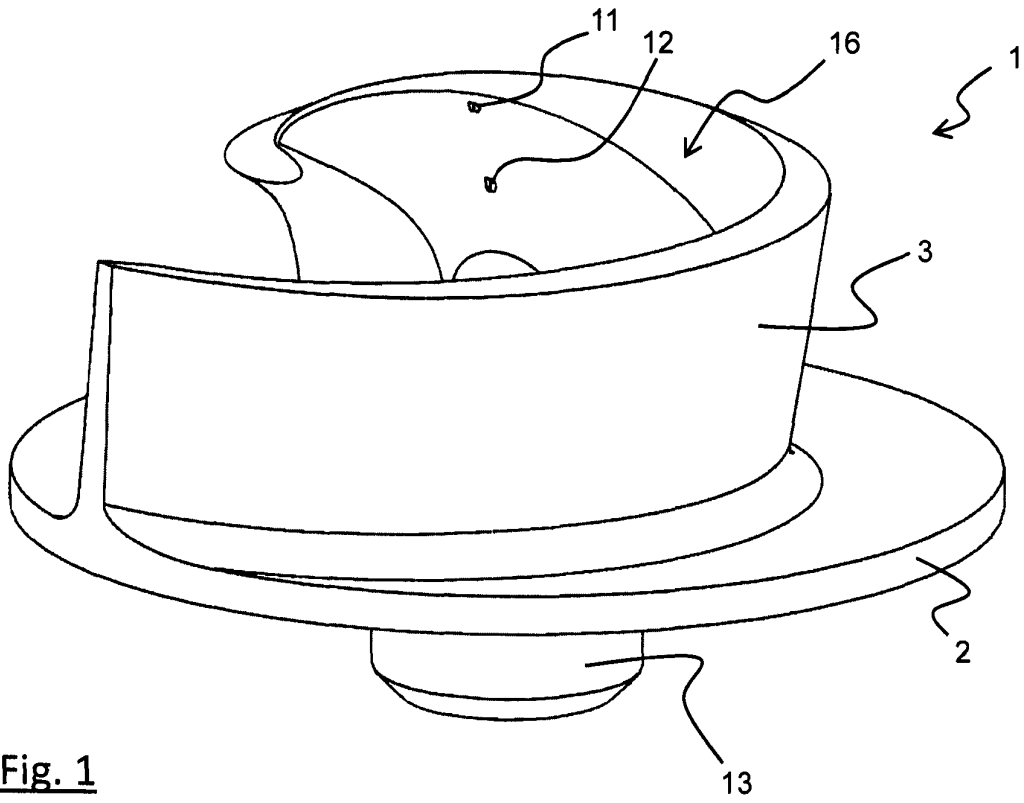


Fig. 1

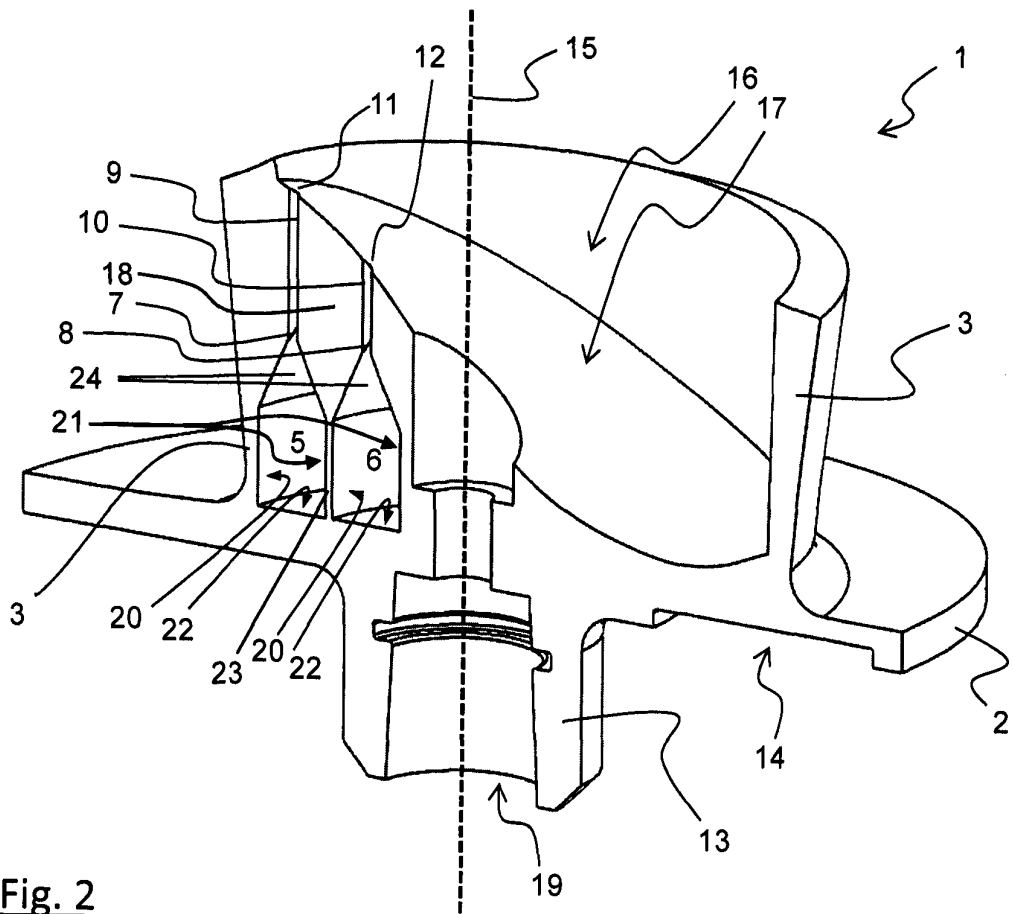


Fig. 2

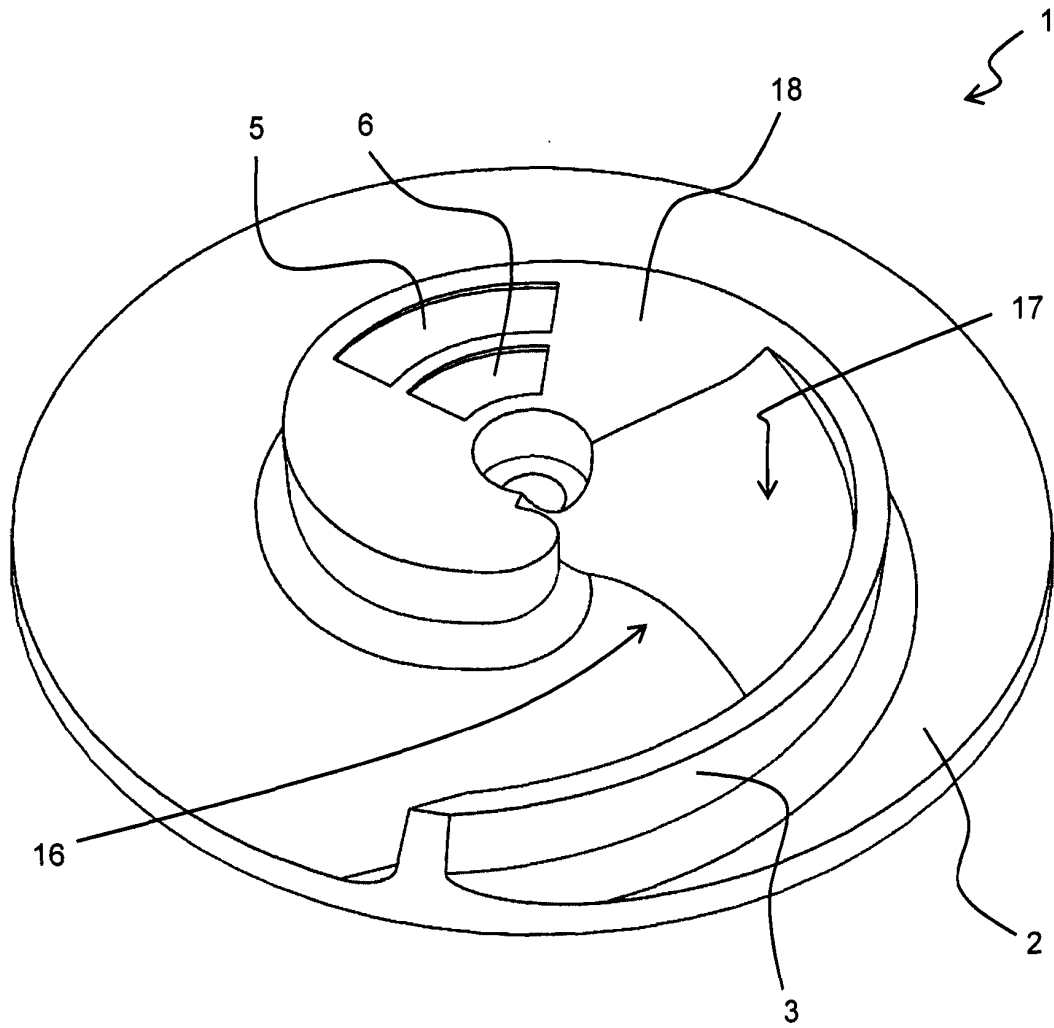


Fig. 3

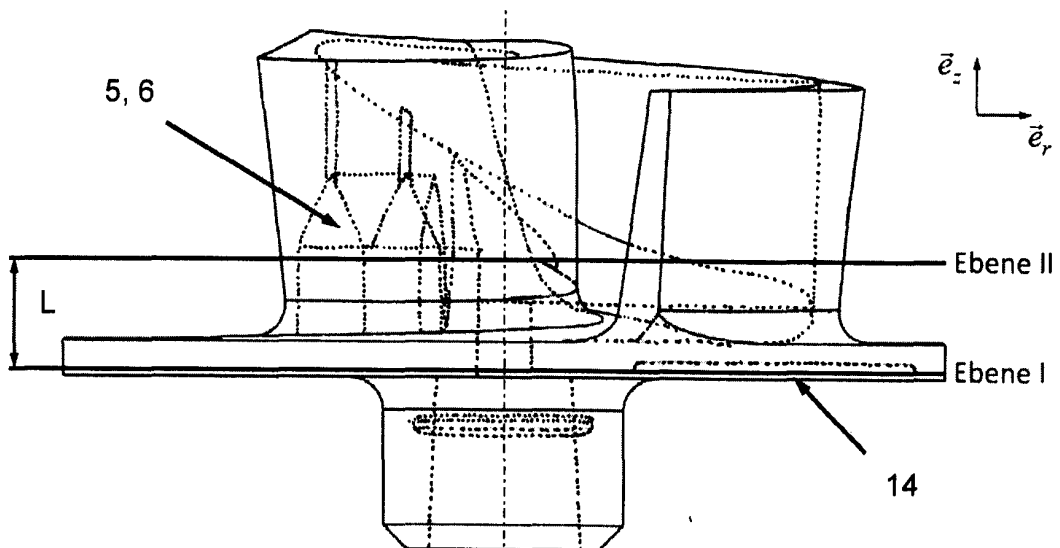


Fig. 4

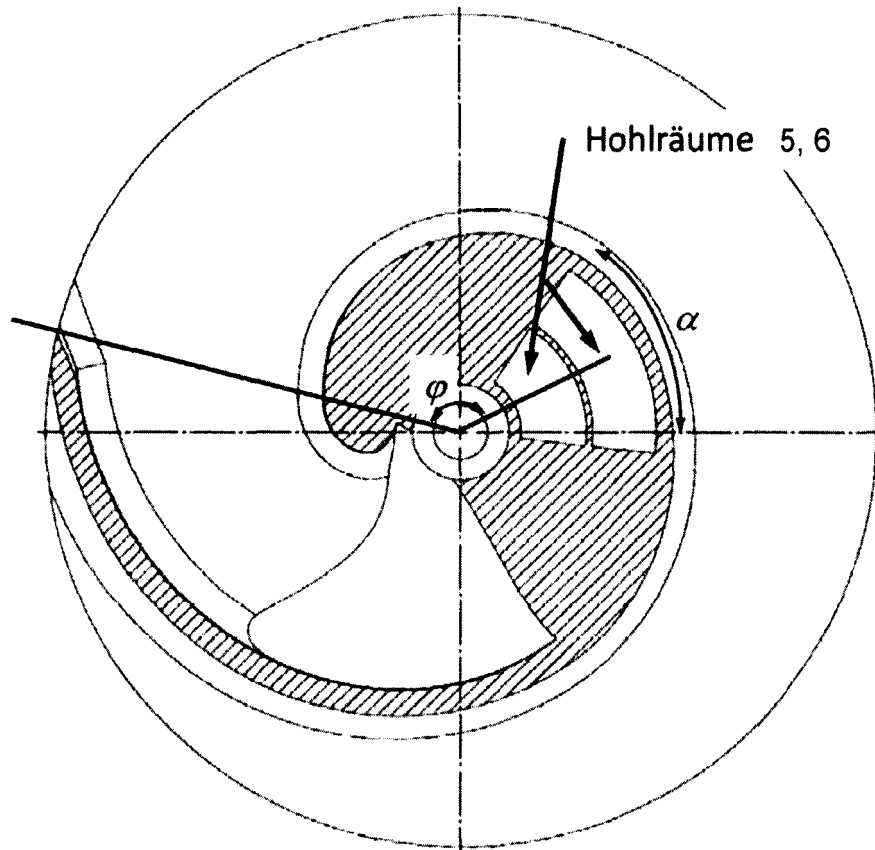


Fig. 5

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

- JP 5133026 B [0005]
- US 2011182734 A1 [0005]
- GB 687514 A [0005]
- GB 182632 A [0005]
- JP 2013064398 A [0006]